

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Иркутский национальный исследовательский технический университет»

Институт недропользования



при поддержке



ПОЛЮС

АО «Полус Вернинское»

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ
(ИГОШИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2018)**

**Материалы Международной
научно-практической конференции**

(Иркутск, 29 ноября – 1 декабря 2018 г.)

ИЗДАТЕЛЬСТВО
Иркутского национального исследовательского технического университета
2018

Перспективы развития горно-металлургической отрасли (Игошинские чтения – 2018) : материалы Междунар. науч.-практ. конференции. – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2018. – 476 с.

В сборнике представлены материалы Международной научно-практической конференции, результаты теоретических, практических и экспериментальных исследований научных работников, преподавателей специалистов производства, аспирантов в области горного дела, геологии, экологии и смежных направлений.

Предназначен для преподавателей, студентов, магистрантов, аспирантов и научных работников, выполняющих исследования в горно-металлургической отрасли.

Редколлегия:

редактор по направлению «Горное дело» – Тальгамер Б.Л., зав. кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», д-р техн. наук, профессор, академик Академии горных наук, член-корр. Российской академии естественных наук;

редактор по направлению «Промышленная экология и безопасность жизнедеятельности» – Тимофеева С.С., зав. кафедрой промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», д-р техн. наук, профессор, Почетный работник высшего образования РФ, академик Российской академии естествознания;

редактор по направлению «Инженерная геодезия, картография» – Ступин В.П., профессор кафедры маркшейдерского дела и геодезии, д-р техн. наук, доцент;

редактор по направлению «Нефтегазовое дело» – Карпиков А.В., доцент кафедры нефтегазового дела, канд. техн. наук, доцент;

редактор по направлению «Прикладная геология, геофизика и ГИС» – Иванова Р.Н., доцент кафедры прикладной геологии, геофизики и геоинформационных систем, канд. геол.-минерал. наук, доцент.

Издается в авторской редакции

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ.....	9
ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ	10
АНАТОЛИЙ АНДРЕЕВИЧ ИГОШИН	11
СЕКЦИЯ "ГОРНОЕ ДЕЛО, ГЕОДЕЗИЯ И КАРТОГРАФИЯ"	
Альшанская А.А., Демченко И.И. Современное состояние технологии брикетирования угля	13
Бовин К.А., Гилев А.В., Шигин А.О. Исследование прочностных характеристик разборного бурового инструмента фрезерного типа	19
Бочкарев Ю.С., Викулов М.А. Оптимизация использования автомобильного транспорта на россыпных месторождениях	26
Гамбаль М.Ю. Мониторинг движения взрыва.....	33
Гилёв А.В., Миранов А.И., Бовин К.А. Исследование пневмо-эжекционного удаления бурового шлама из взрывных скважин	38
Дудинский Ф.В., Нечаев К.Б. Обоснование систем разработки россыпей дражным способом	44
Костромитинов К.Н. Перспективы развития золотодобычи в России	51
Муленкова А.О., Демченко И.И. Выбор и обоснование параметров горнотранспортного оборудования для получения сортового угля в забое разреза.....	57
Овчинников Н.П., Викулов М.А., Портнягина В.В. Установление предельной потери металлоемкости рабочего колеса центробежного одноступенчатого насоса	68
Никитина Ю.Г., Олзоев Б.Н., Ступин В.П. Геоинформационное картографирование пространственной изменённости ландшафтов.....	72
Павлов А.М., Федоляк А.А. Анализ случая проявления динамического горного давления....	76
Пятаков В.Г., Соколов А.С., Тальгамер Б.Л. Оценка эффективности разработки россыпей по удельному расходу дизельного топлива	83
Радченко С.А., Олзоев Б.Н. Использование данных мультиспектральной космической съемки при изучении динамики нарушенных земель	89
Рославцева Ю.Г., Марков М.Ю. Методы пылеподавления при открытой разработке месторождений	93

Сорокин А.В. Исследование системы управления электроприводом подъема экскаватора ЭШ 20/90 эксплуатирующегося в регионах Сибири.....	99
Ступин В.П., Пластинин Л.А., Олзоев Б.Н. Морфодинамика зоны влияния Иркутского водохранилища и принципы ее геоинформационного картографирования	104
Тальгамер Б.Л., Рославцева Ю.Г. Оценка эффективности освоения дражных запасов открытым раздельным способом разработки.....	109
Шевченко А.Н., Храмовских В.А. О перспективах применения автоматизированных способов добычи полезных ископаемых	117
Шмонин В.И., Шмонин И.Б. Моделирование на эквивалентных материалах процесса сдвижения при разработке нефтегазовых месторождений.....	123
Шмонин И.Б., Волохов А.В. Опыт маркшейдерской съемки наклонных восстающих, проходимых с помощью механизированных комплексов КПН.....	130
СЕКЦИЯ "ПРИКЛАДНАЯ ГЕОЛОГИЯ, ГЕОФИЗИКА, ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО"	
Шобохонова З.Я., Токарева О.В., Мурзина Е.В. Методика опережающего моделирования кривых ЗСБ для предварительной оценки возможности определения типа насыщения горизонтов-коллекторов.....	137
Аверкина Е.В., Лихтенвальд А.А. Мероприятия по ликвидации пожаров и открытых газовых фонтанов (на примере месторождения Восточной Сибири)	142
Аверкина Е.В., Шакирова Э.В. Особенности строительства скважин в пластах с аномально высокими пластовыми давлениями на месторождениях Восточной Сибири.....	146
Аузина Л.И., Лоншаков Г.С. Методические основы оценки устойчивости подземной гидросферы урбанизированных территорий бассейна р. Ангара (Восточная Сибирь, Россия)	153
Буглов Н.А., Бутакова Л.А., Буланов Н.С. Влияние микрокремнезема на физические свойства тампонажного камня.....	161
Буглов Н.А., Пушмин П.С. Особенности очистки забоев наклонно-направленных скважин	166
Буддо И.В., Шелохов И.А., Смирнов А.С., Мисюркеева Н.В. Картирование зон трещиноватости карбонатно-галогенных пород в Восточной Сибири по комплексу методов сейсмо- и электроразведки.....	172
Ванин В.А. Особенности вещественного состава пород Верхнеянского золоторудного поля (Северное Забайкалье).....	180
Верхозин И.И., Верхозин П.И. Экзогенные геологические процессы Удокана.....	185

Верхозин И.И., Шевченко Е.И. Оценка экологического ущерба при разработке рудных месторождений подземным и открытым способами как мера техногенного воздействия на окружающую среду.....	190
Егорова Н.Е., Колесников С.Д. Вторичные изменения в карбонатных породах Олхино-Иркутного междуречья.....	196
Зедгенизов А.В., Лагереv Р.Ю., Налетов И.Н. Повышение эффективности функционирования логистическо-перевозочных операций в границах лицензионных участков добычи нефти на примере ВЧНГ	200
Кочнев А.П., Шульга В.В., Филиппова В.А. О потенциальной рудоносности гранитоидов Чуйского антиклинория (Байкальская горно-складчатая область).....	204
Мисюркеева Н.В., Буддо И.В., Шелохов И.А. К вопросу о картировании разрывных нарушений и степени их проницаемости комплексом глубинных геофизических методов в пределах нефтегазоносных структур Сибирской платформы.....	212
Нгуен Т.Л., Тонких М.Е., Рапацкая Л.А., Токарева О.В. Синтетическое моделирование сигналов ЗСБ на целевом горизонте месторождения Белый Тигр.....	218
Оцимик А.А., Сень Е.А., Гомульский В.В. Опыт комплексирования нестационарных электромагнитных зондирований и ГИС с целью обнаружения каналов миграции газа.....	223
Рапацкая Л.А., Тонких М.Е., Стрижаков Е.А. Влияние траппового магматизма на нефтегазоносные горизонты (юг Сибирской платформы).....	229
Рященко Т.Г., Гринь Н.Н., Штельмах С.И. Состав, состояние и свойства техногенных грунтов дамб карт-шламонакопителей в районе Байкальского ЦБК	234
Сабиров Т.Р. Социологические аспекты работы вахтовым методом (на примере ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»)	240
Сапрыкина М.И., Распопин Е.В., Аузина Л.И. Еще раз о подземных водах Тункинской котловины и перспективах их использования	244
Селяев В.А., Буддо И.В., Шелохов И.А. К вопросу о применении подхода совместной инверсии геолого-геофизических данных для решения нефтегазопоисковых задач.....	248
Тренёв И.С., Зайцев В.И., Карпиков А.В. Применение долот PDC на месторождениях Восточной Сибири и Якутии	253
Тугарина М.А., Трескина П.М., Распопин Е.В. Структурно-гидрогеологические условия минеральных водопроявлений юго-западного Забайкалья	260
Шакирова Э.В., Анисимов Н.В. Влияние акриловых полимеров на свойства глинистых буровых растворов	265

СЕКЦИЯ "ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ
ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ"

Батоева А.А., Сизых М.Р., Мункоева В.А. Фотохимическое окисление тиоцианатов под воздействием квазисолнечного излучения	271
Белых Л.И., Гармышев В.В. Канцерогенная опасность лесных пожаров для атмосферы городов Иркутской области	275
Волчатова И.В., Стаценко Ю.Ю. Возможности вторичного использования строительных материалов в рамках программы реновации жилых домов.....	280
Гозбенко В.Е., Каргапольцев С.К., Карлина А.И. Синтез и строение серосодержащих полимеров на основе полимерных отходов промышленности для производства смазок для рельсов	285
Гозбенко В.Е., Каргапольцев С.К., Карлина А.И. Экологические преимущества использования новых смазочных композиций на основе техногенного сырья.....	291
Горленко Н.В., Мурзин М.А., Тимофеева С.С. Сравнительная оценка аварийных рисков предприятий по добыче полезных ископаемых Байкальского региона	297
Горленко Н.В., Тимофеева С.С. Оценка экологического ущерба от нефтешламов на земельные ресурсы в Иркутской области.....	303
Домрачева В.А., Папешин И.М. Применение тепловых методов для борьбы с образованием парафиновых отложений нефтегазоконденсатных месторождений.....	309
Домрачева В.А., Трусова В.В., Остапчук Д.Е. Модифицированные углеродные сорбенты для извлечения ртути из техногенного сырья	313
Домрачева В.А., Трусова В.В., Шийрав Гандандорж Исследование сорбционной активности сорбентов на основе бурых углей Восточной Сибири и Монголии	316
Дружинина Т.Я., Гладких А.М., Конюхов В.Ю. Закономерности внутренних течений водных прямолинейных потоков	323
Дружинина Т.Я., Гладких А.М., Конюхов В.Ю. Феноменологический подход и построение математических моделей гравитационных и гравитационно-центробежных процессов обогащения руд и песков.....	329
Жданова Г.О., Стом Д.И., Азаренко Е.В. Элиминирование нитратов в микробных топливных элементах	335
Качор О.Л., Богданов А.В. Исследование сорбционно-диффузионного механизма миграции токсикантов из накопленных мышьяковистых отходов горно-перерабатывающей промышленности по почвенному профилю	340
Леонова М.С., Тимофеева С.С. Эколого-экономический ущерб от образования пылевых отходов кремниевое производство	345

Рупосов В.Л., Алексеенко В.В, Машович А.Я. Подходы к технологии переработки буровых шламов в сырье для производства строительных материалов	351
Тимофеева С.С., Мурзин М.А. Техногенные риски угледобывающих предприятий	356
Федорова С.В. Исследование характеристик слюд для производства нагревательных элементов	363
Худякова Л.И., Тимофеева С.С. Технологические аспекты переработки магнийсиликатных отходов	367

СЕКЦИЯ "ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭСТЕТИКА И ДИЗАЙН"

Анисимова А.А., Гершкевич Д.А., Кургуз Л.С. Технология использования слюды для декорирования ювелирных изделий	372
Анисимова Т.В., Шпынева Е.М. Анатомические особенности организмов в создании дизайна 3D моделей ювелирных изделий	376
Буйволова М.А. Грузных Л.Ю., Лукьяненко С.Г. Необычная мозаика	380
Буйволова М.А., Козлова Е.А., Лукьяненко Д.Г. Имитация цветных камней Прибайкалья .	385
Войтюк А.А. Нетрадиционные способы символизма в ювелирном дизайне	391
Дружкова А.Н., Иванова Г.Н. Ювелирная сталь в современных изделиях	395
Дьяченко О.П., Анисимова Т.В. Стилизация объектов природного ландшафта в дизайне ювелирных изделий	398
Дьяченко О.П., Иванова Г.Н. Исследовательская часть геммологической экспертизы нефрита	401
Жуков В.Л. Создание образа парюры в стиле неоготики, представленного визуальной когнитивной информационной динамической системой (ВКИДС) «Эсмеральда» по мотивам литературного творчества Виктора Гюго	404
Жуков В.Л., Семёнова Т.В. Исследование влияния научно-технических достижений в развитии свойств полимерных материалов двуокиси кремния SiO_2 на создание образов объектов дизайна	411
Жукова Л.Т., Николаев И.В. Разработка композиционного покрытия для объектов дизайна из алюминия и его сплавов, обладающих высокими эстетическими свойствами	419
Звонкова Л.М., Сорокина В.Е. Камнерезные элементы в дизайне ювелирных изделий	426
Иванова Г.Н., Анисимова А.А. Исследование геммологических характеристик и химического состава «султанита» для определения его природы	430

Лобацкая Р.М. Материалы и технологии в формировании сибирского архетипа в ювелирном дизайне от палеолита-неолита до постмодерна	434
Мартыанова М.А., Сорокина В.Е. Стилизация образа кожистой черепахи в создании ювелирных изделий	440
Минкова А.О., Сорокина В.Е. Разработка дизайна сосудов из природных поделочных камней в стилистике характерной 16 века	445
Павлова Е.Г., Атлас В.М. Стилизация образа паука-бокохода для дизайна камнерезных и ювелирных изделий	450
Сорокина В.Е. Технология получения имитаций самородков золота и серебра для ювелирного дизайна	454

СЕКЦИЯ "ГЕОГРАФИЯ"

Xingmuzi Hu, Jiawen Zhang, Jiankang Xi, Andrey Lishtva, TianXingjun The Plant Community Structure and Contributing Factor of Olkhon Area	460
Pengyu Lin, Yifeng Liu, Haoran Xu, Larisa Auzina, Zhang Yongzhan Development of typical sand dunes in the Baikal Rift Belt	463
Liping Tan, Sijia Wang, Andrey Lishtva, Xingjun Tian Comparison in plant composition and community structure between Lake Baikal and Daxing'anling	467
Wu Huansha, Ning Kexin, Sun Xue, Zhao Jinchun, Liu Haoyu, Larisa Auzina, Zhang Yongzhan Is the Temperature of Lake Baikal still Rising	472
Zhihui Zhang, Hao Dong, Linfang He, Anshu Tang, Xingjun Tian, Andrey Lishtva The Relationship between Baikal Seal And Saltwater Seals	475
.....	475

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Председатель:

Корняков Михаил Викторович, ректор ИРНИТУ, доктор технических наук, профессор;

Заместители председателя:

Семенов Евгений Юрьевич, проректор по научной работе инновационной деятельности ИРНИТУ, кандидат экономических наук;

Шевченко Алексей Николаевич, директор института недропользования ИРНИТУ, кандидат технических наук;

Члены комитета:

– Тальгамер Борис Леонидович, заведующий кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых ИРНИТУ, доктор технических наук, профессор;

– Гилев Анатолий Владимирович, заведующий кафедрой горных машин Сибирского федерального университета, доктор технических наук, профессор,

– Викулов Михаил Александрович, профессор кафедры горного дела Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, доктор технических наук, профессор;

– Guorong Zhu, профессор Школы наук о Земле и инженерии Нанкинского университета

– Xingjun Tian, профессор Школы биологических наук Нанкинского университета

– Yongzhan Zhang, профессор Школы географии и океанологии Нанкинского университета;

– Zhouchuan Huang, профессор Школы географии и океанологии Нанкинского университета;

– Мастернак Евгений Анатольевич, генеральный директор ООО «Компания Востсибуголь»;

– Феофанов Григорий Леонардович, технический директор АО «Ургалуголь»;

– Галимьянов Алексей Алмазович, заместитель технического директора по взрывным работам АО «Ургалуголь»;

– Гамбаль Максим Юлианович, представитель компании BMT в России и СНГ (Representative Russia and CIS), кандидат технических наук;

– Смагин Владимир Петрович, заместитель генерального директора по развитию и взаимодействию с государственными органами ООО «Компания Востсибуголь»;

– Дементьев Владимир Евгеньевич, генеральный директор АО «Иргиредмет»;

– Семьянских Максим Александрович, генеральный директор АО «ЗДК «Лензолото»;

– Охотин Анатолий Леонтьевич, заведующий кафедрой маркшейдерского дела и геодезии ИРНИТУ, кандидат технических наук, профессор, президент Международного союза маркшейдеров;

– Буглов Николай Александрович, заведующий кафедрой нефтегазового дела ИРНИТУ, кандидат технических наук, доцент;

– Красноштанов Сергей Юрьевич, заведующий кафедрой горных машин и электромеханических систем ИРНИТУ, кандидат технических наук, доцент;

- Лобацкая Раиса Моисеевна, заведующая кафедрой геммологии ИРНИТУ, доктор геолого-минералогических наук, профессор;
- Снетков Вячеслав Иванович, заведующий кафедрой прикладной геологии, геофизики и геоинформационных систем ИРНИТУ, доктор технических наук, доцент;
- Тимофеева Светлана Семёновна, заведующая кафедрой промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности ИРНИТУ, доктор технических наук, профессор;
- Федотов Константин Вадимович, заведующий кафедрой обогащения полезных ископаемых и охраны окружающей среды имени С.Б. Леонова ИРНИТУ, доктор технических наук, профессор;
- Аузина Лариса Ивановна, доцент кафедры прикладной геологии, геофизики и геоинформационных систем, кандидат геолого-минералогических наук, доцент.

Ответственный секретарь:

- Олзоев Борис Николаевич, заместитель директора института недропользования ИРНИТУ, кандидат географических наук.
-

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель:

- Семенов Евгений Юрьевич, проректор по научной работе и инновационной деятельности, кандидат экономических наук;

Заместители председателя:

- Шевченко Алексей Николаевич, директор Института недропользования, кандидат технических наук;
- Олзоев Борис Николаевич, заместитель директора Института недропользования, кандидат географических наук;
- Красноштанов Сергей Юрьевич, зав. кафедрой горных машин и электромеханических систем, кандидат технических наук;

Члены оргкомитета (рабочая группа):

- Тальгамер Борис Леонидович, зав. кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых, доктор технических наук, профессор;
- Тимофеева Светлана Семёновна, зав. кафедрой промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, доктор технических наук, профессор;
- Клевцов Евгений Валерьевич, доцент кафедры маркшейдерского дела и геодезии, кандидат географических наук;
- Карпиков Александр Владимирович, доцент кафедры нефтегазового дела, кандидат технических наук;
- Иванова Раиса Николевна, доцент кафедры прикладной геологии, геофизики и геоинформационных систем, кандидат геолого-минералогических наук;

- Ступин Владимир Павлович, профессор кафедры маркшейдерского дела и геодезии, доктор технических наук;
- Аузина Лариса Ивановна, доцент кафедры прикладной геологии, геофизики и геоинформационных систем, кандидат геолого-минералогических наук;
- Шульга Валентина Валерьевна, заместитель начальника Управления научной деятельности, кандидат геолого-минералогических наук.
- Губейдулина Альбина Амировна, программист кафедры разработки месторождений полезных ископаемых;
- Курганская Надежда Васильевна, начальник пресс-службы;
- Макарова Дарья Николаевна, начальник отдела организации научной деятельности молодых ученых и студентов.



Анатолий Андреевич

Игошин

1908 – 1977 гг.

Горный инженер-маркшейдер,
кандидат технических наук, профессор

Крупный научный и общественный деятель - директор Иркутского горно-металлургического института, ректор политехнического института, основатель и заведующий кафедрой маркшейдерского дела.

Игошин А.А. родился в 1908 году в г. Кургане Челябинской области в семье рабочего. Русский. Трудовую деятельность начал в 1929 году техником-триангулятором. В 1937 году окончил Уральский горный институт, получив специальность горного инженера-маркшейдера. После окончания института был оставлен в этом же институте аспирантом. В 1941 году защитил кандидатскую диссертацию и в этом же году утвержден в ученом звании доцента.

В 1941-1943 гг. Игошин А.А. находился на партийной работе, вначале инструктором Свердловского обкома, затем заведующим отделом Карпинского горкома партии.

В 1943 г. возвратился на работу в Свердловский горный институт, где до 1946 года заведовал кафедрой маркшейдерского дела, а затем до апреля 1950 года работал заместителем директора института по учебной и научной работе.

В июне 1950 года А.А. Игошин направлен на работу в Иркутский горно-металлургический институт заместителем директора по учебной и научной работе, с января 1952 года он был назначен директором, а затем ректором института, позднее

реорганизованного в политехнический. Одновременно он заведовал до 1961 года кафедрой маркшейдерского дела и геодезии. По его инициативе и при личном участии с 1951 года в институте организована подготовка горных инженеров-маркшейдеров.

Заслуги Анатолия Андреевича отмечены многими наградами:

- орден Знак почёта;
- орден Трудового Красного Знамени;
- орден Октябрьской революции;
- медаль Монгольской Народной Республики;
- Почётные знаки и грамоты правительственного уровня.

До конца своей жизни (10 октября 1977 года) А.А. Игошин успешно возглавлял Иркутский политехнический институт, который превратился в крупнейший вуз страны, насчитывающий 45 специальностей и свыше двадцати тысяч студентов, с вечерним факультетом в г. Черемхово, У КП в г. Железногорске-Илимском, г. Усть-Куте и филиалами в г. Ангарске, г. Братске, г. Чите. Филиалы в Ангарске, Братске и Чите в настоящее время стали самостоятельными ВУЗами.

А.А. Игошин был членом президиума Сибирского отделения Академии наук СССР. Анатолий Андреевич уделял большое внимание развитию интернациональных связей, длительное время был председателем правления Иркутского общества советско-монгольской дружбы, председателем президиума правления Иркутского отделения Союза советских обществ дружбы и культурных связей с зарубежными странами.

Современное состояние технологии брикетирования угля

Альшанская А.А., Демченко И.И.

Сибирский федеральный университет, Россия

Е-mail alshanskaya_anna@inbox.ru, demtchenkoi@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрены основные способы и средства для брикетирования угля, представленные в виде структурной схемы. Приводится описание технологических операций процессов получения угольного брикета, как с применением связующих материалов, так и без таковых. Обоснована рациональность брикетирования угля в местах приближенных к добывающему забою. Сформулирована наиболее рациональная схема протекания процесса получения угольного брикета.

1. Введение

Значимыми направлениями повышения эффективности угледобывающих предприятий является не только стабилизация и улучшение качества продукции, но и расширение ассортимента, достичь которого можно посредством переработки полезного ископаемого. Ввиду этого, все большее количество добывающих предприятий размещают на своих разрезах и шахтах перерабатывающие комплексы, основное большинство которых дробильно-сортировочные. Переработка данными комплексами, заключается в дроблении и коррекции ситового состава. При этом ресурсосбережение ценных видов углей, представленных в виде мелких классов и вовлечение в коммерческий оборот низкосортных, остается слабо решаемым вопросом на угледобывающем предприятии. Для переработки этих топлив и повышения их ценности существует несколько методов, наиболее перспективным из которых является брикетирование.

Брикетирование угля – процесс его переработки в куски определенной геометрической формы с одинаковой массой и однородным составом, позволяющий преобразовать низкосортные и малоценные марки угля в готовый продукт с более высокой потребительской ценностью. При этом повышается теплота и КПД сгорания, улучшается транспортабельность и появляется возможность использования брикетов в виде сырья для получения кокса, а также производства малодымного и бездымного топлива. Кроме того, данный процесс преобразования угля значительно снижает количество складированных отходов углерепереработки (угольных шламов), улучшает экологическую ситуацию в промышленных и угледобывающих районах.

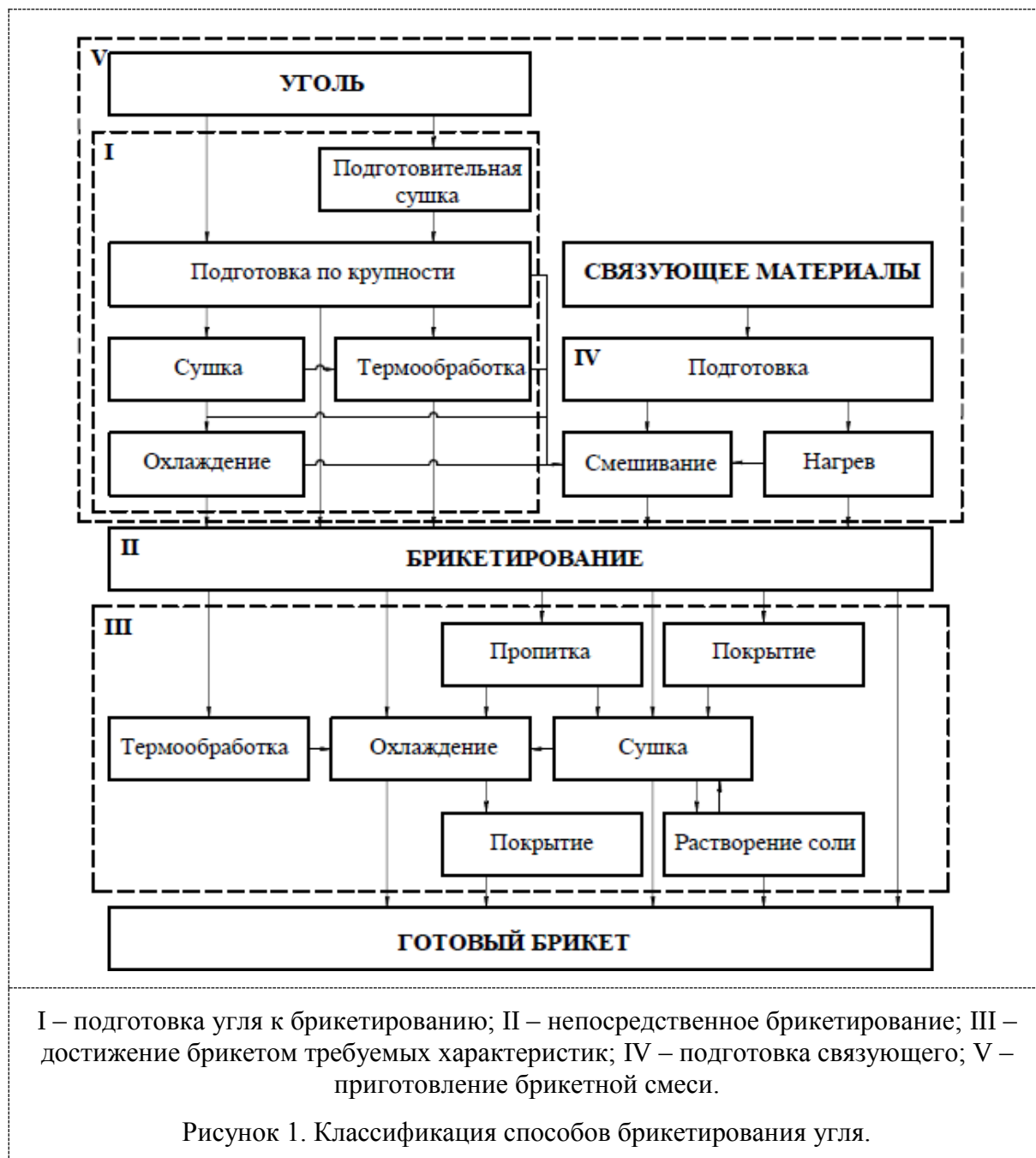
В промышленности все чаще поднимается вопрос актуальности создания брикетных производств в виде: фабрик, мобильных брикетных установок, цехов и производств модульного типа мини способных работать на местах добычи, переработки и хранения угля. А угледобывающие предприятия рассматривают варианты проектов создания брикетного производства в условиях угольных разрезов или в местах максимально приближенным к ним [1-3]. Брикетированию подвергаются фактически все марки ископаемого угля, и ввиду различия своих физико-химических свойств, требуют разных подходов при структурообразовании брикетов. Это послужило усилению развития технологии брикетирования угля и разработке огромного количества новых способов и средств, направленных на получение данного вида ресурса.

2. Методы

Методы исследования включают поиск, накопление, систематизацию, анализ и обобщение ранее выполненных исследований по вопросу технологии брикетирования угля и использованию ее в условиях максимально приближенных к забою; патентно-информационные и теоретические исследования.

3. Результаты исследования и их анализ

Для оценки современного состояния вопроса брикетирования угля и возможной разработки новых технологий и средств, предпринята попытка структурирования способов получения угольных брикетов, представленная на рисунке 1.



Существующие способы брикетирования угля делятся на две группы: брикетирование без внесения связующих веществ и брикетирование со связующими и добавками [4].

Процесс получения угольного брикета без применения связующих складывается из трех основных частей – подготовки угля к брикетированию (I), непосредственного брикетирования (формирования брикета) (II) и достижения брикетом требуемых характеристик (III) (рис. 1).

Отличительной особенностью технологии брикетирования угля со связующими материалами является использование брикетной смеси, получаемой посредством смешивания предварительно подготовленной мелкой фракции угля и связующих материалов. (I+IV, рис. 1).

1. Основные этапы процесса брикетирования.

В большинстве разработанных способов брикетирования угля первой технологической операцией (рис. 1) процесса получения угольного брикета является подготовка угольного сырья по крупности, заключающаяся в измельчении и классификации сырья до достижения требуемых значений крупности угольных частиц.

Подготовка угля по крупности может осуществляться как в одну, так и в несколько стадий [5], также существуют способы, в которых перед дроблением уголь, подлежащий брикетированию, предварительно сушится.

В последнее время, при разработке способов брикетирования угля, большое внимание уделяется активации измельчением [6]. По утверждению авторов данная подготовка угля перед брикетированием позволяет получить механически прочные брикеты при комнатной температуре прессования, снижая при этом энергетические затраты.

Второй технологической операцией в большинстве способов брикетирования является сушка и (или) термообработка угля. Часто процессы сушки и термообработки угля проводят одновременно.

Сушка угля проводится для достижения оптимальной влажности брикетируемого угля, и в зависимости от способа и свойств исходного сырья может, осуществляется за счет теплового воздействия пара, газа (воздух и дымовые газы), их комбинации, а так же в вакууме или инертной атмосфере [7].

Наибольшее распространение нашли способы брикетирования угля с использованием паровой и газовой сушки угля. Паровую сушку угля осуществляют в барабанных трубчатых и тарельчатых сушилках, а газовую – в трубах-сушилках, барабанных сушилках, «Кипящего слоя» или системе вихревых камер.

Уголь, после сушки или минуя ее, может подвергаться термообработке или охлаждению или же отправляться непосредственно на брикетирование.

Охлаждение сухого угольного сырья обычно проводится перед брикетированием углей идущих на энергетические нужды, а если брикеты изготавливают для технологических целей, то операция охлаждения исключается. Охлаждение высушенного измельченного угля положительно влияет на механическую прочность брикетов идущих на энергетические нужды, за счет выравнивания влагоразности угля подлежащего брикетированию.

Однако в последнее время разработано огромное количество способов получения угольного брикета для энергетических и технологических целей, в которых не только не проводят охлаждение высушенного угольного сырья, но и дополнительно его подвергают термообработке, с целью активации пластических свойств брикетируемого угля или придания бездымности (малодымности) готовым брикетам [8].

Исходя из этого, в зависимости от температуры брикетируемого материала, большинство способов брикетирования углей можно разделить на две группы: горячее и холодное брикетирование.

К способам горячего брикетирования (термобрикетирувания) относятся те способы, в которых материал перед непосредственным брикетированием имеет температуру близкую к температуре перехода в пластичное состояние. Здесь связующие свойства исходного материала активируются в условиях высоких температур. В технологиях холодного брикетирования материал, во время формирования брикета, имеет температуру близкую к температуре окружающей среды или нагрет не выше 100 °С.

По мнению автора в статье [9] технология термобрикетиrowания углей предназначенная для производства бездымного угольного топлива для потребителей со слоевой системой сжигания позволяет получить термобрикеты, имеющие более высокие качественные параметры по сравнению с углем, используемым для их производства. Согласно рисунку 1, после достижения требуемых значений крупности, влажности и температуры уголь отправляется на непосредственное формирование брикета - брикетирование, которое может осуществляться за счет давления, посредством выпаривания воды из подготовленного угля и путем вибрационного воздействия на брикетируемую массу.

Давление, прилагаемое брикетируемой массе, в основном создается за счет ее обжатия в замкнутом пространстве специального устройства – пресса. По создаваемому давлению брикетного пресса, способы брикетирования можно разделить на: низкого (менее 20 МПа), среднего (20-100 МПа,) высокого (100-200 МПа), сверхвысокого (200-500 МПа) давления [3]. Брикетирование могут проводить в естественных условиях, в условиях повышенных температур, в среде дымовых газов и окислительной атмосфере, в условиях пониженного давления и вакуума.

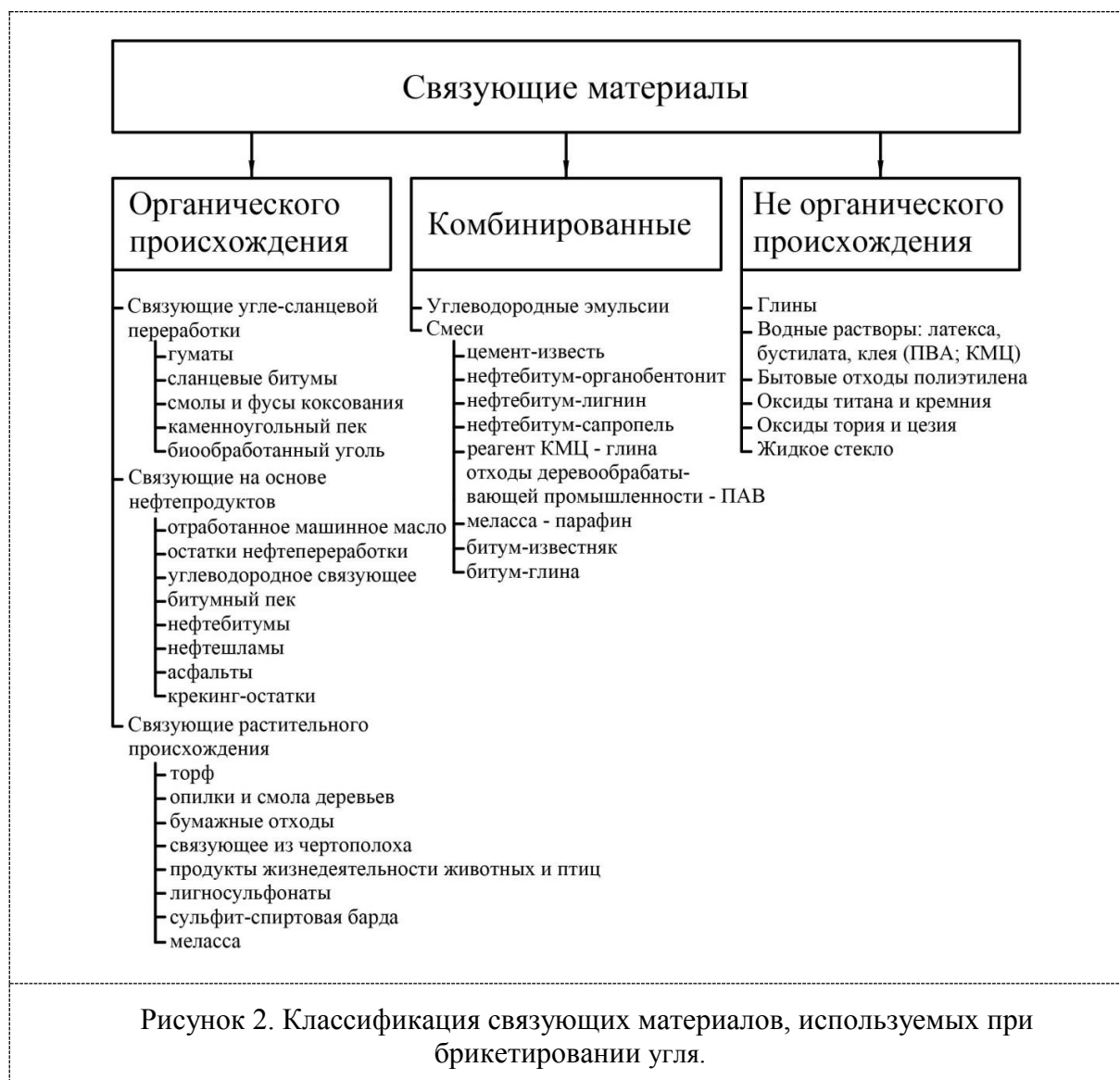
Следующим процессом в технологии брикетирования угля являются операции, направленные на достижение брикетом требуемых характеристик, таких как механическая прочность, бездымность (малодымность), восстановительная способность и др. К данным операциям можно отнести: термообработку готовых брикетов, их охлаждение и сушку с предварительными или последующими пропиткой/нанесением покрытия и др. операциями. Термообработку брикетов проводят с целью коксования, или получения бездымного/малодымного топлива осуществляют в среде дымовых газов, без доступа кислорода, в окислительной атмосфере, в слое нагретого песка. Охлаждение брикетов осуществляется для придания им необходимой механической прочности и может проводиться в естественных условиях за счет движения брикетов по охлаждающим установкам или в условиях интенсификации процесса охлаждения - за счет обдува воздухом, распыления охлаждающих жидкостей или твердым охлаждающим агентом (песком, углем подлежащим сушке и нагреву).

В промышленности разработан способ [10] получения окисдно-топливных брикетов, в котором обработка готовых брикетов заключается в растворении соли входящей в состав брикетной массы в воде, с повторной просушкой брикетов. После полного растворения соли в брикетах образуются поры, позволяющие увеличить восстановительную способность готовых брикетов. В качестве способов по повышению влагоустойчивости брикетов применяется пропитка брикетов различными гидрофобизаторами – нефтью и продуктами ее переработки, ламинирование брикетов. При получении брикета со связующими веществами к предварительно подготовленной мелкой фракции угля добавляют материалы, обладающие связующими свойствами, и производят смешивание полученной массы. Смешивание компонентов брикетной смеси, может осуществляться несколькими способами: в паровых, вихревых и шнековых смесителях, дезинтеграторах, роторно-кавитационном аппарате. Процесс смешивания брикетируемого угля со связующими материалами может осуществляться в естественных условиях или в условиях повышенных температур и нагрева.

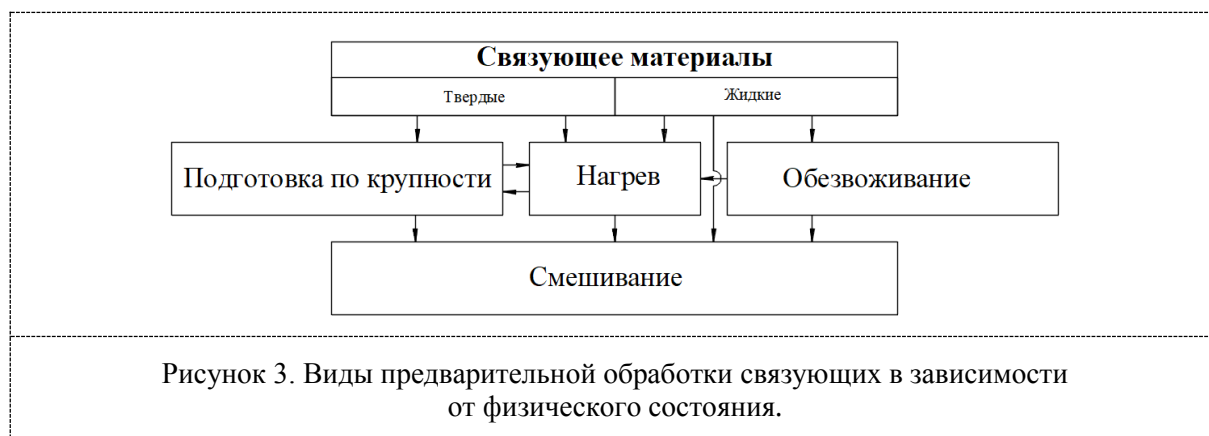
2. Связующие вещества для брикетирования

В настоящее время, в качестве связующих веществ при брикетировании угля используются органические и неорганические вещества или их комбинация [7].

Классификация связующих веществ используемых при брикетировании угля показана на рисунке 2.



Перед смешиванием связующего материала с брикетируемым углем проводят его подготовку, основные виды которой показаны на рисунке 3.



Подготовка связующего материала осуществляется в зависимости от его физического состояния.

При использовании твердых связующих веществ их могут подвергать подготовке по крупности, нагреву или проводить эти операции комплексно.

Подготовка связующего по крупности может осуществляться в одну или несколько стадий, степень измельчения материала, обусловлена его физическими свойствами и технологическими параметрами используемого способа брикетирования.

Нагрев твердого связующего производят с целью расплавления или сушки.

Жидкие связующие, при подготовке к брикетированию, подвергают обезвоживанию, нагреву или проводят эти операции комплексно.

Часто связующие вещества подвергают модификации путем добавления в них различных компонентов, что приводит к улучшению физико-механических свойств получаемых брикетов.

4. Заключение

Проведенный анализ существующих способов брикетирования показал, что основными характеристиками угольного брикета, отвечающими современным потребностям промышленности, как энергетической, так и металлургической, являются малодымность (бездымность), механическая прочность и возможность длительного сохранения брикетом своих свойств как при использовании, так и во время транспортировки и хранения.

Кроме того многообразие представленных способов брикетирования угля позволяет сделать вывод о том, что в промышленности до сих пор нет разработанной универсальной технологии позволяющей, получать брикеты из широкой гаммы углей на одной технологической линии.

Наиболее рациональными способами брикетирования угля являются технологии, относящиеся к группе способов получения брикетов в которых осуществляется без применения связующих материалов, т.к. исключаются работы по подготовке связующих веществ и смешивания угля с ними.

Совмещение процессов сушки и термообработки угля позволит получать нужные характеристики брикета с меньшим количеством проведенных технологических операций. Нагрев угля при этом рациональнее всего производить дымовыми газами, получаемыми в результате сжигания угля идущего на брикетирование, что позволит сократить использование в процессе брикетирования угля и других ресурсов, таких как пар и электроэнергия.

Брикетирование угля в месте наиболее приближенному к добывающему забою, позволит добиться сокращения потерь при его транспортировке, перевалки и хранения, что ведет к минимизации вреда экологии; снизить транспортные, энергетические и другие расходы процесса брикетирования угля; формировать и сохранять стабильные качественные характеристики готового продукта.

Библиографический список

- [1] Федоров А.В. 2013 ОАО «СУЭК-Красноярск»: миллионы тонн «черного золота» УГОЛЬ №8, 2013, С. 12-14.
- [2] Новиков М.В. 2005 Вопросы организации и перспективы развития углебрикетного производства в республике Саха (Якутия). Пути решения актуальных проблем добычи и переработки полезных ископаемых Южной Якутии (Сб. материалов Прес. научно-практич. конф. (Нерюнгри, 19-21 октября 2004г.) Якутск: Изд-во Якутского госуниверситета, 2005 С. 310-316.
- [3] Шувалов ЮВ, Тарасов ЮД, Никулин АН 2011 Обоснование рациональных технологий получения топливно-энергетического сырья на основе твердых горючих углеродосодержащих отходов. ГИАБ 08, 2011 С. 243-247.

- [4] Елишевич А.Т. 1989 Брикетирование полезных ископаемых. (М.: Недра).
- [5] Pat. № 102010053593 German. Binderless briquetting of hard brown coal, bituminous coal and similar coals comprises processing raw coal, drying raw coal, treating dry coal, briquetting and treating briquette., МПК C10L5/08 ; заявители Steidl Rudolf, Minyan Fu; патентообладатель ZEMAG MASCHB GMBH, опублик.: 14.06.2012 [Электронный ресурс] Режим доступа: https://ru.espacenet.com/publicationDetails/biblio?FT=D&date=20120614&DB=&locale=ru_RU&CC=DE&NR=102010053593A1&KC=A1&ND=4
- [6] Никишанин М.С., Загруднинов Р.Ш, Сеначин П.К. 2016 Брикетирование местных топлив и отходов для систем энергообеспечения в сельской местности ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 1 2016 С. 88-95.
- [7] Патент № 2332 443 Российская Федерация. Способ брикетирования (варианты) МПК C10L 5/08 (2006.01) Кларк Кит Норман, КалбДжорж Вильям, Комарек Ричард, Микинз Росс Лоренс, Пирсон Артур Клайв. Опублик. 27.08.2008, Бюл № 24.
- [8] Волковский ГБ, Гранин ИВ. 2012 Экономическая эффективность производства и потребления кускового угольного топлива (термобрикетов) в коммунально-бытовом секторе. ГИАБ 10 2012.
- [9] Щадов В.М. 2007 Переработка углей в России в XXI веке. «УГОЛЬ №8 2007С. 28-31.
- [10] Патент № 2485172 Российская Федерация. Способ получения окисно-топливных брикетов. МПК C10L 5/48; C10L 5/26; C10L 5/06; C10L 5/12 (2006.01).
- Селянин И.Ф., Мочалов С.П., Подоликов Я.К., Марченко В.А., Феокистов А. В., Бедарев С.А., Прохоренко А.В., Шакиров К.М., Нохрина О.И. опублик.: 20.06.2013 Бюл. № 17.

Исследование прочностных характеристик разборного бурового инструмента фрезерного типа

Бовин К.А., Гилев А.В., Шигин А.О.

Сибирский федеральный университет, Россия

E-mail kocst.91@mail.ru, anatoliy.gilev@gmail.com, shigin27@rambler.ru.

Аннотация. Буровой инструмент является самым ответственным и высоконагружаемым элементом бурового става, от которого в большой степени зависит эффективность бурения взрывных скважин. Для совершенствования конструкций разборных буровых инструментов (РБИ) необходима полная информация о нагрузках, действующих на основные элементы долот. В работе исследовано напряженно-деформированное состояние (НДС) разборного режуще-вращательного долота с зубчато-дисковыми фрезами (ДРДФ-244,5-2) с использованием конечно-элементных технологий моделирования в программной среде ANSYS. Расчеты выполнены при условии максимальных нагрузок, действующих на долото со стороны бурового станка и забоя скважины, и неравномерного их распределения по элементам долота. Представлены результаты распределений полей эквивалентных напряжений, возникающих в корпусе долота, осях вращения и зубчато-дисковых фрезах с двухрядным твердосплавным вооружением. Дан анализ работоспособности долота при различных условиях эксплуатации.

1. Введение

Буровой инструмент является самым ответственным и высоконагружаемым элементом бурового става, от которого зависит эффективность процесса бурения взрывных скважин.

Для совершенствования конструкций разборных буровых инструментов режуще-вращательного типа необходима полная информация о напряженном состоянии его основных элементов.

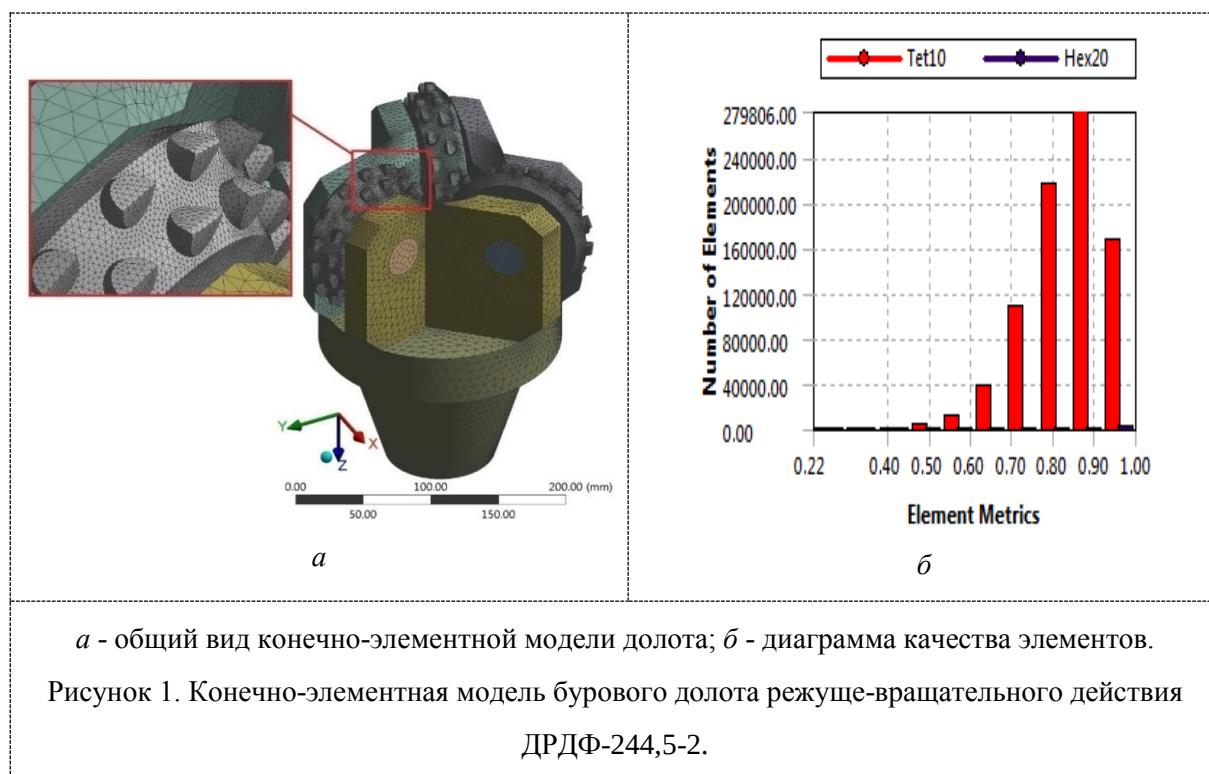
Напряженно-деформированное состояние (НДС) бурового инструмента характеризуется рядом факторов, основными из которых являются его конструктивные особенности и действующие на него нагрузки [1-2].

Характер распределения и восприятия нагрузки во многом зависит от формы вооружения породоразрушающих элементов долот (в нашем случае зубчато-дисковых фрез), которое выбирается в зависимости от типа долота и свойств горных пород [3-5].

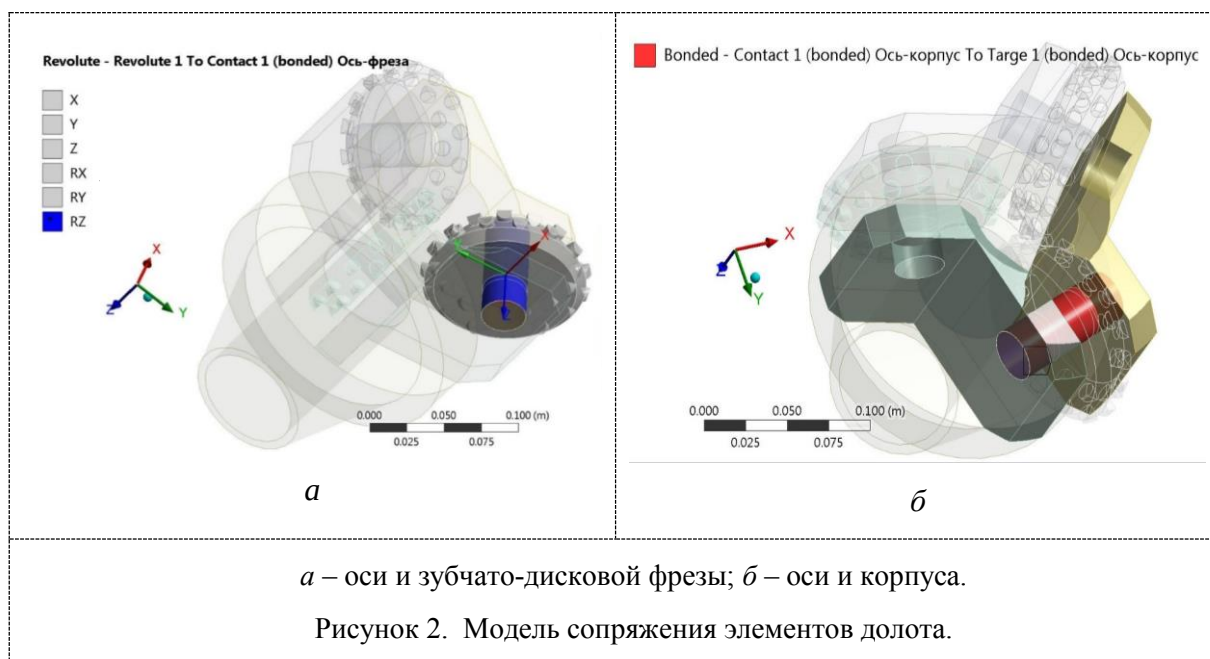
Несмотря на многообразие типов и видов буровых инструментов, в достаточной мере напряженное состояние изучено только для конструкций шарошечных долот. Поэтому важное значение имеет исследование прочностных свойств режуще-вращательных буровых инструментов с многорядным вооружением, которые с успехом могут заменять серийно изготавливаемые шарошечные долота при бурении взрывных скважин в горных породах с коэффициентом крепости $f=6-8$ по М.М. Протодяконову с пропластками до $f=10$ [6].

2. Материалы и методы

Прочностные расчеты долота режуще-вращательного типа с многорядным вооружением выполнены с использованием конечно-элементных технологий моделирования в программной среде ANSYS при условии максимальных усилий и моментов ($P_{oc}=400\text{кН}$, $M_{вр}=4,2\text{ кНм}$), создаваемых буровыми станками, а также их неравномерного распределения по элементам долота при взаимодействии с забоем скважины. На рисунке 1а, представлена конечно-элементная (КЭ) модель бурового долота. Основные элементы этой модели состоят из десяти узловых тетраэдров, а оси сформированы 20-ти узловыми гексоганальными элементами.

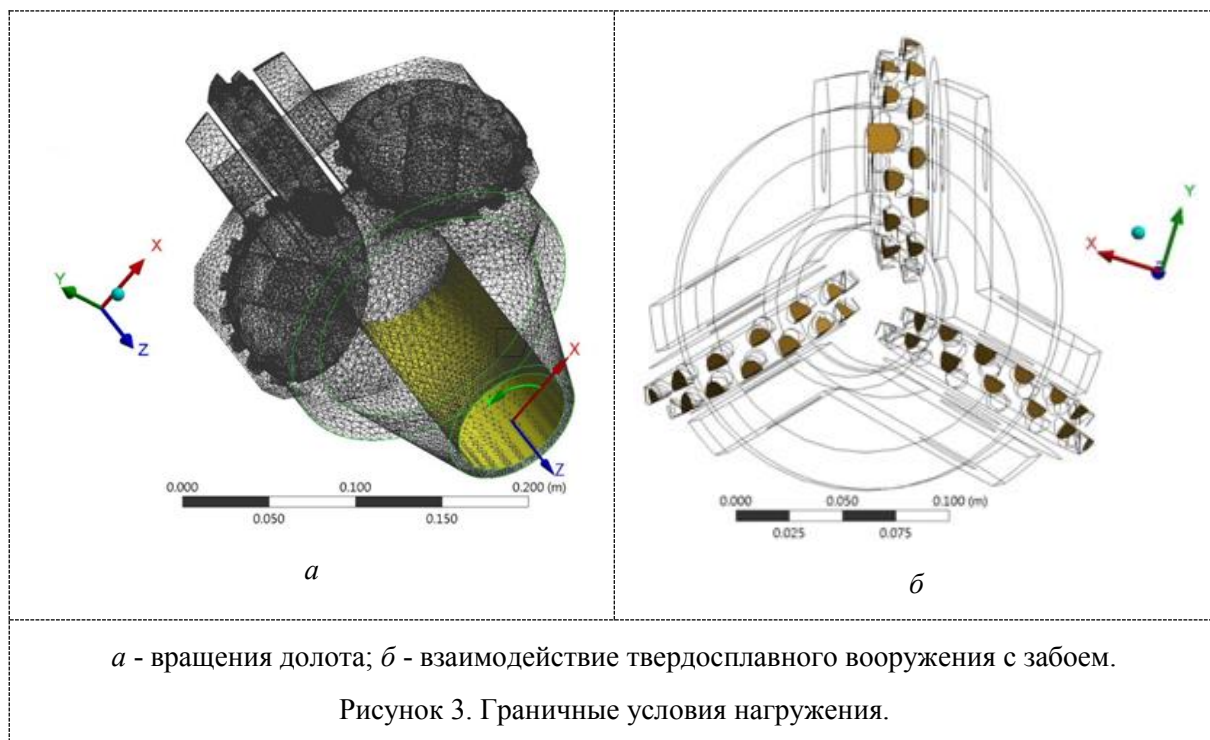


На рисунке 1б представлена диаграмма качества элементов, позволяющая оценить состояние модели и выявить количество ее элементов, не пригодных для расчета [7-8]. В нашем случае, количество элементов низкого качества составляет 0,03% от общего количества элементов модели (823729), что говорит о допуске модели к расчету.



По условию задачи зубчато-дисковая фреза свободно вращается на оси. Для моделирования данного условия в программной среде выбрана функция Joint типа Revolute [7]. На рисунке 2а приведена модель сопряжения оси с одной из зубчато-дисковых фрез. Для предотвращения движения самих фрез между поверхностями осей и корпуса (рис. 2б) использована функция Bonded [8].

При детальном моделировании нагружения зубчато-дисковых фрез, имеющих многорядное вооружение, необходимым условием является установка ограничения перемещения зубьев каждой зубчато-дисковой фрезы. Учитывая данные работы [9], на рисунке 3 приведены граничные условия моделирования работы зубчато-дисковых фрез.



Для изготовления элементов долота применяли следующие материалы: корпус выполнен из стали 35ХМЛ, оси вращения – из стали 40Х, зубчато-дисковые фрезы – 40ХН2, вооружение фрез – металлокерамический твердый сплав ВК8В. Свойства данных материалов [10] приведены в таблице 1.

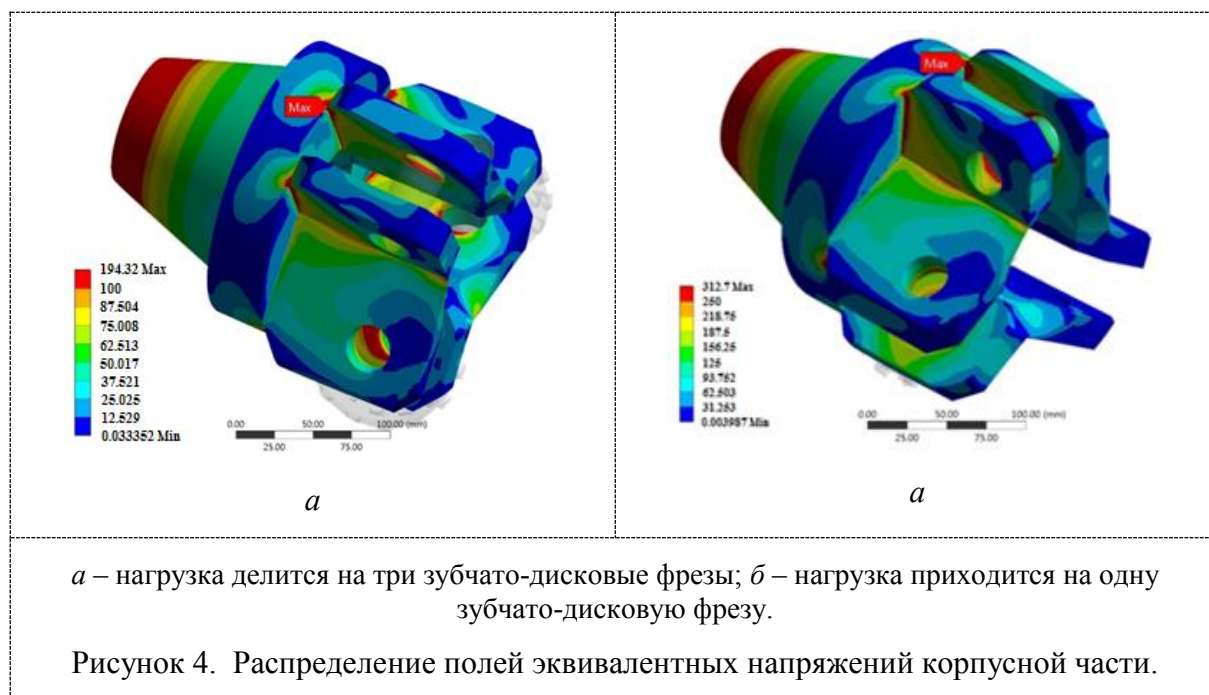
Таблица 1 – Свойства материалов, применяемых для изготовления долота.

Свойства	Материал		
	<i>Корпус</i>	<i>Оси</i>	<i>Фрезы</i>
	Сталь 35ХМЛ	Сталь 40Х	Сталь 40ХН2
Предел текучести, МПа	392	780	930
Предел кратковременной прочности, МПа	589	980	1080
Модуль упругости, МПа	$2,13 \cdot 10^5$	$2,14 \cdot 10^5$	$2,15 \cdot 10^5$
Коэффициент Пуассона	0,25	0,26	0,26

Исследования прочностных свойств буровых инструментов [11-12] показали, что большая часть нагрузки, передаваемой от бурового става к долоту в период его работы (учитывая постоянное изменение характеристик забоя скважины - наличие сплошностей, неровностей, трещин и др.), может передаваться на забой через три, две, а в некоторых случаях и один породоразрушающий элемент. В результате этого возникает неравномерное распределение нагрузки по элементам бурового инструмента. Исходя из этого, для исследования прочностных характеристик разборного бурового инструмента режуще-вращательного действия с многорядным вооружением, достаточным будет смоделировать два случая нагружения долота. Первый – когда вся нагрузка равномерно распределяется на три зубчато-дисковые фрезы, второй – вся нагрузка приходится на одну зубчато-дисковую фрезу.

3. Результаты исследования и их анализ

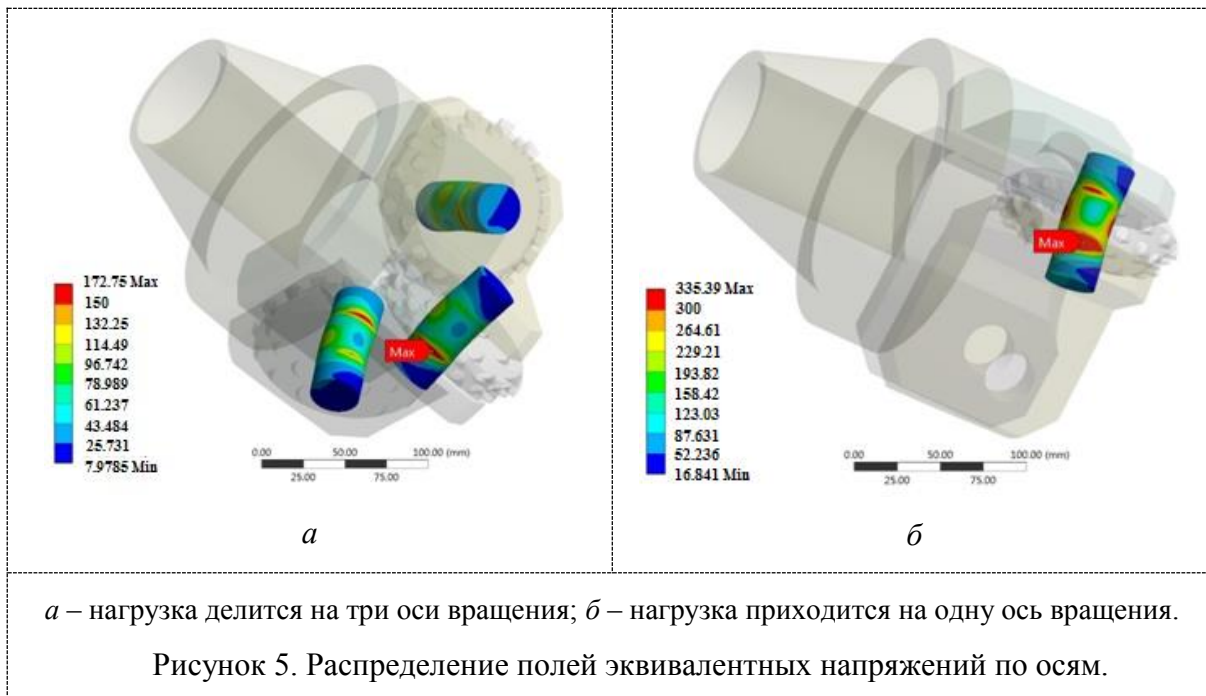
На рисунке 4 приведены поля распределения эквивалентных напряжений (по Мизесу) в корпусной части долота.



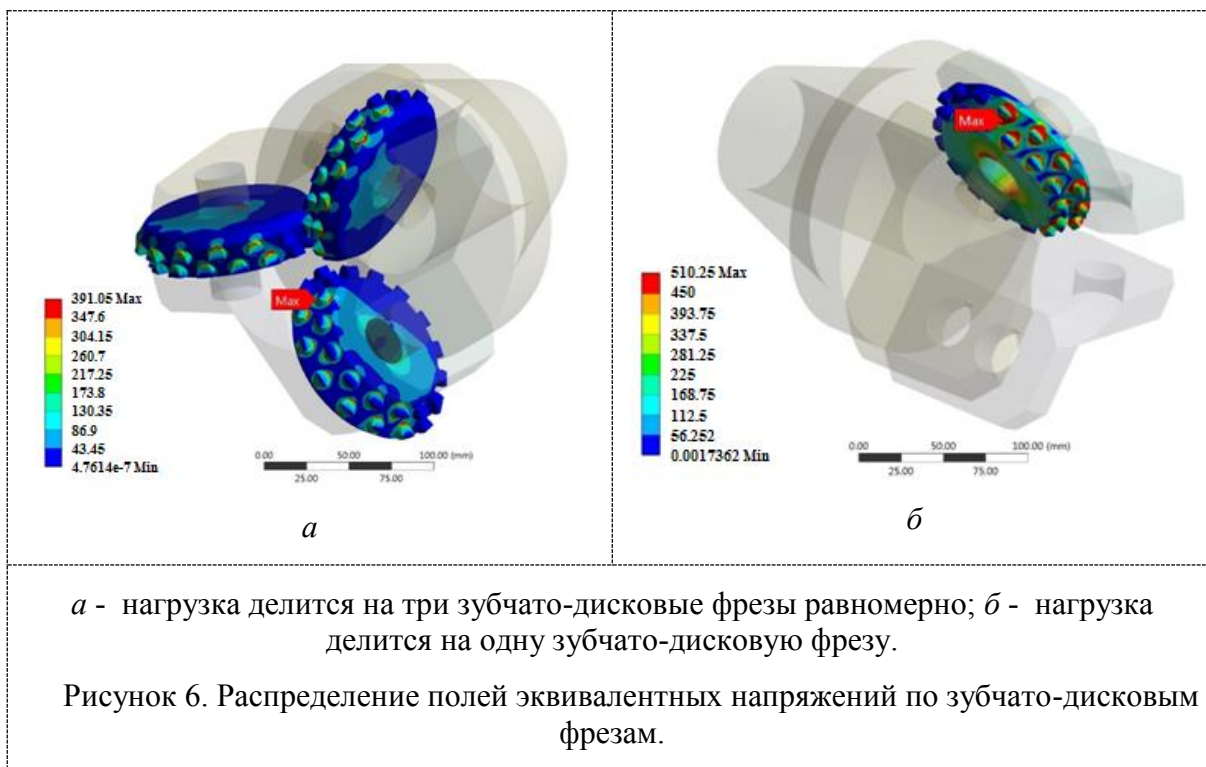
Анализ данных, представленных на рисунке 4, показывает, что распределение полей эквивалентных напряжений носит равномерный характер и не превышает 5-10 МПа. Максимальные значения действующих напряжений возникают в местах соединения корпуса с лапами и составляют 194,32 и 312,7 МПа для первого и второго случаев нагружения

соответственно, что не превышает предел текучести (σ_T) и предел кратковременной прочности материала (σ_B), из которого изготовлен корпус (таблица 1).

На рисунке 5 приведены поля распределения эквивалентных напряжений (по Мизесу) по осям вращения породоразрушающих элементов.



На рисунке 6 приведены поля распределения эквивалентных напряжений (по Мизесу) в зубчато-дисковых фрезах с многорядным вооружением.



По данным, представленным на рисунке 5 и рисунке 6, можно сделать выводы, аналогичные рисунку 4. Максимальные напряжения в конструкции осей возникают в областях их

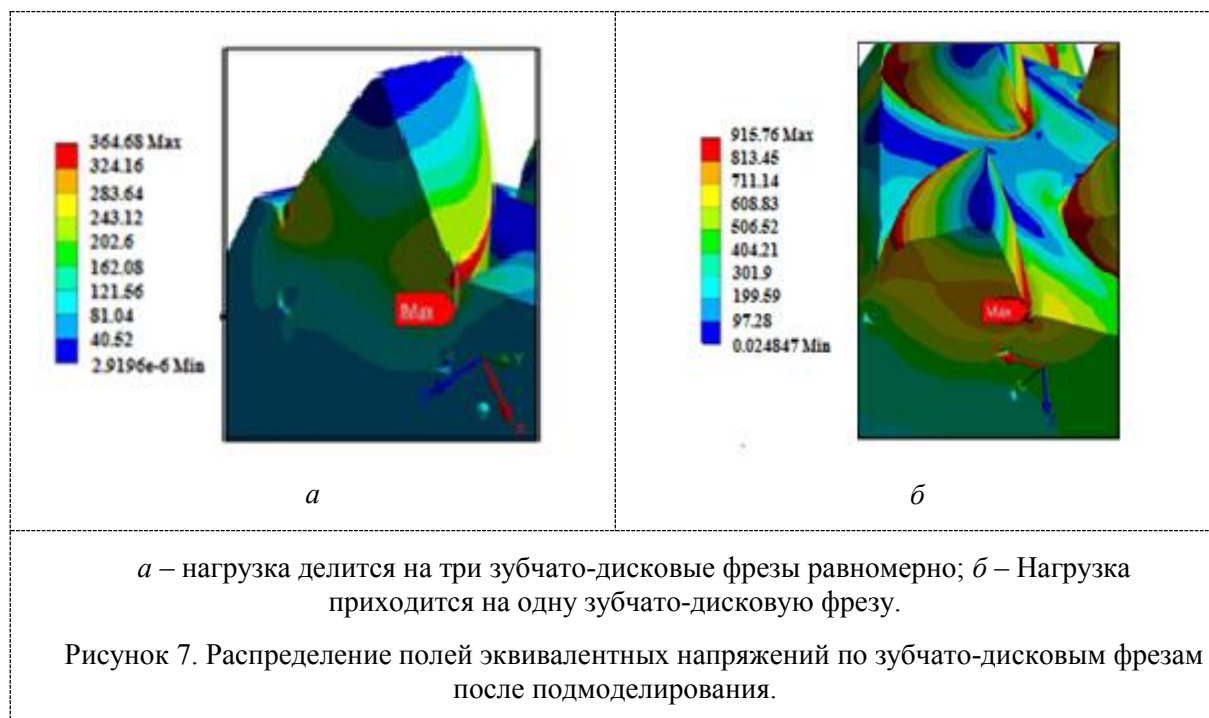
примыкания к корпусу, номинальные значения которых составляют 172,76 и 335,29 МПа для первого и второго случаев нагружения. Максимальные напряжения в конструкции зубчато-дисковых фрез возникают в местах крепления зубьев в теле фрезы, номинальные значения которых составляют 391,6 и 510,25 МПа для первого и второго случаев нагружения соответственно. При этом максимальные значения действующих напряжений не превышают σ_t и σ_v материала, из которых изготовлены оси и зубчато-дисковые фрезы.

4. Обсуждение

При построении КЭ модели режуще-вращательного долота фрезерного типа допущены следующие упрощения. При моделировании корпуса долота не учтены скругления и фаски (например, в месте соединения корпуса и лап), позволяющие снизить уровень концентрации напряжений на 5-15%.

При моделировании осей вращения породоразрушающих элементов (зубчато-дисковых фрез), не учтены фаски в областях примыкания оси и корпуса. В конструкции долота на осях вращения присутствуют шайбы, предотвращающие перекося зубчато-дисковых фрез на осях. Их дополнительный учет также повлечет за собой изменение действующих напряжений, которые не оказывают большого влияния на нагруженность долота.

При моделировании зубчато-дисковых фрез (а именно отверстий под впайку твердосплавного вооружения) не учтены скругления, что влечет за собой снижение действующих напряжений. Следует учесть тот факт, что именно долговечность твердосплавного вооружения бурового инструмента во многом определяет основные показатели эффективности бурения скважин. В свою очередь, она в большей степени определяется величиной концентрации напряжений каждого зубка в зоне его входа в тело фрезы [13]. Так, с увеличением натяга при впайке зубков возрастает концентрация напряжений, что приводит к уменьшению прочностных свойств и долговечности вооружения зубчато-дисковых фрез. С учетом данных, приведенных на рисунке 6, и выше изложенным материалом, выполнено подмоделирование зубчато-дисковых фрез, т.е. моделирование фрез путем построения уточненной их геометрии и последующего применения данных из предыдущих расчетов в качестве граничных условий. Результаты подмоделирования зубчато-дисковых фрез приведены на рисунке 7.



Анализ данных, представленных на рисунке 7, показал, что максимальные значения действующих нагрузок, как и ранее, возникают в верхней части отверстий тела фрезы под впайку твердосплавного вооружения. В первом, самом легком, случае нагружения, вся нагрузка уменьшилась на 5%, а во втором, самом тяжелом, случае нагружения увеличилась на 45-55%. Номинальные значения действующих напряжений после подмоделирования составили 164,68 и 915,76 МПа для первого и второго случаев нагружения соответственно. При этом они не превышают σ_T и σ_B материала, из которого изготовлены зубчато-дисковые фрезы (таблица 1).

5. Заключение

Представленное в работе исследование нагруженности и напряженного состояния разборного бурового инструмента фрезерного типа с многорядным вооружением (долото ДРДФ-244,5-2) позволяет сделать следующие выводы:

1. Исследуемое долото фрезерного типа выдерживает прилагаемые к нему нагрузки без возникновения участков с критическими значениями напряжений в конструкции долота, а следовательно, оно обладает достаточным запасом прочности и износостойкости.

2. Многорядное вооружение зубчато-дисковых фрез, расширяет область рациональной эксплуатации долота фрезерного типа в сложноструктурных породных массивах с коэффициентом крепости по шкале проф. М.М. Протодяконова с $f=6-8$ до $f=8-10$ с пропластками до $f=12$ и не приводит к ослаблению конструкции зубчато-дисковых фрез, а также не вызывает возникновения напряжений, превышающих допустимые значения для материала, из которого они изготовлены.

Благодарности

Статья подготовлена в рамках исследования, выполняемого при финансовой поддержке Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - докторов наук МД-2211.2018.8.

Библиографический список

- [1] Зубов В.В. и Хазин М.Л. 2015. Повышение износостойкости твердосплавного бурового инструмента. *Горный информ.- аналит. бюл.* 6. С. 168-170.
- [2] Dhanraj Patel, Rajesh Verma. 2015. Analysis of drilling tool life – a review. *International journal of Mechanical Engineering and Robotics Research.* 4. P. 329-359.
- [3] Петровский Э.А., Данилов А.К., Соловьев Е.А., Бухтояров В.В. и Привалихин Р.С. (2015). Проектирование высокоэффективного бурового инструмента. *Актуальные проблемы в машиностроении.* 2. С.304-308.
- [4] Pawar P., Ballav R. and Kumar A. 2016. Finite element method broach tool drilling analysis using explicit dynamics ansys. *International journal of Modern Manufacturing Technologies.* 8(2). P. 54-60.
- [5] Гилев А.В., Шигин А.О., Доронин С.В. и Чесноков В.Т. 2010. Влияние формы вооружения на напряженное состояние бурового инструмента. *Фундаментальные исследования (Электронный материал).* 12. С.80-87.
- [6] Гилев А.В., Бовин К.А., Шигин А.О. и Белозеров И.Р. 2017. Обоснование кинематических и режимных параметров долот режуще-вращательного действия с многорядным вооружением. *Фундаментальные исследования (Электронный материал).* 1(2). С. 278-283.
- [7] Thompson M. K. and Thompson J. M. 2017. *ANSYS Mechanical APDL for Finite Element Analysis.* USA: Butterworth-Heinemann. 466 p.
- [8] Басов К.А. 2016. *ANSYS для конструкторов.* Москва: ДМК-Пресс. 241 с.

- [9] Бовин К.А. и Гилев А.В. 2017. Обоснование рациональных режимных параметров бурения горных пород долотами режуще-вращательного действия// Известия высших учебных заведений. *Горный журнал*. 6. С.101-108.
- [10] Драгунов Ю.Г., Зубченко А.С, Каширский Ю.В., Дегтярев А.Ф., Жаров В.В., Колосков М.М., Орлов А.С. и Скоробогатых В.Н. 2015. *Марочник сталей и сплавов*. М.: Машиностроение. 1216 с.
- [11] Шигин А.О. и Гилев А.В. 2012. К вопросу о нагрузках на породоразрушающий инструмент при бурении сложноструктурных горных пород. *Горное оборудование и электромеханика*. 6. С16-20.
- [12] Буткин В.Д. 2005. *Проектирование буровых долот для открытых горных, земляных и строительных работ*. М: МаксПресс. 304 с.
- [13] Сериков Д.Ю. 2017. Пути повышения надежности крепления твердосплавных зубков в теле шарошки. *Сфера. Нефть и газ*. 2. С.10-18.

Оптимизация использования автомобильного транспорта на россыпных месторождениях

Бочкарев Ю.С., Викулов М.А.

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Россия

E-mail gormashygu@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены вопросы работоспособности автосамосвалов БелАЗ-7540 на россыпных месторождениях Севера на примере анализа их работы на прииске «Маят» АО «Алмазы Анабара». Произведен анализ статистического материала, по результатам которого установлены характер влияния температуры окружающего воздуха на работоспособность, системы лимитирующие надежность автосамосвалов, уровень эффективности их использования. Предложена методика корректировки сроков технического обслуживания и ремонта повышающая эффективность использования автосамосвалов.

1. Введение

Принимая во внимание, что в последнее десятилетие наблюдается увеличение объемов добычи полезных ископаемых за счет прироста количества россыпных месторождений, климат которых характеризуется экстремальными условиями, где транспортирование горной массы производится преимущественно карьерными автосамосвалами выпускаемым компанией ОАО «БелАЗ» необходимо подчеркнуть, что аспектам эксплуатации и изучению надежности автосамосвалов модели БелАЗ-7540 исследователями не уделено достаточного внимания.

Технологический транспорт является важным звеном при производстве горных работ, от работоспособности которого зависит производственная мощность предприятия и стабильность сопутствующих технологических процессов связанных с переработкой минерального сырья.

Эксплуатация горнотранспортной техники в экстремальных природно-климатических условиях показывает, что число отказов деталей и узлов машин увеличивается, а наработка на отказ снижается в 2-3 раза.

Поэтому исследования, направленные на определение уровня работоспособности и установление факторов влияющих на нее с целью разработки мероприятий,

повышающих эффективность использования автосамосвалов в условиях россыпных месторождений Севера, является актуальной научно-практической задачей.

2. Материалы и методы

Для установления показателей характеризующих работоспособность автосамосвалов БелАЗ-7540 была использована статистическая информация, полученная с гаражных листов с начала эксплуатации и записей из отчетов о выполненных горнотранспортных работах, которые впоследствии были сведены в формы учета отказов по системам. Была взята информация за периоды работы автосамосвалов, по которым имелась полная информация об отказах, достаточная для проведения исследования.

При исследовании были использованы анализ и обобщение опубликованных ранее работ в области надежности горных машин, статистический и регрессионный анализ, математическое моделирование методом косинор-анализа.

3. Результаты исследования и их анализ

Как показывают исследования [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7] в области надежности карьерной техники Севера при низких температурах окружающего воздуха и больших амплитудах колебаний температуры в течение короткого времени число отказов возрастает в 2-3 раза, что приводит к снижению работоспособности.

На рисунке 1 приведена гистограмма распределения числа отказов по системам автосамосвалов БелАЗ-7540. Лимитирующими работоспособность являются, следующие системы: подвеска, силовая установка, ведущий мост, колеса и шины, на долю которых приходится более половины отказов.



Для установления характера и степени влияния условий эксплуатации на работоспособность автосамосвалов БелАЗ-7540 был определен параметр потока отказов. Результаты расчета приведены на рисунке 2 в виде графика. На приведенном графике видно, что в холодное время года число отказов исследованных автосамосвалов возрастает. Увеличение параметра потока отказов свидетельствует о существенном влиянии условий эксплуатации на работоспособность автосамосвалов.

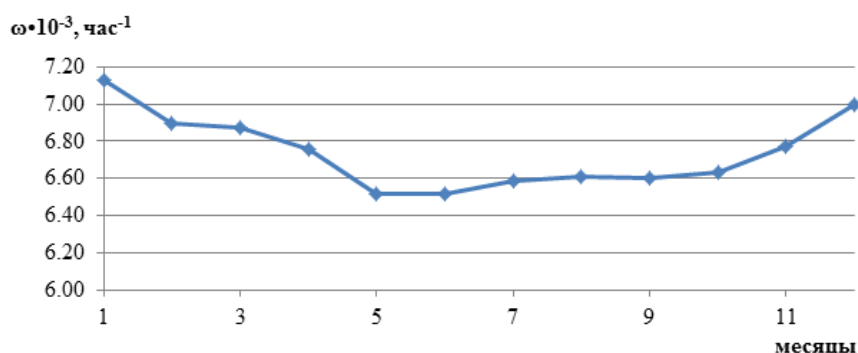


Рисунок 2. Изменение параметра потока исследованных автосамосвалов отказов в течение года.

На рисунке 3 приведена зависимость числа отказов от температуры окружающего воздуха. Названная зависимость носит линейный характер (коэффициент корреляции равен 0,85). Видно, что при низких температурах — 30°...40°С число отказов увеличивается в 2-3 раза по сравнению с отказами при температурах близких к 0°С.

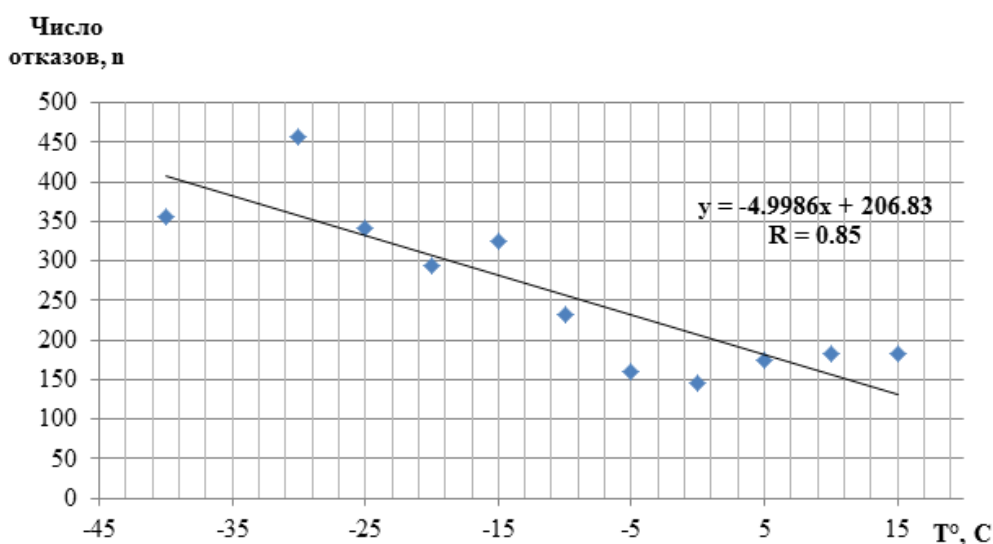
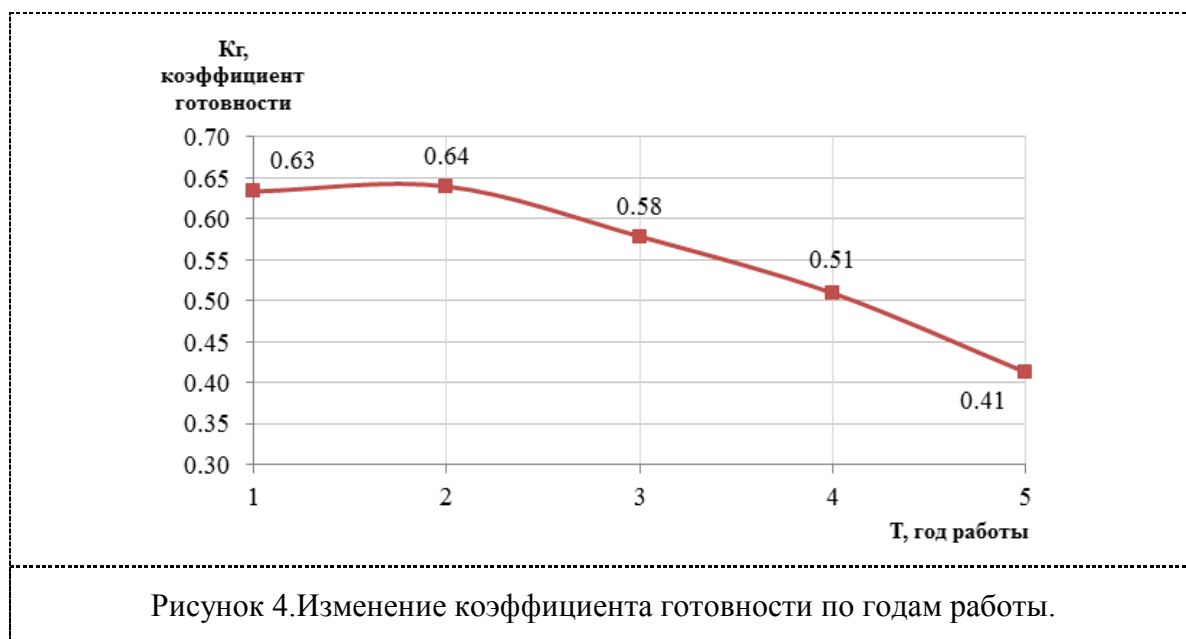


Рисунок 3. Зависимость числа отказов от температуры окружающего воздуха.

Представление коэффициента готовности на графике в динамике отражает процесс эксплуатации и показывает эффективность эксплуатации, что, и отражено на рисунке 4 ниже. На приведенном графике коэффициент готовности постепенно снижается, что свидетельствует о неэффективной эксплуатации автосамосвалов.

В ходе исследования установлено, следующее: температура окружающего воздуха оказывает существенное влияние на работоспособность, выявлены системы лимитирующие надежность автосамосвалов БелАЗ-7540, снижающийся коэффициент готовности свидетельствует о неэффективной эксплуатации.



4. Обсуждение

Управление работоспособностью машин происходит через системы технического обслуживания и ремонта. Задачей систем технического обслуживания и ремонта является предупреждение отказов через своевременное устранение возникающих неисправностей.

Системой планово-предупредительных ремонтов предусмотрено поэтапное обслуживание машины в течение всего года. Основными мероприятиями по обслуживанию для автосамосвалов БелАЗ для поддержания их в работоспособном состоянии являются ежедневное, первое, второе, третье техническое обслуживание, сезонное обслуживание. Для восстановления работоспособного состояния регламентированы мероприятия – текущие ремонты первый и второй плановый ремонт, капитальный ремонт.

Недостатком стандартной системы технического обслуживания и ремонта по регламенту является то, что сроки выполнения профилактических операций по техническому обслуживанию устанавливаются по «эталонным» условиям эксплуатации для идентичных машин и оборудования, т.е. назначение сроков ТО производится по нормативам для базовой машины.

Отсутствие корректировки нормативов на условия эксплуатации приводит к тому, что ресурс, как агрегатов, так и отдельных деталей используется не полностью или машина не дорабатывает до очередного технического обслуживания и не нарабатывает назначенное время.

Разработка россыпных месторождений в районах Севера связана с сезонностью, которая вызывает интенсивное использование транспортной техники в промывочный сезон, что приводит к повышенному износу узлов и деталей машин. Накопленные отказы за прошедший сезон работ не компенсируются сезонным обслуживанием и плановыми ремонтами. Они начинают проявляться в период интенсивного использования машин.

Исходя из вышеизложенного констатируем, что применяемая система технического обслуживания и ремонта не обеспечивает эффективную эксплуатацию, что обосновывает необходимость разработки системы адаптированной под условия эксплуатации. Корректировка на условия эксплуатации производится путем: изменения перечня, периодичности и трудоемкости операций по техническому обслуживанию и ремонту; включения в регламент работ, часто повторяющихся характерных для данных условий операций.

Инженерами и учеными предложено большое количество методов для определения оптимальной периодичности технических обслуживаний техники. У каждого метода есть свои преимущества и недостатки, но их применение ограничивается сложностью расчетов и необходимостью обработки больших объемов данных о работе ряда машин в конкретных условиях эксплуатации. Кроме того такие данные необходимо собирать и аккумулировать.

В работах [8, 9, 10, 11, 12, 13, 14] рассмотрены методы определения периодичности ТО, которые можно подразделить на два вида: аналитические и графические. К аналитическому виду можно отнести методы определения периодичности ТО: по допустимому значению параметра (производительность, пробег, число циклов и т.д.), по допустимому уровню безотказности, технико-экономический, экономико-вероятностный.

Использование перечисленных методов все же остается до сих пор нерешенной задачей так, как на работоспособность машин оказывает влияние ряд факторов, охватить которые практически не возможно, тем более комплексно увязать их между собой. По этой причине все они до сих пор носят рекомендательный характер.

Наиболее подходящим решением является объединение первого и второго планового ремонта, необходимых для обеспечения безотказной работы до очередного капитального ремонта с целью повышения эффективности использования, что приведет к сокращению материальных затрат. По сути, новое регламентированное мероприятие будет являться средним ремонтом, обеспечивающим работоспособность до капитального ремонта.

Периодичность проведения технического обслуживания и ремонта предлагается назначать с учетом корректирующего коэффициента, который определяется по следующему выражению:

$$K_6 = \omega_{ум} \times (\omega_{хол})^{-1} \quad (1)$$

где $\omega_{ум} = N_{ум} \times (T_1)^{-1}$, $\omega_{хол} = N_{хол} \times (T_2)^{-1}$ – параметр потока отказов в умеренное и холодное время года, $N_{ум}$, $N_{хол}$ – число прогнозируемых отказов за «умеренный» и «холодный» период времени года по методу приведенному в [15], T_1 , T_2 – планируемая наработка в «умеренный» и «холодный» период времени года.

К «умеренному» периоду времени года отнесены месяцы с мая по сентябрь, оставшиеся месяцы составляют «холодное» время. Планируемые наработки исследованных автосамосвалов приняты в соответствии с информацией, имеющейся в источниках по горно-эксплуатационным работам и равны следующим значениям $T_1 = 255000$ часов, $T_2 = 165000$ часов. Корректировочный коэффициент равняется $K_6 = 0.86$ при расчете по принятым значениям наработок.

Назначенная периодичность по видам технического обслуживания и ремонта с применением корректировочного коэффициента, полученному по выражению 1 приведена в таблице 1.

Таблица 1. Периодичность проведения технического обслуживания и ремонта

Вид работ	стандартная (час)	предлагаемая (час)
ТО-1	250	215
ТО-2	500	430
ТО-3	1 000	860
ПР-1	5 000	4730
ПР-2	8 000	
КР	11 000	9480

Уменьшение периодичности снизит количество аварийных отказов, что также отмечено в работах [2, 3, 5, 6, 7]

Повышение эффективности использования достигается так же путем увеличения трудоемкости работ по техническому обслуживанию и ремонту за счет высвободившегося времени после объединения плановых ремонтов. Расчет трудоемкости выполнен без учета сезонных технических обслуживаний так, как количество данных мероприятий не изменяется, и выполняются они при подготовке к весенне-летнему и осенне-зимнему периодам эксплуатации, кроме того они совмещаются с очередным техническим обслуживанием.

Таблица 2. Трудоемкость выполнения операций ремонтного цикла

Вид работ	стандартная		предлагаемая	
	трудоемкость, (чел*час)	количество	трудоемкость, (чел*час)	количество
ТО-1	13	22	15	22
ТО-2	32	11	36	11
ТО-3	49	8	55	8
ПР-1	230	1	403	1
ПР-2	492	1		
КР	720	1	720	1
Общая трудоемкость	2 472		2 289	

Замена двух профилактических ремонтов одним сократит материальные расходы на проведение ремонтов. Предлагаемая структура ремонтных воздействий является законченным ремонтным циклом, адаптированным под условия эксплуатации.

5. Заключение

Ожидаемый эффект от внедрения предложенных мероприятий с оптимальной периодичностью технического обслуживания и ремонта за счет увеличения продолжительности производительной работы.

Время производительной работы определяется как разница времени между количеством времени отведенным на техническое обслуживание и ремонт по регламенту и по предложенной структуре ТО и Р:

$$T_{\text{пр.раб}} = T_{\text{рег}} - T_{\text{пред}} \quad (2)$$

где $T_{\text{рег}}$, $T_{\text{пред}}$ – общая трудоемкость выполняемых операций по техническому обслуживанию и ремонту по регламенту и по предложенной структуре соответственно, чел*час.

Ожидаемая наработка за счет увеличения времени производительной работы находится из выражения:

$$Q_{\text{доп}} = N_{\text{авто}} \times T_{\text{пр.раб}} \times Q_{\text{авто}} \quad (3)$$

где $N_{\text{авто}}$ – количество автосамосвалов, $T_{\text{пр.раб}}$ – время производительной работы, час, $Q_{\text{авто}}$ – производительность автосамосвалов, м³/ч.

Результаты расчета дополнительной ожидаемой наработки за четыре года для 10 (десяти) автосамосвалов по выражениям 2 и 3 приведены в таблице 2.

Таблица 2. Расчет дополнительной ожидаемой наработки автосамосвалов
БелАЗ-7540

Показатели	Единица измерения	Значение показателя
Количество автосамосвалов	ед	10
Ожидаемое дополнительное время производительной работы	час	183
Часовая производительность автосамосвала	м ³ /час	9
Дополнительная ожидаемая наработка	м ³	16470

Библиографический список

- [1] Ишков А М, Викулов М А 2015 *Эксплуатация горнотранспортных машин на карьерах Севера*. (М.: Форум) 144 с.
- [2] Квагинидзе В С, Водолазский А А и Коростылева В О 2003 *Показатели использования бульдозеров на золотодобывающих предприятиях Южной Якутии* (Горный информационно-аналитический бюллетень) № 3. С. 21-22
- [3] Корецкий В Б 2009 *Актуальные задачи эксплуатации горно-транспортных машин в жестких климатических условиях* (Горный информационно-аналитический бюллетень) Т.10. № 12. С. 262-277.
- [4] Махно Д Е, Шадрин А И и Авдеев А Н 2010 *Повышение надежности механического оборудования карьеров в регионах холодного климата* (Горный журнал) № 5. С. 57-60
- [5] Квагинидзе В С, Корецкая Н А 2011 *Эффективность системы технических обслуживаний и ремонтов большегрузных карьерных автосамосвалов, эксплуатирующихся в условиях Севера* (Горный информационно-аналитический бюллетень) Т.5. № 12. С. 198-217.
- [6] Андреева Л И, Ушаков Ю Ю 2016 *Исследование эксплуатационной надежности карьерных автосамосвалов* (Известия УГГУ) № 3. С. 74-77

- [7] Квагинидзе В С, Корецкая Н А, Чупейкина Н Н 2011 *К вопросу совершенствования структуры ремонтных циклов горно-транспортного оборудования* (Горный информационно-аналитический бюллетень) Т.3. № 12. С. 310-313.
- [8] Помазков М В 2016 *Эффективность технического сервиса в жизненном цикле большегрузных автосамосвалов промышленных предприятий* // (Вестник ПГТУ) №32. С. 222-231.
- [9] Матюшин В А, Рыжков А Н, Тропин А Н, Голованов В Г и Козлов Д Е 2007 *Автоматизация управления техобслуживанием и ремонтом технологического транспорта* (Горное оборудование и электромеханика) № 8. С. 18-23.
- [10] Борисов Г В, Ерофеева Л Н 2013 *Уточнение технико-экономического метода определения оптимальной периодичности технического обслуживания автомобилей* (Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева) № 4. (101). С. 37-43.
- [11] Бышов Н В, Борычев С Н, Кокорев Г Д, Успенский И А, Николотов И Н и Гусаров С Н, Панкова Е А 2013 *Методы определения рациональной периодичности контроля технического состояния тормозной системы мобильной сельскохозяйственной техники* (Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета) № 86. С. 300-311.
- [12] Макарова А Н 2014 *Уточнение периодичности технического обслуживания автомобилей в эксплуатации* (Научно-технический вестник Поволжья) №1. С. 117–120.
- [13] Лянденбургский ВВ, Грачев А В и Рыбакова Л А 2014 *Морфологический анализ методов определения периодичности технического обслуживания автомобилей* (Интернет-журнал «Науковедение») № 3. (22). С. 1-10.
- [14] ChengY 2013 *Predictive Analysis on Maintenance of Mining Dump Truck* (Applied Mechanics and Materials) V. 340. P. 848-851.
- [15] Bochkaryov Yuri S., Ishkov Alexander M. and Makhno Dmitry E. 2017 *Operating efficient of BelAZ-7540 dump trucks under conditions of North* (AER-Advances in Engineering Research) Volume 133. P. 269-273

Мониторинг движения взрыва

Гамбаль М.Ю.

Blast Movement Technologies Pty Ltd

E-mail maxim@blastmovement.com

Аннотация. В этой статье объясняется, как можно избежать сложных конструкций взрывов и повысить эффективность добычи за счет измерения движения руды, вызванного взрывом, с минимальным изменением стандартных процедур в карьере.

1. Введение

Контроль за потерями и разубоживанием руды имеет большое значение для большинства горнодобывающих операций. Заблуждение может привести к тому, что миллионы долларов в год будут потеряны. Практические примеры показывают, что если движение руды во время

взрыва не учитывается, то до 25% общего извлекаемого продукта месторождения может оказаться в виде отходов (в отвале пустой породы).

2. Обсуждение

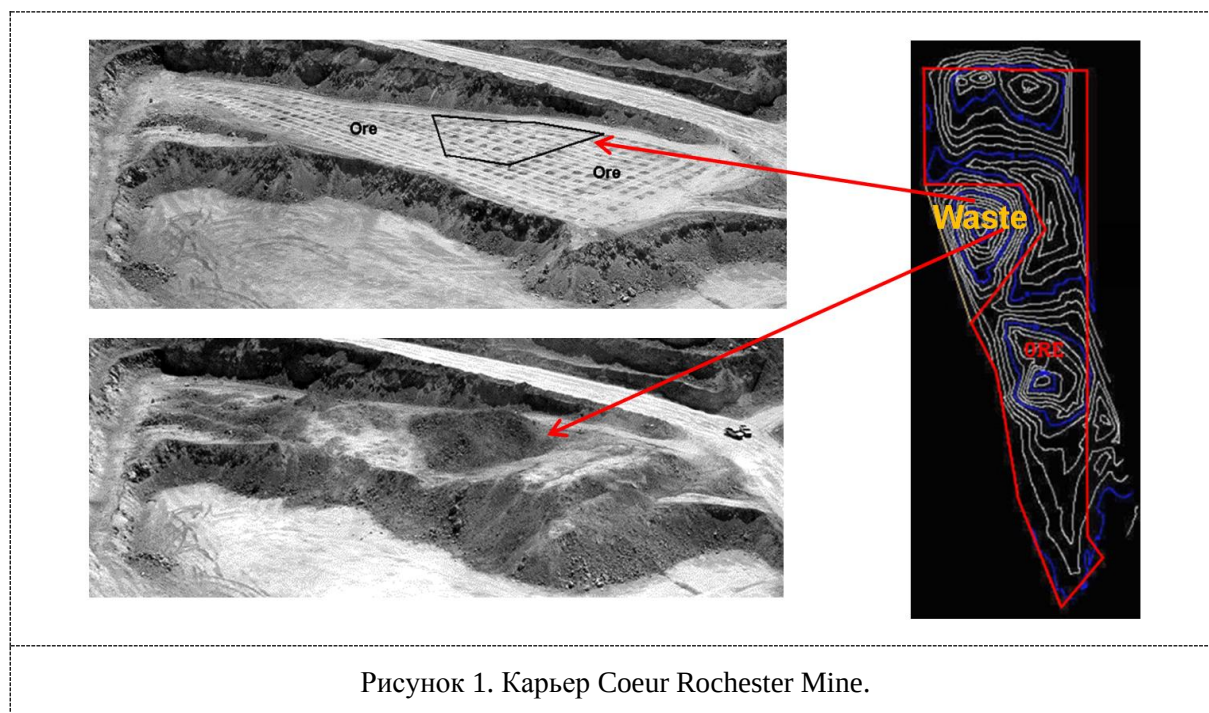
В современном мире всё больше горнодобывающие компании уделяют внимание вопросу потерь руды и разубоживания, которые появляются при проведении взрывных работ. Все мы знаем, что после взрыва происходит значительное смещение горной массы и оно не однородно по всей глубине скважины и не единообразно, т.е. каждый взрыв уникален. Данной проблемой занимаются уже более 30 лет и уже получены хорошие результаты в этом направлении. Существуют технологии с применением полипропиленовых труб – в России для удешевления применяют старые штанги от бурового инструмента или брёвна, кто-то использует краску. Также широко распространено программное обеспечение от некоторых разработчиков софта для организации буровзрывных работ – данные программные обеспечения учитывают многие параметры: от диаметра скважин, количества и типа ВМ до характеристики пород и нагрузки на буровой инструмент. Согласно модели программное обеспечение выдаёт информацию о полученном развале и прогнозируемом смещении горной массы.

В России большинство компаний даже не задумываются о данной проблеме или не уделяют достаточного внимания – при этом компании продолжают нести потери и рассчитывают увеличить прибыль компании только за счёт приобретения ещё одного бульдозера или экскаватора.

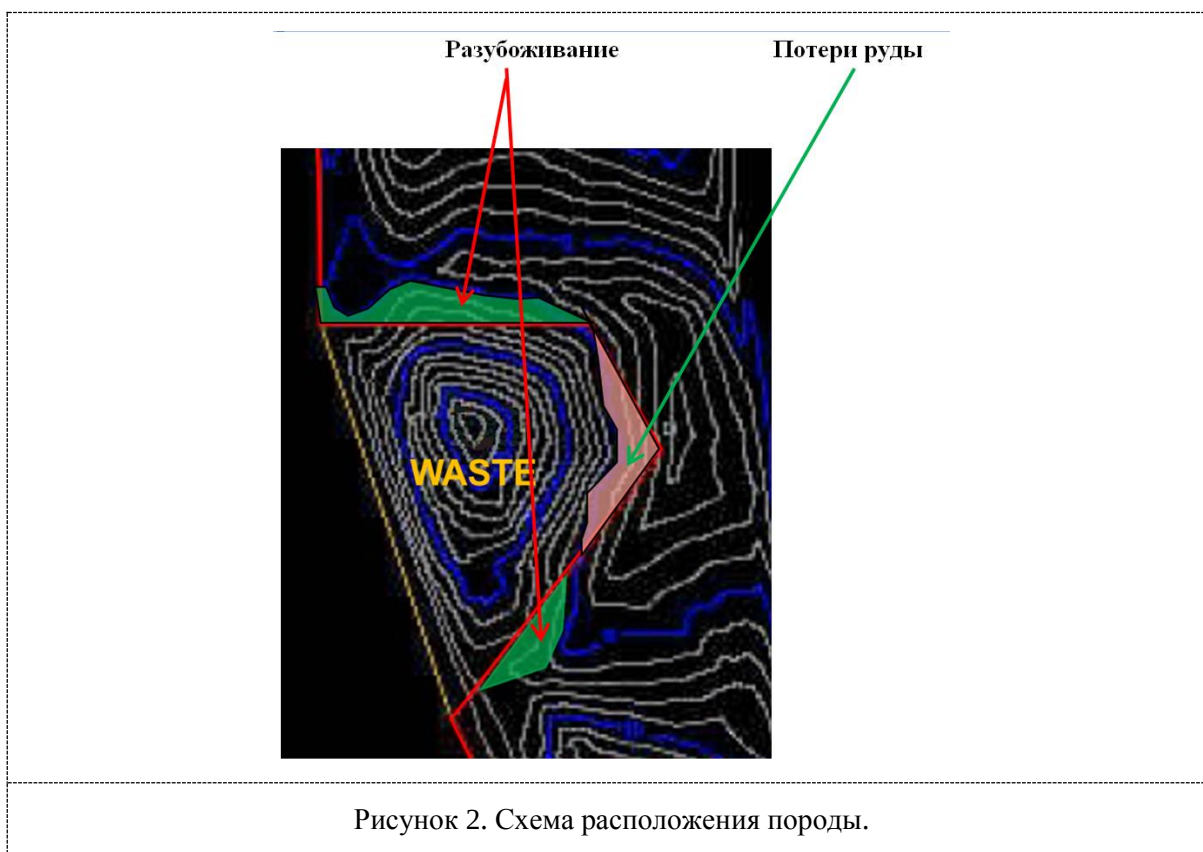
Достаточно много горнодобывающих предприятий используют Segregation Blast или разделение взрывом на своих карьерах для уменьшения потерь и разубоживания. И всегда возникают вопросы: Стоит ли усложнять конструкцию взрыва? Уверены ли мы, что данная конструкция взрыва работает для поставленной задачи?

В этой статье объясняется, как можно избежать сложных конструкций взрывов и повысить эффективность добычи за счет измерения движения руды, вызванного взрывом, с минимальным изменением стандартных процедур в карьере.

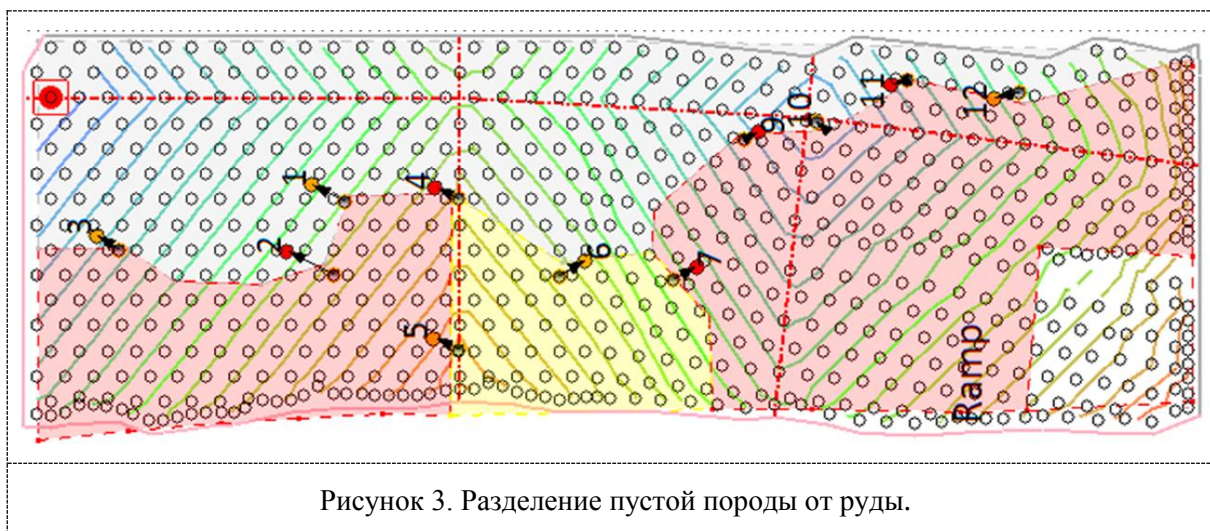
На рис.1. представлены фото и контурная карта с карьера Coeur Rochester Mine. Применяя конструкцию «Разделение взрывом», пытались отделить породу от руды. На диаграмме справа показана контурная карта.



На рисунке 2 проиллюстрирована схема расположения породы.



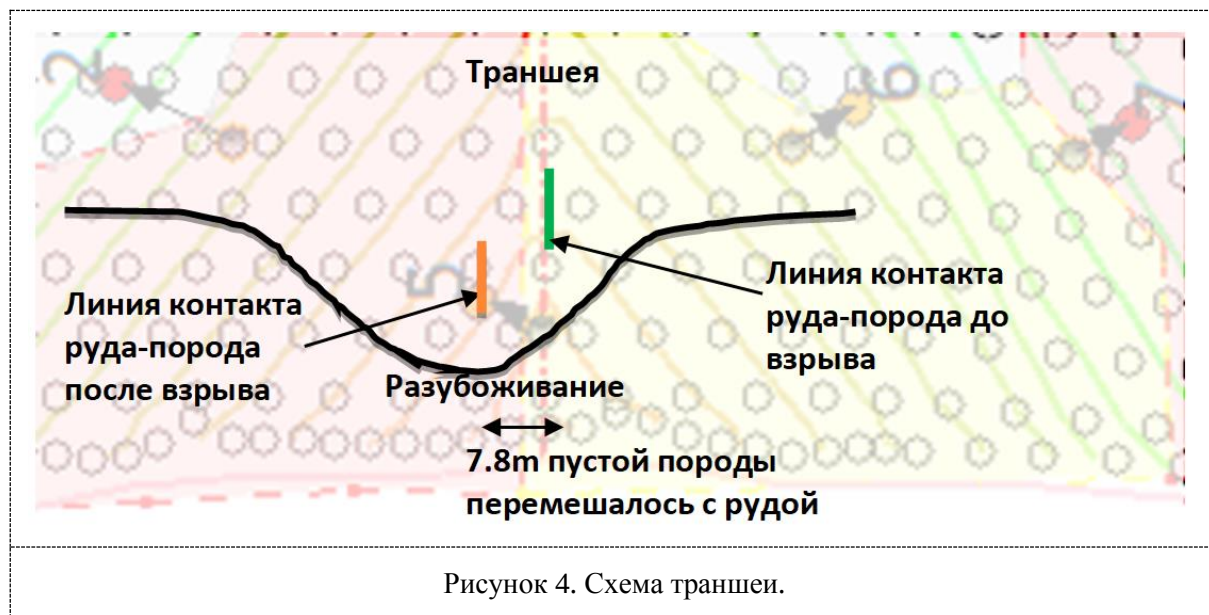
Любой геолог, посмотрев на контурную карту, сказал бы: «это даже не близко!!» или недостаточно близко для контроля руды. Разница между тем, где они на самом деле бы добывают, и тем, о чем они думают и что они добывают. На самом деле, не всегда понятно, где настоящий контакт после взрыва руды. Результатом является значительная ошибка классификации. Например, взрыв с разделением пустой породы от руды (рис. 3).



Для уменьшения потерь осевая линия должна проходить чётко вдоль контакта ПОРОДА / РУДА. Практически невозможно добиться этого.

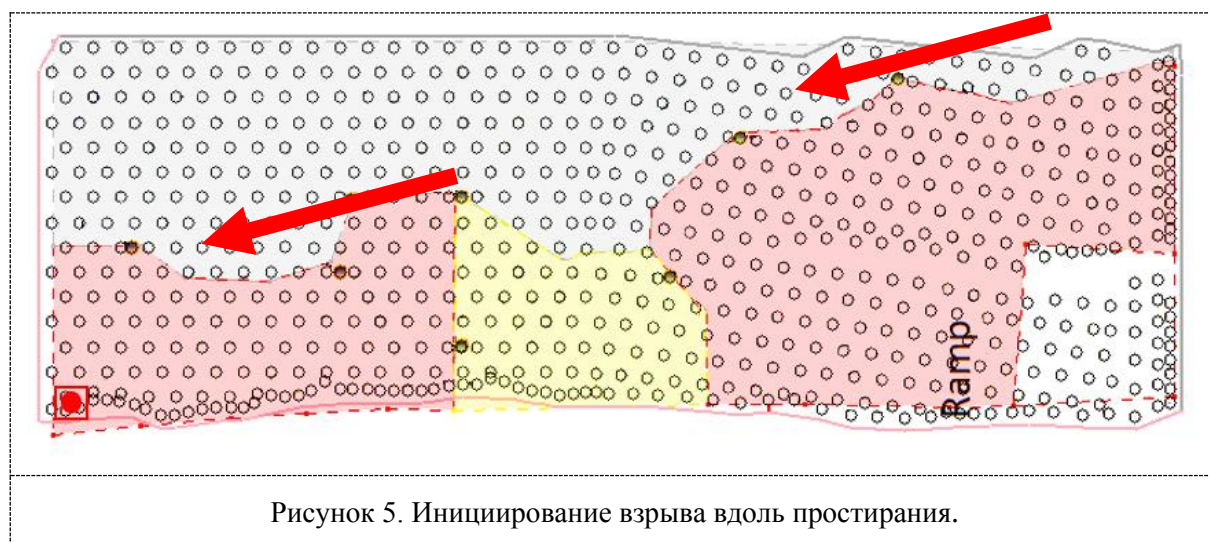
Если сегрегационный взрыв сработал, тогда образуется траншея, и датчик ВММ, установленный вдоль осевой линии, не двигался или смещение было бы минимальным.

Сформировалась траншея, и датчики ВММ №4 и №5, которые были установлены на осевой линии, переместились на 7,1 м и 7,8 м соответственно (рис. 4).



Как альтернатива – предлагается упрощать конструкцию взрыва до эшелонного формата и использовать систему мониторинга движения горной массы при взрыве. Инициирование взрыва вдоль простирания и измерение фактического движения взрыва (рис. 5). При этом:

- во время взрыва материал движется по ходу взрыва, что уменьшает перемешивание руды и породы;
- отслеживать движение взрыва и перемещать полигоны руды в фактическое положение после взрыва;
- выемка руды в актуальном (фактическом) местоположении после взрыва.



Результат – минимизация потерь руды и разубоживания.

Ещё один пример с месторождения золота в Казахстане (рис. 6). Применить сегрегацию взрыва крайне сложно, поэтому компания использовала датчики ВММ, и полученный результат превзошёл все ожидания. Если бы компания проводила выемку руды по контурам,

обозначенным до взрыва, то только на переработку пустой породы, отвезённую на фабрику, компания потратила бы более 430.000 долларов.

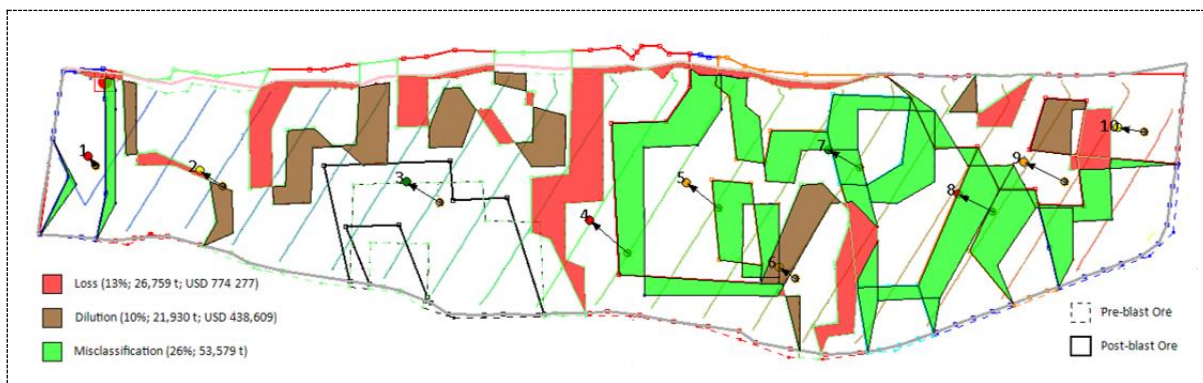


Рисунок 6. Месторождение золота в Казахстане.

Пример использования системы ВММ на золотодобывающем предприятии в России (вкраплённая минерализация в осадочных сланцах; взрывы выполняются уступом в 10 метров; участок содержит богатую (3,5 г / т) и бедную руду) (рис. 7).

Измеренное горизонтальное движение варьировалось в пределах от 2,5 м до 14 м, а вертикальное движение – до 4,5 м.

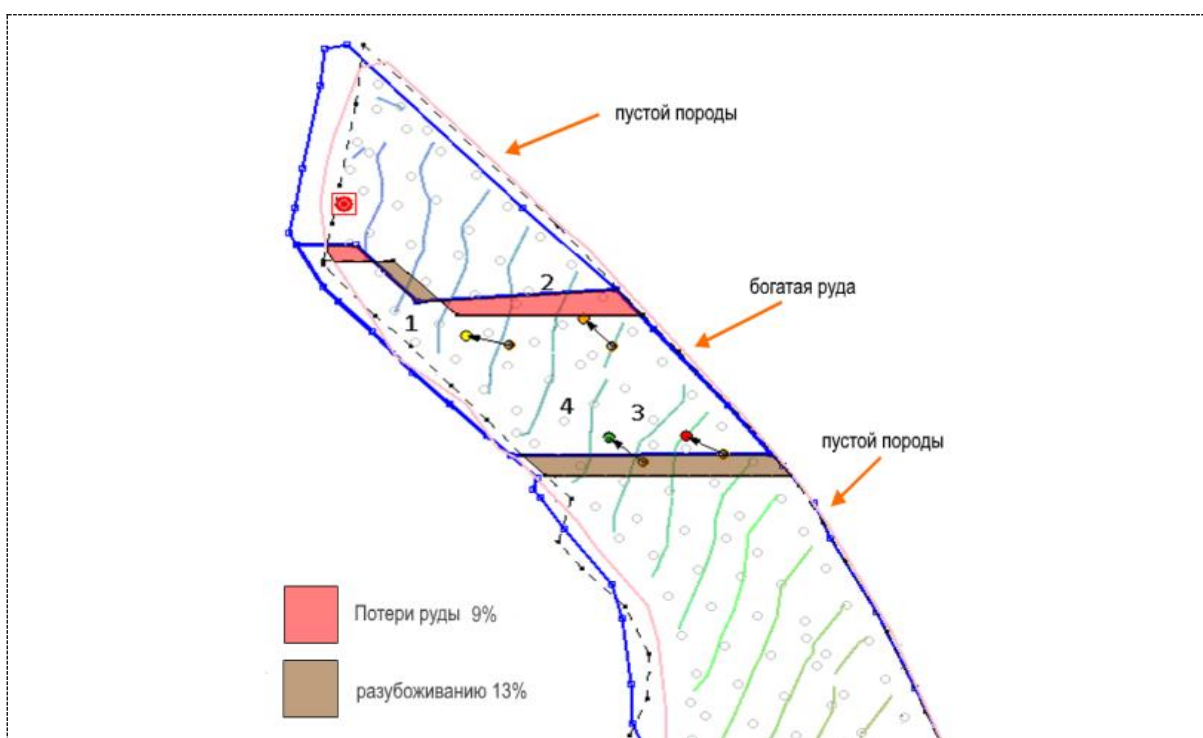


Рисунок 7. Использование системы ВММ на золотодобывающем предприятии.

Результатом точного учета движения за один взрыв на данном месторождении является:

- сокращение разубоживания – 3,800 тонн (13%) пустой породы были отведены от мельницы, оцененное в 76 000 долларов США;
- увеличенный объем руды – извлечено 2 600 тонн дополнительной руды, оцененной в 265 000 долларов США (предотвращена потеря руды 9%).

5. Заключение

Используя решение ВМТ, горные предприятия знают больше о том, как максимизировать извлечение полезных ископаемых, следовательно, они будут получать больше доходов от своих рудных месторождений. Фактически, система ВММ стала стандартом для рудного контроля в некоторых из крупнейших в мире горнодобывающих компаний. Большинство компаний добиваются положительной отдачи от инвестиций за 1–3 взрыва.

Полученные данные по сокращению потерь руды и разубоживания подтверждаются 17-летними исследованиями, проводимые с применением системы ВММ на открытых горных работах, а так же опыт использования 100 горнодобывающими компаниями в мире.

Библиографический список

- [1] Адам М.; Торнтон Д. 2004 A new technology for measuring blast movement. (Shore school, North Sidney, NSW, Australia)
- [2] Харрис Д., Муссет-Джонс П., Даемэн Д. 2001 Blast movement measurement to control dilution in surface mines. CIM Bulletin
- [3] Ла Роса Д., Торнтон Д., Уортли М. 2004 Blast movement monitor and method for determining the movement of the blast. Patent, Brisbane, Australia
- [4] Гамбаль М., Грей Д., Лоэб Д. 2018 Мониторинг движения взрыва упрощает конструкцию взрыва 14-й Горно-геологический форум MINEX 2018

Исследование пневмо-эжекционного удаления бурового шлама из взрывных скважин

Гилёв А.В., Миранов А.И., Бовин К.А.

Сибирский федеральный университет, Россия

E-mail: anatoliy.gilev@gmail.com, andreisbk@mail.ru, koct.91@mail.ru

Аннотация. Буровой инструмент является самым высоко нагруженным и ответственным элементом бурового станка, определяющим способ бурения в соответствии со свойствами буримых пород. Эффективность удаления бурового шлама является эффективностью бурения, скоростью износа породоразрушающего инструмента, а также экономические затраты. В работе описан принцип работы нового способа очистки буровых – пневмо-эжекционного, а также конструкция данного устройства. Приведены условия, при которых проводилось испытание опытного образца пневмо-эжекционного устройства. Представлены результаты испытания и приведены данные для сравнения с шнековым и пневматическим способами очистки.

1. Введение

Базисом всего промышленного производства является горная промышленность [1], осуществляющая добычу полезных ископаемых и обеспечивающая сырьевые потребности не только России, но и других стран. Основные объёмы горной массы подготавливаются к выемке буровзрывным способом, одним из главных производственных процессов которого является бурение взрывных скважин.

Буровой инструмент является самым высоко нагруженным и ответственным элементом бурового станка, определяющим способ бурения в соответствии со свойствами буримых пород. Скоростные качества долота, его износостойкость и стоимость формируют главный критерий эффективной работы – удельный расход на единицу проходки [2], высокий уровень которого не

соответствует современным требованиям, предъявляемым к использованию ресурсов предприятий.

Работа бурового долота органически сопряжена с технологическими процессами бурения и характеристиками исполнительных механизмов бурового станка. Поэтому необходимо обеспечивать согласованность параметров создаваемых новых моделей буровых инструментов с режимными параметрами разрушения пород и удаления продуктов разрушения из забоя скважины, а также с параметрами бурового станка (механизмов вращения, подачи инструмента и очистки скважины).

Эффективность удаления бурового шлама является одним из главных показателей при бурении скважин [3]. От этого параметра зависит эффективность бурения, скорость износа породоразрушающего инструмента, а также экономические затраты на проходку скважины.

В настоящее время наибольшее распространение получили способы шламоудаления буровой мелочи с забоя скважины [4], представленные на рис. 1.

По данным представленным на рис. 1, можно сделать вывод, что известные методы шламоудаления имеют ряд значительных недостатков. Так большие необходимые мощности на вращение бурового става и значительный расход сжатого воздуха обуславливают значительное повышение удельных затрат, приходящихся на бурение 1 п.м. взрывной скважины.



2. Методы и средства

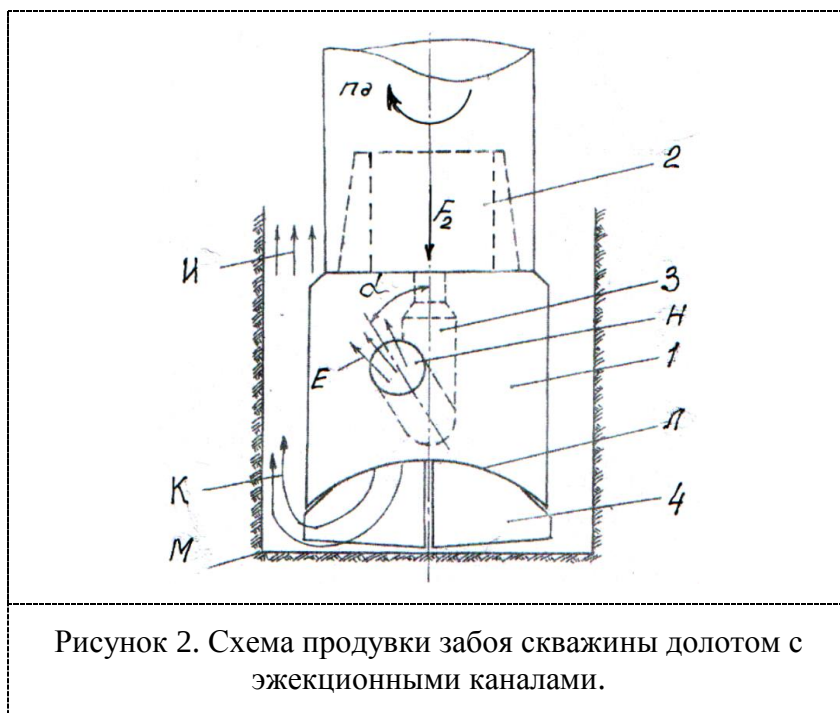
Для устранения недостатков известных способов шламоудаления коллектив кафедры «Горные машины и комплексы» СФУ разработал пневмо-эжекционный способ шламоудаления [5, 6].

В основу пневмо-эжекционного способа положены новые принципы формирования и движения воздушно-шламового потока в скважине и конструктивного построения бурового става.

Во-первых, в буровом стае происходит разделение потока сжатого воздуха, который распределяется по вертикальным зонам (участкам) скважины. Во-вторых, буровой став сформирован из гладкоствольных штанг, шнекового пневмо-эжекционного устройства и долота с эжекционными каналами. В-третьих, в процессе бурения скважины происходит регулирование параметров сжатого воздуха и концентрации воздушно-шламового потока. В-четвертых, в вертикальных зонах скважины создается эжектирование воздушно-шламового потока разделенными струями сжатого воздуха. В-пятых, воздушно-шламовый поток в затрубном пространстве скважины движется по спирали за счет закручивания эжекционными струями сжатого воздуха.

Принцип работы пневмо-эжекционного устройства заключается в следующем [7].

Из бурового става сжатый воздух с расходом F_2 ступает в корпус 1 долота через полый ниппель 2, а в корпусе по продувочному каналу 3 одновременно подается в эжекционные каналы Н и нижнюю часть породоразрушающих элементов 4 через технологические вырезы Л (рисунок 1).



Так как корпус 1 имеет цилиндрическую форму, отсутствие больших межсекционных пространств (продувочных окон) в долоте обуславливает повышенное избыточное давление сжатого воздуха в технологических вырезах Л, поэтому эжекционные каналы Н обеспечивают создание дополнительного потока Е, направленного под углом α к оси долота в сторону его вращения. Этот поток эжектирует призабойную зону скважины, суммируется с образованным через продувочный канал 3 потоком сжатого воздуха К, поднимающимся от забоя, увеличивает скорость восходящего потока И в призабойной зоне и активирует удаление бурового шлама в периферийной зоне М забоя скважины, препятствуя образованию “сальников”.

Принятая форма нижней части корпуса и приближенность канала Н к забою обеспечивает упорядоченный и безвозвратный вынос бурового шлама в наддолотную часть скважины. Косая направленность воздушного потока Е под углом α к оси долота создает при его вращении спиральный поток с большой скоростью, который улучшает эвакуацию бурового шлама из призабойной зоны скважины.

Буровой став содержит гладкоствольные штанги 1, из которых концевая штанга соединена со шнековым пневмо-эжекционным устройством 2 (рисунок 2). Гладкоствольные штанги 1 со стенкой скважины 3 образуют затрубную зону I–II, а шнековое пневмо-эжекционное устройство 2 (ШПУ) со стенкой скважины 3 – шнековую зону II–III. На ШПУ установлены верхний конус 4 и нижний конус 5, которые со стенками скважины 3 образуют, соответственно, конфузورный (в области сечения II–II) и диффузорный участки (в области сечения III–III).

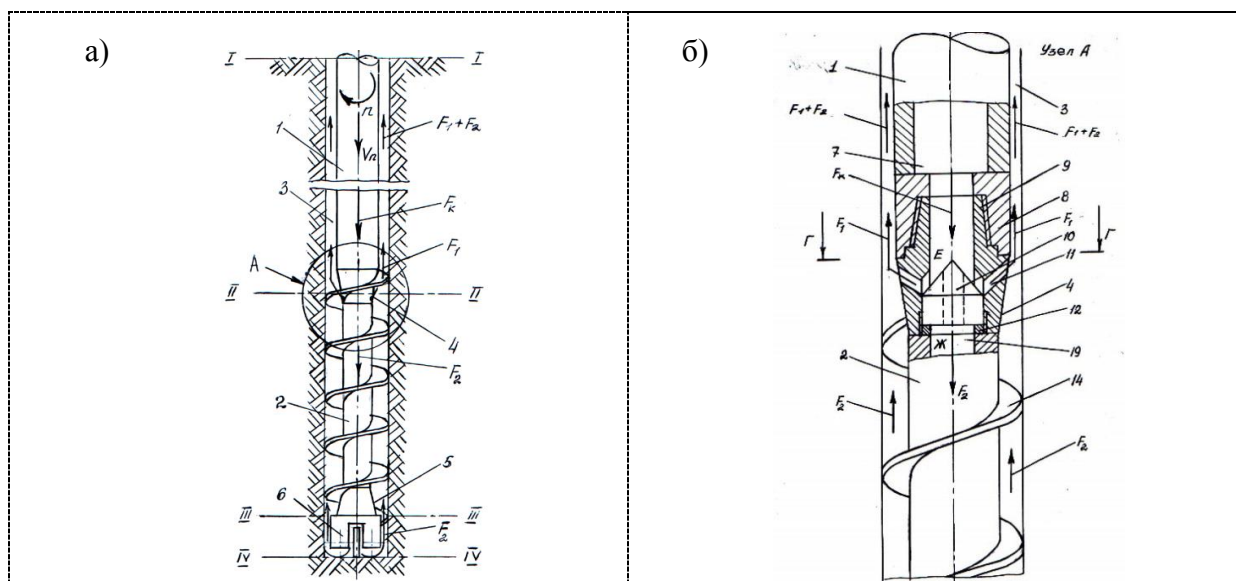


Рисунок 3. Пневмо-эжекционная эвакуация бурового шлама из скважины:

а – общий вид бурового става со шнековым пневмо-эжекционным устройством (ШПУ); б – разделение потока сжатого воздуха в механизме управления ШПУ.

В нижний конус 5 ШПУ установлено долото 6, которое со скважиной 3 образует призабойную зону III–IV. Гладкоствольная штанга 1 содержит центральный канал 7 и муфту 8, в которой ШПУ закреплен с помощью ниппеля 9 (рисунок 3, а).

В верхнем конусе 4 ШПУ установлен механизм управления, содержащий подвижный клапан 10 (рисунок 3, б, в), расположенный непосредственно под эжекционными каналами 11 и зафиксированный от вращения регулирующей гайкой 12 посредством выступов 13 (рисунок 3, г).

ШПУ содержит спираль 14, витки которой расположены под острым углом к горизонтальной плоскости. Подвижный клапан 10 имеет конусную часть 15 (рисунок 2, в), цилиндрическую часть 16, проходные каналы 17 (рисунок 2, д) и днище 18, находящееся непосредственно над центральным каналом 19 ШПУ (рисунок 3, е).

Для бурения взрывных скважин, характеризующихся небольшой глубиной, был установлен такой режим бурения, при котором проходка скважины не будет сопровождаться возникновением зашламовывания какого-либо сечения. Для описания такого режима бурения было получено выражение, характеризующее эффективность очистки скважин от бурового шлама с крупными фракциями частиц.

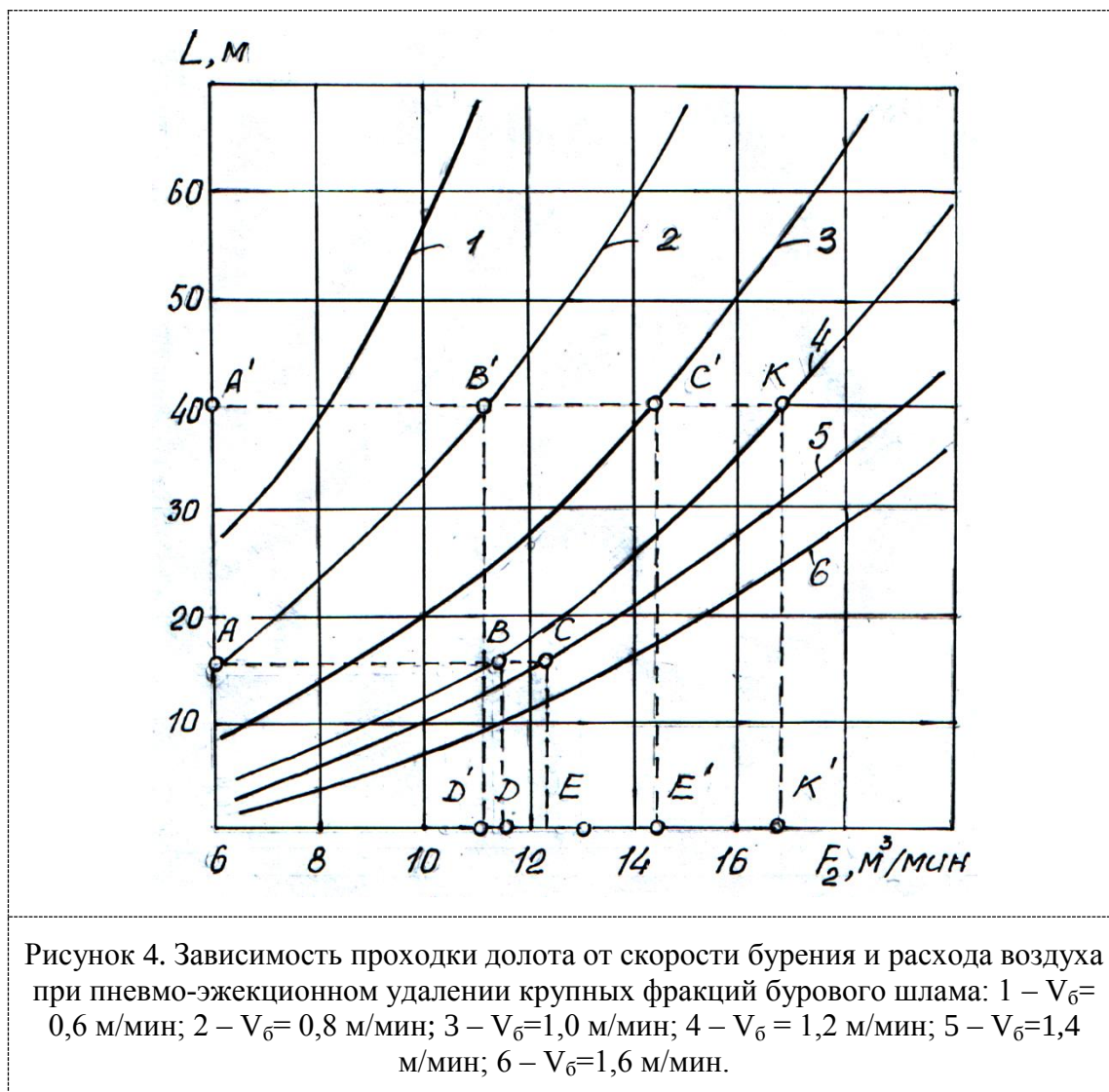
$$L \geq \frac{e^{1.5 \cdot v \cdot B \cdot 2 \cdot S_{\text{пр}} (F_2)^{-1}} \cdot m! \cdot (F_2)^{m-1}}{(4 \cdot H \cdot S_{\text{пр}})^{m-1} \cdot v^m} \cdot v_6$$

$$m = \frac{\pi D_c}{C}$$

где L – глубина скважины, м; v_6 – средняя скорость бурения, м/мин; F_2 – потребное количество воздуха в призабойной зоне, м³/мин; m – число скопившихся буровых частиц в месте продувочных окон бурового долота, шт.; B, H, C – геометрические параметры частиц бурового шлама, мм; D_c – диаметр скважины, м; $S_{\text{пр}}$ – площадь сечения призабойной зоны, м²; v – частота поступления частиц бурового шлама крупной фракции, с⁻¹.

На рисунке 4 приведена зависимость проходки долота ДЗДШ-244,5-3 от скорости бурения и расхода сжатого воздуха, определяющая условие, при котором вероятность зашламовывания скважины крупными фракциями бурового шлама отсутствуют.

Видно, что количество пробуренных метров, при котором не произойдёт зашламовывание скважины, в первую очередь зависит от скорости бурения и расхода сжатого воздуха.



Так, при бурении скважины в условиях Мазульского известнякового рудника ОАО «Ачинский глиноземный комбинат» глубиной $L = 14$ м (точка А, рис. 4) со средней скоростью бурения $V_6 = 1,2$ м/мин (точка В) потребное количество воздуха в призабойной зоне составляет $F_2 = 11,5$ м³/мин (точка D). При бурении скважин со средней скоростью $V = 1,4$ м/мин (точка С) необходимый расход воздуха составляет 12,4 м³/мин (точка Е).

При бурении скважин в условиях Черногорского угольного разреза глубиной 40 м (точка А¹) со средней скоростью $V = 0,8$ м/мин (точка В¹), необходимый расход воздуха $F_2 = 11$ м³/мин (точка D¹). При скоростях бурения $V_6 = 1$ м/мин и $V_6 = 1,2$ м/мин (точки С¹ и К) расходы сжатого воздуха соответственно равны $F_2 = 14,4$ м³/мин и 16,8 м³/мин (точки Е¹, К¹).

3. Результаты исследований и их анализ

Таблица 1 – Параметры сжатого воздуха при эвакуации бурового шлама.

Параметры сжатого воздуха	Зоны скважины		
	призабойная	шнековая	затрубная
Давление, МПа	0,46/0,48	0,4/–	0,35/0,45
Скорость, м/с	26/28	16/–	20/24
Расход, м ³ /мин	11,5/30	11,5/–	23/30
Энергоемкость эвакуации шлама, кВт·ч/м ³	30/35		

Примечание. В числителе указан предлагаемый способ, в знаменателе – пневмоочистки.

Из таблицы видно, что пневмо-эжекционное удаление шлама по всем показателям превосходит пневматическое удаление шлама. Из этого делаем следующий вывод: 1) Скорость очистки забоя и затрубного пространства происходит быстрее; 2) Требуется меньшее давление воздуха для выноса буровой мелочи; 3) Меньший расход воздуха, за счёт наличия в конструкции ПШЭ саморегулирующегося воздушного клапана; 4) Меньшее энергопотребление на работу компрессора.

4. Обсуждение

Для большей наглядности преимущества данного способа удаления шлама из скважин перед пневматическим, приведены данные параметров сжатого воздуха, полученные опытным путём при проведении испытаний на карьере [7].

Таблица 2 – Рациональные параметры ШПУ и потока сжатого воздуха в шнековой зоне скважины.

Н, мм	Д, мм	d, мм	$a_{ш}$, град	a	$M_{ш}, Н$	$M_{пр}, Н$
330	237	160	24	0,6	$12,7 \cdot 10^{-3}$	$33 \cdot 10^{-3}$

Примечание. Обозначение Н – шаг спирали; Д – диаметр шнека; d – диаметр вала; $a_{ш}$ – угол подъёма спирали; a – аэродинамический коэффициент; $M_{ш}$ – максимальная сила давления сжатого воздуха, действующая на частицы бурового шлама в шнековой зоне скважины; $M_{пр}$ – сила давления сжатого воздуха, действующая на частицы бурового шлама в призабойной зоне.

При описании работы пневмо-эжекционного устройства была опущена более подробная работа саморегулирующегося воздушного клапана и его конструкция.

5. Заключение

Исходя из выше сказанного, можно утверждать, что новый способ удаления шлама, по сравнению с другими методами, обладает большим рядом достоинств. Так применение пневмо-эжекторного устройства обеспечивает максимально стабильную концентрацию бурового шлама во всех зонах скважины, значительно меньший расход сжатого воздуха, увеличение порозности шламового слоя и уменьшение концентрации твёрдой фазы в воздушно-шламовом потоке, снижение требуемой мощности вращателя за счёт особой конструкции ШПУ, снижение давления сжатого воздуха, что приводит к снижению энергетических затрат на очистку буровой скважины.

Библиографический список

- [1] Гилев А.В., Бовин К.А., Шигин А.О. и Белозеров И.Р. 2015. Анализ проходки шарошечных долот в условиях олимпиадинского гока ЗАО «ПОЛЮС». *Современные проблемы науки и образования*. № 2-1.
- [2] Буткин В.Д. и Гилев А. В. 1995. *Основы техники и технологии бурения горных пород на карьерах: учеб. пособие*. ГАЦМиЗ. Красноярск. 208 с.
- [3] Гилев А.В., Шигин А.О., Чесноков В.Т. и Белозеров И.Р. 2013. *Повышение эффективности эксплуатации буровой техники на горных предприятиях*. Красноярск. Сиб. Федер. ун-т. 372 с.
- [4] Шигин А.О., Гилев А.В. и Шигина А.А.. 2017. *Методология проектирования адаптивных вращательно-подающих органов буровых станков и технологий их применения в сложноструктурных породных массивах*. М.: Издательский дом Академии Естествознания. 266 с.
- [5] Буткин В.Д., Гилев А.В., Чесноков В.Т., Гилев Р.А. и Нехорошев Д.Б. 2006. *Способ эвакуации бурового шлама из скважины и устройство для его осуществления*. Заявитель и патентообладатель Краснояр. гос. акад. цвет. мет. и золота. № 2004131410/03. заявл. 27.10.2004. опубл. 10.08.2006. Бюл. № 10.
- [6] Гилёв А.В. 2005. *Научно-технические основы создания специализированных буровых инструментов и технологий их применения на карьерах*. Дис. ... д-ра техн. наук. Красноярск. 385 с.
- [7] Буткин, В.Д., Гилев А.В., В.Т. Чесноков, Д.Б. Нехорошев, Шапаволенко и Гилев Р.А. 2005. *Опыт и развитие технологии силового бурения резанием на карьерах*. М.: Макс Пресс. 313 с.

Обоснование систем разработки россыпей дражным способом

Дудинский Ф.В., Нечаев К.Б.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail istuproekt@mail.ru

Аннотация. В статье выделены основные проблемы и направления совершенствования разработки россыпных месторождений дражным способом. Рассмотрены особенности и условия применения систем разработки месторождений драгами. Отмечены основные положения существующей методики выбора продольных систем ведения дражных работ. Приведены технологии вскрышных и добычных работ, а также восстановления нарушенных земель для продольных систем с оставлением межходовых целиков и со смежными забоями. Выявлены взаимосвязи параметров вскрышных и добычных работ с

показателями рекультивации. Сделана технико-экономическая оценка разработки месторождения при применении разных систем разработки. Предложено при обосновании системы разработки месторождения дражным способом дополнительно учитывать показатели вскрышных работ и рекультивации с учетом последовательности выполнения и распределения во времени их объемов.

1. Введение

Современное состояние сырьевой базы позволяет рассматривать ее в качестве ресурса пригодного для освоения дражным способом [1-2]. Основные проблемы настоящего этапа разработки россыпей и поиск решений по их устранению направлены на совершенствование техники и технологии разработки [3-8], в том числе техногенных россыпей [9,10], снижение потерь и разубоживания полезных ископаемых [11], улучшение экологической ситуации [12,13].

При дражном способе разработки основной отличительный признак системы число одновременно обрабатываемых забоев одной драгой, наличие целиков и направление перемещения рабочего борта разреза относительно оси долины. Для отработки широких россыпей применяют поперечные и продольные системы со смежными забоями и системы с оставлением целиков.

При выборе системы разработки основываются на технико-экономическом анализе возможных вариантов. При определении границы целесообразности перехода систем разработки с одинарным забоем к системе со смежными забоями критерием служит показатель эффективности этих систем, отражающий отношение расчетной среднесуточной производительности драги соответственно в одинарных и смежных забоях [14].

Существующие методические решения по выбору систем разработки основаны на оценке технологических процессов собственно добычных работ и не учитывают способ и технологию, механизацию вскрышных работ, что особенно важно при разработке глубоких россыпей. Также не принимаются во внимание экологические составляющие разработки, связанные с восстановлением нарушенных территорий, которые при разных системах будут отличаться по технологии, объемам и затратам.

2. Материалы и методы исследований

Рассматриваются продольные системы разработки россыпей дражным способом с оставлением межходовых целиков и смежными забоями. Параметры россыпного месторождения: глубина 40 м, в т. ч. мощность вскрыши 23 м при ширине обрабатываемого разреза по плоту 181 м. Основное горное оборудование состоит из драги ОМ – 431, драглайнов ЭШ 20.90 и ЭШ 11.70, бульдозеров. Методы исследования включают графическое и экономико-математическое моделирование.

Положительные факторы продольной системы разработки с оставлением межходовых целиков (по отношению к смежной системе).

- Меньше единовременно наущаемая площадь земель, возможность последовательного отчуждения земель для ведения горных работ.
- Возможность управлять показателями вскрышных работ, рекультивации и отработки месторождения в целом варьированием шириной встречных ходов драги.
- Возможность создания отстойников для естественной очистки промышленных стоков за пределами горных работ, особенно при работе по восстановлению россыпи.

- Несмотря на отставание рекультивации при отработке первого хода драгой существует возможность начать восстановление земель по всей нарушенной площади при отработке запасов в пределах второго дражного хода и закончить рекультивацию практически с окончанием отработки песков.

Факторы, снижающие эффективность данной системы разработки.

- При отработке мощных пластов песков неизбежны потери в межходовом целике, либо разубоживание песков, либо то и другое одновременно.

- При неравномерном распределении металла по ширине россыпи различное количество добываемого полезного ископаемого по ходам драги.

- Начало работ по восстановлению выработанного пространства по ширине карьера отстает по времени от начала горных работ на месторождении.

Положительные факторы продольной системы разработки со смежными забоями (по отношению к системе с оставлением целиков).

- Сокращается разрыв времени между добычными работами и рекультивацией нарушенных земель.

- Усреднение среднего содержания добываемых песков при их выемке драгой по всему поперечному сечению забоев.

Факторы, снижающие эффективность данной системы разработки.

- Наличие дополнительных маневровых операций с драгой при ее переводе в смежный забой и других вспомогательных береговых работ, включая подачу электроэнергии.

- Большой объем работ при строительстве плотин, дамб и перемычек.

- Сложность удержания воды в дражном котловане в частности период зимнего отстоя драги, что как правило вызвано повышенным дренажом через подпорные сооружения и.

- Больше площадь одновременно нарушаемых земель при ведении вскрышных работ.

- При отработке россыпи по падению увеличиваются объемы работ по подготовке нижележащего полигона и потерь под плотиной.

3. Результаты исследования и их анализ

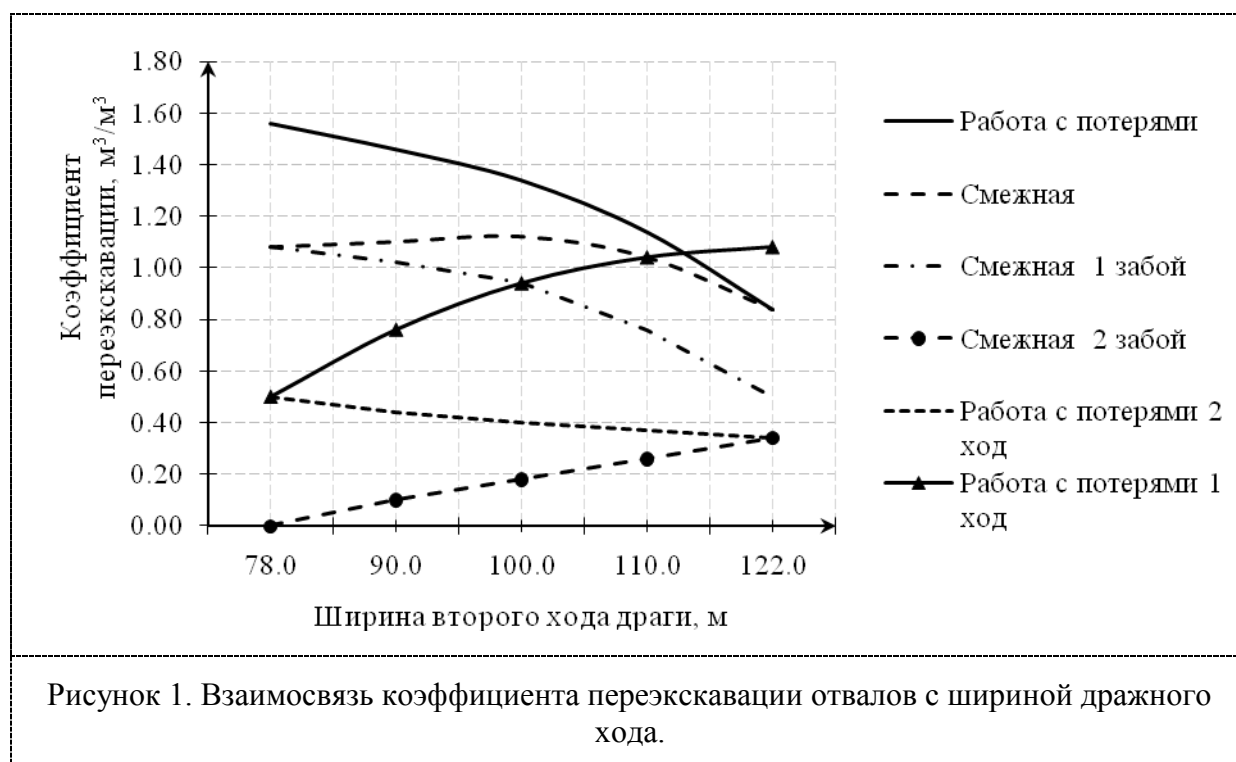
Система разработки с оставлением межходовых целиков (продольная).

При выполнении вскрышных работ первоначально торфа расположенные в пределах полосы первого хода (забоя) драги удаляются во внешние отвалы, примыкающие к контуру карьера, с одной стороны. Вскрыша, перекрывающая пески в пределах второго хода драги, размещается во внешние и внутренние отвалы, также возможна отсыпка только внешних отвалов. Работы по рекультивации производятся сразу же за отработкой первого хода драгой частично в пределах прибортового выработанного пространства и за контуром карьера. Добычные работы выполняются одинарными встречными ходами драги с оставлением межходового целика.

Система разработки со смежными забоями (смежнопродольная)

Вскрышные породы удаляются экскаваторами драглайнами с площади по всей ширине смежных ходов драги и размещаются во внешние отвалы непосредственно у контура карьера, в том числе и с переэкскавацией пород. Работы по рекультивации выработанного пространства и отвалов ведутся вслед за добычными. Добычные работы осуществляются в двух забоях (полузабоях) за один проход драги по всей ширине россыпи.

Анализ показателей технологий вскрышных работ с внешним и внутренним отвалообразованием драглайнами при системах разработки месторождений драгами встречными и смежными ходами показывает, что на объемы горно-подготовительных работ оказывают влияние параметры драгирования (ширина добычного забоя), что отражается через переэкскавацию пород отвалов (рис. 1).



В рассмотренном случае увеличение ширины участка, обрабатываемого за второй проход драги (соответственно при уменьшении первого хода), позволяет снижать объемы переэкскавации на вскрышных работах. В технологических схемах вскрышных работ при работе драги с потерями в межходовом целике при условии удаления и размещения вскрышных пород драглайном во внешние отвалы с полосы вскрыши соответствующей ширине смежного забоя, коэффициент переэкскавации при увеличении ширины первого хода драги с 78 м до 122 м возрастает с $0,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ до $1,07 \text{ м}^3/\text{м}^3$, соответственно изменение ширины второго хода в этом же диапазоне снижает переэкскавацию с $0,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ до $0,34 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

Управляя шириной дражного забоя по ходам в отмеченной схеме работы с потерями в межходовом целике и разубоживанием песков гале-эфельными отвалами увеличение ширины второго хода драги по отношению к ширине первого позволяет снизить объемы переэкскавации на 30 %, но при этом повышается добыча песков при отработке первого хода в этом же размере при снижении разубоживания песков почти в два раза. При одинаковой ширине россыпи сезонная производительность драги при применении смежной системы разработки по отношению к системе разработки с оставлением

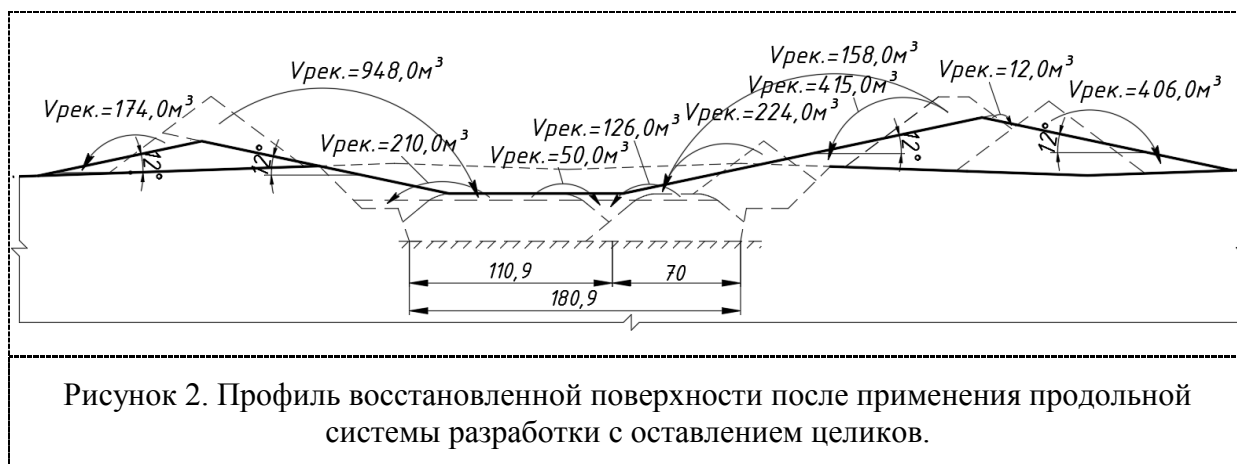
межходовых целиков увеличивается на 20 %. Снижение производительности драги при различной ширине забоя в смежных системах разработки происходит примерно на 3 %. Сравнение коэффициента использования драги во времени суток в диапазоне изменения ширины дражного забоя 65 – 125 м показывает, что его значение при продольной системе ведения дражных работ находится соответственно в пределах 0,85 – 0,90, а при смежных системах разработки это значение 0,87 – 0,93. Потери металла в межходовом целике на границе встречных забоев шириной 74 м и 117 м при применении системы разработки с оставлением межходового целика составляют порядка 4 %.

Экологическая стратегия горного предприятия в ряде случаев строится на минимизации затрат, связанных с неизбежными нарушениями природы и на ликвидацию их последствий. В связи с этим кроме технологических и технических решений важным моментом является отражение во времени совмещения горных работ и комплекса мероприятий по рекультивации нарушенных и прилегающих территорий.

4. Обсуждение результатов исследований

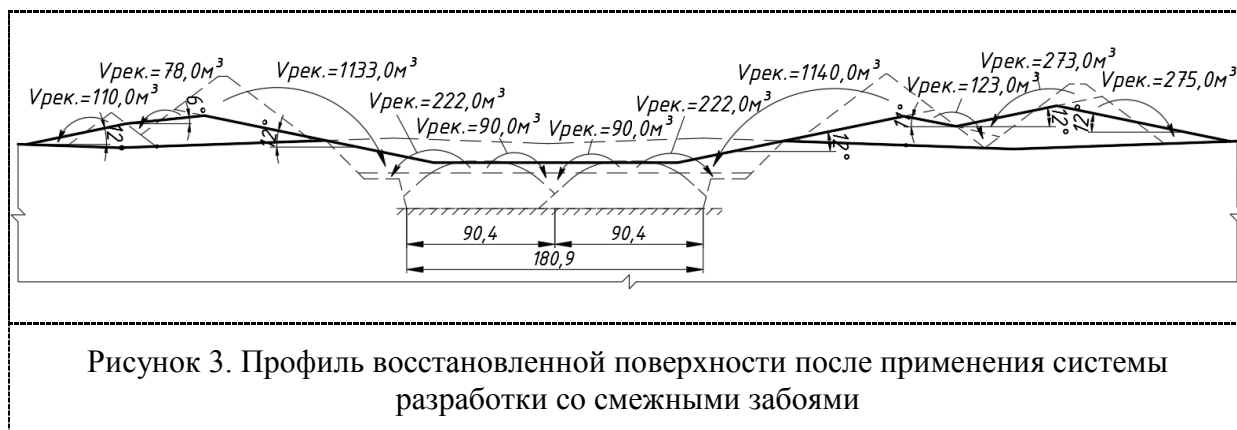
При оценке эффективности дражных работ для конкретных условий глубокой россыпи рассмотрены две конкурентоспособные системы.

Система разработки с оставлением целиков (продольная) предусматривает ведение вскрышных работ по бестранспортной схеме с размещением вскрыши во внешний отвал при подготовке песков для первого хода драги с коэффициентом переэкскавации $0,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Торфа с площади отработки встречного хода драги размещают драглайном во внешний и внутренний отвалы при коэффициенте переэкскавации $0,34 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Добычные работы ведутся встречными ходами драги с шириной первого забоя по подошве карьера 70 м и встречного 110,9 м. При рекультивации отвалы вскрыши частично перемещают в отработку и планируют на поверхности «Рисунок 2».



При применении системы разработки со смежными забоями (смежно-продольная) отработка ведется драгой одним ходом с поочередной отработкой забоев шириной по низу каждого 90,4 м, сезонная производительность драги 977 тыс. м^3 . Вскрышные работы выполняются также по бестранспортной схеме по всей ширине россыпи с размещением отвалов по обе стороны за контуром карьер, переэкскавация достигает значения $1,13 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Восстановление нарушенных площадей также предусматривает

выполнение отвалов в нарушенном пространстве и за контуром отработки «Рисунок 3».

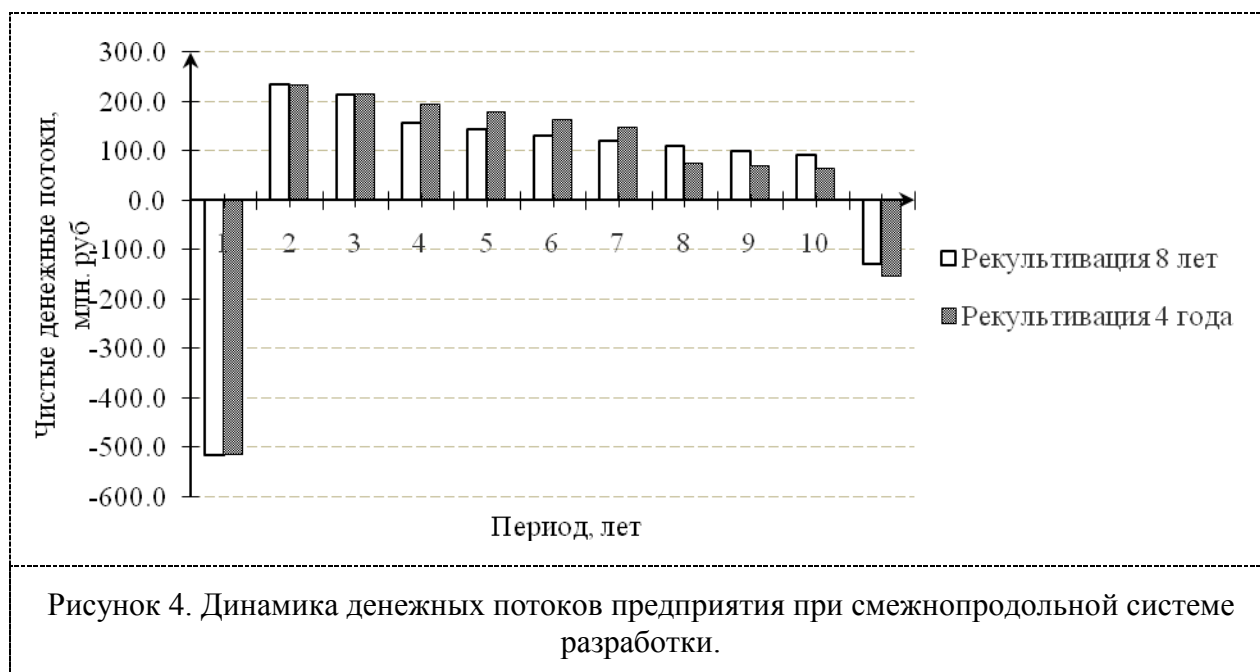


Основные расчетные технико-экономические результаты работы карьера при рассмотренных системах разработки «Таблица 1» позволяют сделать вывод, что несмотря на ухудшение некоторых текущих экологических показателей система разработки со смежными забоями в данном случае более эффективна, что объясняется снижением потерь песков, увеличением годовой добычи металла и сокращением сроков отработки месторождения.

Таблица 1. Техничко-экономические показатели разработки глубокой россыпи.

Показатели	Система разработки с оставлением целиков (продольная)	Система разработки со смежными забоями (смежно-продольная)
Ширина дражного хода, м	74-117	95
Среднегодовая добыча песков, тыс. м ³	814	977
Срок отработки месторождения, лет	11,6	9,6
Площадь нарушенных земель, га	147	167
Доля рекультивации в объемах вскрыши, %	54	75
Доля экологических затрат в эксплуатационных расходах, %	17,5	21,8
Доля экологических затрат в капитальных вложениях, %	12,4	13,3

Анализ динамики денежных потоков системы разработки со смежными забоями «Рисунок 4» показывает, что при переносе затрат по рекультивации на более поздние периоды эффект от положительных потоков денег снижается. Так выполнение работ технического этапа рекультивации поверхности отвалов и карьерной выемки на заключительных 4 годах горных работ уменьшает денежные притоки примерно на 30 %.



5. Заключение

Таким образом, в результате исследований продольных систем разработки россыпей смежными забоями и с оставлением межходовых целиков установлено, что при обосновании системы разработки месторождения дражным способом необходимо кроме добычных процессов учитывать технологические схемы и параметры вскрышных работ, а также рекультивации с установлением последовательности выполнения и распределения во времени их объемов.

Библиографический список:

- [1] Ильин С.А., Коваленко В.С., Пастихин Д.В. Дальний Восток России: продвижение открытых горных работ // Горный журнал. - 2013. - № 5. С. 77–83.
- [2] Шевченко Ю.С. Золотодобывающая отрасль Забайкальского края: состояние и ближайшие перспективы / Ю.С. Шевченко, О.И. Рыбаков, А.А. Сарванов // Горный информационно-аналитический бюллетень № 4 / - Москва 2010. С. 51-54.
- [3] Аленичев В.А., Аленичев М.В, Саканцев Г.Г. Отработка глубоких россыпей с применением бестранспортной системы разработки //Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2012 - № 8 С. 46–52.
- [4] Дудинский Ф.В., Нечаев К.Б. Эффективность комбинированной разработки глубоких россыпей// Известия высших учебных заведений. Горный журнал. - № 5. - 2012. С. 4-9.
- [5] Ермаков С.А., Бураков А.М., Баракаева И.Д. Поточная технология разработки и обогащения запасов погребенного россыпного месторождения золота в долине реки Большой Куранах (Якутия) // Горный журнал. - 2016. - № 1. С. 40 – 45.
- [6] Нафиков Р.З., Кисляков В.Е., Продление рабочего сезона драги //Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2017 - № 38 С. 393 – 399.
- [7] Крупнолитражная драга 400 л №1 готова к эксплуатации // Золотодобыча. - 2015. - № 203. С.16 – 19.

- [8] Johnson, K., MacKenzie, A. Gold dredging in the Klondike and number 4 Proceedings // Annual Conference – Canadian Society for Civil Engineering 2012. No 1. P. 211 - 220.
- [9] Литвинцев В.С. Основные направления стратегии освоения техногенных рудных и россыпных месторождений благородных металлов // Горный журнал. - 2013. - № 10. С. 38 – 41.
- [10] Чемезов В.В., Тальгамер Б.Л. Техногенные россыпи (образование, оценка и эксплуатация): монография - Иркутск: Изд-во ИрГТУ. - 2013. – 239 с.
- [11] Костромин М. В., Д. М. Грешилов Методика, техника и технология снижения и ликвидации эксплуатационных потерь в межходовых и межшаговых целиках при дражной разработке россыпей // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2014. - № 12. С. 68 – 75.
- [12] Бураков А. М. Экологическая оценка новых технологических решений разработки россыпей криолитозоны на примере месторождения «Горное» / А.М. Бураков, С.А. Ермаков // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - № 8, - Москва. – 2013. С. 28-30.
- [13] Секисов Г.В. Гидросистемный комплекс при разработке золотоносных россыпей / Г.В. Секисов, В.М. Герасимов, Е.И. Нижегородцев // Вестник Забайкальского Государственного университета – 2017. - № 7 (23). – Чита: ЗабГУ. - С. 29-38.
- [14] Лешков В.Г. Разработка россыпных месторождений. Учебник для вузов. – М.: Издательство «Горная книга», Издательство «Московского государственного горного университета». - 2007. - 907 с.

Перспективы развития золотодобычи в России

Костромитинов К.Н.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail: kost1313@mail.ru

1. Введение

Современная добыча благородных металлов отличается большим разнообразием применяемых технологий. Это связано как с горно-геологическими условиями разрабатываемых месторождений полезных ископаемых, так и с использованием мощной техники, применяемой на карьерах и приисках. Внедрение новых технологий позволяет экономически выгодно перерабатывать большие объемы руды и песков с незначительным содержанием благородных металлов. Особое внимание среди благородных металлов экономисты уделяют золоту. Добыча золота в России из минерального сырья в 2017 году составила 270,7 т., а в 2018 г. может вырасти до 293 т.

Перспективное развитие добычи благородных металлов в России обеспечивается многими факторами. Следует отметить основные:

1. Востребованность благородных металлов в мире и в нашей стране, вследствие относительно высокой и стабильной стоимости мировых цен. Цены за период 2015-2018 года были относительно высокие, колебались пределах от 4 % до 6 %. Официальные учетные цены драгоценных металлов, установленные ЦБ РФ на 1.12.2018.г.

- золото – 2610,6 руб./грамм;
- серебро – 30,5 руб./грамм;
- платина – 1732,7 руб./грамм;
- палладий – 2549,2 руб./грамм.

Второй причиной увеличения добычи и приобретения драгоценных металлов явились антироссийские отношения Западных стран, которые выразились в форме введения санкций, цель которых подорвать экономику нашей страны. Одновременно, следует отметить падение ценности рубля по отношению к доллару и Евро.

Для ослабления доминирующего влияния доллара и Евро правительством России в последние годы взят курс на пополнение золотого резерва и увеличения золотодобычи России. Растущая доля золотого запаса страны повышает экономическую безопасность от существующих и будущих международных санкций, поддерживает банковскую систему и горнодобывающие предприятия по добыче драгоценных металлов.

Развитие горнодобывающей промышленности, в частности по добыче золота и драгоценных металлов, позволяет решать следующие задачи:

- 1) Создание рабочих мест на золотодобывающих предприятиях повышает благосостояние населения.
- 2) Использование новых современных технологий и техники, как отечественной, так и зарубежной повышает технический уровень страны.
- 3) Для обеспечения деятельности горных предприятий происходит развитие смежных отраслей в материальной и продовольственной сфере.
- 4) Государству идут отчисления в виде налогов, которые могут использоваться в различных направлениях социальной сферы.
- 5) Многие золотодобывающие компании оказывают спонсорскую помощь местному населению в строительстве помещений социального назначения, спортивных площадок и т.д.

Структура потребления золота в мире за период с 1970 по 2016 гг. приводится в табл.1.

Таблица 1. Структура потребления золота в мире в 1970-2016 гг., т.

Года	1970	1980	1994	2005	2015	2016
Добыча из недр	1252,7	895,7	2209	2450	3220,2	3255,4
Ювелирные изделия	1066	1270	2604	2709	2447,7	1989,2
Зубопротезирование	58	63	64	62	-	-
Монеты, медали, слитки	91	201	75	37	1066,0	1042,0
Электроника	89	89	192	273	332,0	323,4
Прочие отрасли	62	66	200	646	-128,3	532,1
Суммарный расход	1366	547	3361	3727	4353,2	4584,0

Примечание. Зубопротезирование в 2015-2016 гг. включено в раздел электроника (данные организации World Gold Council)

Из таблицы видно, что за данный период мировое потребление золота с 1366 т выросло до 4584 т. Больше всего золото востребовано в ювелирной отрасли, значительную долю в последние годы занимают монеты и медали.

Мировая добыча золота постоянно увеличивается. За период с 1992 г. по 2017 г. добыча золота увеличилась с 2254,2 т до 3246,6 т в год (примерно на 44 %). Россия также увеличивает золотодобычу. За этот период она переместилась с шестого места на третье, после Китая и Австралии, увеличив годовую добычу золота с 146,1 т до 270,7 т в год (табл. 2).

Таблица 2. Добыча золота по странам за период с 1992 по 2017 гг.

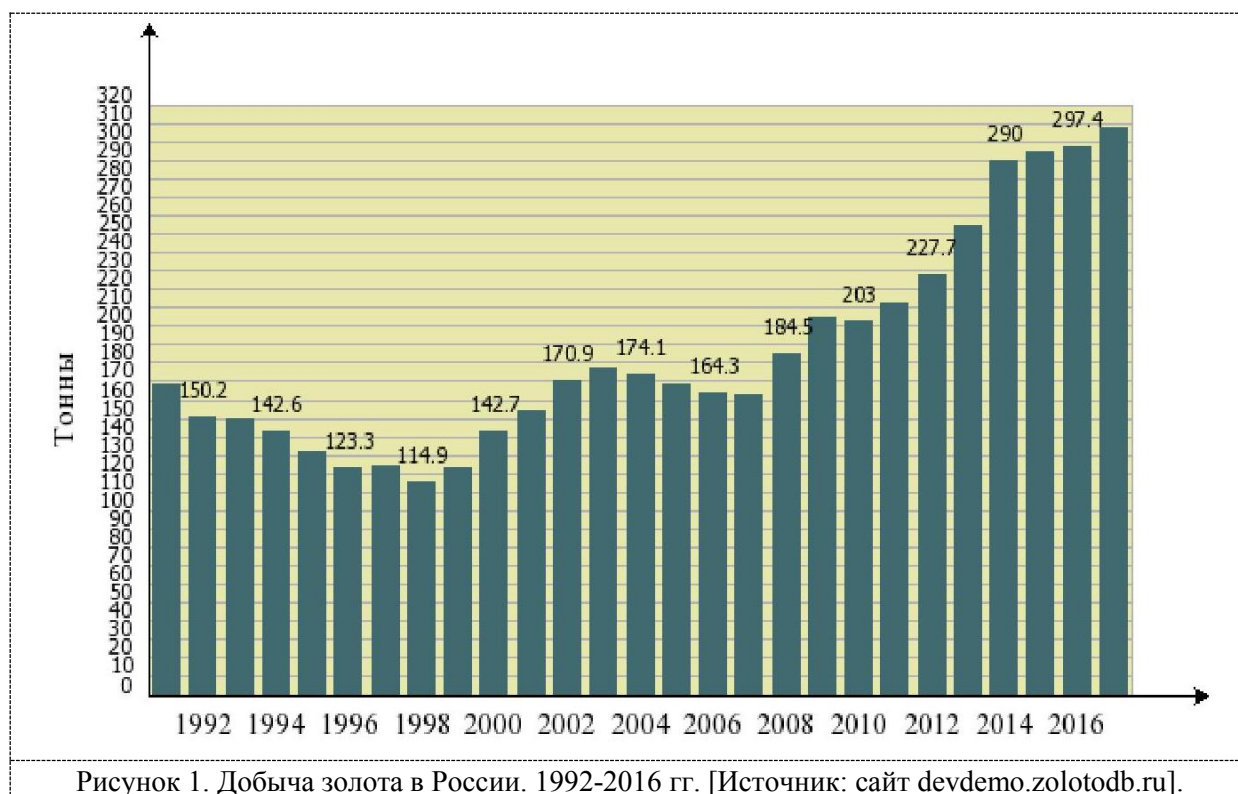
Страна	Объем производства по годам, т					
	1992	2001	2005	2010	2015	2017
ЮАР	614,1	391	297	190	145	139,9
США	330	335	262	230	214	230
Австралия	243	285	263	265	278	295
Китай	125,0	193	224	345	450	426
Канада	161,4	157	119	90	153	172,8
Россия	146,1	165	175	190	252	270,7
Индонезия	38,0	183	167	120	97	154,3
Перу	20,6	134	208	170	145	168,5
Узбекистан	н/д	83	79	90	102	84,9
Всего в мире	2254,2	2621	2522	2500	3100	3246,6

Источник: Добыча золота по странам. U.S. Geological Survey

По данным аналитиков, добыча и производство золота в России в 2018 году может составить 328 т. Председатель Союза золотопромышленников Сергей Кашуба на конференции «Золото России» выразил мнение, что добыча золота из минерального сырья может вырасти в текущем году до 293 тонн.

Увеличение добычи ожидается на Наталкинском месторождении, выхода на проектные мощности Тырынского и Угаханского горно-обогатительных комбинатов. Рост производства будет также за счет запуска золотоизвлекательной фабрики на Верхне-Алиинском золоторудном месторождении, кучного выщелачивания на месторождениях Биркачан и Куранах. Должно произойти также увеличение добычи из попутного золота до 21 т (Быстринский ГОК и др.).

Динамика добычи золота в России с 1992 по 2016 гг. иллюстрируется на рисунке 1.



По данным ОАО «Росгеология» (доклад В.П. Орлова, А. Карпузова), на начало 2016 г. балансовые запасы золота категории А+В+С1 составляли 8,2 тыс. тонн, а по категории С2 – 5,7 тыс. тонн. По их сумме доля России в мировых запасах достигает 22,7 %, а доля в мировой добыче – 8,3 %. Основную долю составляют коренные месторождения – 11,66 тысяч тонн, а россыпные – 1,25 тысячи тонн. В 2016 - 2017 гг. открыто 72 месторождения золота, приращено 305 тонн запасов и 1153 тонны прогнозных ресурсов. Запасы россыпного золота в разных регионах не превышают 5-8 лет. Следует отметить, что минерально-сырьевая база России, наиболее крупная в мире и вполне достаточна для роста добычи до 310-330 тонн в год к 2025 г.

2. Минерально-сырьевая база

Для развития золотодобычи необходима минерально-сырьевая база. По запасам золота Россия одна из крупнейших в мире.

По данным ОАО «Росгеология» (доклад В.П. Орлова, А. Карпузова), на начало 2016 г. балансовые запасы золота категории А+В+С1 составляли 8,2 тыс. тонн, а по категории С2 – 5,7 тыс. тонн. По их сумме доля России в мировых запасах достигает 22,7 %, а доля в мировой добыче – 8,3 %. Основную долю составляют коренные месторождения – 11,66 тысяч тонн, а россыпные – 1,25 тысячи тонн. В 2016 - 2017 гг. открыто 72 месторождения золота, приращено 305 тонн запасов и 1153 тонны прогнозных ресурсов. Запасы россыпного золота в разных регионах не превышают 5-8 лет. Следует отметить, что минерально-сырьевая база России, наиболее крупная в мире и вполне достаточна для роста добычи до 310-330 тонн в год к 2025 г.

Ученные прогнозные ресурсы золота также весьма значительны, на 1 января 2014 года по категориям Р1 + Р2 они составляли 15,7 тысячи тонн, Р3 – 23,5 тысячи тонн, что определяет значительные перспективы новых открытий.

В тоже время отмечается озабоченность в отношении качества минерально сырьевой базы:

1) Большая часть запасов представлена бедными и сложными в технологическом отношении рудами. Основная их часть сконцентрирована в одном сверхкрупном объекте – месторождении Сухой Лог в Иркутской области с низким содержанием труднообогатимых руд.

2) Основной объем прироста запасов обеспечен в Дальневосточном и Сибирском регионах со сложными условиями в технологическом отношении и сравнительно невысоким средним содержанием – 1,8-2,6 г/т.

3) Использование традиционных технологий несет высокие риски увеличения потерь в 2-3 раза (до 25-35% и более) и, соответственно, существенное снижение экономических показателей производства.

3. Заинтересованность золотодобывающих компаний

Почти полсотни золотодобывающих компаний осуществляют свою деятельность от Республики Карелия до Чукотки в 28 регионах России.

На долю десяти ведущих золотодобывающих компаний приходится больше половины объемов золота. Первое место занимает компания АО «Полюс Золото», которая в 2017 г. добыла 67,2 т золота. Второе место занимает ОАО «Полиметалл» – 28,7 т. Третье место за корпорацией Kinross Gold – 17,7 т. Четвертое и пятое места занимают ОАО «Южуралзолото ГК» и ГК «Петропавловск», которые обеспечили объемы в пределах 15 т. остальные компании добыли золота не более 10 т (табл. 3).

Таблица 3. Ведущие золотодобывающие компании.

Компании	2014	2015	2016	2017
АО «Полюс Золото»	52,7	54,8	61,2	67,2
ОАО «Полиметалл»	26,3	24,7	24,8	28,7
Корпорация Kinross Gold	21,5	23,6	21,3	17,7
ОАО «Южуралзолото ГК»	8,5	13,7	14,6	15,0
ГК «Петропавлоск»	19,2	15,0	13,0	13,6
Компания Nordgold	10,2	10,6	8,3	7,4
ОАО «Высочайший»	5,5	5,6	5,1	7,0
HGM	6,7	6,6	6,9	6,8
АО ЗРК «Павлик»/ИК «Арлан»	-	1,1	3,8	6,5
ОАО «Золото Камчатка»	3,0	2,5	3,5	5,4

Источник: Сайты компаний, *сайт eruda.ru*

4. Инвестирование

С учетом интереса государства в освоении месторождений золота, вводятся некоторые санкции в отношении иностранных инвесторов: Правительство РФ утвердило порядок отзыва совмещенных лицензий на разведку и добычу полезных ископаемых у иностранных инвесторов на стратегические месторождения при возникновении угрозы обороне и безопасности государства.

Государственная стратегия развития минерально-сырьевой базы РФ определена долгосрочной программой, в которой прогнозируется увеличение государственного развития минерально-сырьевой базы. Обеспечение работ за счет финансирования геологоразведочных работ в 2010 г. – до 16,5 млрд. рублей, а к 2020 году увеличится – до 20,5 миллиарда рублей в год. На освоение новых месторождений золота в 2010 г. – 32 млрд. рублей, а в 2020 году – 140 млрд. рублей.

Российский рынок золота – по-прежнему перспективная ниша для инвесторов. Россия обладает гигантской сырьевой базой - занимает второе место в мире по запасам и прогнозным ресурсам золота; средние содержания в оставшихся неосвоенными запасах превышают аналогичный показатель для большинства других стран мира.

Средние затраты на добычу золота в 2014 году составили – от 750 до 950\$/oz для 6-10 ведущих предприятий отрасли, а в целом по стране находились на уровне – 900-1100\$/oz.

Приход в страну зарубежных консалтинговых компаний, сертифицированных лабораторий, инжиниринговых структур и современных компьютерных технологий для геологоразведки и горного производства существенно подняли уровень местных кадров и открытость отрасли для передового опыта.

Огромный потенциал новых поисковых проектов и почти нулевая Россия создает новые инициативы для привлечения финансирования на ранних стадиях геологоразведочных работ.

5. Государственные запасы золота

Стремление государства к стабильному развитию своей экономики обеспечивается в значительной степени золотовалютным резервом. Золото используется всеми государствами в качестве страхового и резервного фонда. Ученные государственные запасы золота, сосредоточенные в центральных банках и резервах МВФ

Таблица 4. Запасы золота в государственных резервах стран мира (2005 - 2018 гг.).

Страна	Место страны. 2005 г.	Золотой запас, 2005 г.	Место страны. 2010 г.	Золотой запас, 2010 г.	Место страны. 2018 г.	Золотой запас, 2018 г.
США	1	8135,1	18134	18133,5		
Германия	2	3427,8	23407	23372,6		
Италия	4	2451,8	32452	32451,8		
Франция	3	2825,8	42435	42435,8		
Китай	8	600	51054	61842,6		
Швейцария	5	1290,1	61040	71040,1		
Япония	7	765,2	7765	8765,2		
Россия	12	386,9	8669	51909,8		
Нидерланды	6	694,9	9613	9612,5		

Источник: <https://basetop.ru/rejting-stran-po-obyomu-zolotogo-rezerva-2018/>

Центральный банк России был крупнейшим покупателем золота за последние шесть лет, а в начале этого года обошел Китай по объему золотого запаса. В 2017 году Россия купила 224 тонны слитков в целях диверсификации от доллара США, для покупок золота Россия продала часть принадлежащих ей казначейских бумаг США. Постоянное наращивание в России золотовалютного резерва позволило перейти ей за период с 2005 по 2018 гг. по рейтингу с двенадцатого на пятое место (табл. 4). Процент от валютных резервов в сентябре 2018 г. составил 17,6%.

6. Горное оборудование

Экскаваторный парк предприятий, занимающихся разработкой горных пород, в большинстве своем традиционно представлен отечественными машинами производства ПО "Уралмаш", ПО "Ижорский завод" (ОМЗ - группа Уралмаш-Ижора), ПО "Крастяжмаш", ЗАО "НКМЗ", ОАО "Донецкгормаш", ОАО "Азовмаш" (Ждановтяжмаш).

Из отечественных экскаваторов наибольшее применение получил карьерный экскаватор ЭКГ-5А производства завода Уралмаш. Машина показала себя вполне надежной, приспособленной для работы в самых разнообразных горно-геологических условиях и до сих пор интенсивно эксплуатируется.

Второе место по широте применения занимает экскаватор ЭКГ-8И и его модификации ЭКГ-4У и ЭКГ-6,3УС. Начиная с 1987г. Ижорский завод перешел от ЭКГ-12,5 и ЭКГ-8И к производству экскаваторов нового модельного ряда с иными типоразмерами на базе ЭКГ-15 и ЭКГ-10.

Однако в последнее время происходит явное увеличение числа приобретаемых экскаваторов иностранного производства. Среди самых популярных машины следующих производителей: Hitachi (Япония), Komatsu (Япония), Kobelco (Япония), BOA Ladetechnik (Германия), Caterpillar (США). Достоинством перечисленных иностранных марок является высокое качество.

На сегодняшний день крупные шагающие экскаваторы-драглайны выпускают только три производителя в мире. Это МК «Уралмаш», находящийся в России, и американские фирмы Bucyrus и P&H.

Являясь одним из крупнейших в мире производителей шагающих драглайнов, Уралмашзавод выпускает машины с ковшем вместимостью от 11 до 100 м³ и длиной стрелы от 65 до 100 м. Эти экскаваторы нашли широкое применение на бестранспортной вскрыше.

На вспомогательных работах, на отвалах и на россыпях, как правило, применяются бульдозеры мощностью до 300 л.с. Для рыхления горных пород базовые тракторы в

зависимости от назначения оснащают специальным оборудованием, а вес бульдозера и мощность двигателя увеличивают.

В отечественном тракторостроении основными производителями промышленных бульдозеров как средней, так и тяжелой категорий являются ОАО "ЧТЗ-Уралтрак" и ОАО "Промтрактор". Их машины при различной комплектации рассчитаны на эксплуатацию в условиях холодного, умеренного и тропического климата. Из иностранной техники для рыхления горных пород наибольшей популярностью пользуется бульдозеры марки Caterpillar (США).

Учитывая все вышеизложенное, Россия имеет все основания добывать драгоценные металлы на достигнутом уровне, и даже увеличивать золотодобычу за счет освоения новых месторождений и применения совершенных технологи

Выбор и обоснование параметров горнотранспортного оборудования для получения сортового угля в забое разреза

Муленкова А.О., Демченко И.И.

Сибирский федеральный университет, Россия

E-mail 15anastasiya@mail.ru; demtchenkoi@yandex.ru

Аннотация. Получение сортового угля в забое разреза и доставка его на дневную поверхность в контейнерах специализированных угольных (КСУ) имеет ряд обоснованных преимуществ, среди которых: сохранность качества и количества топлива, улучшение экологии, обеспечение высокого КПД топочного оборудования за счет использования сортового угля, повышенные механизация и экономичность процесса доставки за счет снижения площади складов и исключения плеча транспортировки. Погрузка сортового угля в КСУ в забое разреза сокращает трудоемкость технологического процесса, уменьшает эксплуатационные затраты карьерного транспорта и количество перевалок сортового угля. Получение сортового угля в забое разреза предполагает введение в технологию добычи горнотранспортного комплекса и технологического автотранспортного средства (ТАТС) с находящимися на нем КСУ. Результатом представленного научного исследования является разработка математической модели, которая позволяет выйти на согласование параметров выемочно-погрузочного, перерабатывающего оборудования и технологического автотранспортного средства для совместной работы в технологической цепочке в различных схемах разработки месторождения для получения сортового угля в забойных условиях разреза.

1. Введение

Основными факторами повышения конкурентоспособности угля по сравнению с другими энергоносителями является улучшение качества готовой продукции, экологизация и ресурсосбережение в процессе добычи, транспортировки и временного хранения. Сортвой уголь получают путем его рассортировки по классам крупности на грохотах, устанавливаемых в пунктах пересечения транспортных коммуникаций, на складах перегрузки и временного хранения. При транспортировке угля от забоя до места переработки происходят его потери, измельчение при разгрузке, уменьшение теплотворной способности при хранении, вследствие воздействия осадков. Доставка полученного сортового угля потребителю осуществляется навалом, что снижает качественные и количественные характеристики. Тройная перевалка сортового угля навалом превращает его в рядовой [1]. Переработка рядового угля в сортвой в забое позволяет исключить плечо транспортировки и перевалку. Для дальнейшего сохранения качественных и количественных характеристик полученного сортового угля до момента использования, его отгрузку осуществляют в специализированные емкости (контейнеры)

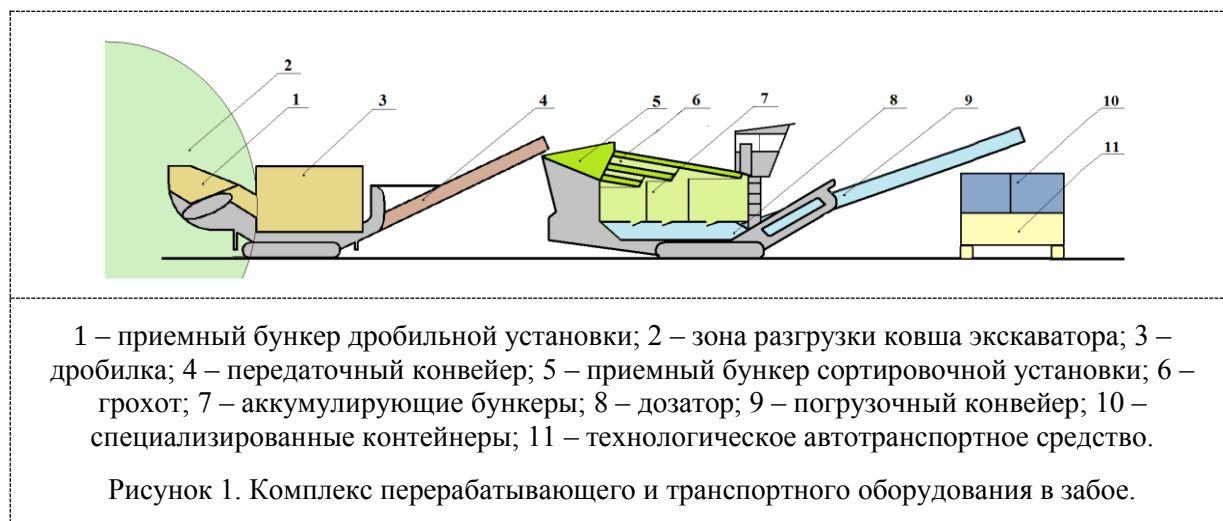
различных типоразмеров, установленных на автомобильном шасси и представляющих собой грузонесущий элемент технологического автотранспортного средства (ТАТС). В качестве тягового звена ТАТС в работе рассмотрены: одиночные автомобили с платформой на базе карьерных и шоссейных автосамосвалов, автопоезда в составе седельного тягача и полуприцепа-платформы, одиночные шоссейные автомобили с прицепом-площадкой, шахтные подземные вагоны, шарнирно-сочлененные транспортные средства. Рост объемов угледобычи приводит к растущему спросу на сортовой уголь, в связи с этим обоснование параметров горнотранспортного оборудования по получению сортового угля в забойных условиях разреза, при экологизации и ресурсосбережении процессов является актуальной научной и практической задачей.

2. Методы

Методы исследования включают анализ и обобщение ранее выполненных исследований по проблемам получения сортового угля и сохранения его качества; патентно-информационные и теоретические исследования; математическое моделирование и анализ; программные средства расчетов на ЭВМ; физическое моделирование.

3. Результаты исследования и их анализ

Получение сортового угля в забое разреза осуществляется мобильным перерабатывающим оборудованием, установленным в технологическую цепочку за добывающим экскаватором. Транспортировка специализированных контейнеров с сортовым углем (КСУ) с забоя на дневную поверхность осуществляется технологическим автотранспортным средством (ТАТС) (рис. 1).



Массогабаритные параметры специализированных емкостей как неотъемлемых частей технологических автотранспортных средств различного исполнения позволяют определить их основные конструктивные и режимные параметры для доставки сортового угля.

Масса нетто КСУ напрямую зависит от внутреннего объема и насыпной плотности сортового угля. Для определения массы тары КСУ проведены прочностные расчеты, в результате которых определены массы каждого элемента конструкции, способного выдержать нагрузки, вызванные максимальной массой вмещаемого груза и внешними силами. Максимальная вертикальная нагрузка на силовой каркас КСУ возникает при штабелировании. На нижний контейнер своей массой брутто давят расположенные выше КСУ. Вся нагрузка P , кН распределяется на несущие элементы: стойки и стенки контейнера:

$$P = 4 \cdot P_{кр.ст} + 3 \cdot P_{кр.софр}, \quad (1)$$

где $P_{кр.ст}$ – критическая нагрузка на одну стойку, кН;

$P_{кр.гофр}$ – критическая нагрузка на одну гофрированную стенку, кН.

Конструктивно обусловлено, что в конструкции малотоннажного КСУ (рис. 2) нагрузку воспринимают четыре стойки и только три стенки, т.к. одна выполнена разборной, состоящей из пластин [2].



1 – съемные панели передней стенки; 2 – боковая стенка; 3 – половина крышки контейнера, установленная в пазы откидывающейся опоры с образованием ступеньки для отбора сортового угля; 4 – откидывающиеся опоры.

Рисунок 2. Модель малотоннажного специализированного контейнера для сортового угля.

Модель малотоннажного контейнера КСУ-1,55, представленная на рисунке 2, разработана на кафедре «Горные машины и комплексы» Сибирского федерального университета.

Составляющая $P_{кр.гофр}$ суммарной максимальной загрузки P численно одинаковая величина для однотипных универсальных и специализированных контейнеров. Составляющая $P_{кр.ст}$, кН определяется по формуле:

$$P_{кр.ст} = F \cdot \phi \cdot [\sigma] \cdot n_y \quad (2)$$

где F – площадь поперечного сечения, m^2 ;

$[\sigma]$ – допустимое напряжение на простое сжатие, $[\sigma]=160$ МПа;

ϕ – коэффициент понижения основного напряжения в зависимости от гибкости стержня λ [3];

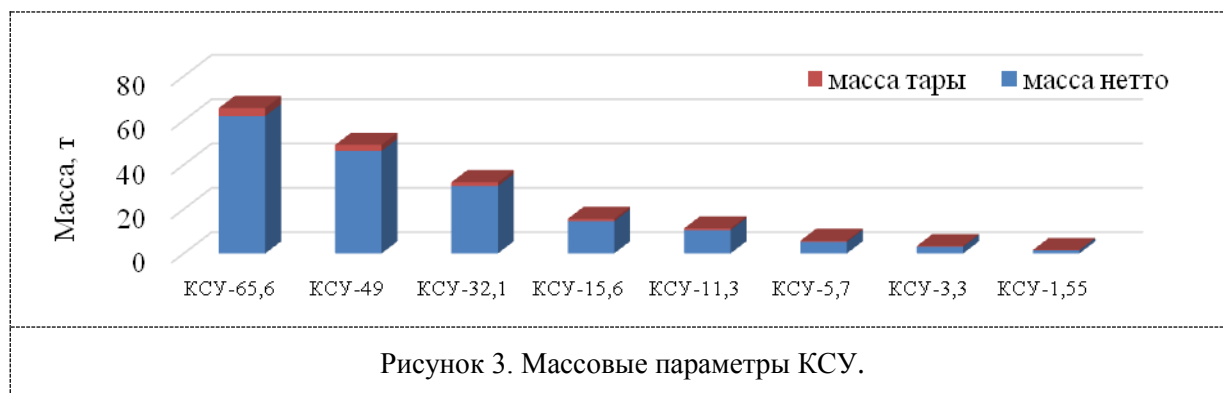
n_y – коэффициент запаса устойчивости, для стальных элементов рекомендуют принимать $n_y=1,5 \dots 3$.

Подбор подходящих вариантов площадей поперечных сечений стоек производят по формуле (2) методом последовательных приближений.

Таким образом, на основании прочностного расчета и анализа нормативной документации определены технические характеристики основных элементов и материалов КСУ. Суммирование масс каждого составляющего элемента позволило определить массу тары и массу брутто КСУ. Так, несущие элементы конструкции

специализированных малотоннажных контейнеров должны быть изготовлены из холодногнутых профилей, стенки из гофрированного листа толщиной 1,5 мм, крыша из тонколистового прокатного листа толщиной 1,5 мм, пол из рифленого листа толщиной 3 мм.

На рисунке 3 обозначены специализированные контейнеры согласно их типоразмерам, а через дефис указана максимальная расчетная масса брутто в тоннах.



Коэффициент тары КСУ составляет от 0,1 до 0,13 для различных типоразмеров, что говорит об эффективности предлагаемых конструкций КСУ и высоком уровне их полезной загрузки.

Как было сказано выше, КСУ являются грузонесущим элементом ТАТС, служащим начальным звеном ресурсосберегающей и экологически чистой технологии доставки сортового угля из забоя разреза.

Фактическая грузоподъемность ТАТС определяется параметрами комплекса перерабатывающего оборудования и технологией погрузки:

$$q_{mc} = \frac{Q_{об} \cdot K_n \cdot \eta \cdot t'_n}{\gamma}, \quad (3)$$

где q'_{mc} – фактическая грузоподъемность ТАТС, т;

$Q_{об}$ – производительность комплекса перерабатывающего оборудования, т/ч;

K_n – поправочный коэффициент, учитывающий долю выхода сортового угля с перерабатывающего оборудования;

t'_n – время погрузки ТАТС, ч;

η – коэффициент неравномерного поступления автомобилей на погрузку;

γ – коэффициент использования грузоподъемности ТАТС.

Время погрузки ТАТС t'_n является временем загрузки сортовым углем всех КСУ, установленных на грузовой платформе, количество которых должно удовлетворять двум основным условиям:

1) суммарная масса брутто специализированных контейнеров, установленных на грузовой платформе, стремится к номинальной грузоподъемности ТАТС и равна фактической грузоподъемности ТАТС:

$$\sum_i^1 m_{бруттоi} \cdot n_i = q'_{mc} \leq q_{mc} \quad (4)$$

где $m_{бруттоi}$ – масса брутто контейнера i -го типоразмера, т;

n_i – количество контейнеров i -го типоразмера.

q'_{mc} – фактическая грузоподъемность ТАТС, т;

q_{mc} – номинальная грузоподъемность ТАТС, т.

2) суммарная площадь основания установленных контейнеров стремится к полезной площади грузовой платформы ТАТС:

$$\sum_n^1 S_{оснi} \cdot n_i \leq S_{пл} \quad (5)$$

$S_{осн}$ – суммарная площадь основания КСУ, м³;

$S_{пл}$ – полезная площадь грузовой платформы, м³.

Время погрузки t'_n прямо пропорционально вмещаемой массе угля в контейнер определенного типоразмера, количеству контейнеров на грузовой платформе и обратно пропорционально производительности комплекса оборудования:

$$t'_n = \sum_{i=1}^8 (n_i \cdot \frac{V_{vi} \cdot \gamma_0 \cdot K_n}{Q_{об} \cdot K_n}), \quad (6)$$

где i – значение номинальной шкалы, классифицирующей специализированные контейнеры по типоразмеру;

n_i – количество контейнеров i -го типоразмера;

V_{vi} – внутренний объем специализированного контейнера i -го типоразмера, м³;

γ_0 – объемный вес угля, т/м³;

K_n – коэффициент наполнения контейнера, для мелких кусков $K_n=1,0-1,1$; средних – $0,7-0,8$; крупных $0,3-0,6$;

K_n – поправочный коэффициент, учитывающий долю выхода сортового угля с перерабатывающего оборудования;

Фактическое время погрузки ТАТС t'_n укомплектованного специализированными контейнерами различных типоразмеров, зависит от типоразмера, их общего количества, на грузовой платформе и времени погрузки каждого контейнера.

Зависимость фактической грузоподъемности ТАТС q'_{tc} от параметров горнотранспортного оборудования имеет вид:

$$q'_{mc} = Q_{об} \cdot K_n \cdot \eta \cdot \sum_{i=1}^8 (n_i \cdot \frac{V_{vi} \cdot \gamma_0 \cdot K_n}{Q_{об} \cdot K_n}) \quad (7)$$

Номинальная грузоподъемность ТАТС q_{tc} , определяющая наибольшее количество груза, которое может быть перевезено транспортным средством одновременно, соотносится с количеством ТАТС, работающих на линии для вывоза объема сортового угля:

$$q_{mc} = \frac{Q \cdot K_n \cdot \eta \cdot \left(\sum_{i=1}^8 (n_i \cdot \frac{V_{ei} \cdot \gamma_0 \cdot K_n}{Q_{об} \cdot K_n}) + 2 \cdot \frac{L}{v} + n_i \cdot t_p \right)}{A \cdot \gamma} \quad (8)$$

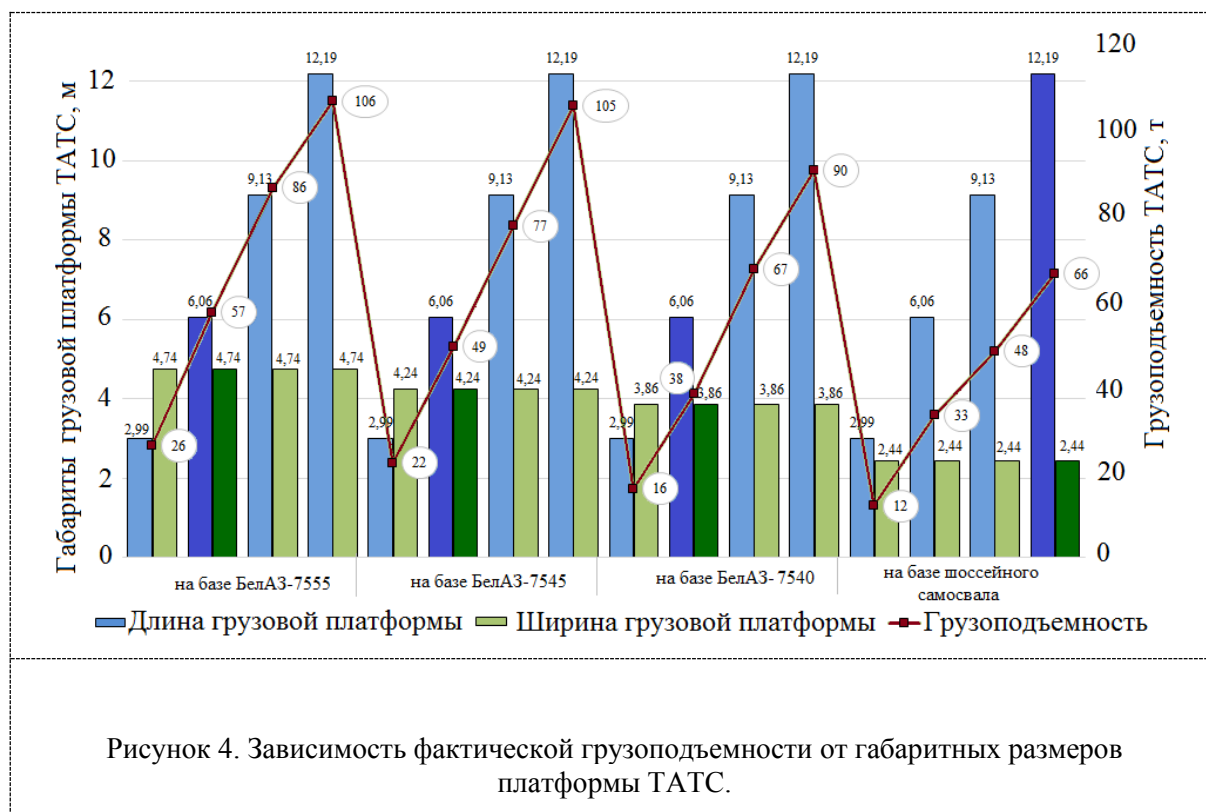
где L – расстояние от забоя до склада временного хранения, км;

v – скорость движения ТАТС, км/ч;

t_p – время разгрузки одного КСУс грузовой платформы ТАТС, определено нормативным документом [4];

A – количество ТАТС, обслуживающих комплекс оборудования, ед.

Количество единовременно установленных контейнеров различного типоразмера n_i определяется по наличию и структуре спроса. Для определения фактической грузоподъемности ТАТС при заданных габаритных размерах платформы и типах КСУ разработана программа для ЭВМ [5]. Разработанная программа для ЭВМ позволяет рассмотреть варианты компоновки платформы ТАТС различными типоразмерами КСУ и их комбинаций и определить зависимость между грузоподъемностью ТАТС и габаритными размерами ее платформы (рис. 4).



Таким образом, найденные зависимости номинальной грузоподъемности и габаритных размеров платформы позволяют определить рациональные значения конструктивных параметров ТАТС.

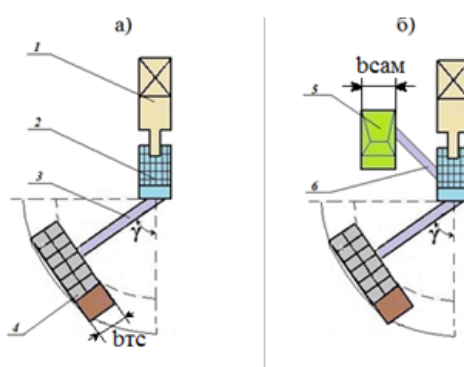
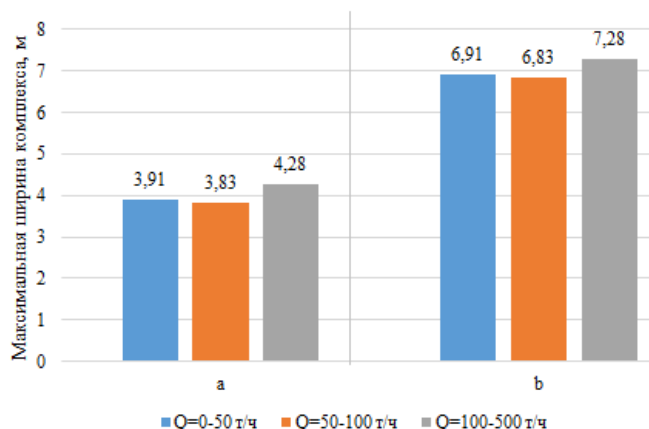
Как видно из представленных выше зависимостей, режимные параметры КСУ и ТАТС напрямую зависят от производительности перерабатывающего оборудования Q . От нее напрямую зависят конструктивные параметры перерабатывающего

оборудования, определяющие возможность его расположения в забое при различных горнотехнических условиях.

Согласно техническим характеристикам перерабатывающего оборудования выделены три группы элементов оборудования, по признаку обеспечиваемой ими максимальной часовой производительности (таблица 1).

Таблица 1. Варианты совместного использования перерабатывающего оборудования.

Элементы оборудования	Максимальная производительность оборудования Q, т/ч			
	до 50	50-100	100-500	до 1200
Дробилка	ДШЗ 150	ДШЗ 300	ДШЗ 500	ДШЗ 625
Грохот	ГИЛ 32	ГИЛ 52А	ГИСЛ 62У-1	ГИСЛ 62У-1 (3 единицы)

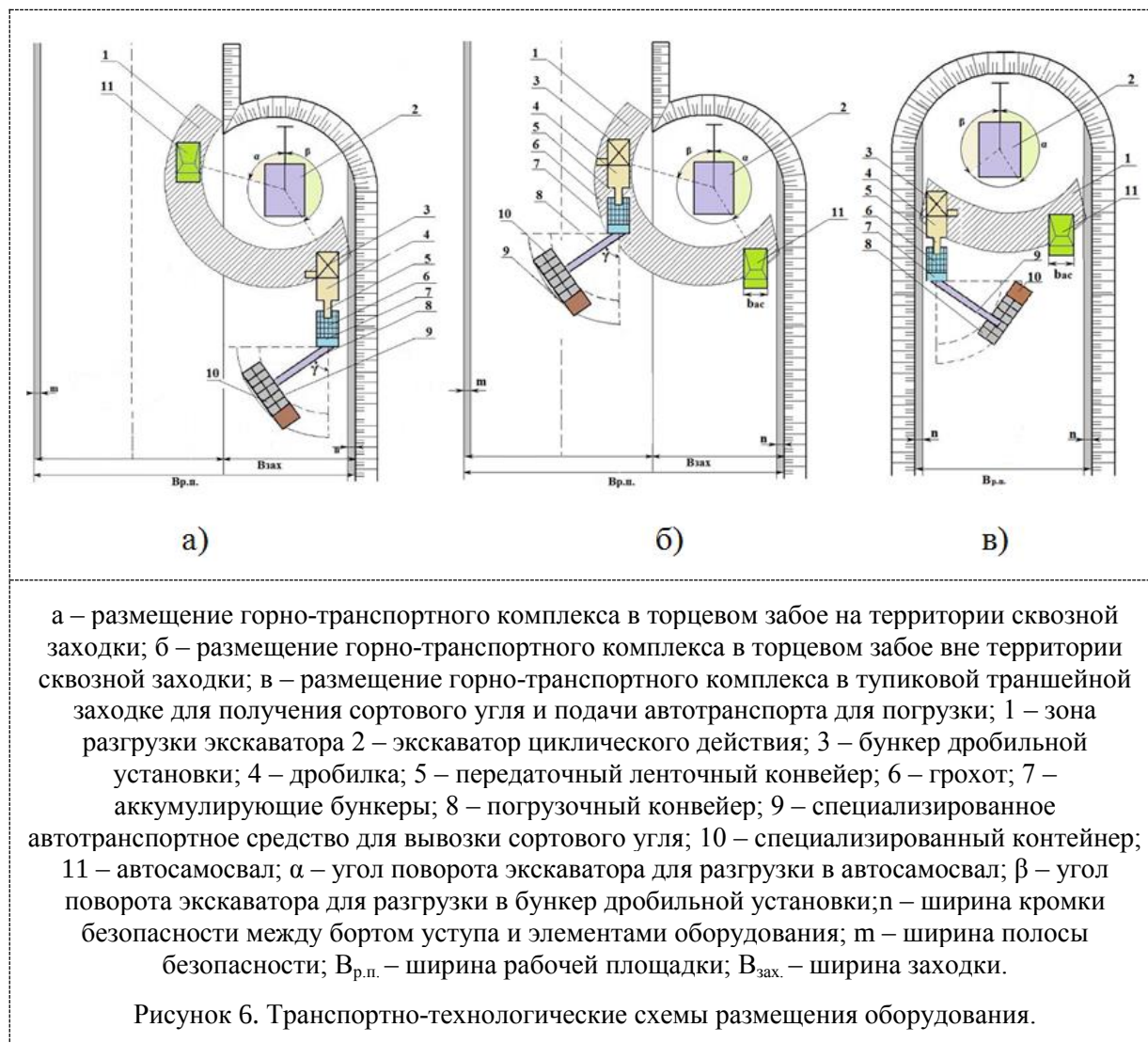


а - схема, предполагающая последовательную отгрузку отсева в автосамосвал и сорта в ТАТС по одному погрузочному конвейеру, (вариант 1); б - схема, предполагающая одновременную отгрузку сорта в ТАТС и отсева в автосамосвал по разным погрузочным конвейерам (вариант 2); 1 – дробильная установка; 2 – сортировочная установка; 3 – погрузочный конвейер; 4 – ТАТС со специализированными контейнерами; 5 – автосамосвал; 6 – погрузочный конвейер для отсева; γ – угол поворота погрузочного конвейера

Рисунок 5. Варианты отгрузки отсева и сортового угля звена переработки.

Наличие аккумулирующего бункера определяется вариантом компоновки перерабатывающего оборудования в зависимости от способа отгрузки отсева и сортового угля, а также шириной комплекса оборудования в зависимости от варианта компоновки (рис. 5) Ширина комплекса зависит от угла поворота погрузочного конвейера и является минимальной при первом варианте компоновки, когда отгрузка рядового и сортового угля происходит по одному конвейеру поочередно. Однако в этом случае возрастает время погрузки.

На рисунке 6 представлены варианты транспортно-технологических схем размещения перерабатывающего и транспортного оборудования в забое разреза.



Размеры элементов забоя определяются используемым выемочно-погрузочным оборудованием. Перерабатывающее оборудование и ТАТС должны соответствовать конкретным параметрам забоя: коррелировать по производительности и иметь параметры, позволяющие им располагаться на территории забоя. Для ТАТС определяющим возможность маневрирования является минимальный радиус поворота при необходимости петлевого разворота, либо ширина транспортного средства при сквозном движении.

При расположении комплекса перерабатывающего оборудования на территории заходки торцевого забоя при условии петлевого разворота транспортных средств определено предельное значение диаметра разворотной площадки:

$$D = B_{p.n} - b - a, \quad (9)$$

где D – диаметр разворотной площадки, м;

$B_{p.n}$ – ширина рабочей площадки, м;

b – ширина звена переработки, м;

a – кромка безопасности, м.

Таким образом, в забое с разворотной площадкой диаметром D возможно использование ТАТС с минимальным радиусом поворота $R_{min} \leq D/2$.

В условиях торцевого забоя при расположении звена переработки на территории заходки при сквозном движении автомобилей используются ТАТС с шириной:

$$b_{mc} < (B_{p.n} - b - a) \quad (10)$$

В случае расположения звена переработки за территорией заходки в рассматриваемых выше горно-технических условиях при необходимости петлевого разворота возможно использование ТАТС с минимальным радиусом поворота:

$$R_{min} \leq (B_{p.n} - a)/2 \quad (11)$$

При сквозном движении используются ТАТС с шириной, определяемой по формуле:

$$b_{mc} < B_{p.n} - B_{зах} - b, \quad (12)$$

где $B_{зах}$ – ширина заходки, м.

В траншейных заходках ограничено пространство для расположения перерабатывающего оборудования и возможности маневрирования ТАТС. В траншейном забое возможно использование ТАТС с минимальным радиусом поворота:

$$R_{min} \leq (B_{зах} - 2a)/2 \quad (13)$$

Таким образом, построенная математическая модель позволяет выйти на согласование параметров выемочно-погрузочного, перерабатывающего оборудования и технологического автотранспортного средства для совместной работы в технологической цепочке в различных схемах разработки месторождения для получения сортового угля в забойных условиях разреза.

Предельные значения параметров горнотранспортного оборудования, работающего в комплексе при разработке экскаватором ЭКГ-5А, представлены в приложении.

4. Заключение

Основные научные и практические результаты представленного исследования заключаются в следующем:

1. Рассмотрены и предложены новые конструкции специализированных контейнеров КСУ для перевозки сортового угля, адаптированные к их использованию на всех этапах технологического процесса, начиная от загрузки сортовым углем в забойных условиях

разреза, транспортирования различными видами транспорта и заканчивая разгрузкой и хранением у конечного потребителя.

2. Проведены прочностные расчеты, на основании которых определены основные параметры специализированных контейнеров. Рассчитаны массы тары, брутто и нетто КСУ, позволяющие определить в дальнейшем грузоподъемность технологических транспортных средств при доставке сортового угля потребителям.

3. Рассчитаны зависимости фактической грузоподъемности ТАТС от производительности комплекса перерабатывающего оборудования, которые определяются способом расстановки специализированных контейнеров с сортовым углем на грузовой платформе, временем их загрузки, а также номинальной грузоподъемности от времени оборота и количества ТАТС, работающих на линии.

4. Разработана математическая модель определения конкретных параметров ТАТС для заданных горнотехнических условий, в частности типами забоя, заходки и применяемым выемочно-погрузочным оборудованием.

5. Разработаны технологические схемы размещения комплекса горно-перерабатывающего и транспортного оборудования для получения сортового угля в забойных условиях разреза.

6. Обоснованы параметры комплекса перерабатывающего оборудования в составе дробильных и сортировочных установок, передаточных и погрузочных конвейеров для получения сортового угля в забое в зависимости от производительности и схемы расстановки их в забое разреза.

Приложение

В таблице 2 представлена информация по предельным значениям параметров элементов горнотранспортного комплекса в зависимости от горнотехнических условий разработки экскаватором ЭКГ-5А.

Проанализировав таблицу 2 можно сделать следующие выводы:

1. При разработке торцевого забоя экскаватором ЭКГ-5А:

– невозможен петлевой разворот ТАТС на базе автомобилей, предлагаемых промышленностью, при любом его конструктивном исполнении при использовании перерабатывающего комплекса с двумя погрузочными конвейерами (вариант 2) производительностью $Q=50-500$ т/ч, расположенного на территории узкой заходки. На территории нормальной заходки петлевой разворот прицепного ТАТС при использовании перерабатывающего комплекса (вариант 2) возможен только при минимальном угле поворота погрузочного конвейера ($\gamma \rightarrow 0^\circ$), при увеличении γ рекомендуется использовать полуприцепы или одиночные ТАТС. При использовании комплекса оборудования с одним погрузочным конвейером петлевой разворот возможен для ТАТС любого конструктивного исполнения;

– сквозное движение ТАТС на базе шоссейных автосамосвалов и шахтных подземных вагонов возможно в случаях, когда ширина пространства рабочих площадок, не занятая перерабатывающим комплексом $b_0 \geq 3,5$ м. Использование ТАТС на базе карьерных автосамосвалов при сквозном движении возможно при $b_0 \geq 4,5$ м.

2. При разработке тупиковой траншейной заходки экскаватором ЭКГ-5А без ограничений возможно использование перерабатывающего комплекса с одним

погрузочным конвейером производительностью Q до 100 т/ч, для комплекса $Q = 500$ т/ч существуют ограничения по значению угла поворота конвейера γ . В траншейной заходке невозможен петлевой разворот ни одного транспортного средства.

Таблица 2. Предельные значения параметров горнотранспортного оборудования в комплексе и элементов забоя при разработке экскаватором ЭКГ-5А.

Радиус поворота а ТАТС, R, м	Тип заходки	Вариант компоновки комплекса перерабатывающего оборудования	Вариант 1 (рис. 5, а)			Вариант 2 (рис. 5, б)		
		Производительность комплекса, т/ч	До 50	50-100	100-500	До 50	50-100	100-500
1 Расположение комплекса оборудования в торцевом забое на территории заходки (рис. 6, а)								
При условии петлевого разворота	Узкая заходка	Максимально возможный радиус поворота ТАТС при минимальной ширине комплекса, м	9,37	9,36	9,13	8,59	8,58	8,35
		Максимально возможный радиус поворота ТАТС при максимальной ширине комплекса, м	8,62	8,61	8,38	7,12	7,11	6,88
	Нормальная заходка	Максимально возможный радиус поворота ТАТС при минимальной ширине комплекса, м	12,53	12,52	12,29	11,75	11,74	11,51
		Максимально возможный радиус поворота ТАТС при максимальной ширине комплекса, м	11,78	11,77	11,54	10,28	10,27	10,04
2 Расположение комплекса оборудования в торцевом забое за территорией заходки (рис. 6, б)								
R=11,5	Независимо от типа заходки	Ширина рабочего пространства, не занятая комплексом перерабатывающего оборудования (отрицательное значение говорит о невозможности размещения комплекса) - для минимальной ширины комплекса, м	11,69	11,67	11,21	10,13	10,11	9,65
R=14,7		- для максимальной ширины комплекса, м	10,19	10,17	9,71	7,19	7,17	6,71
3 Расположение комплекса в траншейной заходке (рис. 6, в)								
R=3,5	Узкая заходка	Ширина рабочего пространства, не занятая комплексом перерабатывающего оборудования (отрицательное значение говорит о невозможности размещения комплекса) -для минимальной ширины комплекса, м	4,73	4,71	4,255	3,17	3,15	2,695
		- для максимальной ширины комплекса, м	3,23	3,21	2,755	0,23	0,21	-0,25
R=6,7	Нормальная заходка	Ширина рабочего пространства, не занятая комплексом перерабатывающего оборудования (отрицательное значение говорит о невозможности размещения комплекса) - для минимальной ширины комплекса, м	11,058	11,038	10,58	9,498	9,478	9,023
		- для максимальной ширины комплекса, м	9,558	9,538	9,083	6,558	6,538	6,083

Библиографический список

[1] Демченко И.И., Буткин В.Д. и Косолапов А.И. 2006 Ресурсосберегающие и экологичные технологии обеспечения качества углепродукции (Москва: МАКС Пресс) с 344.

- [2] Патент № 2544983 Российская Федерация. Контейнер для сыпучих грузов / Демченко И.И., Ковалев В.А., Серебренников В.Л., Муленкова А.О., Демченко А.И. – опубл. 20.03.15.
- [3] Писаренко Г.С., Агарев В.А. и Квитка А.Л. 1986 Сопротивление материалов. (К.: Вища шк. Головное изд-во) с 775.
- [4] Постановление от 17 октября 2000 года N 76 Об утверждении Межотраслевых норм времени на погрузку, разгрузку вагонов, автотранспорта и складские работы.
- [5] Демченко И.И. и Муленкова А.О. Свидетельство ЭВМ №2017617474. Программа для определения параметров технологического специализированного автотранспортного средства. (Версия 1). Дата регистрации 05.07.2017.

Установление предельной потери металлоемкости рабочего колеса центробежного одноступенчатого насоса

Овчинников Н.П., Викулов М.А., Портнягина В.В.

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Россия

E-mail ovchinnlar1986@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена установлению предельной потери металлоемкости рабочего колеса грунтового насоса, являющегося ключевым типом насосного оборудования в горно-обогатительной отрасли. По результатам параметрических испытаний центробежного одноступенчатого насоса и прочностного расчета его вала выведена эмпирическая формула, позволяющая рассчитать предельную потерю металлоемкости рабочего колеса насоса.

1. Введение

В условиях обогатительных мощностей акционерной компании «Алроса» основной деталью, ограничивающей работу грунтового насоса – центробежного одноступенчатого насоса, является его рабочее колесо.

Короткий срок службы рабочего колеса грунтового насоса объясняется его преждевременным гидроабразивным износом в результате тесного контакта с твердой составляющей пульпы [1–3]. Практика показывает, что одним из возможных результатов работы грунтового насоса с изношенным рабочим колесом является остаточная деформация вала. Диагностическим признаком изгиба вала является частая поломка уплотнительных элементов и подшипниковых узлов, что объясняется их систематическим затиранием об корпусные детали насоса. Именно постоянная течь уплотнительных элементов грунтовых насосов фирмы «КЕТО» стала причиной их неудовлетворительной работы на обогатительной фабрике № 12 (Удачный ГОК, акционерная компания «Алроса»).

Данная статья посвящена установлению предельной потери металлоемкости рабочего колеса грунтового насоса. Полученные результаты научных исследований являются востребованными с практической точки зрения, так как в перспективе позволят снизить риск возникновения остаточной деформации валов грунтовых насосов, в частности тех, которые используются на обогатительных фабриках акционерной компании «Алроса».

2. Материалы и методы

Для достижения поставленной задачи в лабораторных условиях были проведены параметрические испытания на консольном насосе модели К8-18 при различной степени металлоемкости его рабочего колеса (от 100 % до 88 %). Рабочее колесо с металлоемкостью $m = 100\%$ – новое рабочее колесо.

Как видно (рис. 1), насос модели К8-18 (или насос-имитатор) в плане конструкции практически идентичен грунтовым насосам, в связи с чем, предполагаем, что полученные результаты научных исследований с высокой долей вероятности будут достоверны и по отношению к грунтовым насосам.

Методика проведения параметрических испытаний насоса-имитатора подробно описана в статьях [4].



3. Результаты исследования и их анализ

Вычисленные рабочие параметры при различных значениях металлоемкости рабочего колеса насоса-имитатора представлены ниже (табл. 1).

Таблица 1. Рабочие параметры насоса-имитатора при различной металлоемкости рабочего колеса.

Металлоемкость (%)	Напор (м)	Производительность ($\text{м}^3 \text{ч}^{-1}$)	Мощность (Вт)
100	21.64	1.522	867.65
95	21.16	1.486	850.52
93	20.98	1.468	839.13
92	20.5	1.451	804.85
89.5	20.04	1.415	782.02
88	19.38	1.132	744.4

На основании этих вычисленных рабочих параметров были определены нагрузки механической и гидравлической природы, которые в дальнейшем были использованы при проведении прочностного вала насоса-имитатора.

Прочностной расчет вала насоса-имитатора был проведен при помощи методов конечных элементов в модуле APM Beam, APM WinMachine. Конечно-элементная

модель вала насоса-имитатора была построена по результатам замеров натурной детали (рис. 2).



Рисунок 2. Вал насоса-имитатора.

Методика проведения прочностного расчета вала насоса-имитатора при различной степени металлоемкости его рабочего колеса подробно описана в статье [5].

По результатам прочностного расчета была построена экспериментальная зависимость между максимальными эквивалентными динамическими напряжениями σ , возникаемыми в посадочном месте вала насоса-имитатора под полумуфту (наиболее нагруженный участок вала) и металлоемкостью рабочего колеса m (рис. 3). Под единицей по оси Y стоит понимать максимальное эквивалентное динамическое напряжение, возникаемое в посадочном месте вала насоса-имитатора при его работе с новым рабочим колесом (расчетный рабочий режим).

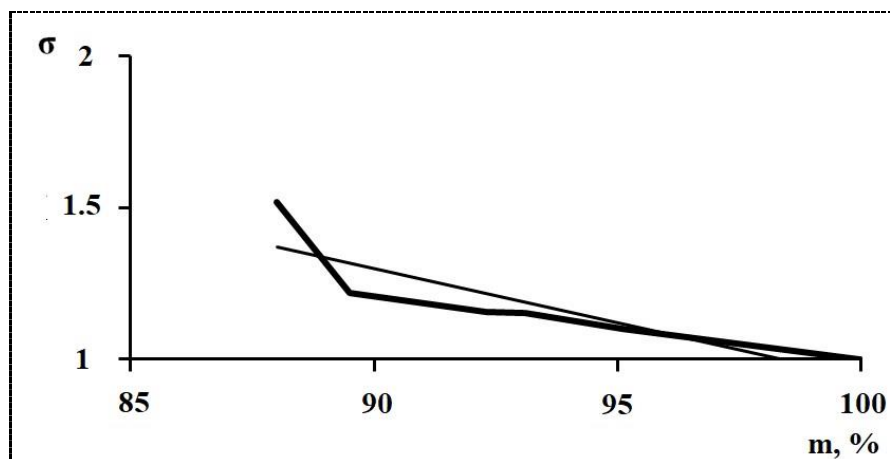


Рисунок 3. Экспериментальная зависимость σ от m .

4. Обсуждение

Согласно выражению [6–8], валы насосов обычно небезопасно эксплуатировать в случае роста величины σ_{-1}^* в 1.8 раза.

$$K_v = \sigma_{-1} (\sigma_{-1}^*)^{-1} = 1.8$$

где K_v – коэффициент запаса прочности вала насоса; $\sigma_{-1}, \sigma_{-1}^*$ – предел выносливости и максимальное эквивалентное напряжение в конструкции вала при работе насоса в расчетном режиме.

Используя эмпирическую формулу (табл. 2), полученную путем аппроксимации линейным трендом экспериментальной зависимости σ от m , авторы установили, что предельное значение величины m составляет 76 %.

Таблица 2. Выведенная эмпирическая формула и данные об ее достоверности.

Формула	Коэффициент детерминации	Значимость F
$\sigma = -0.00357m + 4.5116$	0.7428	0.027

5. Заключение

В ходе научных исследований была выведена эмпирическая формула, благодаря которой авторы смогли установить предельную потерю металлоемкости рабочего колеса грунтового насоса. Рабочее колесо рекомендуется заменять в случае снижения его начальной металлоемкости на 24 % и более. Хочется отметить, что результаты проведенных авторами научных исследований будут полезны специалистам, эксплуатирующим насосное оборудование в условиях гидроабразивного изнашивания.

Библиографический список

- [1] Овчинников Н П 2014 О сроках службы рабочих колес пульповых насосов обогатительных фабрик АК «АЛРОСА». *Обогащение руд*, 4 51-54.
- [2] KhalidYA and Sapuan S M 2017 Wear analysis centrifugal slurry pump impellers. *Industrial lubrication and tribology* 59, 118-28.
- [3] Kesler R 2016 Considerations is selecting a positive eed is placement slurry pump. *Mining World* 13, 434-37.
- [4] Овчинников Н П, Викулов М А, Довиденко Г П и Бочкарев Ю С 2016 Экспериментальные исследования эксплуатационных свойств насосной установки с изношенным рабочим колесом. *Горный журнал*, 9 61-65.
- [5] Овчинников Н П 2017 Прочностной расчет вала насоса с изношенным рабочим колесом. *Вестник Мордовского университета* 27, 4 592-606.
- [6] Шадрин В К, Вакулюк ВС, Иванов В Б, Кирпичев В А и Лежин С М 2007 *Справочные данные расчетно-проектировочным и курсовым работам по сопротивлению материалов. Часть 2: методические указания.* (Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева).
- [7] Семенихин Р Л 2014 Расчетная оценка запаса прочности вертолета МИ-2. *Научный вестник МГТУ ГА*, 205 81-85.
- [8] Ширшов А А 2013 Об определении коэффициента запаса по усталостной прочности при регулярном нагружении. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 8 35-39.

Геоинформационное картографирование пространственной изменённости ландшафтов

Никитина Ю.Г., Олзоев Б.Н., Ступин В.П.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail kosmos@istu.edu

Аннотация. Раскрыта необходимость геоинформационного экологического картографирования для изучения изменённости ландшафтов для оценки экологического состояния и динамики ландшафтов. Изучены состояние и проблемы ландшафтно-экологического картографирования, принципы картографического отображения границ ландшафтов, формирующие методические основы геоинформационного экологического картографирования для изучения изменённости ландшафтов. Показано определение места ландшафтно-экологических карт в системе классификации комплексных экологических карт, что даёт представление о степени разработанности, положении, назначении и взаимосвязях данного вида карт в общепринятой системе географических карт.

1. Введение

Новые технологические решения, разрабатываемые для геоинформационного картографирования, позволяют учитывать особенности пространственной структуры территории с позиции теории геоинформационных систем. При оценке современного экологического состояния территорий необходимо использовать геометрически точные материалы с большой информационной емкостью. К таким материалам относятся данные дистанционного зондирования Земли из космоса. С одной стороны, они решают вопросы обновления содержания географических карт, с другой стороны, по ним с достаточной точностью можно оценить физическое (фактическое) состояние объекта. На картах, отражающих экологическое состояние ландшафтов, уделено внимание аналитическим и оценочным характеристикам экологической ситуации (явления) территории с представлением необходимого состава и структуры хозяйственной деятельности человека. Поэтому картографические исследования и проекты по оценке экологического состояния природной среды имеют большое значение для реализации государственных программ по охране окружающей среды, в т. ч. и в Иркутской области (госпрограмма «Охрана окружающей среды» на 2014–2020 гг.). В связи этим необходима разработка методологических основ геоинформационного ландшафтно-экологического картографирования, включающие теорию его сущности, степени разработанности, современного состояния и проблем.

2. Материалы и методы

Методология и методы исследования территорий основываются на использовании комплексной оценки и системного подхода к картографическому моделированию изменённости ландшафтов. В методике создания карт могут найти применение – комплексные методы автоматизированного дешифрирования космических снимков, технологии геоинформационного картографирования.

Основной целью ландшафтно-экологического картографирования является выявление, классификация и отображение природных и антропогенных систем земной поверхности в условиях существующей структуры хозяйственной деятельности и экологической обстановки данной территории на какой-либо период времени [1].

Создание ландшафтно-экологических карт (ЛЭК) должно отвечать следующим общим методологическим принципам экологического картографирования [10]:

- размещение объектов и явлений на карте следует осуществлять на основе географической и индикационной локализации;
- при составлении карт должны учитываться, отображаться в картографическом отображении разные типы связей между объектами и явлениями;
- в процессе картографирования объектов и явлений требуется правильный учет и отображение различных типов природных и антропогенных границ;
- при составлении карт следует учитывать экологические аспекты и антропогенные изменения территорий.

На современном уровне развития в ландшафтно-экологическом картографировании, как и во всей картографической отрасли, широкое применение получили компьютерные технологии, представляющие процессы сбора, хранения, обработки исходных данных, так и создания, оформления и обновления картографических продуктов.

На сегодняшний день в ландшафтно-экологическом картографировании значительный вес приобретает использование разновременных многозональных космических снимков и ГИС, показывающих динамику воздействий и экологическое состояние ландшафтов в пространственно-временном разрезе.

3. Результаты исследования и их обсуждение

Экологическое состояние ландшафтов формируется в результате сложного воздействия внешних факторов, в т. ч. антропогенных, на природную среду. В результате этого в ландшафтах относительно их индивидуальной устойчивости возникают ответные реакции: в виде различных изменений в структуре, составе и природных связях ландшафтов. Эти реакции объединены общим понятием «изменённость ландшафта» – совокупность результатов благоприятных и неблагоприятных изменений в ландшафте.

В зависимости от степени изменённости формируется экологическое пространственно-временное состояние (ЭПВС) ландшафтов – соотношение величины изменённости ландшафтного выдела с течением времени.

Известно, что наиболее заметным изменениям подвержены динамичные компоненты ландшафта, в первую очередь растительный покров, который первым реагирует на наличие неблагоприятных условий в природном комплексе [5, 12, 30, 31].

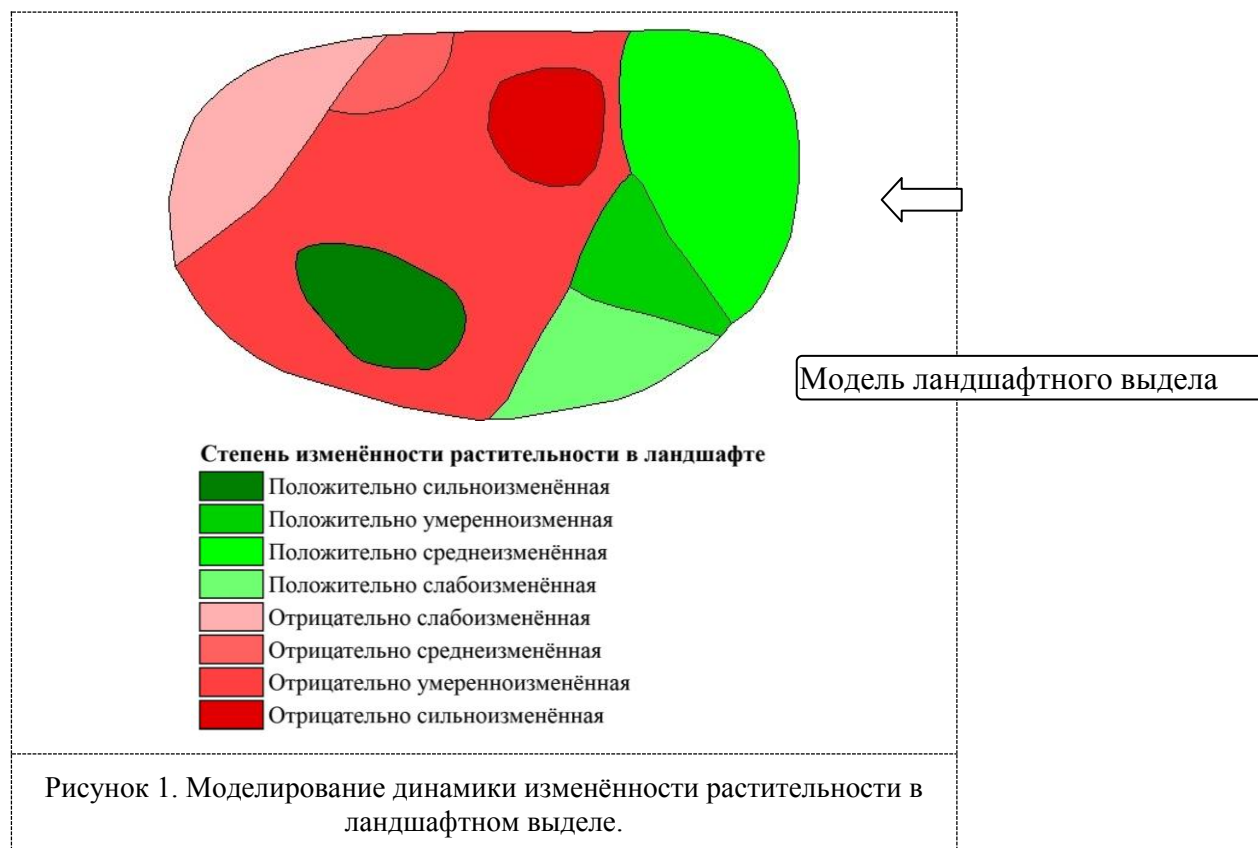
Ландшафтно-экологическое картографирование степени изменённости растительности заключается в пространственном моделировании качественно-количественных показателей динамики продуктивности растительности в ландшафтном выделе (рисунок 1) с использованием разновременных многозональных космических снимков и геоинформационных технологий.

Для получения количественной информации о биомассе растительности по космическим снимкам, а также для последующего геоинформационного анализа и моделирования выполняется построение разновременных вегетационных индексных изображений и схем различий между ними с целью отображения их на картах и выявления динамики состояния растительности по классам изменений.

При ГИС-анализе, выполняя функцию объединения слоёв (пересечения), можно сделать выборку на определение состава классов изменений NDVI в каждом ландшафтном выделе, а выполняя арифметические и геометрические функции, можно получить количественные показатели сумм площадей всех классов изменений для каждого ландшафтного выдела.

На основе полученных результатов осуществляется геоинформационное моделирование

изменённости растительного покрова ландшафтных выделов.



Применяя принцип общей арифметической середины, рассчитываются процентное отношение площадей каждого класса изменений [25] в структуре всех ландшафтных единиц по известной формуле (1)

$$S_{\%k} = \frac{S_k * 100\%}{S_l}, \quad (k=1, \dots, m), (l=1, \dots, t) \quad (1)$$

где $S_{\%k}$ – процентное соотношение площади k -го класса изменения к общей площади выдела; S_k – площадь k -го класса изменения в структуре определенного ландшафтного выдела; S_l – общая площадь l -го ландшафтного выдела; k – номер класса изменения; l – номер ландшафтного выдела.

Далее в каждом ландшафте по формуле (2) [20] вычисляется средневзвешенное значение процента изменённости растительности (среднее арифметическое значение, в котором учтены веса значимости каждого из чисел)

$$S_{\%cp} = \frac{S_{\%k} * P_i + S_{\%n} * P_n}{\sum_{i=1}^n P_n}, \quad (k=1, \dots, m), (i=1, \dots, n) \quad (2)$$

где P_i – вес значимости; i – i -й вес значимости.

В результате обработки разновременных многозональных космических снимков Landsat, ГИС-анализа и геомоделирования созданы аналитические карты территории западного побережья оз. Байкал (Приольхонья и о. Ольхон) [24, 25] (рисунок 4).

4. Заключение

Ландшафтно-экологическое картографирование является одной из ключевых разновидностей комплексного экологического картографирования, с которым имеет ряд общих проблем.

ЛЭЖ занимают одно из ключевых мест в составе комплексных экологических карт в России. Инвентаризационно-оценочный характер ЛЭЖ имеет значительную ценность в задачах управления, научно-исследовательских работ, экологического просвещения, образования и воспитания природоохранной направленности.

Природные ландшафты и их границы характеризуются пространственной и временной изменчивостью свойств. Конфигурация и состояние ландшафтов напрямую зависят от динамических свойств его компонентов и внешних факторов. Поэтому правильное отображение рисунка и свойств границ ландшафтов – важная задача для тематической картографии.

Развитие современного ландшафтоведения и картографии требует разработки объективных методик нанесения границ на карты, позволяющих разным исследователям получать одни и те же результаты при использовании одинаковых исходных данных. Значительным толчком к разработке таких методик может стать развитие методов геоинформационного анализа. Для этого существует возможность, имея в наличии достаточный объем исходной информации и необходимые алгоритмы их обработки, использовать автоматизированные классификации местоположений, с помощью которых в ландшафте выделяются пространственные элементы, однородные по набору установленных параметров, минимизируя при этом субъективные факторы [23].

Таким образом, ЛЭЖ являются разновидностью комплексных экологических карт и включают в себя серию карт: «внешних воздействий на ландшафты», «изменённости компонентов ландшафтов», «средневзвешенной изменённости ландшафтов», «экологического состояния ландшафтов».

Библиографический список

- [1] Абдулкасимов А. Применение космоснимков при ландшафтном картографировании Кураминского хребта и прилегающих равнин [Текст] / А. Абдулкасимов, Р. Абдуназаров, К. С. Ярашев // Молодой ученый. – 2012. – № 3. – С. 131–132.
- [2] Берлянт А. М. Картография [Текст] : учебник для вузов / А. М. Берлянт. – М. : Аспект Пресс, 2002. – 336 с.
- [3] Бешенцев А. Н. Модернизация картографического метода исследования [Текст] / А. Н. Бешенцев // Геодезия и картография. – 2011. – № 2. – С. 19–23.
- [4] Востокова Е. А. Экологическое картографирование на основе космической информации [Текст] / Е. А. Востокова, Л. А. Шевченко, В. А. Сущеня. – М. : Недра, 1988. – 223 с.
- [5] Геоинформационное ландшафтно-экологическое картографирование бассейна озера Байкал (в пределах России и Монголии) / В. М. Плюснин, Т. И. Кузнецова, А. Р. Батуев, Д. А. Лопаткин [Текст] // Геодезия и картография. – 2015. – № 8. – С. 29–37.
- [6] Заруцкая И. П. Проектирование и составление карт. Карты природы [Текст] : учебник / И. П. Заруцкая, Н. В. Красильникова. – М. : МГУ, 1989. – 296 с.
- [7] Исаченко А. Г. Физико-географическое картирование [Текст] / А. Г. Исаченко. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1958. – Ч. 1. – 232 с.
- [8] Кейко Т. В. Ландшафтно-экологическое картографирование на основе материалов дистанционного зондирования Земли из космоса [Текст] / Т. В. Кейко, Т. И. Коновалова // Солнечно-земная физика. – 2004. – Вып. 5. – С. 48–50.

- [9] Комплексное экологическое картографирование (географический аспект) [Текст] : учеб. пособие / под ред. Н. С. Касимова. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1997. – 147 с.
- [10] Кочуров Б. И. Геоэкологическое картографирование [Текст] : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Д. Ю. Шишкина, А. В. Антипова, С. К. Костовска ; под ред. Б. И. Кочурова. – М. : Академия, 2009. – 192 с.
- [11] Ландшафтно-экологическая карта Республики Бурятия [Карты] / под ред. Л. А. Пластинина, А. Р. Батуева, Н. В. Котельниковой. – Иркутск : НУПКЦ «Сибэкокарта», 2010 – 2 к.
- [12] Лисьев В. П. Теория вероятности и математическая статистика [Текст] : учеб. пособие / В. П. Лисьев. – М., 2006. – 199 с.
- [13] Лурье И. К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков [Текст]: учебник / И. К. Лурье. – 2-е изд., испр. – М. : КДУ, 2010. – 424 с.
- [14] Марчуков В. С. Ресурсно-экологическая картография [Текст] / В. С. Марчуков, С. А. Сладкопечев. – М. : Моск. гос. ун-т геодезии и картографии, 2005. – 195 с.
- [15] Мкртчян А. С. Автоматизированное выделение ландшафтных единиц путем классификации рельефа с применением ГИС [Текст] / А. С. Мкртчян // Ландшафтное планирование. Общие основания. Методология. Технология : труды междунар. школы конф. – М. : Геогр. фак. МГУ, 2006. – С. 203–208.
- [16] Никитина Ю. Г. Изучение антропогенной трансформации ландшафтов Прибайкалья по космическим снимкам (на примере острова Ольхон) [Текст] / Ю. Г. Никитина, Б. Н. Олзоев // Вестник ИрГТУ. – 2014. – № 2. – С. 67–74.
- [17] Ротанова И. Н. О разработке эколого-ландшафтной карты Алтайского края / И. Н. Ротанова, А. Н. Щербаков // География и природные ресурсы. – 1996. – № 2. – С. 140–142.
- [18] Стурман В. И. Экологическое картографирование [Текст] : учеб. пособие / В. И. Стурман. – М. : Аспект Пресс, 2003. – 251 с.
- [19] Carré J. Cartographie et environnement [Text] // Bulletin du Comité français de Cartographie. – 1978. – № 76. – P. 40–56.
- [20] Ozenda P. La écologie [Text] // Acta geographica, 3-e série, 1978. – № 34. – P. 29–38.

Анализ случая проявления динамического горного давления

Павлов А.М., Федоляк А.А.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail: go_gor@estu.edu

Аннотация. В России прослеживается рост объемов подземной добычи руды при освоении жильных золоторудных месторождений. Горные работы уходят на глубины до 1000м и более. С увеличением глубины разработки месторождений ухудшаются их горно-геологические условия. В первую очередь дает о себе знать горное давление в выработках, которое проявляется не только в статической форме, но и в динамической, в виде внезапного разрушения массива горных пород, что значительно усложняет

процессы отработки запасов. В связи с этой проблемой Федеральные нормы и правила требуют при разработке месторождений выполнение исследований по изучению геомеханического состояния массива горных пород с проведением геодинамического районирования в соответствии с методическими рекомендациями, но, как показывает опыт подобных исследований, не всегда возможно выявить высоконапряженные участки месторождения опасные по динамическому проявлению горного давления [1]. На примере исследований по изучению геомеханического состояния массива пород по жиле №3 Ирокиндинского месторождения рассмотрен такой случай. На основе предложенных методик осуществлен анализ геомеханического состояния массива горных пород в районе отстрела породы с борта восстающего и обозначены условия, при которых напряжение в массиве превысило предельно допустимое. В результате исследований определены дополнительные факторы влияющие на повышение напряжения массива на контуре выработок, учет которых поможет выполнить наиболее достоверно прогноз геодинамического районирования пород шахтного поля.

1. Введение

Ирокиндинское золоторудное месторождение представлено кварцевыми наклонными маломощными жилами, залегающими в условиях криолитозоны. Разработка месторождения ведется по нескольким жилам отдельными участками, добытая руда с которых транспортируется на золото-извлекательную фабрику. Горные работы уходят на глубину, что сопровождается сменой температурного режима и изменением природных напряжений массива горных пород. Жильные рудные тела месторождения разрабатываются в сложных условиях геологической среды, что требует постоянного геомеханического мониторинга состояния массива горных пород и его геодинамического районирования, особенно на нижних горизонтах с выходом пород из зоны многолетней мерзлоты. В качестве примера исследований в данном направлении приведен анализ факта проявления динамической формы горного давления при проходке восстающего №3 горизонта 890 м (В-3/890) рудного тела жилы №3.

2. Материалы и методы

Горные работы по жиле №3 ведутся на шахтных горизонтах 990,940 и 890м. Осуществляется подготовка гор.890м к очистной добыче проходкой штрека и восстающих и вскрытие наклонным съездом запасов гор. 840м.

Восстающий 3/890 был врезан со штрека №2 и пройден 39м на момент отстрела породы. С правого борта восстающего в трех метрах от груди забоя, произошел выброс горной массы на всю высоту выработки в виде тонких пластинок породы на протяжении шести метров (рисунок 1). Этому факту проявления динамического давления предшествовало потрескивание пород по массива в забое.

На других участках шахтного поля исследуемых горизонтов при ведении горных работ случаев динамического проявления горного давления не отмечено.

Цель исследований: произвести геодинамическое районирование массива горных пород шахтных горизонтов жилы №3.

Вмещающие породы штрека и восстающего представлены гнейсами различного состава и березитами. Жила кварцевого состава с примесью сульфидов от 0,2 до 0,5% (пирит, галенит). Кварц трещиноватый, трещины в основном субпараллельны падению рудного тела. В пределах кварцевой жилы присутствуют ксенолиты вмещающих пород. Жила имеет линзообразное строение, ее мощность изменяется от 0,2 до 1,0 м. в раздувах. Углы падения варьируют от 35° до 45°. В непосредственной близости от рудного тела породы подвергнуты рассланцеванию. Степень рассланцевания возрастает по мере приближения к жильным контактам. Зона рассланцевания сложена мелко-тонкозернистыми, тонкорассланцованными породами, в виде глинисто-щебнистого материала, хлоритизированные и графитизированные (рисунок 2).

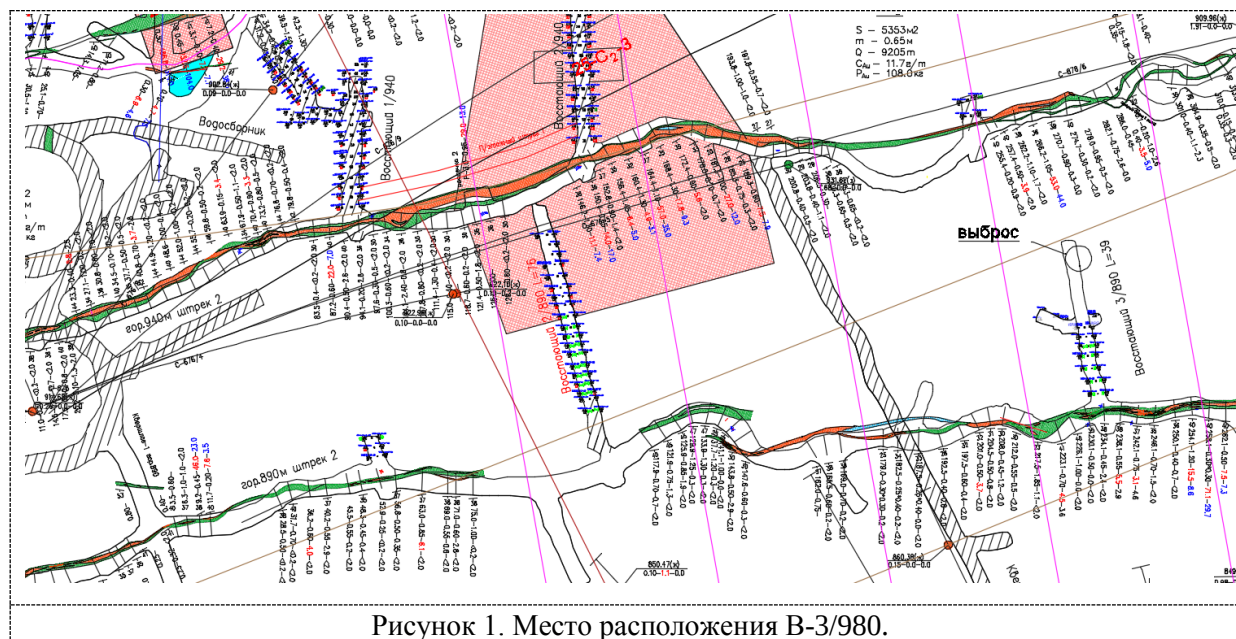


Рисунок 1. Место расположения В-3/980.

В ходе исследований исполнители руководствовались «Методическими рекомендациями по оценке склонности рудных и нерудных месторождений к горным ударам» [1].

Категория устойчивости обнажений пород определялась по методике ИРНТУ, в основе которой лежит комплексный подход с учетом физико-механических свойств (ФМС) пород, состояния тектоники и интенсивности трещиноватости, рельефа кровли, а также температурного режима[2,3]. ФМС образцов пород были изучены в лаборатории геомеханики и физики горных пород ИРНТУ в соответствии с требованиями стандартов Российской федерации на методы испытаний горных пород.

Измерение природных напряжений горных пород на участке выполнялось методом щелевой разгрузки института горного дела УрО РАН[4].

Для выявления техногенных напряжений массива было применено математическое моделирование по методике моделирования НДС методом конечных элементов с помощью программного комплекса FEM (ИГД УрО РАН)[5].

Прогноз степени удароопасности осуществлялся по методу оценки дискования зерна, являющимся базовым по требованиям Методических рекомендаций по оценке склонности рудных и нерудных месторождений к горным ударам.



Рисунок 2. Массив горных пород по штреку 890 жилы №3.

3. Результаты исследований и их анализ

В результате проведенных исследований физико-механических свойств горных пород установлено, что горные породы обладают средней плотностью $2,8 \text{ т/м}^3$), относятся к категории крепких пород. Коэффициент крепости по М.М. Протодяконову изменяется, в среднем 10. Предел прочности пород на сжатие равен 115 МПа в сухом состоянии, 105,6 МПа во влажном состоянии. Пределы прочности на растяжение составят 15,84 и 13,84 МПа соответственно. Угол внутреннего трения пород равен 34° . Сцепление пород в сухом состоянии –30,23 МПа, во влажном состоянии –27,5 МПа. Исследуемые породы характеризуются высокими упругими характеристиками. Модуль упругости пород составляет 62,96 ГПа, коэффициент Пуассона 0,25.

Оценка потенциальной удароопасности произведена по критерию Г.Н. Кузнецова. Породы разрушаются хрупко, если:

$$K_{xp} = \frac{\sigma_{сж}}{\sigma_p} > 6 \quad (1)$$

где $\sigma_{сж}, \sigma_p$ – пределы прочности пород на одноосное сжатие и растяжение соответственно, МПа

Оценка потенциальной удароопасности по данному критерию показала, что горные породы жилы №3 Ирокиндинского месторождения, в основном, склонны к хрупкому разрушению под нагрузкой. Потенциально удароопасными являются следующие породы: кварц, березиты, гнейсы. Средний коэффициент хрупкости по жиле равен 8,5. Прогноз степени удароопасности по оценке дискования керна был проведен на основе анализа вмещающих пород и руд 17 скважин нижних горизонтов. Дисков керна толщиной 1-5 мм не выявлено, поэтому пришли к выводу, что категории "опасно" по оценке дискования керна скважин, пробуренных из подземных выработок нижних

горизонтов жилы №3, не установлено. Это означает, что породы и руды шахтного поля имеют категорию «неопасно» по горным ударам.

Разрывные нарушения массива горных пород не связаны с тектоникой первого и второго порядка, имеют локальный характер. Система трещин прерывистая, форма структурных блоков призматическая прямоугольная и трапецеидальная. Количество трещин на погонный метр породного обнажения варьируется в пределах 5 – 15 штук в зависимости от выбранного интервала, коэффициент структурного ослабления при этом составляет 0,4. Трещины в основном раскрытые, но без глинки трения и зеркал скольжения, заполнены перетертым материалом.

Устойчивость горной выработки снижается из-за наличия зоны расланцевания и графитизации в боках рудовмещающей структуры, трещиноватости руд и вмещающих пород. Рельеф кровли по падению жилы носит относительно ровный характер, а по простиранию изменяется, но незначительно, чтобы повлиять на устойчивость кровли. Кровля представлена монолитными вмещающими метаморфическими породами (как правило, гранито-гнейсами), имеющими поперечную по отношению к осевой плоскости рудной зоны ориентировку слоистости, затем в направлении к центру рудного тела они постепенно сменяются зоной измененных пород березитового состава. Породы бортов и кровли выработок средней и неустойчивой категории.

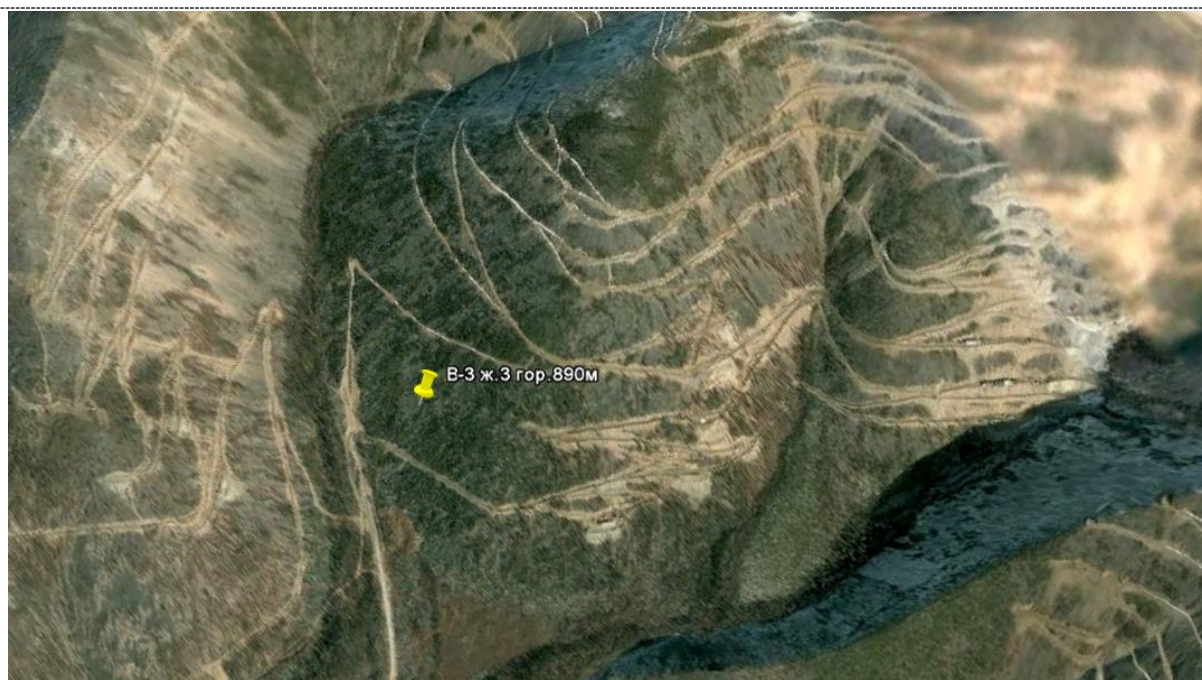


Рисунок 3. Расположение вертикальной точки выхода забоя В-3/890.

Натурные измерения проведены в замерной станции гор.890м, расположенной на глубине 410м от поверхности. Результаты замеров природных напряжений показали, что вертикальные напряжения (σ) равны минус 11,6 МПа, продольные (σ_{np}) равны минус 17,5 МПа, а поперечные – минус 27,3 МПа, что можно отметить выражением

$$\sigma = -\gamma H; \sigma_{np} = -1.5 \cdot \gamma H; \sigma_n = -2.4 \gamma H \quad (2)$$

Из результатов видно, что максимальными являются поперечные напряжения, которые в 2,4 раза больше вертикальных. Расчеты показали, что гравитационная составляющая горизонтальных напряжений мала – минус 4,4 МПа. Отсюда поперечная тектоническая будет

равна -22,9 МПа, а продольная -13,1 МПа. Это можно объяснить тем, что массив горных пород находится в области синклинали складки (рисунок 3).

Принимая во внимание, что среднее значение предела прочности на сжатие в образце по результатам лабораторных испытаний равно минус 105,6 МПа, на растяжение 13,8 МПа, то можно принять допустимые напряжения массива для условий отработки нижних горизонтов жилы №3: на сжатие минус 31,3 МПа, на растяжение 4,1 МПа.

Математическое моделирование показало, что техногенные напряжения в выработках гор.890м будут выше допустимых (рисунок 4).

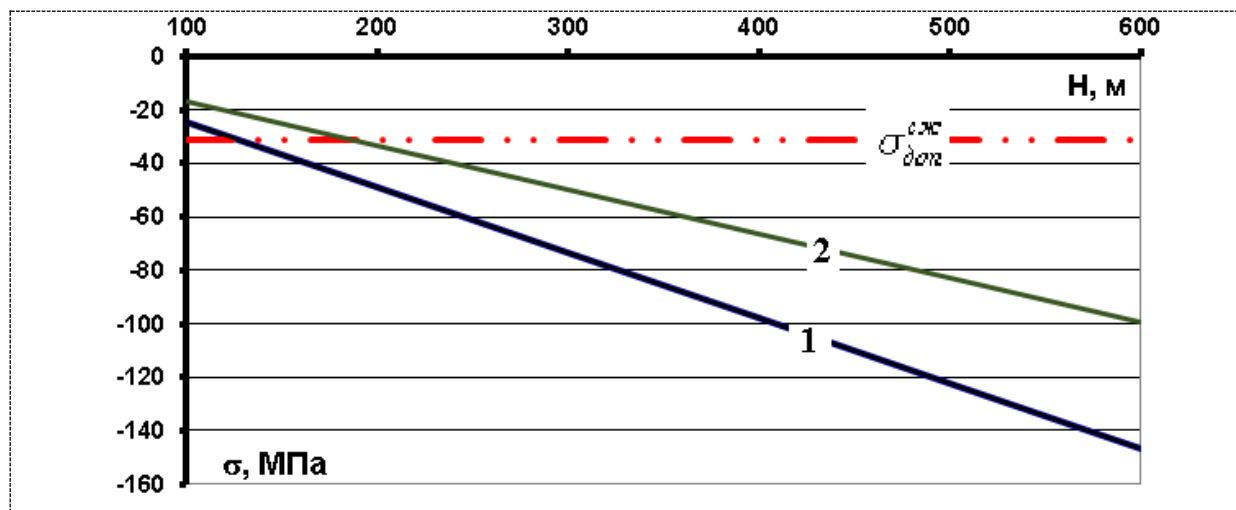


Рисунок 4. Техногенные напряжения в штреках в зоне влияния горных работ. 1 – в откаточных штреках, 2 – в вентиляционных.



Рисунок 5. Разрушение пород борта штрека по системе трещин и графитизированной зоне рассланцевания.

Визуальный осмотр горных выработок горизонта 890м подтвердил, что породы по откаточному штреку не выдерживают напряжений и разрушаются по системе трещин и податливой зоне трещиноватости (рисунок 5).

При прогнозе категории удароопасности пород горизонта 890м допустимые напряжения будут равны:

$$\sigma_{доп}^{сж} = 0,8\sigma_{сж}^{об} \quad (3)$$

где $\sigma^{об}$ - предел прочности на сжатие горных пород в образце, МПа; $\sigma_{сж}^{об}$ допустимые напряжения на сжатие, МПа [1].

Для пород гор. 890м допустимые напряжения по горным ударам будут равны минус 84,5 МПа. Отсюда следует, что напряжения в штреках на глубине 410м выше допустимых.

4. Заключение

При хрупких, крепких породах и высоких напряжениях массив будет относиться к категории «удароопасно», что и подтверждает проявление динамического давления в виде отстрела породы с борта В-3/890. В данном случае строение массива пород в восстающем, по сравнению со штреком изменилось, жила выклинилась, графитизированные зоны расщепления исчезли, а породы с полосчатой структурой смятия стали менее трещиноваты (рисунок 6), что позволило аккумулировать энергию и, при достижении напряжения выше допустимого, привело к разгрузке массива пород восстающего.



Рисунок 6. Строение массива горных пород правого борта В-3/980.

Поскольку породы горизонта 890м средней устойчивости и не устойчивые, то массив будет не удароопасен, так как нет условий для сохранения целостности массива при напряжениях больше допустимых.

Библиографический список

- [1] *Методические рекомендации по оценке склонности рудных и нерудных месторождений к горным ударам* 2016 (М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности»).
- [2] Павлов А М 2013 *Совершенствование технологии подземной разработки жильных месторождений золота* (Иркутск: Изд-во ИрГТУ). 128 с.
- [3] Павлов А М 2012 Исследования криолитозоны и ее влияния на геомеханическое состояние массива горных пород при подземной разработке золоторудных месторождений Бурятии *Известия СО секции наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений* 1 (40). С. 53–60.
- [4] Влох Н П 1994 *Управление горным давлением на подземных рудниках* (М.: Недра). 208 с.
- [5] Зубков А В 2001 *Геомеханика и геотехнология* (Екатеринбург: УрО РАН). 335 с.

Оценка эффективности разработки россыпей по удельному расходу дизельного топлива

Пятаков В.Г., Соколов А.С., Тальгамер Б.Л.¹

Предприятие «Иргиредмет», Россия

¹Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия¹

E-mail talgamer@ex.istu.edu

Аннотация. Обоснована необходимость оперативного снижения затрат на горные работы при разработке россыпных месторождений. Сделан анализ структуры себестоимости добычи и переработки полезных ископаемых и установлена высокая доля (около 40%) в стоимости добытого металла затрат на дизельное топливо. При этом доля затрат на топливо для различного горного оборудования (бульдозер, экскаватор, погрузчик, автосамосвал) достаточно стабильна. Приведены результаты фотохронометражных наблюдений за работой горного оборудования и расходом топлива на одном из россыпных месторождений Магаданской области, которые сопоставлены с данными справочной нормативной литературы. На основании сопоставления с справочными данными рекомендуется принимать поправочный коэффициент в зависимости от вида горного оборудования. В связи с высокой сложностью расчета себестоимости машино-часа работы оборудования предлагается оценивать эффективность горных работ только по расходу дизельного топлива. Приведен пример сравнения двух вариантов доставки песков к промывочной установке, оценка эффективности которых выполнена только исходя из расхода топлива, который рекомендуется принимать в качестве критерия эффективности горных работ, осуществленных с использованием дизельного оборудования.

1. Введение

В настоящее время из россыпных месторождений добывается примерно 70 т золота или около 25% от его общей добычи. Вероятно, количество добываемого россыпного золота будет оставаться на этом уровне благодаря все более широкому вовлечению в повторную переработку техногенных месторождений. В связи с ухудшением качества сырьевой базы недропользователи стремятся снизить затраты на горных работах (а эти затраты составляют более 70% от общих по предприятию) и повысить извлечение золота при обогащении.

При поиске путей снижения затрат на горных работах желательно иметь относительно простой метод экономической оценки как существующих на предприятии технологических процессов, так и альтернативных.

К особенностям россыпных месторождений можно отнести два фактора.

Во-первых, большинство месторождений расположено в удалённых районах Сибири, Дальнего Востока и Крайнего Севера, где, как правило, отсутствует центральное электроснабжение и почти все виды горных работ выполняются самоходными машинами с дизельным приводом, а машины на электроприводе питаются от дизельных электростанций. Большое расстояние транспортировки дизтоплива и материалов и плохое качество дорог существенно удорожают транспортные затраты на доставку дизтоплива.

Во-вторых, по причине низких содержаниях золота в песках и постоянного роста мощности вскрышных пород предприятиям приходится перерабатывать огромные объёмы горной массы. Так, на среднем по масштабам предприятии с годовой добычей золота около 500 кг объём переработки горной массы составляет около 4 млн м³/год, а расход дизельного топлива – около 6000 м³/год. То есть в сезон работ ежедневно расходуется примерно 30 м³ дизтоплива. При стоимости дизтоплива с учётом доставки 50-55 руб./л годовые затраты превышают 300 млн руб., и они являются самой большой статьёй затрат.

При таких особенностях россыпных месторождений правильный выбор типа машины и её мощности на выполнении определённой операции, позволяющий получить минимальный удельный расход дизтоплива, становится главным резервом снижения затрат.

2. Методика исследований

Для оценки эффективности работы машин чаще всего используют следующую простую формулу:

$$C = Z_{\text{ч}} / Q_{\text{ч}},$$

где C – себестоимость 1 м³ перерабатываемой горной массы, руб/м³;

$Z_{\text{ч}}$ – часовые расходы на владение и эксплуатацию, руб/ч;

$Q_{\text{ч}}$ – достигнутая часовая производительность, м³/ч.

Выражение «часовые расходы на владение и эксплуатацию» приняты в зарубежной справочной литературе [1]. По сути это «себестоимость 1 машино-часа эксплуатации машины». Калькуляция себестоимости 1 машино-часа включает затраты на [2]:

- амортизацию (с налогом на имущество);
- дизтопливо;
- масла;
- ходовую часть (для гусеничной техники);
- шины (для колёсной техники);
- быстроизнашивающиеся элементы, фильтры, ремонтное обслуживание;
- зарплату оператора с начислениями.

Как правило, амортизация в калькуляции занимает значительную долю. Вообще амортизация является налоговым термином, означающим юридически разрешенное отнесение на себестоимость некоторой доли от стоимости машины. Рассматриваемая здесь амортизация является экономическим инструментом и учитывает стоимость физического износа машин за 1 час её эксплуатации, которая равна отношению остаточной стоимости машины к остаточному моторесурсу.

Стоимость часового физического износа точно определить практически невозможно, так как она зависит от первоначальной стоимости машины, срока её эксплуатации, уровня нагрузки при её эксплуатации (низкий, средний, высокий), квалификации оператора, температуры наружного воздуха, возможной замены двигателя, количества моточасов работы машины как за анализируемый год, так и за предыдущие годы.

Авторами была предпринята попытка определить фактический (физический) моторесурс для техники фирмы Komatsu, эксплуатируемой на одном из россыпных месторождений Магаданской области. Результаты этой попытки представлены в таблице 1.

Таблица 1. Расчёт моторесурса машин фирмы Komatsu, работающих в условиях Крайнего Севера

Показатели	Марка машины			
	Бульдозер D375	Погрузчик WA470-3	Экскаватор PC220	Автосамосвал NM350A
Количество часов работы машины в месяц	510	560	560	560
Количество рабочих месяцев в году	8,0	6,5	6,5	6,5
Количество часов работы машины в год	4080	3640	3640	3640
Количество лет работы машины до списания*	8	7	7	8
Моторесурс машины до списания, ч	32640	25480	25480	25480

*Примечание: количество лет работы машин принято по результатам данных нескольких предприятий

На основании данных, приведённых в таблице 1, рассчитана примерная часовая амортизация рассматриваемых машин (таблица 2).

Таблица 2. Примерная часовая амортизация машин

Показатели	Марка машины			
	Бульдозер D375	Погрузчик WA470-3	Экскаватор PC220	Автосамосвал NM350A
Стоимость новой машины, млн руб.	70	16	10	25
Моторесурс до списания машины, моточасы	32640	25480	25480	25480
Часовая амортизация машины, руб./ч	2145	628	392	1138

*Примечание: стоимость машин принята на 01.12.17 г. с округлением по курсу 58 руб. за доллар США.

Расход дизельного топлива для машин, указанных в таблицах 1 и 2, определялся в ходе фотохронометража достаточно точно. Топливо заливалось в баки машин через расходомеры, а часы работы фиксировались установленными на машинах счётчиками. В табл. 3 приведён расход топлива фактический (измеренный) и справочный для среднего уровня нагрузки на двигатель [3, 4]. Продолжительность наблюдений за расходом дизтоплива длилась от

нескольких недель до нескольких месяцев, то есть приведённые в таблице 3 сведения достаточно надёжны.

Таблица 3. Расход дизтоплива за час работы

Марка машины	Расход ДТ, л/ч		Поправочный коэффициент к справочным данным
	по справочнику для среднего уровня нагрузки [1]	фактический	
D375	62,55	77,15	1,23
WA470-3	25,45	28,13	1,10
PC220	13,60	18,50	1,36
HM350A	27,45	16,15	0,59

Затраты на масла несколько различаются по типам машин, но без большой погрешности их можно принимать в размере 4% от затрат на дизтопливо. Эта величина определена на основании справочных сведений фирмы Комацу [3].

В себестоимости машино-часа значительную долю составляет ремонт ходовой части гусеничной техники, особенно у бульдозеров. В зависимости от условий эксплуатации комплект гусениц, например, D375 «ходит» 1,0-1,5 года, а стоит он около 4 млн руб. То есть при продолжительности работы бульдозера в год около 4000 ч в год, на один час приходится 700-1000 руб. затрат на ремонт ходовой части.

Для колёсной техники затраты на шины, по данным эксплуатации, составляют в себестоимости машино-часа примерно 6-7%.

Часовые затраты на быстроизнашивающиеся элементы, фильтры и ремонтное обслуживание зависят от уровня нагрузки на двигатель (как и для ходовой части и шин). Поэтому для расчёта этих затрат необходимо вводить поправочный коэффициент, учитывающий степень увеличения (или уменьшения) фактического расхода дизтоплива по сравнению со справочным. В табл. 3 величина этого коэффициента приведена для условий россыпного месторождения в Магаданской области.

3. Результаты и их обсуждение

Калькуляция себестоимости машино-часа рассматриваемых машин с учётом изложенных особенностей её формирования представлена в таблице 4.

Зная величину себестоимости машино-часа интересующей нас машины и её производительность, можно определить себестоимость переработки 1 м³ горной массы на данной операции.

Представленный выше метод расчёта себестоимости машино-часа достаточно сложен и требует большого объёма исходных данных, что затрудняет использование этого метода на практике. В связи с этим предлагается более простой метод определения себестоимости машино-часа, хотя его следует отнести к приближённому.

С позиции механики понятно, что чем больше нагрузка на машину, тем больше расход дизтоплива, износ двигателя, ходовой части, шин, масел, затрат на ремонт и прочих затрат (кроме зарплаты). То есть расход дизтоплива почти в полной мере формирует и размер всех остальных затрат, а приведённый в таблице 3 поправочный коэффициент на расход дизтоплива отражает степень изменения этих затрат.

Таблица 4. Калькуляция себестоимости машино-часа горных машин, руб./ч

Статьи затрат	Себестоимость машино-часа, руб./ч							
	Бульдозер D375		Погрузчик WA470-3		Экскаватор PC220		Автосамосвал HM350A	
	по справочнику	фактическая	по справочнику	фактическая	по справочнику	фактическая	по справочнику	фактическая
	у	я	у	я	у	я	у	я
1. Дизтопливо	3253	4012	1323	1463	707	962	1427	840
2. Амортизация	2145	2638	628	691	392	576	1138	671
3. Масла (4% от п.1)	130	160	53	59	26	38	57	34
4. Ходовая часть гусеничной техники	700	861	-	-	50	73	-	-
5. Шины	-	-	158	174	-	-	208	123
6. Фильтры, быстроизнашивающиеся элементы, ремонт (~10% от суммы п.1-п.5)	623	767	216	239	112	165	283	167
7. Зарплата оператора с начислениями	800	800	700	700	600	600	600	600
Итого	7651	9238	3078	3326	1887	2414	3713	2435

Примечания: 1) стоимость 1 л дизтоплива 52 руб.; 2) показатели статей затрат по справочнику приняты для среднего уровня нагрузки; 3) статьи затрат фактические по п.п.2-6 получены умножением показателя по справочнику на поправочный коэффициент из таблицы 3; 4) затраты по п.6 приняты по рекомендациям справочника фирмы Катерпиллар [1]; 5) автосамосвал HM350A был не полностью загружен из-за простоев в ожидании погрузки

Согласно данным табл. 4, себестоимость машино-часа превышает стоимость часового расхода дизтоплива в 2,3-2,6 раза в среднем – в 2,45 раза. То есть с погрешностью около 10% себестоимость машино-часа оборудования можно определить путём увеличения стоимости расходуемого за один час дизтоплива в 2,45 раза. Отсюда себестоимость 1 м³ горной массы, руб./м³, на операции, выполняемой конкретной машиной, можно определить из формулы:

$$C_1 = 2,45 \times q_{\text{ч}} \times \ddot{O}_{\text{АО}} / Q_{\text{ч}}, \quad (1)$$

где C_1 – себестоимость 1-го м³ перерабатываемой горной массы по прямым эксплуатационным затратам, руб./м³;

$q_{\text{ч}}$ – часовый расход дизтоплива на выполнении операции, л/ч;

$\Pi_{\text{дт}}$ – цена 1 л дизтоплива на объекте, руб./л;

$Q_{\text{ч}}$ – часовая производительность машины на операции, м³/ч.

Суммируя расходы дизтоплива всех машин, занятых на горных работах, можно рассчитать и суммарные прямые затраты по предприятию на горных работах за любой период (часовой, суточный, сезонный).

На россыпных предприятиях доля цеховых и общезаводских затрат составляет около 25% от полных затрат, поэтому величину полных затрат за любой период ($Z_{\text{п}}$, руб.) можно определить по формуле:

$$G_{\text{г}} = 2,45 \times q_{\text{г}} \times \ddot{O}_{\text{АО}} \times 4/3 = 3,27 \times q_{\text{г}} \times \ddot{O}_{\text{АО}}, \quad (2)$$

где q_n – расход дизтоплива за исследуемый период, л;

$C_{дт}$ – цена 1 л дизтоплива, руб./л.

Из выражения (1) видно, что для снижения себестоимости переработки 1 м³ горной массы надо либо снижать часовой расход топлива, либо увеличивать производительность машины.

4. Заключение

Снижение расхода дизтоплива может быть обеспечено путём изменения типоразмера машины или вообще замены одного типа машины на другой, например, бульдозера на колёсный погрузчик.

Увеличить производительность машины можно за счёт совершенствования параметров горных работ (снижения дальности транспортировки, исключения операции рыхления мёрзлых пород и перехода на послойное снятие оттаивающего слоя, размещения вскрыши в выработанном пространстве, планировки карьерных дорог и проч.).

Приведём фактический пример снижения расхода дизтоплива и соответственно затрат путём замены оборудования [5].

Условия примера следующие.

1. Производительность промывочной установки 100 м³/ч по пескам.
2. На транспортировке песков задействованы три колесных погрузчика WA470-3 с часовым расходом дизтоплива 28,13 л/ч. Расстояние транспортировки песков 400 м.

3. Часовой расход дизтоплива на транспортировке песков:

$$28,13 \times 3 = 84,39 \text{ л.}$$

При стоимости дизтоплива 52 руб./л прямые эксплуатационные затраты составляют:

$$84,39 \times 52 \times 2,45 = 10751 \text{ руб./ч.}$$

Для повышения эффективности горных работ произведена замена техники на транспортировке песков. Необходимую производительность (100 м³/ч) обеспечивают два автосамосвала МАЗ-6501 (20т), которые загружаются колесным погрузчиком WA470-3. Результаты замены следующие:

1. Часовой расход WA470-3 на погрузке песков в автосамосвалы – 18,45 л/ч.
2. Часовой расход дизтоплива автосамосвалом – 7,5 л/ч.
3. Часовой расход дизтоплива погрузчиком и двумя автосамосвалами:

$$18,45 + 2 \times 7,5 = 33,45 \text{ л/ч.}$$

Прямые эксплуатационные затраты составили:

$$33,45 \times 52 \times 2,45 = 4261 \text{ руб./ч.}$$

То есть замена на более рациональный тип оборудования позволила снизить затраты на транспортировку песков в 2,52 раза, а снижение затрат на этой операции за сезон при промывке 220 тыс. м³ песков составило:

$$(10751 - 4261) \times 220000 / 100 \div 3 = 14,278 \text{ млн. руб.}$$

Таким образом, использование часового расхода дизтоплива как критерия эффективности работы техники позволяет более оперативно оценивать существующие схемы горных работ и выбирать наиболее экономичные варианты их ведения.

Библиографический список

- [1] Caterpillar. Эксплуатационные характеристики. Справочник, издание 38, Издание Cat@CaterpillarInc., Пеория, Иллинойс, США, 2008.
- [2] Калькуляция себестоимости работы транспортной техники. Макина А.В. /Справочник экономиста. – 2014. – № 10.
- [3] Справочник по техническим характеристикам и применению. Komatsu. 24-е изд. – Токио, Япония. – 2003. – 880 с.
- [4] Расчёт удельных норм расхода дизельного топлива технологическими автосамосвалами в карьере. – Мартынов Н.И., Ильбульдин Д.Х., Ганзориг А., Шлохин Д.А., ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет». Сборник трудов конференции, 2016. – С. 415-416.
- [5] Выбор технологии разработки и транспортировки песков на россыпных месторождениях по удельному расходу дизтоплива. – Пятаков В.Г., Гущенко В.В., Соколов А.С., Иркутский научно-исследовательский институт благородных и редких металлов и алмазов (АО «Иргиредмет»), Вестник ИрГТУ, 2015. – С. 98-103.

Использование данных мультиспектральной космической съемки при изучении динамики нарушенных земель

Радченко С.А., Олзоев Б.Н.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail: kosmos@istu.edu

Аннотация. Дано определение термину «нарушение земель», описаны факторы его появления. Рассмотрены существующие спектральные каналы и их комбинации для отслеживания динамики нарушения земель. Представлены данные динамики нарушения земли за период с 1999 по 2018г на территории Иркутского района, в окрестностях посёлка Хомутово, Московщина, Ширяева, Черемушки. Указаны области наиболее перспективного применения данного исследования.

1. Введение

Нарушение земель – неизбежный процесс, связанный с жизнедеятельностью человека и его воздействием на окружающую среду. Под нарушением земель понимают любое нарушение верхних слоёв почвы (снятие, перекрытие, загрязнение), в результате чего произрастание растительности на ней невозможно. К факторам, вызывающим нарушение почв, можно отнести: деятельность горнодобывающих предприятий (разработка карьеров, отвалы отработанного грунта), золоотвалы электростанций, отвалы коммунального и строительного мусора, промышленные площадки, транспортные коммуникации, земли, загрязнённые химикатами, а также загрязнённые участки, для которых требуется замена плодородного слоя почвы.

2. Материалы и методы

Во время исследования использовались материалы космической съёмки спутников Landsat-7.

3. Теоретическая часть

Так как нарушение земель – процесс, происходящий на поверхности земли, а для оценки динамики на обширных территориях необходимо провести множество исследований с определённым интервалом времени, то наиболее целесообразно, для данных исследований, применять материалы мультиспектральной космической съёмки.

Мультиспектральная космическая съёмка – это фиксация космическим аппаратом в различных зонах спектра, отражённых от земли электромагнитных излучений в один момент времени. Так как изображения, полученные в разных спектральных зонах, отличаются информативностью,

то и применение их очень широко. В таблицах, представленных ниже, рассмотрим способы применения снимков, полученных в разных зонах спектра (Таблица 1), а также их комбинациях (Таблица 2) для нужд изучения динамики нарушения земель.

Таблица 1. Спектральные каналы и их применение для отслеживания динамики нарушения земель.

Спектральный канал/обозначение	Длина волны, мкм	Применение
Видимый синий (violet) /B0	0.42-0.55	Применяется для атмосферных коррекций данных ДЗЗ, при вычислении индексов озеленённости.
Видимый синий B1	0.45-0.52	Хорошо подходит для дифференциации грунта от растительности, а также обнаружению искусственных сооружений.
Видимый зелёный Green/ B2	0.52-0.60	Имеет максимальное коэффициент отражения растительности. Также используется для идентификации искусственных сооружений.
Видимый красный Red/ B3	0.63-0.69	Используется, для определения границ почв, геологического оконтуривания, искусственных объектов.
Ближний инфракрасный Near InfraRed/ B4 NIR	0.76-0.90	Полезна для идентификации сельскохозяйственных культур, так как очень чувствительна к вегетационной биомассе. Так же отображается растительность, загрязнённая нефтепродуктами.
Коротковолновый инфракрасный Short Wave Infrared (Middle InfraRed)/ B5, SW IR, MIR	1.55-1.75	Зона чувствительна к содержанию воды в растительности и почвах, оценка которого является полезной в стадии плодоношения изучения засухи и исследований здоровья растений. Вещество, содержащее воду, дает сигнал ниже, чем сухой материал. На участках свободных от растительности в данном диапазоне спектра дифференцируются соответствующие различные оксиды железа, содержащиеся в породах и почвах, и обычно в ней отлично отображаются выветренные горные породы.
Тепловой инфракрасный/ TIR	10.40-12.50	Используется для определения температуры подстилающей поверхности. Помогает определить: тепловое загрязнение, а также применение инсектицидов.
Коротковолновой инфракрасный Middle InfraRed/ B7, MIR	2.08-2.35	Зона важна для выделения границ почв, а также степени увлажнённости почв и растительности.

Таблица 2. Комбинации спектральных каналов и их применение для отслеживания динамики нарушения земель.

Комбинации спектральных зон	Применение
4,3,2	Комбинация, при которой создаётся композиция «Искусственные цвета». При этом растительность отображается в оттенках красного цвета, городские районы – в сине-голубых, а почвы (грунты) – варьируются от темно- до светло-коричневого цвета.
3,2,1	Это композиция «натуральных» цветов подобная цветной фотографии. Поскольку в ней используются полосы видимой части спектра, то объекты местности после такой обработки выглядят почти естественно для человеческого зрения. В основном используется для первичного просмотра материалов съёмки.
7,4,2	При данной комбинации изображение визуализируется подобным естественному. Здоровая растительность отобразится как ярко-зеленая и может «уйти в насыщение» в сезоны бурного роста (созревания). Луга (пастбища) показываются зелеными, области бедных почв – розовыми оттенками, а области с редкой растительностью - оранжевыми и коричневыми. Эта комбинация употребляется для изучения сельскохозяйственных территорий, а также – заболоченных земель.
4,5,3	Такая комбинация информации красного видимого с ближним и средним ИК спектральными каналами обычно используется для анализа состояния растительности и поверхностных горных пород. Она показывает различия влажности и полезна для анализа растительности, почв и грунтов.

4. Результаты исследования и их анализ

Для исследования возможностей мультиспектральной космической съёмки при отслеживании динамики нарушенности земли были взяты данные мультиспектральной съёмки на территорию посёлка Хомутово и его северных окрестностей, на 2010, 2012, 2014, 2016, 2018 гг. Мультиспектральная съёмка, с помощью программы ENVI, была разложена на две комбинации: 3,2,1 и 7,4,2. Комбинация 3,2,1 помогала нам ориентироваться на снимках и использовалась при дешифрировании снимки с комбинаций 7,4,2, имеющую не естественные цвета. Основная работа велась с снимками в комбинации 7,4,2, так как границы элементов на нём более выражены. В результате дешифровки на снимке удалось классифицировать 5 групп объектов: леса, пашни, застроенные земли, луговая растительность, водные объекты.

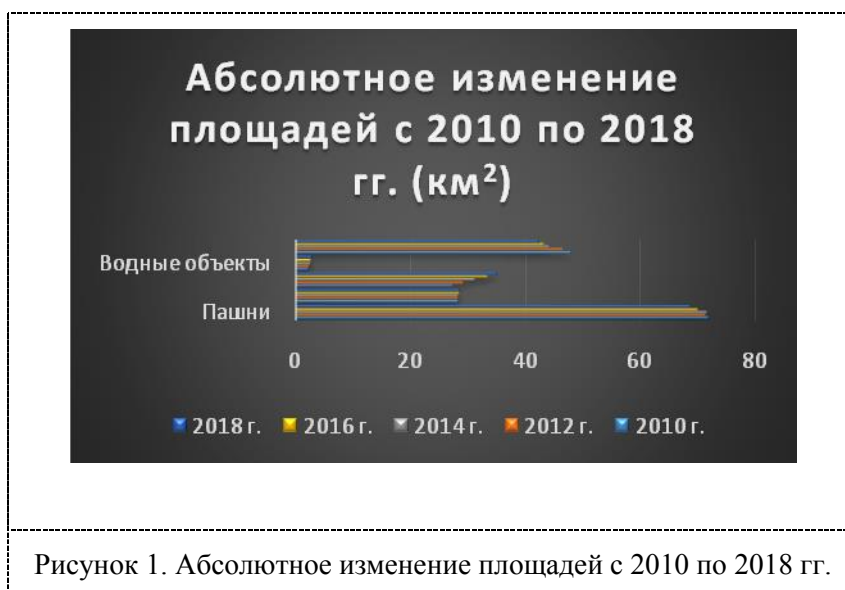




Рисунок 2. Изменение площадей относительно 2010 г.

Для определения динамики нарушенности земель, нам необходимо определить изменения площадей ареалов всех элементов, с шагом в два года. Для выполнения данной задачи производим оцифровку всех растров. На каждую группу объектов создаём свой слой. В результате получаем по пять таблиц с площадями всех групп, на каждый снимок. По полученным данным создаём диаграммы (Рисунок 1) (Рисунок 2).

Из диаграммы на рисунке 1 видно, что уменьшение площади луговой растительности прямо пропорционально увеличению площади застроенных земель, а их изменение равномерно на всём промежутке времени. Площадь пашен также уменьшается, и при сравнении диаграммы абсолютного изменения площадей пашен с луговой растительностью, заметна тенденция увеличения динамики изменения площади у пашен и замедление динамики изменения площади у луговой растительности. Исходя из этого можно сделать вывод, что динамика увеличения площади застроенных территорий из года в год постоянна, и сохранится также в будущем, при этом предпочтение для застройки постепенно начинает перевешивать в пользу пашен.

Водные объекты и леса, не сильно изменились по сравнению с пашнями и луговой растительностью. Однако у водных объектов также замечено стабильное увеличение площади, вызванное скорее всего антропогенным воздействием. Леса же наоборот, являются самыми неизменными на весь период исследований. И только в 2016-2018 гг. изменение площади начало принимать положительную динамику.

5. Заключение

При исследовании на практике был опробован метод определения динамики нарушенности земли с помощью мультиспектральной космической съёмки. В результате была получена наглядная картина изменений в площадях объектов, а так же динамика их изменений. При более тщательном дешифрировании космического снимка, возможно выделить больше видов нарушенности земель для дальнейшего их изучения.

Главным преимуществом данного метода является возможность в кратчайшее время получить информацию по обширной территории земель. Также существуют огромные базы данных с материалами прошлых лет, что позволит отследить динамику рекультивации и деградации земель от нужного времени до настоящего момента. Что в свою очередь позволит, в случае необходимости, оперативно принять меры для дополнительной работы по рекультивации земель. Использование материалов мультиспектральной космической съемки может помочь в работе различных экологических организаций, отслеживающих состояние почвы. Так же помогут для оценки загрязнённости почвы и прогнозирования её урожайности в сельском хозяйстве.

Библиографический список

- [1] Жилинев М Ю 2009 *Обзор применения мультиспектральных данных ДЗЗ и их комбинаций при цифровой обработке*. Геоматика №3.
- [2] Росреестр *Государственный мониторинг земель*. URL:[<https://rosreestr.ru/site/activity/gosudarstvennyu-monitoring-zemel/>].
- [3] Электронный ресурс «Консультант Плюс» *Приказ Росстата от 29.12.2012 N 676 "Об утверждении статистического инструментария для организации Федеральной службой по надзору в сфере природопользования федерального статистического наблюдения за рекультивацией земель, снятием и использованием плодородного слоя почвы"* URL:[http://www.consultant.ru/document/Cons_doc_LAW_140929/].
- [4] Электронный ресурс «СОВЗОНД» *Космическая съёмка*. URL:[<https://sovzond.ru/products/spatial-data/satellites/>].

Методы пылеподавления при открытой разработке месторождений

Рославцева Ю.Г., Марков М.Ю.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail ryg@ex.istu.edu

Аннотация: Выполнен анализ проектной документации по разработке месторождений полезных ископаемых и выявлена зависимость производственной мощности предприятия по добыче полезного ископаемого и количества выделяемой пыли. Доказана актуальность данного вида исследования, поставлена цель и обозначены решаемые задачи. Выполнен анализ литературных источников по существующим методам пылеподавления. Приведен опыт использования некоторых методов на открытых горных работах.

1. Введение

Открытый способ разработки месторождений твёрдых полезных ископаемых занимает ведущее место в горной промышленности, так как обеспечивает большие масштабы производства, способствует наиболее эффективной, производительной и экономичной добыче полезных ископаемых. В процессе разработки всегда образуется пыль. Она оказывает значительное негативное влияние на весь технологический процесс [1].

Нами была исследована проектная техническая документация за 2017-2018 годы по разработке месторождений полезных ископаемых. Предметом исследования послужило расчетное количество пыли в год от различных видов деятельности в зависимости от вида полезного ископаемого, годовой производственной мощности предприятия, общей площади нарушаемых земель. Результаты анализа приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты анализа проектной документации.

Вид полезного ископае- мого	Годовая производитель- ность по полезному ископаемому, тыс. м ³	Срок отра- ботки, лет	Площадь нарушаемых земель, га		Количество пыли, т/год			
			карьер (без учета внутренних отвалов)	Отвалы	БВР	Горные работы	Отвалы	Всего
1	2	3	4	5	6	7	8	9
золото	87,36		13,10	52,30	3,40	36,47	27,26	67,14
золото	29,65	4	2,80	2,15	0,00	0,12	6,01	6,13
золото	100,00	5	31,40	42,40	0,00	19,92	26,05	45,97
золото	23,90	2	6,58	4,86	0,00	0,24	3,61	3,85
золото	96,20	14	19,50	86,70	0,00	152,60	36,16	188,75
золото	561,70	14	478,00	138,50	0,00	41,73	9,65	51,38
золото	72,00	4	12,85	14,42	2,54	33,64	15,77	51,95
1	2	3	4	5	6	7	8	9
золото	16,00	4	5,85	5,57	0,00	0,34	1,35	1,69
бурый уголь	257,35	7	46,03	73,27	3,90	37,59	8,82	50,31
бурый уголь	400,00	4	26,35	28,16	0,89	185,52	6,07	192,48
каменный уголь	769,23	100	156,44	1078,85	18,61	862,40	70,59	951,60
каменный уголь	150,00	2	14,36	3,20	0,00	54,59	19,23	73,82
каменный уголь	69,23	17	3,90	18,50	0,07	8,89	5,28	14,24
доломиты	500,00	14	38,40	58,77	2,07	22,21	14,96	39,24
доломиты	100,00	18	19,20	11,20	0,42	8,71	8,89	18,03
доломиты	100,00	8	5,30	6,00	0,00	17,20	40,27	57,48
долериты	120,00	5	20,70	7,90	0,64	16,24	14,96	31,84
долериты	60,00	18	6,00	0,70	0,57	12,00	7,08	19,64
ПГС	20,00	12	7,19	0,50	0,00	22,89	3,51	26,40
строитель- ные пески	50,00	26	15,01	5,50	0,00	1,70	12,47	14,17

По полученным данным была выведена зависимость производительности карьера от общего количества пыли (рис. 1).

Наибольшее количество пыли образуется при разработке угольных месторождений. Зная сложившуюся тенденцию к увеличению объемов добычи угля, как и других полезных ископаемых. Проблема с пылеподавлением является актуальной.

Анализ научных исследований и применяемых технических решений, направленных на защиту персонала и техники от действия пыли показал, что не существует единого и универсального метода решения проблем борьбы с пылью, который бы в полной мере отвечал предъявляемым требованиям безопасности и продуктивности пылеподавления.

Актуальность указанной задачи, её научно-техническая и социальная значимость сконцентрировалась в единую проблему, состоящую в необходимости детального разбора и изучения механизмов и закономерностей опасных проявлений пыли в условиях открытой разработки месторождений. Также, имеется необходимость в научном обосновании возможного прогнозирования экстремальных пылевых состояний с целью их предупреждения,

что в свою очередь приведёт к улучшению производственных условий труда по пылевому фактору и снизит уровень профзаболеваний.



Рисунок 1. Зависимость годовой производительности карьера от количества пыли.

Имеются данные исследований, что при поступлении пыли более 58 кг/га в месяц наблюдается эффект угнетения жизнедеятельности большинства растений и животных в данном районе. Вдыхаемая пыль вызывает острые заболевания верхних дыхательных путей. Особенно опасны частицы диаметром меньше 10 микрон (мкм), (по принятому в США обозначению – РМ10), а также менее 2,5 мкм (РМ2.5). На каждые 10 микрограмм (1×10^{-5} г) на 1 м³ увеличения концентрации в воздухе этих частиц количество пациентов лечебных учреждений с хроническими респираторными заболеваниями возрастает на 7%, из них 3,5% приходится на респираторные заболевания в острой форме и 3% – на сердечно-сосудистые заболевания, а смертность от рака легких возрастает на 8% [2].

Золошлакоотвалы металлургических комбинатов и ТЭЦ, а также открытые горнодобывающие карьеры выделяют в атмосферу с одного гектара до 2–5 т пыли в сутки. Пыль, в дальнейшем, распространяется ветром на большие расстояния.

Так как вопросы пылеподавления актуальны для многих стран, то их изучение осуществляется по всему миру. В данной статье рассмотрены научные материалы и способы пылеподавления, разработанные во многих странах, таких как Германия, РФ, США и пр.

Целью данной работы является анализ исконных и инновационных способов пылеподавления.

Основные задачи исследования:

1. Оценка эффективности использования различных способов и средств пылеподавления.
2. Поиск и выявление недостатков применяемых средств и способов борьбы с пылью на месторождениях, разрабатываемых открытым способом.
3. Анализ существующих методов

При выработке оптимального метода пылеподавления рекомендуется проанализировать следующие вопросы: что является основным источником образования пыли и где он находится, за счет какого процесса создается наибольшее количество пыли, попадающей в воздух, и место расположения чувствительных к воздействию воздушной пыли зон.

В условиях открытой разработки месторождений существует сразу несколько значимых источников образования пыли: ветровая эрозия почвы (19%), транспортные средства и спецтехника, движущиеся по технологическим дорогам (52%), строительные работы (в том числе экскавационные), взрывные работы, бурение скважин и прочие виды работ.

Пылеподавление, с помощью воды

Давно известным общепринятым способом пылеподавления является орошение путем распыления воды стационарными и мобильными дождевальными (поливальными) установками и гидромониторами [2].

Стационарные дождевальные установки применяются как основной способ пылеподавления при работе выемочной техники. Обладающие большой дальностью действия дождевальные установки применяются для пылеподавления штабелированных материалов. Подобные установки, к примеру, применяются в Мурманском торговом порте [4].

Для подавления летучей пыли, образующейся при разгрузке самосвалов в бункер дробилки или в отвалы пустой породы, рекомендуется использование системы орошения, которая монтируется «на упоре задних колёс» самосвала и во время разгрузки интенсивно увлажняет выгружаемый материал.

Традиционно с пылью на технологических дорогах в карьерах и на стройках борются с помощью специализированных поливальных машин с дождевальными установками.

К недостаткам данного способа относятся:

1. Значительные затраты на обслуживание оборудования, энергию и рабочую силу;
2. Необходимость доставки воды (в засушливой местности);
3. Непродолжительность пылеподавления;
4. Повышение абразивности пыли;
5. Неэффективность в подавлении вдыхаемой пыли (2-10 мкм).

Последний недостаток обусловлен самим механизмом взаимодействия капель воды и частиц пыли в воздухе (рис. 2). В случае, если размер частиц пыли и капель близок, вероятность их соединения очень высока. В обратном случае, когда капли намного больше частиц пыли, пыль обтекает капли вместе с потоками воздуха и не соединяется с водой.

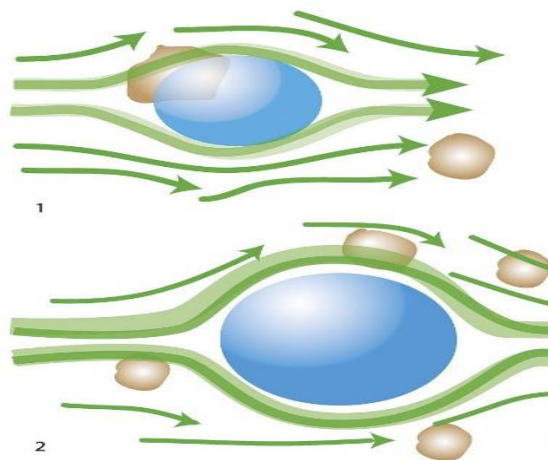


Рисунок 2. Механизм взаимодействия капель водяного тумана и частиц пыли в воздухе.

Мелкую вдыхаемую пыль из воздуха можно осаждать с помощью водяного тумана. Использование водяного тумана, который генерируется оборудованием различных типов, является еще одним современным развивающимся способом пылеподавления. Туманообразующие установки рекомендуется использовать там, где дождевальные установки не могут применяться или недостаточно подавляют образование пыли, например, для создания туманной завесы вблизи бункеров дробилок.

Туманообразующее оборудование может монтироваться на стационарном основании, например, на колонне («мачте», если необходимо распылять туман сверху на обрабатываемую территорию, не позволяя пыли и запахам подниматься в воздух, к тому же при распылении тумана сверху не образуются воздушные потоки, которые могли бы поднимать пыль), а также на колесных тележках, кузовах грузовиков, на поливальных машинах и даже на стреле телескопического погрузчика. Стационарные системы туманообразования используются в местах постоянного пылеобразования, например, на производстве строительных материалов, у ленты транспортера, перемещающего сыпучие материалы, и т. п.

Пушки пылеподавления – более мобильное оборудование, скорее ориентированное на периодическую, временную работу. Обычно их применяют для подавления пыли и создания «туманных завес» на больших открытых строительных площадках или в карьерах. Примечательно, что ЗАО "ДАЛЬТРАНСУГОЛЬ" СУЭК использует данные системы для подавления пыли на угольном складе (на конвейерах, в местах пересыпа) [5].

Особенностью и, пожалуй, главным преимуществом туманообразующих систем является, в первую очередь, возможность регулирования в широком диапазоне (0,1 до 1000 мкм) размера капель в тумане. Также данные системы способны осуществлять нейтрализацию неприятных запахов, подавляя деятельность патогенных организмов. Во время превращения воды из жидкости в пар поглощается энергия, что позволяет охлаждать воздух посредством тумана [2].

Несмотря на большую производительность, «пушки» нуждаются лишь в минимальном обслуживании.

Чтобы усилить эффективность действия воды при пылеподавлении, в нее могут добавлять полимерные вяжущие и химические ПАВ, усиливающие смачивание, такие как мыло и моющие вещества, которые уменьшают поверхностное натяжение воды и обеспечивают увлажнение большего количества частиц грунта имеющейся в наличии влагой, а также органические увлажнители. В воду можно добавить ионный реагент, который увеличит способность капель соединяться с частицами пыли. Эффективность действия воды увеличивается до 50% [3].

Пылеподавление, с использованием пены

В некоторых случаях более эффективным средством пылеподавления, чем водяной туман, оказывается распыление пены, покрывающей материал. При подаче пены в места разрушения массива уменьшаются доступ воздуха к очагу пылеобразования и возможность прорыва частиц пыли в атмосферу выработки. Пена может наноситься, например, на большие каменные глыбы, поступающие в дробилку, таким образом, конечный продукт оказывается уже обработанным, в результате меньше пыли поднимается в воздух на выходе из установки. Для генерации пены применяются пеногенераторы со специальными форсунками, распыляющие воду с пенообразующей присадкой, которая деполяризует воду, создавая миллионы мелких пузырьков пены [2].

Химические средства пылеподавления

Следует отдельно отметить химические средства пылеподавления, которые связывают частицы любых материалов, тем самым предотвращают образование и попадание пыли в воздух, образуя на поверхности грунта или сыпучего материала твердую корку или пленку [3].

Один из самых эффективных и применяемых во всем мире способов пылеподавления – распыление полимеров на водной основе. Большинство полимерных продуктов, используемых

для стабилизации и укрепления грунтов, являются сополимерами на основе винилацетата или акрила.

Если говорить о подавлении пыли на гравийных и грунтовых технологических дорогах в карьерах и на стройках, то наиболее эффективным способом борьбы является распыление жидкого пылеподавляющего реагента. Даже после однократного применения вещества количество пыли, поднимающейся над дорогой после прохождения транспортного средства, существенно уменьшается, исчезает необходимость целыми днями использовать поливальные машины.

Пылеподавляющие составы не испаряются и не вымываются дождями и талыми водами, устойчивы к действию ультрафиолетовых лучей и почвенных микробов, для их применения не требуется специального оборудования.

Связывающие химические вещества – универсальное средство. Ими можно подавлять пыль во время строительства, защищать почву от эрозии. Связывающими веществами могут обрабатываться штабелированные сыпучие материалы.

В зависимости от количества внесенного вещества регулируется время защитного действия – от недель до нескольких лет. Существуют химические средства (как утверждают их производители), которые после однократного применения (обработки поверхности штабеля, хвостохранилища) выполняют функцию пылеподавления в течение 8–10 лет.

Применяются также продукты из природных органических полимеров, которые наносятся на поверхность дороги. Такие полимеры нетоксичны и полностью биологически разложимы. Это значит, что по истечении срока действия полимера грунт возвращается в первоначальное состояние.

В качестве химических средств, применяемых для пылеподавления и стабилизации грунта, так же применяются хлористый магний (бишофит, $MgCl_2$), который нашёл широкое применение на месторождениях Горловского угольного бассейна в Искитимском районе Новосибирской области (АО «Сибирский Антрацит»), битумно-водная эмульсия с присадками, лигносульфонаты и прочие [6].

Эффективность пылеподавляющих средств демонстрирует разницей в степени воздействия того или иного средства на частицы пыли размерами менее 10 мкм и представлена в таблице 2.

Некоторые специалисты утверждают, что все химические средства пылеподавления не позволяют получить сколько-нибудь длительного эффекта, требуют дополнительных обработок, не безвредны для окружающей среды, порой требуют подогрева (т. е. дополнительных затрат) при распределении, легко вымываются атмосферными осадками, выветриваются и нестойки к механическим воздействиям.

Таблица 2. Сводная таблица измерения эффективности пылеподавляющих химических средств.

Наименование пылеподавляющего средства	Эффективность в уменьшении содержания частиц PM10, %
Поливинилакриловый сополимер	90
Сосновая смола	30
Хлористый магний	20
Лигносульфанат кальция	20
Хлористый кальций (38%-ный раствор)	10
Битумная эмульсия № 2	10
Битумная эмульсия № 1	1

Альтернативные способы пылеподавления

Еще один способ борьбы с пылеобразованием – гидромульчирование, или гидропосев, т. е. предотвращение эрозии почвы за счет стабилизации и рекультивации грунтов путем создания растительного покрова из травы и другой растительности [3].

4. Выводы

Большинство специалистов сходятся во мнении, что не существует единого решения всех сложных проблем борьбы с пылью и универсального, полностью безопасного и продуктивного метода обеспыливания. В каждом конкретном случае эти вопросы решаются индивидуально.

Поэтому проблема улучшения санитарно-гигиенических условий труда и экологической безопасности окружающей среды путем предотвращения загрязнения атмосферы на открытых горных работах продолжает оставаться весьма актуальной.

Библиографический список

- [1] Кошкарров В Е 2015 *Технология обеспыливания карьерных автодорог на основе битумно-полимерных материалов*. Уральский государственный горный университет. Екатеринбург. 150 с.
- [2] Шляховой В. 2015 Современные технологии и оборудование для подавления пыли.- *Основные средства*. №1.
- [3] Шляховой В. 2015 Современные технологии и оборудование для пылеподавления и стабилизации грунта химическими веществами. *Основные средства*. №2.
- [4] <https://iz.ru/770309/2018-07-24/sistema-podavleniia-pyli-nachala-rabotat-v-murmanske>
- [5] https://www.korabel.ru/news/comments/daltransugol_ustanovil_na_svoem_terminale_v_habarovskom_krae_unikalnoe_oborudovanie_po_pylepodavleniyu.html
- [6] <http://www.sibanthracite.ru/media/2017/05/15/reshenie-problemy-pylepodavleniya/>

Исследование системы управления электроприводом подъема экскаватора ЭШ 20/90 эксплуатирующегося в регионах Сибири

Сорокин А.В.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail sorokinav@bgu.ru

Аннотация. Проведен статистический анализ информации по отказам механического оборудования экскаваторов ЭШ 20/90. Исследование замкнутой системы управления электропривода тяги, реализованной по традиционному принципу, отразило электромеханические процессы, протекающие в элементах экскаватора. Исследована система управления привода подъема с регулированием момента двигателя в функции скорости и поддержанием постоянной мощности привода. Обоснована целесообразность ее применения для приводов экскаваторов драглайнов.

1. Введение

При разработке месторождений угля в регионах Сибири основным средством механизации работ являются шагающие экскаваторы. Эффективность работы горных предприятий связана с надежностью и производительностью горного оборудования. Исследования эксплуатационной надежности показали, что 50-70% отказов экскаваторов драглайнов связаны с выходом из строя механического оборудования [1]. Поэтому разработка системы управления экскаватора,

повышающая эксплуатационную надежность, является актуальной задачей.

2. Материалы и методы

В исследовании применен статистический анализ информации по отказам механического оборудования шести экскаваторов ЭШ 20/90 на разрезе «Черемховуголь» ООО «Компания «ВостСибУголь» за десять лет [2]. Проведено математическое моделирование привода подъема экскаватора, с традиционной и предлагаемой системами управления.

3. Результаты исследования и их анализ

Статистический анализ информации по отказам механического оборудования шести экскаваторов ЭШ 20/90 показал, что большая часть выходов из строя связана с отказами тяговых и подъемных механизмов. Динамика поломок свидетельствует о возрастании их количества при увеличении срока эксплуатации (Рисунок 1).

Возрастание частоты отказов редукторов тяги и подъема с увеличением срока службы экскаваторов свидетельствует о постепенном исчерпании ресурса их узлов. Нередко после планового ремонта происходили повторные отказы редуктора тяги или подъема. Для определения задач и путей повышения эксплуатационной надежности редукторов экскаваторов ЭШ-20-90 необходимо выявить причины их отказов.

Режимы работы редукторов влияют на скорость износа их узлов. Высокие статические и динамические нагрузки, возникающие в механизме подъема, интенсивно изнашивают детали редуктора.



Проведя обработку статистики поломок (Рисунок 2), можно увидеть распределение отказов механической части экскаваторов ЭШ 20/90 в течение года.

На графике имеется два пика отказов, первый пик приходится на начало зимы, второй - на весенние месяцы. Объясняется это понижением температуры и изменением физико-механических свойств сталей [3].

Высокий уровень отказов редукторов главных приводов, вызывающих проведение неплановых ремонтов, в 3-5 раз более длителен и трудоемок по сравнению с плановыми ремонтами. Кроме того, анализ работы и динамики частоты отказов драглайнов, работающих в регионах Сибири, показал, что необходимо снижать уровень нагрузки на кинематические узлы механической конструкции в зимние месяцы года для повышения их надежности.



В работе[4] был предложен способ управления электроприводом постоянного тока одноковшового экскаватора и устройство для его осуществления. В работе [5], на основе данного способа, была предложена и исследована система двухканального управления главных приводов экскаватора ЭКГ – 15. Было подтверждено, что управление режимом загрузки приводов экскаваторов в зависимости от опасности воздействия факторов внешней среды позволит сглаживать опасный уровень динамических нагрузок и за счет этого снизить вероятность разрушения базовых узлов и агрегатов машин, улучшить условия наполнения ковша. Проведено исследование возможности применения данного способа управления на экскаваторах драглайнах. В работах[2 и 6] была исследована система управления электроприводом тяги экскаватора ЭШ 20/90 при работе в тяжелых горнотехнических условиях.

Данная работа посвящена изучению вопроса возможности применения способа ограничения динамических нагрузок [4] к приводу подъема экскаватора ЭШ 20/90.

Способ управления электроприводом основан на изменении задания скорости в соответствии с технологией экскавации и одновременным изменением тока возбуждения двигателя в функции комплексного параметра, учитывающего уровень ветровой нагрузки и отрицательной температуры металла машины. Он дает возможность повышать надежность механической части экскаватора путем регулирования запаса кинетической энергии и снижения динамических нагрузок.

Регулирование момента изменением тока возбуждения двигателя одновременно с изменением задания скорости позволяет формировать предельные механические характеристики и обеспечивать работу на малых скоростях с моментами, достаточными для эффективного функционирования. При работе на естественной механической характеристике и нагрузках, превышающих номинальные, привод работает на скоростях ниже номинальной, что приводит к уменьшению динамических нагрузок, так как запас кинетической энергии оказывается при этом ниже.

В период сезонной наладки система ослабления тока возбуждения настраивается таким образом, чтобы формировались механические характеристики, представленные на рисунке 3.

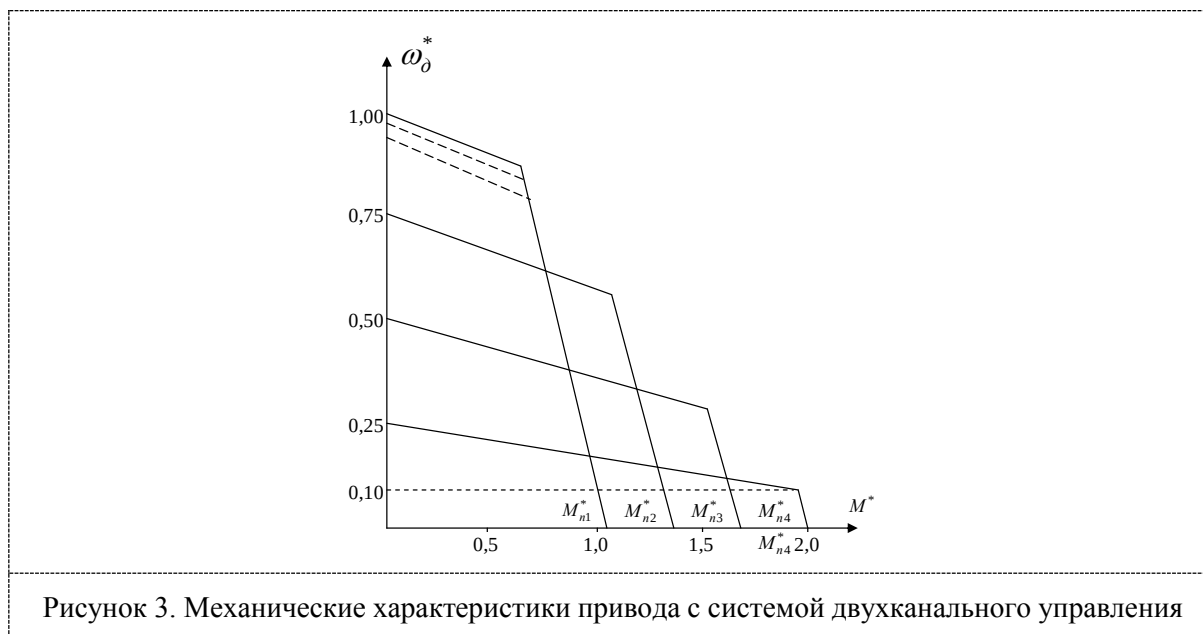


Рисунок 3. Механические характеристики привода с системой двухканального управления

Задатчиком тока возбуждения устанавливается заданный (номинальный) ток возбуждения двигателя. Момент двигателя максимально возможный при работе на малых скоростях, что дает возможность обеспечить хорошие пусковые характеристики. По мере увеличения скорости поле двигателя ослабляется и соответственно уменьшается момент, достигая 0,85-1,1 от номинального момента на естественной характеристике. Поэтому пуск осуществляется с меньшими ускорениями. При ослаблении магнитного поля при работе на основной характеристике, скорость двигателя оказывается ниже номинальной. Поэтому стопорение начинается при пониженных нагрузках и скоростях, что и определяет меньший запас кинетической энергии и, следовательно, снижает динамическую нагрузку, оказываемую на кинематику привода. Если температура металлоконструкции опускается ниже - 20 градусов, то на выходе формирователя комплексного сигнала, учитывающего уровень отрицательной температуры металла машины и ветровую нагрузку, появляется пропорциональный сигнал, который уменьшает скорость двигателя (пунктирные характеристики), что еще более снижает динамические нагрузки при работе экскаватора.

Для проверки работоспособности системы управления приводом подъема экскаватора было проведено компьютерное моделирование с целью изучить электромеханические процессы, протекающие в элементах электропривода.

Внешние воздействия т.е. возмущающие воздействия в виде моментов и сил сопротивления и управляющие воздействия в виде электромагнитных моментов двигателей определяют поведение механической подсистемы. Угловые скорости, положения и упругие моменты элементов системы определяют ее внутреннее состояние.

При учете упругостей в механической подсистеме появляются дополнительные внутренние связи. Адекватным описанием механической части привода тяги экскаватора ЭШ 20/90 является двухмассовое представление. Приведенный коэффициент жесткости между первой и второй массой для привода подъема $C=1500$ Нм/рад. Математическое описание электропривода подъема экскаватора было приведено в виде пространства состояний и описывалось системой дифференциальных уравнений 13 порядка, с обычными ограничениями и допущениями, принятыми в электромеханических системах.

Проведенное исследование замкнутой системы управления электропривода подъема, реализованной по классическому принципу, отразило электромеханические процессы, протекающие в элементах экскаватора. Полученные результаты совпали с реальным обследованием экскаватора ЭШ 20/90 разреза «Черемховуголь», что подтвердило адекватность модели.

На рисунке 4 и 5 представлен переходной процесс упругого момента привода подъема в режиме наброса нагрузки при установившейся скорости. Внешняя кривая характеризует процессы, протекающие в приводе с номинальным магнитным потоком двигателя (традиционная система управления), вторая кривая – с ослабленным магнитным потоком, равным 75% и 50% от номинального соответственно.

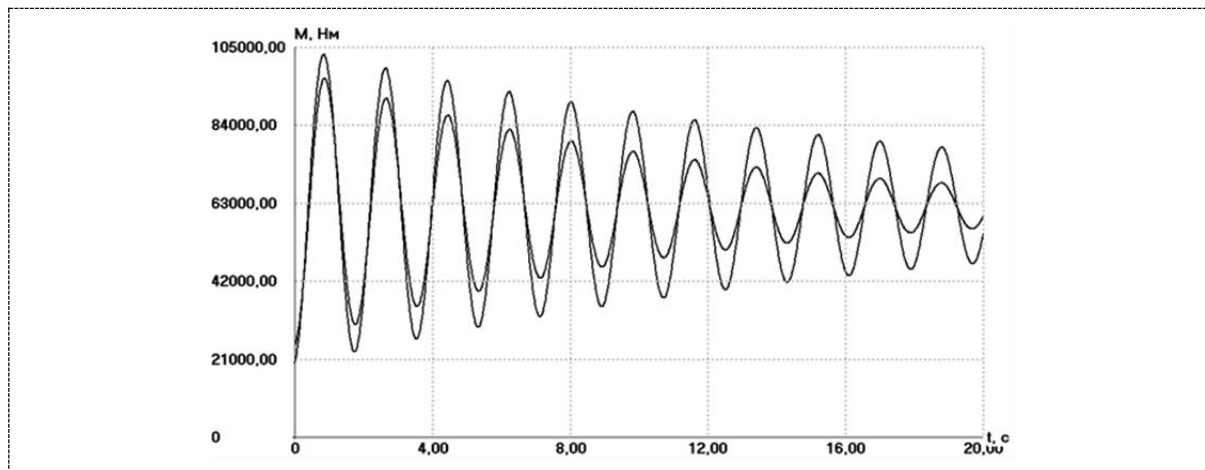


Рисунок 4. Переходной процесс момента упругого привода подъема в режиме наброса нагрузки при установившейся скорости с ослаблением магнитного потока до 75% от номинального

Как видно из рисунков динамический момент имеет колебательный характер с наложенными вынужденными колебаниями, обусловленными двухмассовой системой кинематической схемы электропривода. Он принимает опасное значение, которое может привести к разрушению редуктора привода подъема.

Как показали результаты моделирования, динамический момент в приводе с ослабленным полем имеет меньшие пиковые броски, то есть динамические напряжения в механической конструкции экскаватора, приводящие к разрушениям, уменьшаются. При дальнейшем ослаблении поля двигателя эта тенденция развивается.

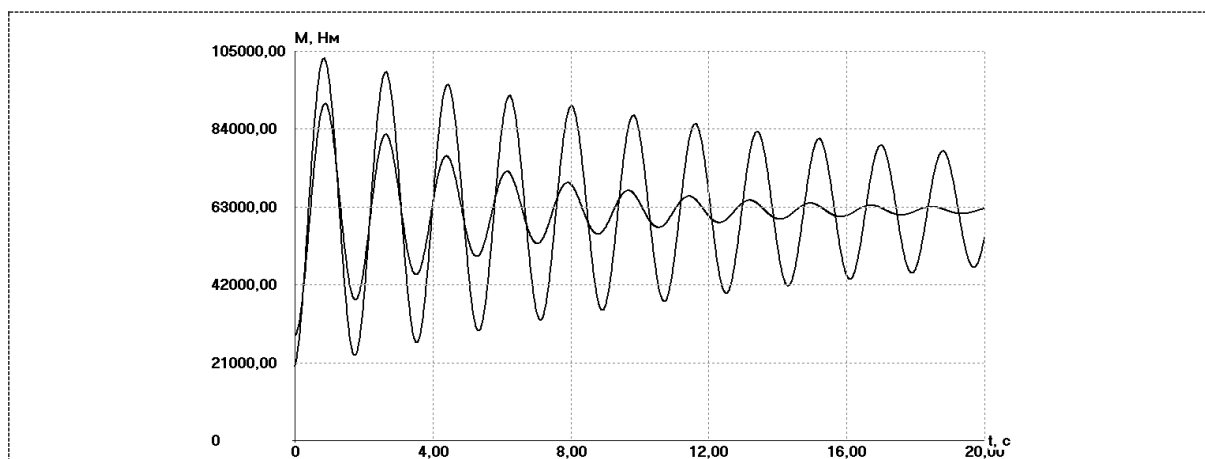


Рисунок 5. Переходной процесс момента упругого привода подъема в режиме наброса нагрузки при установившейся скорости с ослаблением магнитного потока до 50% от номинального

4. Заключение

Предложенное управление режимом работы привода подъема экскаватора ЭШ20/90 в

зависимости от опасности воздействия факторов внешней среды позволит сглаживать опасный уровень динамических нагрузок и за счет этого уменьшить вероятность разрушения базовых узлов и агрегатов машин. Увеличение длительности рабочего цикла экскаватора за счет уменьшения мощности двигателей в зимний период (снижая магнитный поток), уменьшает производительность, но в целом следует полагать, что годовая производительность останется без изменения за счёт повышения надёжности и сокращения времени простоев, вызванных проведением внеплановых ремонтных работ.

Это является резервом повышения эффективности использования экскаваторов, а также снижения трудоемкости технического обслуживания и ремонта машин. Данный фактор имеет особое значение для горных предприятий Севера с дефицитом рабочей силы и повышенными требованиями к уровню надежности основного карьерного оборудования.

Библиографический список

- [1] Шадрин А И, Махно Д Е, Авдеев А Н и Макаров А П 2010 Хладноломкость и хладостойкость металлоконструкций горных машин в условиях Севера. (Иркутск.: изд-во ИрГТУ).
- [2] Иов И А, Сорокин А В и Леоненко А С 2014 Снижение уровня динамических нагрузок в элементах редуктора привода тяги экскаваторов- драглайнов. *Вестник ИрГТУ*. №8. С. 22-26.
- [3] Кох П И 1972 Надежность горных машин при низких температурах. (М.: Недра).
- [4] Пат. 2255184 Россия, МКИ Е 02 F9/20, Н 02 Р 5/00. Способ управления электроприводом постоянного тока одноковшового экскаватора и устройство для его осуществления / С.С. Леоненко, А.В. Сорокин и др. (Россия). - №2004114678/03; Заяв. 13.05.2004; Опубл. 27.06.2005, Бюл. №18.
- [5] Сорокин А В 2010 Двухканальная система управления приводов экскаваторов, эксплуатирующихся при низких температурах. *Вестник ИрГТУ*. №2. С. 120-26.
- [6] Сорокин А В, Иов И А и Леоненко А С 2015 Исследование системы управления электроприводом тяги экскаватора ЭШ 20.90 при работе в тяжелых горнотехнических условиях *Вестник ИрГТУ*. №7. С. 91-96.

Морфодинамика зоны влияния Иркутского водохранилища и принципы ее геоинформационного картографирования

Ступин В.П., Пластинин Л.А., Олзоев Б.Н.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail kosmos@istu.edu

Аннотация. Рассмотрены принципы, методика и результаты тематического картографирования и морфодинамического анализа зоны воздействия Иркутского водохранилища на основе концепции морфосистем, использования материалов дистанционного зондирования и технологий геоинформационной картографии.

1. Введение

Иркутское водохранилище на реке Ангара – первое из водохранилищ Ангарского каскада, образованное в результате строительства Иркутской ГЭС, которое началось в 1950 году и было закончено в 1958 году. Однако, наполнение водохранилища до уровня нормальной проектной отметки (НПУ) 456,59 м, было завершено только в 1962 году. При этом уровень озера Байкал поднялся на 1,46 м и озеро фактически стало частью водохранилища. Полезный объём речной части водохранилища составляет 0,07 км³, а озерной 23 615,39 км³. Речная часть водохранилища используется для суточного регулирования стока, а озёрная, составляющая

более 99 % от общего объёма, обеспечивает многолетнее и годовое регулирование стока и равномерность работы Иркутской ГЭС. Отметка ФПУ (форсированного подпорного уровня) при пропуске паводка обеспеченностью 0,01 %, то есть 1 раз в 10 000 лет, составляет 458,2 м, а отметка УМО (уровня мёртвого объёма) – 456 м. Таким образом, практически колебания уреза водохранилища не превышают 1 м.

Несмотря на то, что Иркутская ГЭС является низконапорной русловой станцией, в зоне затопления и подтопления водохранилища оказалось 1 386 км², в том числе 323 км² земель сельскохозяйственного назначения, более 200 населённых пунктов, участок шоссейной дороги Иркутск-Листвянка и часть Кругобайкальской железной дороги на участке Иркутск-Михалево-Подорвиха-Байкал. Из зоны затопления было переселено 3,3 тыс. дворов и 17 тыс. человек.

Длина образовавшегося искусственного водоема по прямой от истока Ангары до верхнего бьефа ГЭС составляет 55 км, а его средняя ширина 2,8 км (максимальная 7 км). Однако, вследствие сильной изрезанности берега в результате подтопления устьев притоков Ангары, длина береговой линии существенно больше и составляет 143 км для левого берега и 132 км для правого. Площадь водного зеркала при НПУ превышает 154 км². Средняя глубина водохранилища достигает 13,2 м, а максимальная глубина (35 м) находится у верхнего бьефа плотины ГЭС. Площадь водосбора водохранилища, исключая его озерную часть, составляет 542 км².

Иркутская ГЭС – первая крупная гидроэлектростанция в Сибири. Она выработала более 200 млрд кВт·ч возобновляемой электроэнергии, что позволило установить в Иркутской области самые низкие тарифы на электроэнергию в России и дало толчок к развитию промышленности региона, в том числе энергоёмких производств, таких как Иркутский алюминиевый завод. Станция используется как переход через Ангару – по плотине ГЭС проложена автомобильная дорога. ГЭС поддерживает судоходные глубины на Ангаре вплоть до Братского водохранилища. Иркутская ГЭС обеспечивает стабильную работу водозаборов, расположенных как на водохранилище, так и ниже его по течению. Обладая крупным регулирующим водохранилищем и широкими возможностями по управлению стоком, Иркутская ГЭС позволяет эффективно бороться с традиционными для Иркутска зимними наводнениями, вызываемыми зажорными явлениями. Расход на нижнем бьефе Иркутской ГЭС при пропуске сильных паводков может достигать 6000 м³/с, в то время как в настоящее время, по причине массовой застройки поймы Ангары, затопления начинаются уже при расходе 3000 м³/с.

С другой стороны, создание каскада ангарских водохранилищ осложнило общую экологическую обстановку и привело к негативному изменению природных условий на их побережье, поскольку сопровождалось резким нарушением сложившегося веками естественного равновесия ландшафтов, активизацией и расширением спектра опасных экзогенных геологических процессов [1].

По достижении уровня воды своего НПУ, основной ареной активизации геологических процессов становятся подтопленные склоны и прибрежное мелководье. Прежде всего, это касается процессов непосредственной переработки образовавшихся берегов в поле воздействия волн и течений, где начинается интенсивное изменение рельефа под воздействием процессов абразии, аккумуляции и вдольберегового переноса наносов, формирующих новую береговую линию. В результате размыва берегов и взмучивания наносов, глинистая составляющая береговых отложений уносится водой во взвешенном состоянии, а запасы песка возобновляются.

На вышележащих склонах молодых берегов оживляются многие до этого вялотекущие и возникают ранее не присущие геологические и гидрогеологические процессы: овражная эрозия, карст, суффозия, просадки, оползни, осыпи, обвалы и т.д. В зоне осушки и на мелководьях формируются надводные формы аккумулятивного рельефа (пляжи, косы, пересыпи), а на приглубых побережьях – подводные аккумулятивные призмь. Интенсивность многих перечисленных процессов в настоящее время не только не затухает, но зачастую, наоборот, усиливается, что свидетельствует о том, что берега водохранилищ еще далеки от стабилизации.

Влияние созданного водохранилища не ограничивается только переформированием береговой линии и прилегающих склонов. На территории всего побережья могут развиваться процессы подтопления, заболачивания, гибели лесов и др. Ширина зоны воздействия зависит от размера водохранилища, положения НПУ и амплитуды его колебаний относительно бровки берега и изменяется от места к месту от нескольких десятков метров до нескольких километров.

В зоне подтопления, включающей прибрежную полосу водохранилища, повышается уровень грунтовых вод и происходят его колебания синхронно с колебаниями уровня самого водохранилища. Это вызывает активизацию проявлений, овражной эрозии, суффозии и карста.

В зоне береговой переработки, которая включает подзоны непосредственного волнового воздействия (клифы, пляжи и подводные террасы) ведущими геологическими процессами является выветривание, абразия и связанные с ней оползни, осыпи и обвалы, а также вдольбереговой перенос и аккумуляция наносов.

В зоне постоянного затопления, приуроченной к субаквальной части водохранилища, характерно отложение наносов, в основном абразионного происхождения, а также всплывание дернины, торфяников и топляка.

Влияние водохранилища проявляется также на нижнем бьефе и далее вниз по течению реки, а также и на участке реки выше по течению в зоне влияния подпора. Одновременно происходят изменения гидрологического и атмосферного режима – скорости течения, проточности, ледового режима, температуры, влажности, ветров, туманов и т.д.

В Иркутском водохранилище отчетливо обособляются правобережная и левобережная части. Правый берег в его нижней части сложен четвертичными лессовидными склоновыми суглинками и песчано-галечными отложениями ангарских террас. Левый берег почти на всем протяжении сложен скальными и полускальными породами юрского возраста и лишь в средней части в районе залива Большой Калей на незначительном протяжении берега формируются в суглинистых и песчано-галечных отложениях.

В береговой зоне водохранилища на протяжении 152 км (55 % общей длины) по интенсивности и масштабам наиболее развиты абразионные процессы. Максимальная ширина размыва иногда превышает 200 м. Наиболее подвержено размыву сложенное дисперсными грунтами правобережье водохранилища от плотины ГЭС до поселка Патроны. Это привело к значительным безвозвратным потерям земель, в том числе приусадебных участков, пашен и лесных угодий. Максимальные высоты абразионных уступов в рыхлых отложениях подчас превышают 8 м, а в скальных и полускальных – до 3 м. Максимальная ширина размыва уже к 2000 году составляла для слабых грунтов 180 м, а для прочных 25 м [2]. Сейчас эти показатели стали еще больше.

Таким образом, изучение зоны влияния Иркутского водохранилища представляет несомненный научный и практический интерес вследствие особо высокой динамичности происходящих здесь процессов. Очевидна также необходимость организации комплексного и оперативного экологического мониторинга рассматриваемой территории, как части водохранилищ Ангарского каскада [3]. В этом аспекте немаловажное значение имеют относительно небольшие размеры и доступность Иркутского водохранилища как эталона для системно-комплексного мониторинга других водохранилищ каскада.

2. Материалы и методы

Основой геоинформационного картографирования в интересах мониторинга зон влияния водохранилищ являются следующие базовые составляющие: методологическая, информационная и технологическая.

Методологическая составляющая является теоретической основой мониторинга и ГИС-картографирования динамики водохранилищ. В качестве такой основы выступает концепция морфосистем и морфодинамического анализа земной поверхности, позволяющая выявить

естественную делимость и динамическую иерархию рельефа и выполнить его картографирование на трех уровнях генерализации – морфоструктурном, бассейновом и склоновом [4, 5]. Одним из базовых принципов мониторинга морфосистем водохранилищ представляется картографирование и районирование их морфологии и динамики на основе двух последних из указанных уровней – бассейновом и, в еще большей степени, склоновом. Именно в бассейнах осуществляется распределение потоков талых, дождевых и подземных вод и их наносов. Береговые же склоновые системы являются ареной наиболее динамичной перестройки морфодинамических обстановок при наполнении и эксплуатации водохранилищ.

Согласно бассейновой концепции границами бассейновых систем служат водоразделы, а выводными каналами – тальвеги створовых водотоков. Бассейновые системы имеют только один выход и опираются непосредственно на урез водохранилища, то есть линии тока вещества и энергии образуют древовидные конвергентные системы. Бассейновые системы обычно включают два-три уровня бассейнов низших порядков. Наименьшая таксономическая единица бассейнового ряда – элементарный бассейн с тальвегом первого порядка – выделяется по особенностям морфологии эрозионной сети, заключающейся в том, расчленяющие его борта тальвеги нулевого порядка конформны своим склонам и лишь осложняют их, не образуя собственных бассейнов.

Информационная составляющая геоинформационного системного картографирования представляет собой систему сбора, систематизации и оперативного обновления баз специальных данных. Источниками информации служат: оперативные постоянно обновляемые материалы дистанционного зондирования (цифровые и аналоговые аэро- и космические снимки, получаемые с разнообразных летательных аппаратов и сенсоров); топографические, инженерно-геологические, ландшафтные и другие карты; цифровые модели рельефа; данные, описания и материалы предыдущих и современных исследований и изысканий.

Технологическая составляющая системного картографирования представляет собой ГИС, предназначенную для пространственной привязки, накопления, хранения, актуализации, обработки и получения новой информации о динамике водохранилищ. Одним из главных средств отображения и исследования геоданных является ГИС-картографирование, которое позволяет выполнить анализ и синтез факторов и условий формирования и развития береговых морфосистем на разных масштабных и временных уровнях.

3. Результаты исследования и их анализ

Основным результатом исследования является базовая мелкомасштабная карта Иркутского водохранилища (рис. 1). Она отображает морфодинамические типы берегов Иркутского водохранилища, а также грунты, морфографические элементы (бассейновую структуру) и селитебные территории зоны влияния водохранилища.

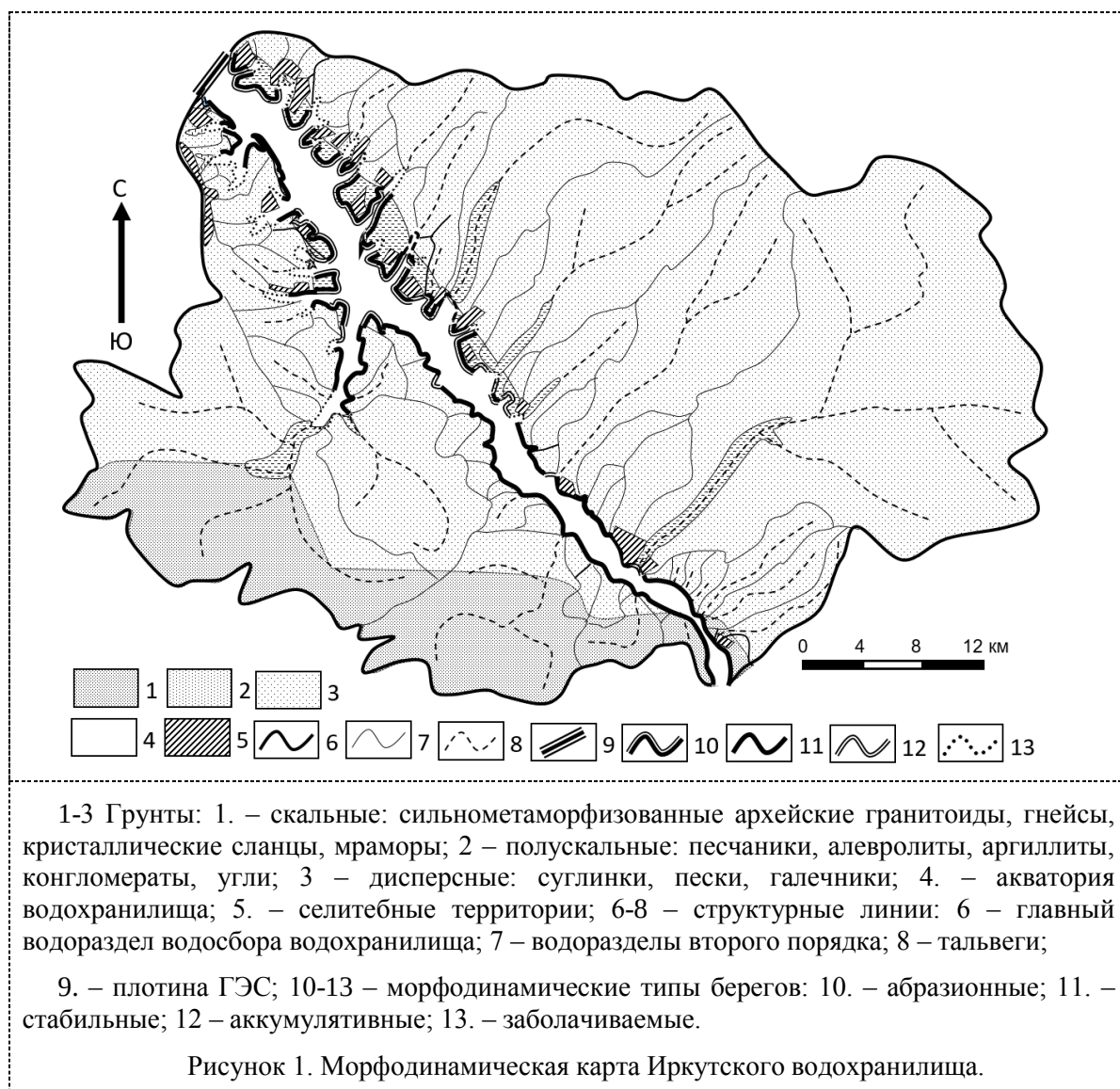
Типы берегов выделялись по материалам ДЗЗ; в основе их дефиниции положено наличие или, отсутствие физиономических морфодинамических элементов берега: клифа, бенча и пляжа.

У абразионных берегов скорость абразии превышает скорость аккумуляции. Они приурочены к приглубым участкам побережья на неустойчивых дисперсных грунтах в условиях сильного волнения и течений у мысов основных расширений акватории.

У относительно стабильных берегов абразия и аккумуляция незначительны. Приурочены к приглубым спрямленным участкам побережья на устойчивых полускальных грунтах.

У аккумулятивных берегов скорость аккумуляции превышает скорость абразии. Приурочены к отмелым побережьям на дисперсных грунтах в условиях ветро-волновой тени за мысами и в небольших заливах.

У заболачиваемых берегов абразия отсутствует, а аккумуляция незначительна. Приурочены к отмелым длинным заливам подтопленных устьев рек, впадающих в водохранилище.



4. Обсуждение

Наиболее эффективным инструментом мониторинга является геоинформационное картографирование. Применение ГИС-технологий и цифровой картографии позволяет изучать и анализировать сложный механизм формирования и развития крупных водохранилищ по их цифровым картографическим моделям, реализуемым в двухмерном, трехмерном и четырехмерном (динамика во времени) представлении. ГИС-картографическое моделирование увеличивает возможности накопления, актуализации, передачи, тиражирования и управления информацией и данными. Оно является незаменимым, эффективным и гибким инструментом для научных, ведомственных, административных и других организаций при выявлении, территориальной привязке, изучении и оценке абразионных, оползневых, гравитационных, карстовых, биогенных и других негативных процессов, протекающих в береговой зоне и за ее пределами, а также при их прогнозе, планировании и управлении мероприятиями по борьбе с этими процессами и ликвидации их последствий.

Принципы, положенные в основу классификации картографируемых берегов и методики картографирования зоны воздействия водохранилищ специально заточены на широкое использование материалов дистанционного зондирования. Классификации должны быть картографичными, т.е. служить основой для последующего оперативного картографирования протяженных береговых линий и обширных площадей зон влияния всех водохранилищ

Ангарского каскада, в частности, в условиях ограниченного финансирования и сжатых сроков картографирования. Поэтому в основу классификации берегов положен морфотопологический принцип, так как именно морфотопология есть результат прошлого, основа настоящего и предпосылка будущего развития рельефа. Одновременно, она является индикатором выявления природных и техногенных морфосистем, характеризующихся целостностью и относительной устойчивостью своей внутренней структуры, обмена веществом и энергией и т.д. Основными факторами, определяющими морфотопологию, границы, тип, облик и интенсивность переработки морфосистем водохранилищ являются:

- геоморфологический (морфология и морфометрия рельефа);
- инженерно-геологический (устойчивость грунтов к выветриванию и денудации);
- гидрологический (ветровой и волновой режимы, колебания уровня, стоковые и волновые течения, ледовые условия);
- ландшафтный (тип климата, растительный покров);
- антропогенный (техногенная нарушенность территорий).

Береговые каскадные склоновые системы классифицируются по морфотопологическим и морфодинамическим характеристикам. Тип береговых морфосистем определяется по совокупности морфологии и морфометрии рельефа, инженерно-геологическим, гидрогеологическим и ландшафтным условиям и антропогенному воздействию.

5. Заключение

Рассмотренная система ГИС-картографирования Иркутского водохранилища создана как основа для изучения и анализа динамики его берегов и разработке мер по защите населения и технических объектов в прибрежной зоне. Она также может быть использована различными административными, научными и производственными организациями для оперативной оценки размыва берегов и принятия срочных управленческих решений.

Библиографический список

- [1] Тржцинский Ю Б, Козырева Е А и Мазаева О А 2001 *Активизация экзогенных геологических процессов под воздействием водохранилищ* О состоянии окружающей природной среды Иркутской области в 2000 году. (Иркутск: ОАО НПО "Облмашинформ») С. 188-190.
- [2] Тржцинский Ю Б, Овчинников Г И 2004 *Окончательный отчет по теме: «Мониторинг экзогенных геологических процессов береговой зоны Иркутского и Братского водохранилищ»,* (Институт Земной коры СО РАН) том 1.
- [3] Пластинин Л А, Ступин В П 2018 *Картографо-космический мониторинг зоны воздействия водохранилищ Ангарского каскада.* (Иркутск: Изд-во ИРНИТУ).
- [4] Ступин В П 2009 *Картографирование морфосистем.* (Иркутск: Изд-во ИрГТУ).
- [5] Пластинин Л А, Ступин В П 2013 *Морфосистемное картографирование экзогенных геологических процессов Байкальской горной страны* Геодезия и картография № 10 С.17-21.

Оценка эффективности освоения дражных запасов открытым раздельным способом разработки

Тальгамер Б.Л., Рославцева Ю.Г.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail pkb@istu.edu

Аннотация: Сделан краткий анализ состояния дражной разработки россыпей, отмечено наличие в Российской Федерации достаточного количества дражных запасов и выявлены причины удерживающие развитие этого способа разработки и дражного флота в целом. Указана сложившаяся тенденция перевода дражных запасов в запасы для открытого раздельного способа разработки, имеющего более низкую производительность и более высокую себестоимость добычи. Приведена информация об одном из участков глубокой россыпи с дражными запасами, отработка которого возможна разными способами. Рассмотрены различные варианты схем комплексной механизации при отработке этого участка. По экономическим критериям обоснована целесообразность применения открытого раздельного способа разработки с выемкой наиболее обогащенных песков, что подтверждает возможность вовлечения в разработку дражных запасов этим способом.

1. Введение

Дражный способ разработки россыпей наибольшее развитие в России получил в 50-е – 80-е годы прошлого столетия [1]. Благодаря поточной технологии добычи и переработки песков, а также утилизации отходов этот способ характеризуется наиболее высокой производительностью труда, более низкой энергоемкостью и более продолжительным промывочным сезоном, что обеспечивает минимальную себестоимость добычи полезного ископаемого [2].

Вместе с тем развитие дражного способа разработки в последнее десятилетие сдерживается необходимостью значительных инвестиций, высокой степенью воздействия на окружающую среду (в первую очередь на водные ресурсы), усложнением горнотехнических условий залегания дражных запасов, отсутствием существенной модернизации драг и новых технологий разработки россыпей [3, 4]. В связи с этим объемы добычи и переработки песков драгами за последнюю четверть века как в мире, так и в России снизились почти в два раза.

С середины 90-х годов в связи с сокращением количества эксплуатируемых драг и отсутствием у горных предприятий средств на приобретение новых значительная доля дражных запасов была переведена в запасы для открытого раздельного способа разработки и к настоящему времени уже отработана. Вместе с тем пока еще на балансе многих золотодобывающих предприятий числится большое количество россыпей с дражными запасами. При этом в ряде случаев приобретение новых драг не требуется, так как имеются уже существующие. Однако из-за систематического ухудшения показателей их работы (в том числе из-за превышения установленных норм амортизации оборудования и участившихся аварий и простоев) эффективность дальнейшей их эксплуатации становится под вопросом.

В связи с последним нами была выполнена работа по выбору способа и технологии разработки участка россыпи с дражными запасами, освоение которых имеющейся драгой ОМ-431 (из-за низкой экономической эффективности ее эксплуатации в последние годы) считалось не целесообразным.

Основными причинами ухудшения результатов работы указанной драги явились усложнение горнотехнических условий залегания запасов и одновременное уменьшение содержания золота в песках. Кроме того в связи с сужением долины, нарастанием мощности торфов и поперечных уклонов местности усложнились вскрышные работы. Имеющееся на предприятии вскрышное оборудование (ЭШ-10.70 и комплекс ЭКГ-5А и автосамосвалы) не обеспечивало подготовку необходимого для драгирования количества песков при годовых объемах горно-подготовительных работ 1,7-2,0 млн м³, в т.ч. вскрыши более 1,0 млн м³. При этом использование комплекса ЭКГ-автосамосвалы значительно ухудшило экономические показатели добычи золота.

2. Исходные данные

Общая протяженность описываемого участка россыпи составляет 2 286 м, средняя ширина 96 м. Мощность массы колеблется от 15,7 м до 47,0 м, в среднем составляя 31,9 м. Распределение золота в россыпи весьма неравномерное как в плане, так и в вертикальном разрезе. Средние

содержания золота по выработкам изменяются от 0,005 до 0,490 г/м³ на массу. Золото в россыпи мелкое, медианный размер зерен не превышает 0,9 мм, средний по россыпи 0,69 мм.

По данным геологоразведочных работ на рассматриваемом участке, запасы песков для дражного способа составили более 2,1 млн.м³, золота более 800 кг при среднем содержании 0,38 г/м³. Промышленная золотоносная россыпь приурочена к глубокому тальвегу и низким 2-5 м уровня террасам. На всем своем протяжении россыпь является целикомой, не затронута отработками, и связана с аллювиальными галечниками, в которых сосредоточено 97,2 % золота, и элювием коренных пород, к которым приурочено до 2,8% золота. Россыпь на всем своем протяжении характеризуется невыдержанностью как в плане, так и разрезе по ширине, по мощности и по содержаниям.

Характерной особенностью данной россыпи является её слабая переработка, особенно в верхней части. Золото рассредоточено в большом по мощности интервале, часто с убогими содержаниями, мелкое в основной своей массе и слабоокатанное. Продуктивность россыпи изменяется от 150 кг/км до 550 кг/км. Промышленный пласт тяготеет, как правило, к низам аллювия и к верхам элювия. Визуально золотоносный пласт не выражен и определяется только опробованием и принятой мощностью драгируемого пласта. Мощность драгируемого пласта от 3,4 до 14,9 м, средняя 9,6 м. Пески характеризуются довольно постоянным вещественным составом, имеющиеся незначительные локальные изменения состава практически не влияют на технологические свойства. Средние содержания на драгируемый пласт варьируют от 0,031 г/м³ до 1,445 г/м³. Проникновение золота в разрушенные коренные породы не превышает 1,6 м, в единичных случаях до 2,2 м.

Технологические свойства золотоносных отложений в пределах описываемой и соседних россыпей, по данным геологоразведочных и эксплуатационных работ, достаточно простые:

- промышленное золото находится в свободной форме и на 65 % представлено фракциями крупнее 0,50 мм;

- литолого-гранулометрический состав и физико-механические свойства песков, обеспечивают достаточно хорошую промывистость (класс < 1 мм не более 12%);

- простая схема обогащения песков не предусматривает применения химических реагентов, поэтому мероприятий по очистке сточно-оборотных вод не требуется;

- отходы обогащения золотоносных песков в виде эфелей, галечников, валунов и глыб, а также шлиховой концентрат после извлечения свободного золота интереса не представляют.

Таким образом, пески россыпи являются умеренно валунистыми, среднепромывистыми и легкообогатимыми, что способствует максимальному извлечению гравитируемого золота при отработке россыпей дражным способом.

Фактическое извлечение золота по драге ОМ-431, которой предполагается отработка данной россыпи и которая оснащена новейшим отсадочным оборудованием, составляет 92%.

Торфа, перекрывающие золотоносные отложения, представлены маломощным почвенно-растительным слоем, который залегает на валунно-галечно-щебнистых отложениях, сцементированных суглинками, с прослоями песков и илов. Мощность торфов колеблется от 10,5 до 37,0 м, средняя 22,2 м. Наличие значимого золота в принятых торфах не установлено.

Коэффициент вскрыши колеблется от 1,1 до 4,9, средний составляет 2,3. Продольный уклон современной долины варьирует в пределах 11-20 м/км, в среднем – 18 м/км.

Максимальный расход грунтовых вод приурочен к центральной части долины. По данным опытных откачек, расход подземных вод составит 120 м³/сут., коэффициент фильтрации в зависимости от особенностей рыхлых отложений варьирует от 0,096 до 7,9 м/сут.

По данным разведочного бурения, в пределах контура россыпи отмечено лишь сезонное промерзание рыхлых отложений на глубину от 0,5 до 3,0 м. Сезонно-мерзлые породы в

пределах контуров запасов составляют всего 6,8 % при мощности 0,5-3,0 м, что не составит трудностей при отработке россыпи дражным способом.

3. Анализируемые варианты

Горнотехнические условия залегания рассматриваемого участка россыпи приемлемы для дражной разработки запасов. Положительными сторонами применения этого способа являются:

- достаточно большая мощность продуктивного слоя;
- отсутствие многолетней мерзлоты;
- допустимый продольный уклон долины;
- хорошая обводненность запасов;
- приемлемая валунистость и глинистость песков;
- хорошее соотношение галечной и эфеляной фракций.

Негативные для дражного способа условия:

- большая мощность торфов с осложненными условиями размещения отвалов на бортах россыпи;
- сужение долины и необходимость отвода поверхностного водотока по склону долины;
- неравномерный уклон плотика, осложняющий регулирование уровня воды в технологическом котловане;
- низкое содержание металла в песках.

Выбор рационального способа и технологии освоения данных запасов осуществлялся по пяти вариантам: трем с использованием драги ОМ-431 и двум с использованием промприборов.

Первый вариант дражной разработки предусматривает драгирование пласта песков со средней мощностью 11,6 м (общие запасы песков 1,34 млн м³, золота 349,4 кг при среднем содержании 0,258 г/м³), второй вариант – 18,0 м (запасы песков 2,072 млн м³, золота 362,6 кг при среднем содержании 0,175 г/м³), третий – 21,7 м (запасы песков 2,5 млн м³, золота 362,7 кг, среднее содержание 0,150 г/м³).

Четвертый вариант с открытой раздельной разработкой запасов предусматривает селективную выемку наиболее обогащенных песков, в т.ч. мелкозалегающей, 2^хпропластковых и приплотиковой россыпей. Общий объем балансовых и забалансовых запасов песков 237 тыс. м³, золота – 283,2 кг.

Пятый вариант с открытой раздельной разработкой запасов предусматривает выемку обогащенных участков россыпи со средней мощностью песков около 6,0 м (при общих запасах 705 тыс. м³ песков, 350,5 кг золота).

Во всех вариантах разработки в зависимости от расположения продуктивных участков и глубины вскрышных работ намечается использование либо одного экскаватора ЭШ-10.70, либо комплекса горного оборудования: ЭШ-10.70 + ЭКГ-5А с автосамосвалами. В зависимости от способа разработки и технологии вскрышных работ по вариантам изменяется объем горно-подготовительных работ, в т.ч. по сооружению руслоотводов, плотин и дамб.

Разработка россыпи драгой будет осуществляться по восстанию одним продольным ходом с шириной забоя по плотике 56-138 м. Рабочие параметры драги ОМ-431 обеспечивают необходимую полноту выемки запасов без дополнительных мероприятий.

Среднегодовая производительность 380 литровых драг в период интенсивного развития дражного флота России составляла 1600-1700 тыс. м³, по Бодайбинскому району в последнее десятилетие 850-950 тыс. м³. Увеличение объемов дражной добычи по отдельным объектам до 1100-1200 тыс.м³ в основном связано с увеличением продолжительности сезона. Вместе с тем,

увеличение продолжительности сезона ведет к ухудшению технико-экономических показателей дражной золотодобычи. Более высокую экономическую эффективность при минимальной себестоимости добычи песков 380 литровые драги в Ленском районе показывают при годовой переработке песков в объеме 900-1100 тыс.м³ [1].

Условия разработки данного участка россыпи приемлемы для дражного способа. Однако учитывая значительный износ имеющейся драги из-за ее многолетней эксплуатации и достаточно сложные горнотехнические условия залегания запасов, ее годовая производительность может составлять не более 900 тыс.м³. Обеспечивать такой объем подготовленных запасов при большой мощности торфов имеющимися на объекте экскаваторами достаточно сложно, поэтому годовая производительность драги в рассматриваемых вариантах ограничивается возможностями вскрышного оборудования.

Дражная разработка должна осуществляться с достаточным опережением вскрышных работ. Поэтому с учетом сложившейся ситуации для подготовки необходимого для драги количества запасов требуется практически как минимум один полный сезон вскрышных работ.

С учетом необходимости создания руслоотвода по одному из увалов долины складирование пород вскрыши возможно только на один борт дражного разреза. Указанное обстоятельство резко снижает возможности имеющегося на предприятии экскаватора-драглайна ЭШ-10.70. Практически на всем протяжении россыпи выемка торфов будет осуществляться с переэкскавацией. Коэффициент переэкскавации для разных буровых линий будет изменяться от 0,68 до 1,72.

Достаточно большой средний уклон плотика (0,018) требует для обеспечения нормальной работы драги значительного количества водоподпорных плотин, сооружение которых в дражном разрезе предусматривает дополнительные объемы по удалению гали в створе сооружений. Подъем уровня воды относительно существующей в дражном разрезе отметки на момент окончания добычных работ составит от 38 м (первый вариант) до 48 м (третий вариант).

Вскрышные работы в варианте 1 осуществляются:

- а) шагающим экскаватором ЭШ-10.70;
- б) шагающим экскаватором ЭШ-10.70 в комплексе с экскаватором ЭКГ-5А и автосамосвалами БелАЗ.

Вскрышные работы в варианте 2 и 3 осуществляются в основном только экскаватором ЭШ-10.70.

По всем вариантам разработки предусмотрены схемы вскрышных работ с укладкой торфов драглайном на правый борт долины. Левый борт долины используется для сооружения руслоотвода. В третьем варианте вскрышные работы первый год осуществляются с частичной вывозкой транспортной вскрыши в разрез на дражные отвалы.

По результатам построения технологических схем вскрышных работ по буровым линиям установлены коэффициенты переэкскавации в зависимости от глубины и ширины вскрышной выработки. С учетом объемов вскрышных работ и годовой производительности экскаватора ЭШ 10.70, установлено количество подготовленных к драгированию запасов при бестранспортной схеме вскрышных работ. Принятая по вариантам годовая производительность драги ограничивается объемами подготовленных к выемке запасов. Потери песков в межшаговых целиках учтены во втором и третьем вариантах и приняты соответственно 0,5% и 1,0%, что связано с увеличением глубины черпания. В связи с наращиванием мощности горной массы, не содержащей металла, в третьем варианте предохранительная рубашка не предусматривается.

Объемы работ по сооружению ГТС по всем вариантам рассчитаны с учетом топографического плана местности, выбранных трасс руслоотводов, максимальных расходов воды в реке и продольного профиля дражных запасов.

Объемы работ по рекультивации рассчитаны укрупненно в зависимости от объемов вскрыши, добычи и ГТС (соответственно 30%, 10% и 80% от объемов этих работ).

Разработка данного участка месторождения россыпного золота предполагается в условиях действующего предприятия. Расчет экономических показателей выполнен в соответствии с «Методическими рекомендациями по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция)». В работе были использованы действующие нормативные документы и методические материалы [8, 9, 10].

При составлении календарного плана работ по варианту 1 предполагалась максимальная загрузка экскаватора ЭШ 10.70, обеспечивающего более низкую себестоимость вскрышных работ, с привлечением ЭКГ-5А только на участках с большой мощностью торфов. Однако при этом подготовка запасов значительно замедляется. Увеличение объемов транспортной вскрыши с использованием ЭКГ 5А и автосамосвалов влечет превышение затрат над стоимостью добытого золота. Общий срок отработки запасов по этому варианту составляет 9 лет. При этом драгирование целесообразно начинать только в седьмом году разработки россыпи и вести добычу всего 2,5 года. Описанный вариант характеризуется отрицательной экономической эффективностью - чистый дисконтированный доход за весь период эксплуатации составляет минус 267,5 млн руб.

Согласно календарному плану пуск драги по варианту 2 намечен в пятый год разработки россыпи. Использование на подготовке запасов только экскаватора ЭШ 10.70, обеспечивающего более низкую себестоимость вскрышных работ, позволяет существенно снизить себестоимость добычи золота. Однако при этом подготовка запасов замедляется. Общий срок отработки запасов по этому варианту составляет 8 лет, при этом драгирование осуществляется всего 4 года. Описанный вариант также характеризуется отрицательной экономической эффективностью - чистый дисконтированный доход за весь период эксплуатации составляет минус 128,79 млн руб.

При составлении календарного плана работ по варианту 3 предполагалась также полная загрузка экскаватора ЭШ 10.70 с привлечением ЭКГ-5А только в первый год подготовки запасов. Благодаря комбинированной вскрыше подготовка запасов значительно ускоряется. Однако транспортная вскрыша с использованием ЭКГ 5А и автосамосвалов несколько ухудшает показатели первого года разработки. Вместе с тем благодаря пуску драги уже во второй год освоения россыпи предприятие в целом может получить более хорошие показатели эксплуатации запасов дражным способом по сравнению с двумя рассмотренными выше вариантами. Общий срок отработки запасов по этому варианту составляет 5 лет. При этом драгирование начинается уже во втором году разработки россыпи и добыча осуществляется 4 года. Однако описанный вариант так же имеет отрицательный экономический эффект - чистый дисконтированный доход за весь период эксплуатации составляет минус 41,3 млн руб.

Для разработки россыпи по вариантам 4 и 5 необходимо приобрести горную технику для открытой раздельной добычи песков. Капитальные затраты на горнотранспортное оборудование рассчитывались на основе данных о рыночной стоимости техники в ценах 2018 года.

Выделенные для открытого раздельного способа разработки запасы песков характеризуются большой глубиной залегания. Средняя мощность торфов по четвертому варианту 25,3 м, по пятому – 19,0 м. Геологический коэффициент вскрыши по варианту 4 – 10,4, по варианту 5 – 4,4.

В варианте 4 открытой раздельной разработкой участка предусматривается опережающая вскрыша и разработка мелкозалегающей россыпи с использованием бульдозерного способа. В последующем для подготовки пропластковых и приплотиковой россыпей осуществляются вскрышные работы драглайном ЭШ-10.70 и мехлопатовой ЭКГ-5А. Выемка песков производится экскаватором типа Komatsu PC-400 после их окучивания бульдозером. Транспортирование песков осуществляется автосамосвалами до промприбора ПГШ-II-50, располагаемого

первоначально у илоотстойника в дражном разрезе, а позднее у илоотстойников в выработанном пространстве после раздельной разработки. Транспортная вскрыша складывается в отвал, располагаемый в выработанном пространстве: вначале в дражном разрезе, позднее – в карьерах открытой раздельной разработки. Среднее расстояние транспортирования торфов – 600 м. Общий срок отработки запасов по этому варианту составляет 4 года. Промывка песков в этом варианте будет осуществляться на 3-х приборостоянках ПГШ-II-50. Данный вариант разработки запасов участка россыпи является эффективным и обеспечивает чистый дисконтированный доход в размере 22,4 млн руб.

Пятый вариант с открытой раздельной разработкой участка в связи с достаточно большим объемом песков предусматривает использование двух промприборов (типа ПГШ-II-50) в течение четырех лет и одного промприбора в первый и последний годы эксплуатации. Вскрышные работы будут осуществляться по комбинированной схеме с использованием ЭШ 10.70 и ЭКГ-5А с автосамосвалами. В связи с полной загрузкой ЭКГ-5А выемка песков производится экскаватором типа KomatsuPC-400 после их окучивания бульдозером. Транспортирование песков осуществляется автосамосвалами до промприбора ПГШ-II-50, располагаемого первоначально у илоотстойника в дражном разрезе, а позднее у илоотстойников в выработанном пространстве после раздельной разработки. Среднее расстояние транспортирования 600 м. Общий срок отработки запасов по этому варианту составляет 6 лет. Заполнение илоотстойников будет осуществляться карьерными водами в процессе водоотлива. Описанный вариант характеризуется отрицательной экономической эффективностью - чистый дисконтированный доход за весь период эксплуатации составляет минус 29,2 млн руб.

4. Результаты исследования

Результаты расчета технико-экономических показателей по рассматриваемым вариантам приведены в таблице 1.

Таблица 1. Техничко-экономические показатели по вариантам разработки дражных запасов

Показатели	Значения по вариантам				
	Дражный способ			Раздельная выемка	
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5
Средняя геологическая мощность песков, м	11,6	18,0	21,7	2,2	6,0
Геологические запасы золота, кг	349,45	362,70	362,70	283,24	350,52
Эксплуатационные запасы золота, кг	340,82	353,86	352,10	275,27	340,34
Срок обеспеченности запасами	3,00	4,00	4,00	4,00	6,00
Выпуск товарной продукции за весь срок эксплуатации, кг	313,28	325,37	323,76	253,58	316,67
Себестоимость 1 гр, руб.	2 619,44	2 078,86	1 900,88	1 589,10	1 836,68
Чистый дисконтированный доход, тыс. руб.	-267 520,30	-128 789,65	-41 281,37	22 358,38	-29 223,67

Определение экономического эффекта от реализации технических решений производилось на основе сопоставления предстоящих разновременных денежных расходов и доходов, путем приведения их на единый период времени. Так приведение эксплуатационных затрат, капиталовложений и прибыли производилось к началу строительства карьера с учетом принятой ставки дисконтирования.

При этом среднегодовые капвложения имеют период приведения, равный периоду строительства. Среднегодовые эксплуатационные затраты и доходы (прибыль) предприятия принимаются постоянными за весь срок эксплуатации и имеют период приведения, равный времени освоения месторождения.

Для того, чтобы привести затраты или доходы каждого года к начальному моменту времени, использованы коэффициенты дисконтирования, рассчитанные по общепринятым формулам [8], исходя из периодов приведения и ставки дисконтирования.

Основными экономическими показателями, используемыми при оценке месторождения, являются: цена реализуемой продукции, норма дисконтирования, чистый дисконтированный доход от эксплуатации, индекс доходности, срок окупаемости капитальных вложений.

Для наглядности сопоставления разновременных денежных расходов и доходов при освоении запасов на данном участке месторождения приведены сводные показатели, учитывающие эксплуатационные затраты, чистый дисконтированный доход и добычу золота по пяти вариантам (рисунок 1).

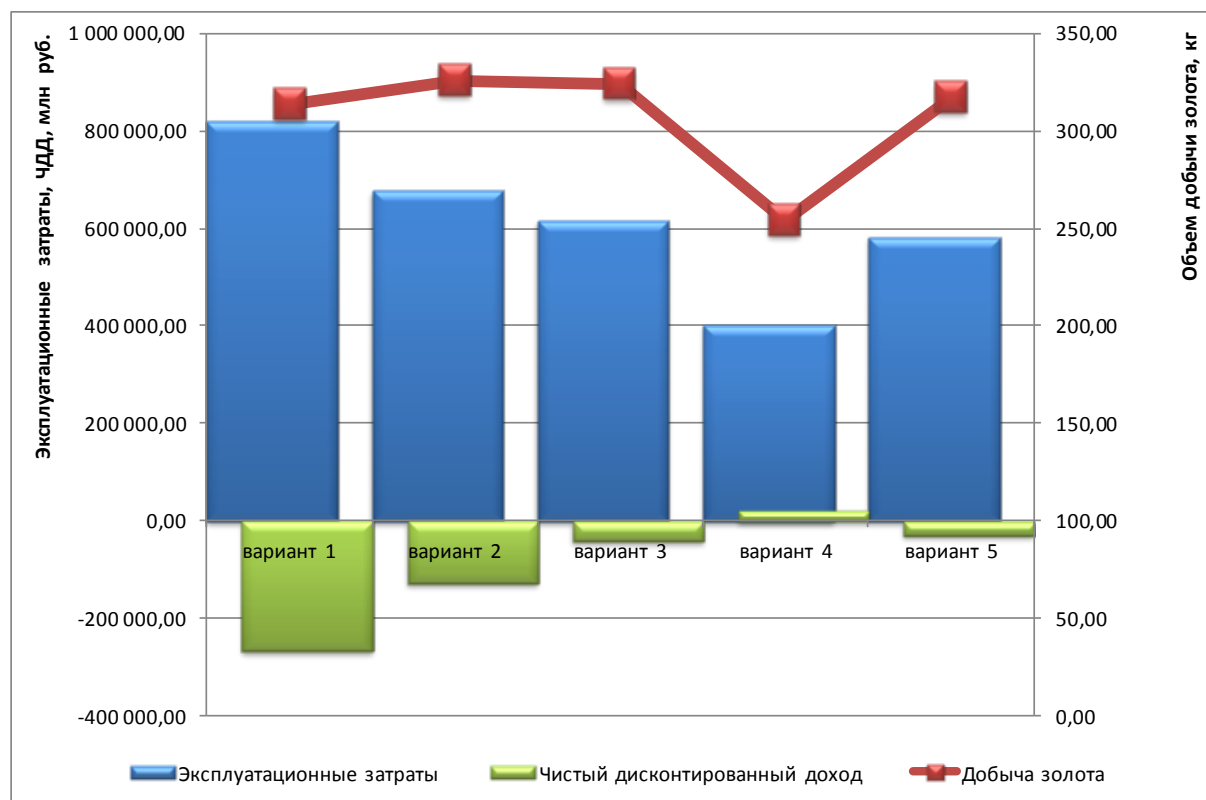


Рисунок 1. Диаграмма технико-экономических показателей по вариантам дражной (1-3) и открытой раздельной разработки (4-5) участков золотоносной россыпи

Положительные экономические показатели имеет только 4-ый вариант с открытой раздельной разработкой россыпи. Экономические показатели по 3-му варианту могут быть улучшены за счет учета золота, добытого при переработке верхних слоев драгируемой горной массы. Экономические показатели 4-го варианта с открытой раздельной разработкой могут быть улучшены за счет применения имеющегося (бывшего в использовании) промприбора.

5. Заключение

Оценка экономической эффективности производилась по следующим критериям: чистая прибыль, чистый доход, чистый дисконтированный доход, рентабельность, индекс доходности затрат, объем бюджетных поступлений.

С экономической точки зрения наиболее выгодным следует признать вариант 4 с открытой раздельной разработкой участка россыпи и селективной выемкой мелкозалегающей, 2-х пропластковых и приплотиковой россыпей, обеспечивающий максимальный чистый дисконтированный доход в объеме 22,36 млн руб. и позволяющий наиболее быстро отработать запасы (за 4 года) с получением металла уже в первый год эксплуатации россыпи.

Таким образом, несмотря на преимущества дражного способа разработки и более низкую себестоимость добычных работ, в ряде случаев освоение запасов менее производительным открытым раздельным способом оказывается экономически более выгодным.

Библиографический список

- [1] Ершов В.А. *Совершенствование дражной разработки Ленских россыпей.* – LAPLAMBERTAcademicPublishingGmbh&Co.KG, 2011. – 154 с.
- [2] Тальгамер Б.Л., Тютрин С.Г., Ершов В.А. *Состояние и перспективы дражной золотодобычи в Иркутской области* / Золотодобыча. – 2016. – №12 (217). – С.11-15.
- [3] Костромин М.В., Юргенсон Г.А., Ползутко С.Г. *Проблемы дражной разработки континентальных россыпей.* –Новосибирск: Наука, 2007-180 с.
- [4] Yurgenson G.A. *Geotechnogenesis problems* / G.A. Yurgenson // J. Geosci. – 2004. – Vol. 7 (1). –Р. 92–96.
- [5] Jonson, K., MacKenzie, A., *Gold dredging in the Klondike and number 4 Proceedings* // Annual Conference – Canadian Society for Civil Engineering 2012. №1.P. 211-220.
- [6] Naeth M.A., Wilkinson S.R. *Establishment of Restoration Trajectories for Upland Tundra Communities on Diamond Mine Wastes in the Canadian Arctic.*RestorationEcology. 2014. Vol. 22 (4).pp.534-543. doi: 10.1111/rec.12106.
- [7] Костромитинов К.Н., Лысков В.М. *Оценка эффективности отработки месторождений драгоценных металлов.* – Иркутск: Изд-во БГУЭП, 2015. – 530 с.
- [8] *Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов:* (Вторая редакция) / М-возкон. РФ, М-во фин. РФ, ГК по стр-ву, архит., жил. политике; рук. авт. кол.: Косов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. – М.: ОАО «НПО «Изд-во «Экономика», 2000 г.
- [9] *Налоговый Кодекс РФ.*
- [10] Федеральный Закон от 26 ноября 2008 г. №224-ФЗ (ред. от 27.07.2010). *О внесении изменений в часть первую, часть вторую налогового кодекса российской федерации и отдельные законодательные акты российской федерации.*

О перспективах применения автоматизированных способов добычи полезных ископаемых

Шевченко А.Н., Храмовских В.А.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail: shan@istu.edu; wax@istu.edu

Аннотация. Рассмотрены принципы создания высокотехнологичной продукции, предназначенной для повышения эффективности и безопасности проведения подземных горных работ при добыче урановых руд в сложных горнотехнических и горно-геологических условиях урановых месторождений. Проведены исследования возможных решений проблемы с учетом мирового опыта применения инновационных способов организации безопасного извлечения полезных ископаемых. Представлен план поэтапного решения вопросов организации производства, обозначены планируемые виды работ по созданию высокотехнологичного производства и внедрению высокой технологии.

1. Введение

Практически любое горнодобывающее предприятие представляет собой крупное механизированное и автоматизированное производство, характеризующееся разнообразием технологического оборудования, которое в оптимальных условиях требует согласованности и взаимодействия между его отдельными элементами.

Рациональное использование материалов и трудовых ресурсов, переоборудование горных предприятий на основе нового высокоэффективного автоматизированного оборудования, внедрение прогрессивных технологий дистанционного управления дают возможность значительно повысить безопасность проведения работ, производительность и качество продукции.

2. Материалы и методы

Увеличение добычи полезных ископаемых в горнодобывающей промышленности во многом обусловлено техническим перевооружением предприятий на основе комплексной механизации и автоматизации производственных процессов, повышения безопасности и экономической эффективности производства. Следует отметить, что в настоящее время недостаточное внимание уделено вопросам создания технологии с внедрением малолюдной и безлюдной технологии. Под системами безлюдной технологий подразумевается инновационное направление научной мысли, в которой рассматривается использование робототехники для выполнения рутинной, вредной и опасной работы без непосредственного участия человека. Робототехника выступает в качестве инструмента обеспечения безопасности и высокой производительности труда за счет исключения простоев оборудования, сокращения количества обслуживающего персонала, эффективной оптимизации управления и т. д.

Горная техника, применяемая на горных предприятиях, полностью не избавляет работающих от негативного воздействия факторов внешней среды, воздействия динамических нагрузок, вибраций и циклически-монотонно совершаемых операций. Для эффективной защиты персонала возникает необходимость выведения рабочих мест за пределы машины и создание условий дистанционного управления горными машинами и оборудованием, поскольку, здоровье людей, особенно обладающих высокой квалификацией и опытом управления техникой – один из самых главных и ценных капиталов любого предприятия [1].

Принимая во внимание положительные качества технологий дистанционного управления, следует рассмотреть возможность создания высокотехнологичной продукции, предназначенной для повышения эффективности и безопасности проведения подземных горных работ на примере добычи урановых руд в сложных горнотехнических и горно-геологических условиях урановых месторождений Забайкалья.

Следует отметить, что часто на предприятиях, действующих долгое время, наблюдается схожая ситуация, когда горно-геологические условия добычи полезного ископаемого постоянно усложняются и все беднее становятся руды, а самое главное, нормы радиационной безопасности требуют выдвижения на первый план защиты персонала от внешнего гамма-излучения, особенно в блоках с богатым содержанием урана в руде. Снижение дозы облучения

за счет применения новых подходов к механизации процесса добычи полезного ископаемого позволит решить проблему чрезмерного облучения персонала и избежать перевода рабочих в течение года на другие рабочие места.

Использование современных инновационных способов дистанционного управления горными машинами и механизмами позволит минимизировать негативное воздействие опасных факторов рабочей зоны на человека за счёт сокращения времени пребывания персонала в особо опасных условиях.

3. Результаты исследования и их анализ

Опыт разработки сложноструктурных урановых месторождений и анализ проводимых опытно-промышленных испытаний обуславливают применение нисходящей слоевой выемки с применением высокопроизводительного самоходного горно-шахтного оборудования (ГШО) с дистанционным управлением [2].

Применяемые комплексы автоматизированного самоходного ГШО, включающего в себя самоходные бурильные установки (СБУ) для бурения шпуров и погрузочно-доставочных машин (ПДМ) с дистанционным управлением, должны обеспечивать:

- повышение безопасности сотрудников за счет снижения радиационного воздействия на персонал, которое имеет прямую зависимость от пылеобразования, возникающего при бурении шпуров и транспортировке руды от забоя до рудоприемника;

- повышение производительности и качества продукции за счет снижения потерь и разубоживания урановых руд вследствие уменьшения площади обрабатываемого забоя.

В ходе выполнения комплексного проекта по созданию и организации производства высокотехнологичного самоходного ГШО на первом этапе должны быть созданы погрузочно-доставочные машины и самоходные бурильные установки с элементами систем дистанционного управления [3].

ПДМ предназначена для применения вне дорог общего пользования для погрузки разрыхленной горной массы из штабеля, последующей доставки и разгрузки ее в транспортные средства, в том числе кузова автосамосвалов, приемные бункеры, рудоспуски, конвейеры в горных выработках при подземной разработке полезных ископаемых и строительстве подземных сооружений. СБУ предназначена для бурения шпуров в подземных выработках при разработке полезных ископаемых и строительстве подземных сооружений.

Обе машины могут выпускаться в модификации с дизельным двигателем либо с электрическим силовым приводом, а также с модификацией на аккумуляторных батареях.

Машины должны отличаться малыми габаритами, обеспечивающими высокую маневренность и надежность для использования в сложных горнотехнических условиях, и отлично подходить для эксплуатации в узких тоннелях с ограниченной высотой и грязной рабочей поверхностью, быть рассчитаны для работы в среде, опасной по газу и пыли.

Немаловажен будет тот факт, что создание инновационного ГШО позволит расширить модификационную линейку оборудования, пользующуюся спросом на рынке горнодобывающими предприятиями, а также отвечать требованиям политики импортозамещения.

Таким образом, сложная и, безусловно, актуальная научно-техническая проблема, имеющая большое практическое значение, может быть решена при помощи разработки документации и технических требований по созданию ГШО, обеспечивающего высокую производительность, минимальное разубоживание и, самое главное, защиту персонала от негативного влияния излучения при обработке маломощных и богатых по содержанию полезного компонента рудных тел урановых месторождений; изготовления прототипов разрабатываемого ГШО с элементами систем дистанционного управления, и их адаптация для реальных условий эксплуатации [3–6].

4. Обсуждение

Повышение эффективности работы ГШО за счет широкого использования достижений информационных технологий в конструкции самой техники достигается путем создания так называемых «умных» машин, выполняющих операции по разработанным алгоритмам. В частности, применение спутниковых навигационных систем актуально и целесообразно для позиционирования горного оборудования, диспетчеризации рудничного и карьерного транспорта, определения объемов выемки горной массы, контроля устойчивости естественных и техногенных откосов, обеспечения контроля производства, надежной связи, в том числе сквозь массивы горных пород, и для других целей [7,8].

Рядом зарубежных компаний горного машиностроения разработаны и уже испытаны в производственных условиях автономные карьерные автосамосвалы и буровые станки, а также автономное технологическое оборудование для подземных горных работ. Некоторые виды горного оборудования адаптированы под дистанционное управление операторами, в том числе находящимися на значительном удалении от непосредственных мест производства горных работ [8,9,12].

Проведённые испытания беспилотных автосамосвалов подтверждают [8–10] реальность автономизации практически любого горного оборудования: погрузчиков, экскаваторов, буровых станков, бульдозеров и иных машин, особенно в условиях Севера и Сибири. А если учесть тот факт, что продвижение горнодобывающей промышленности осуществляется в северные и северо-восточные районы России, то спрос на технику с дистанционным управлением будет увеличиваться.

На первом этапе удаления человека из производственного процесса полезно и, по-видимому, неизбежно использование оборудования, дистанционно управляемого оператором, применяемого в нестандартных и неблагоприятных условиях, хотя конечной целью должно быть создание полностью автономной технологии с элементами искусственного интеллекта. Тогда сама роботизированная машина самостоятельно будет принимать решения к действию в соответствии с анализируемой информацией. К тому же возникает ряд полезных функций, предоставляемых информационными системами, для мониторинга использования горной техники, таких как: диспетчеризация и сбор данных о ключевых параметрах функционирования машин для согласования ритмичности работы всего сложного комплекса оборудования горного предприятия; системы прогнозирования выхода из строя элементов горного оборудования для снижения расходов на ремонт и эксплуатацию техники; системы динамического взвешивания для строго учета количества погруженной массы и многие другие системы, отвечающие за расход ресурсов и безопасность.

Увеличение стоимости оборудования при переориентации на дистанционно управляемые или автономные машины быстро компенсируется увеличением их производительности. Отмечается, что средняя скорость у автономных самосвалов намного выше, чем у машин, управляемых человеком [7]. Кроме того, уменьшается количество несчастных случаев, а производственные травмы и профессиональные заболевания исключены. Время простоя оборудования из-за загазованности или запыленности воздуха сводится к минимуму, так как в рабочем пространстве не будет людей.

Добыча полезных ископаемых в промышленно развитых странах сейчас находится на стадии перехода к автоматизированной добыче, в то время как в странах третьего мира, где затраты на рабочую силу относительно невелики, потребность в повышении эффективности остается низкой.

На сегодняшний день крупнейшими мировыми производителями горно-шахтного и карьерного оборудования накоплен значительный опыт создания и эксплуатации горнотранспортных комплексов с частичным роботизированным управлением, при этом выполнение самых сложных операций находится в ведении оператора в ручном режиме, а монотонный труд отдан автоматике. Таким образом, можно представить развитие уровня

автоматизации в зависимости от объема человеческого участия в процессе управления горными машинами в виде трех основных этапов: дистанционное управление (дублирующее управление на безопасном для оператора удалении); комбинированное (управление машиной при выполнении наиболее сложных операций и работ, требующих творческого подхода, которое осуществляется оператором в режиме дистанционного управления, при этом рутинные операции осуществляются в автоматическом режиме); полностью роботизированное (позволяет использовать технику в полностью автономном режиме, под управлением программно-аппаратного комплекса, лишённого потребности в непосредственном участии оператора для выполнения операций технологического цикла) (рис.1).

Нередко возникают опасения, что повсеместное внедрение систем автоматизации добычи полезных ископаемых приведёт к сокращению числа рабочих мест. Но в целом это не оправдано, хоть и некоторые специальности могут стать ненужными (это в первую очередь относится к выполнению работы в опасных и антисанитарных условиях или к выполнению тяжелой и/или монотонной работы), автоматизация приведёт к созданию новых рабочих мест, поскольку остается потребность в высококвалифицированном ремонтном персонале непосредственно на горнодобывающем предприятии. Также сохраняется невозможность полной автоматизации сложных технологических процессов (например, селективной выемки, действий в нестандартных ситуациях), поэтому для предприятий с большим количеством таких операций количество персонала будет только увеличиваться [11].

Для производителей горного, горнотранспортного и вспомогательного оборудования основной целью должно стать создание автономных «умных» машин, которые позволят полностью вывести людей из опасных рабочих процессов горного производства [8].

Наше видение решения поставленной задачи заключается в предложении поэтапного плана проработки вопросов организации производства и внедрения самых современных наработок мирового уровня на предприятиях-изготовителях горного оборудования.



Рисунок 1. Виды удаленного управления по степени автоматизации в зависимости от объема человеческого участия

Основные этапы и необходимые виды работ по созданию высокотехнологичного производства и внедрению высокой технологии должны включать следующее: проведение исследования рынка ГШО с целью обоснования модельного ряда; анализ конструкции производимого ГШО;

подготовка перечня деталей и узлов, подлежащих доработке и повторной разработке; изготовление базовых агрегатов и опытных образцов разрабатываемого ГШО; моделирование и выполнение расчетов разрабатываемого ГШО; проведение испытаний опытных образцов и системы дистанционного управления разрабатываемого ГШО согласно программам и методикам исследовательских испытаний; разработка технологических рекомендаций по применению разрабатываемого ГШО и пр.

Реализация проекта будет способствовать выполнению нескольких пунктов: создание нового импортонезависимого наукоемкого ГШО с системой дистанционного управления; исключение опасного радиационного воздействия на операторов ГШО при добыче полезного ископаемого шахтным методом за счет дистанционного управления ГШО; развитие на заводах-изготовителях современного уровня производства ГШО и повышение производительности труда; повышение научно-технического, производственно-технологического и кадрового потенциалов, усиление конкурентоспособности производства; укрепление и развитие научно-исследовательского потенциала, учебно-материальной и технической базы ИРНITU, нацеленной на выполнение научно-исследовательской, опытно-конструкторской и технологической работы в рамках проекта, а также подготовку специалистов в области машиностроения и недропользования.

5. Заключение

Решение проблемы защиты персонала от негативного воздействия производственных факторов, а также повышение производительности горнодобывающих предприятий возможно за счёт внедрения автоматизированных систем добычи полезного ископаемого. В мире накоплен положительный опыт создания и применения технологий безлюдской выемки полезного ископаемого, как с использованием отдельных элементов дистанционного управления, так и полностью автоматизированного производства. Предложенный поэтапный план создания высокотехнологичного производства позволит отечественным горно-машиностроительным предприятиям расширить линейку выпускаемого горно-шахтного оборудования, соответствующего современным мировым требованиям к безопасности и технологичности.

Библиографический список

- [1] *Дистанционно-автоматизированное управление машинами* Журнал "Горная Промышленность" №4 2004 <https://mining-media.ru/ru/article/gorobor/1378-distantionno-avtomatizirovannoe-upravlenie-mashinami>
- [2] Алексеев, Олег Николаевич. *Повышение эффективности и безопасности подземной геотехнологии урановых месторождений на базе разработки научно-обоснованных требований на создание узкозахватной погрузочно-доставочной машины : на примере ОАО "ППГХО" : диссертация кандидата технических наук : 25.00.22 / Алексеев Олег Николаевич; [Место защиты: Забайк. гос. ун-т]. - Чита, 2011.- 161 с.: ил. РГБ ОД, 61 12-5/798* <http://www.dslib.net/geo-tachnology/povyshenie-jeffektivnosti-i-bezopasnosti-podzemnoj-geotehnologii-uranovyh.html>.
- [3] Алексеев О.Н, Овсейчук В.А. *Разработка отечественной дешевой узкозахватной электрогидравлической погрузо-доставочной машины для отработки маломощных рудных тел.* Чита, Вестник ЧитГУ, 2009, №3.
- [4] Алексеев О.Н, Овсейчук В.А. *Защита оператора погрузо-доставочной машины от радиоактивного облучения при добыче урановых руд.* Екатеринбург, «Известия ВУЗов. Горный журнал», 2009, № 4.
- [5] Алексеев О.Н, Овсейчук В.А. *Предохранение горнорабочего очистного забоя от радиоактивного облучения при разработке урановых месторождений.* Чита, Вестник ЧитГУ, 2008, № 3.

- [6] Алексеев О.Н., Овсейчук В.А. Защита оператора погрузо-доставочной машины от радиоактивного облучения при добыче урановых руд. Екатеринбург, «Известия ВУЗов. Горный журнал», 2009, № 4.
- [7] Решетняк С.П. *Дистанционно управляемое и автономное горное оборудование* / Горная техника 2012. Каталог-справочник, выпуск № 2 (10). СПб, Славутич, 2012. - с. 46–50. Источники: <https://mining-media.ru/ru/article/newtech/8822-aktualnye-napravleniya-razvitiya-metodov-proektirovaniya-gornodobyvayushchikh-predpriyatij>
- [8] С.П. Решетняк *Актуальные направления развития методов проектирования горнодобывающих предприятий* Журнал "Горная Промышленность" №3 (121) 2015, стр.22 <http://mining-media.ru/ru/article/newtech/8822-aktualnye-napravleniya-razvitiya-metodov-proektirovaniya-gornodobyvayushchikh-predpriyatij>
- [9] Paul Cooper «Automation & Remote Mining» 13 march 2012 <https://imining.com/2012/01/01/automation-remote-mining/>
- [10] Дистанционно-автоматизированное управление машинами <http://www.mining-media.ru/ru/article/gorobor/1378-distantionno-avtomatizirovannoe-upravlenie-mashinami> Журнал "Горная Промышленность" №4 2004
- [11] Журавлев Артем Геннадиевич *Тенденции развития транспортных систем карьеров с использованием роботизированных машин* Проблемы недропользования 2014 <https://cyberleninka.ru/article/n/tendentsii-razvitiya-transportnyh-sistem-karierov-s-ispolzovaniem-robotizirovannyh-mashin>
- [12] Brett Smith «Automation for Mining in Remote Locations» 18 Oct 2016 <https://www.azomining.com/Article.aspx?ArticleID=1349>

Моделирование на эквивалентных материалах процесса сдвижения при разработке нефтегазовых месторождений

Шмонин В.И.¹, Шмонин И.Б.

АО «Иргиредмет», Россия¹

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail: v.i.shmonin@gmail.com, ibsmonin@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрены принципы и методика прогнозирования границы зоны сдвижения на нефтегазовых месторождениях. Представлены результаты моделирования на эквивалентных материалах условий равномерной и неравномерной подработки для глубин 1000 и 1500 м. Для описания степени неравномерности предложен коэффициент, который учитывает возникающий наклон кровли пласта. Установлена зависимость, которая с высоким коэффициентом корреляции аппроксимируется логарифмической функцией.

1. Введение

Анализ опыта изучения процессов сдвижения при разработке нефтяных и газовых месторождений показывает, что усилия исследователей сосредоточены в основном на разработке методов оценки и прогноза величин оседания земной поверхности [1, 2]. Вопросу определения границ влияния разработки коллекторов УВС на земную поверхность должного внимания не уделялось. Общепринято, что зона влияния весьма обширна, а углы сдвижения принимаются по аналогии с пластовыми (угольными) месторождениями [3]. При этом отмечается, что граница разработки является размытой и однозначно определить её положение

зачастую не представляется возможным. Тем не менее, при проектировании геодинамических полигонов необходимо прогнозировать границы зоны влияния отработки нефтяного пласта на земную поверхность с целью выбора мест закрепления опорных геодезических пунктов [4, 5].

Аналогия нефтяных и угольных месторождений весьма условная. Действительно, оба типа месторождений относятся к пластовым, залегают, как правило, в осадочных породах. Но есть и существенные различия, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительная характеристика параметров угольных и углеводородных месторождений.

Наименование параметра	Угольные месторождения, разрабатываемые подземным способом	Углеводородные месторождения
Глубина залегания, м	100–800	1500–3000
Мощность пласта	От первых метров до десятков метров	От десятков до сотен метров
Причина, вызывающая деформирование налегающей толщи пород	Погашение открытого очистного пространства за счет обрушения или деформирования налегающей толщи пород	Сжатие порового пространства вследствие падения пластового давления
Вид подработки массива очистной выработкой	Равномерная	Неравномерная

Типичные значения углов сдвижения для угольных месторождений, в зависимости от региона (бассейна) содержатся в Правилах [6].

Изучение процесса сдвижения на нефтегазовых месторождениях в натурных условиях требует создания обширной наблюдательной станции и весьма длительного периода времени (от нескольких лет до десятков лет) [7]. Кроме того, четкую границу отбора флюида в пласте установить очень сложно. Поэтому исследование параметров сдвижения подработанного массива горных пород было выполнено методом моделирования.

2. Материалы и методы

Моделирование производилось на эквивалентных материалах по методике, разработанной Г.Н. Кузнецовым [8]. В качестве эквивалентного материала использовалась смесь песка, буровой дроби и минерального масла с объемной плотностью $2,7 \text{ г/см}^3$ и углом внутреннего трения 29° . Учитывая особенности сдвижения подработанного массива горных пород на нефтегазовых месторождениях, при физическом моделировании этого процесса на моделях из эквивалентных материалов, была принята гипотеза об однородном изотропном массиве деформируемых горных пород.

Моделировались горно-геологические условия одного из месторождений, типичного для Восточной Сибири [9]. Геологический разрез до глубины залегания кристаллического фундамента (1750–1800 м) представлен осадочными породами. Четвертичные отложения мощностью от 0 до 50 м представлены, в основном, песчаниками и глинами. Остальная толща сложена осадочными частично метаморфизованными породами, имеющими практически горизонтальное залегание. Наиболее широко представлены в толще доломиты и известняки различных свит и возрастов. Нефтеносный пласт мощностью 14–20 м представлен песчаниками. В целом геологическое строение месторождения можно охарактеризовать как мощный осадочный комплекс с горизонтальным залеганием слоёв.

Для моделирования был выбран геологический разрез с горизонтальным залеганием слоев налегающей толщи пород и отсутствием структурных нарушений. Модель массива с упрощением среды до однородной строилась в масштабе 1:5000.

В процессе отбора флюида происходит падение пластового давления. Максимальное падение приходится на горизонтальный участок добывающей скважины с постепенным уменьшением в сторону границы зоны отбора. Таким образом, вокруг одиночной скважины создается депрессионная воронка [10]. Градиент падения давления от периферии депрессии к точке отбора приводит к неравномерному сжатию порового пространства пласта, что в свою очередь создает условия не равномерной подработки горного массива.

Всего было исследовано два разреза с глубиной залегания пласта 1500 и 2000 метров, характерные для условий Восточной Сибири. При этом моделировались условия как равномерной подработки (что соответствует условиям извлечения угля), так и неравномерной подработки с разной степенью неравномерности.

Стенд для моделирования представляет собой деревянную прямоугольную раму размером 1200х600 мм. Толщина слоя 50 мм. Передняя плоскость стенда закрыта стеклом высотой 400 мм, что позволяет наблюдать за развитием деформаций в массиве. Задняя плоскость закрывалась сборной деревянной опалубкой, которая наращивалась в процессе формирования модели. Снижение трения песка об опалубку достигалось за счет использования лавсановой пленки. Для имитации пласта использовался пакет из трех деревянных пластин толщиной 5 мм. Подработка имитировалась путем извлечения деревянных пластин из тела модели через специальный лючок. Условия подработки задавались формой пластин. Плоская пластина моделировала условия равномерной подработки, а клинообразная (обращенная клином в низ) - неравномерной. На поверхности разреза закладывались реперы в виде шурупов длиной 35 мм с интервалами в 50 мм. По ним определялись величины вертикальных оседаний и устанавливалась граница мульды сдвига. Оседания измерялись металлической линейкой относительно условного горизонта с точностью 0,5 мм.

Для получения наглядной картины деформирования массива с выраженными признаками сдвижений моделировалась большая мощность пласта (до 150 м) и предельные условия его отработки с оседанием кровли на 25, 50, 75 и 100 м (соответственно 5, 10, 15 и 20 мм – на модели). Такие условия подработки позволяют получить не только оседания условной земной поверхности, но и трещины отрыва, по которым отстраивались углы сдвига. Для каждой модели исследования выполнялись на двух разрезах – при глубине залегания пласта эквивалентной 1500 и 2000 м.

Согласно расчетам, выполненным по формулам подземной гидромеханики [10], горизонтальный участок добывающей (всасывающей) скважины производит эффективный отбор флюида на расстоянии до 700 м от оси скважины. При этом одиночная скважина создает неравномерное падение давления в пласте. Поэтому подработку моделировали на участке протяженностью 1400 м (280 мм – в масштабе модели). Общий вид модели на начало отработки приведен на рисунке 1.

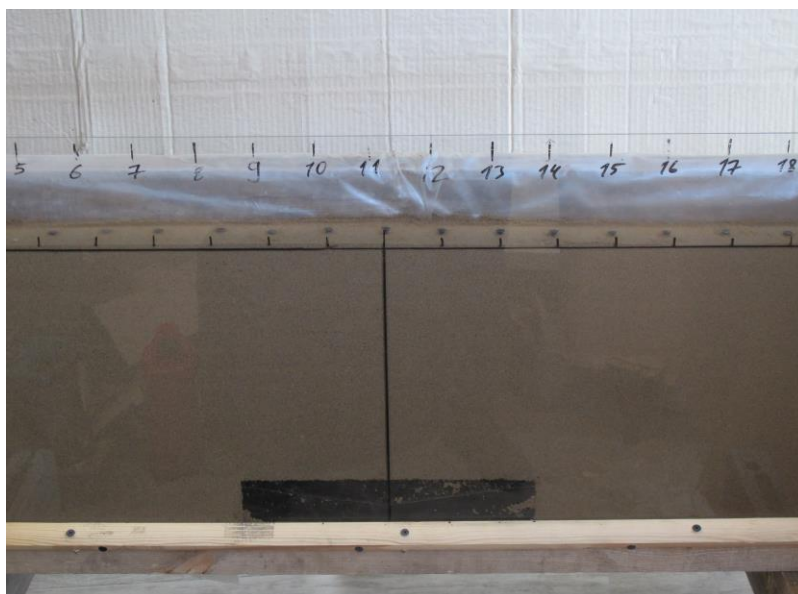


Рисунок. 1. Вид модели на начало отработки (Модель 3-1).

На рисунке 2 показан горный массив в конечной фазе моделирования при неравномерной подработке (модель 3-1).



Рисунок. 2. Заключительная фаза моделирования неравномерной подработки (Модель 3-1).

3. Результаты исследования и их анализ

На всех моделях прослеживается однотипная схема развития процесса. После подработки (извлечения первой пластины) в короткий промежуток времени формируется трапецевидная призма, основание которой соответствует пролету подработки, и происходит её обрушение. Затем формируется купол свода обрушения и происходит оседание поверхности над подработанным участком.

Видимые проявления процесса (образование трещин и блоков) происходят в зоне опасных сдвижений. На поверхности границу данной зоны обозначают трещины отрыва. При

увеличении степени подработки (излечение второй пластины) наблюдается активное развитие процесса с образованием трещин и разделением массива на блоки в границах зоны опасных сдвижений. Границы зоны влияния подработки на поверхность не имели видимых проявлений и определялись по оседаниям реперов (1–2 мм). Данный признак использовался для определения границ мульды сдвижения и построения граничных углов. Граница зоны активных сдвижений на поверхности определялась по трещинам отрыва. Соответственно трещины использовались для определения величины углов разрыва (углов сдвижения). Результаты моделирования приведены в таблице 2.

Таблица 2. Значения углов сдвижения, определенные по результатам моделирования на эквивалентных материалах.

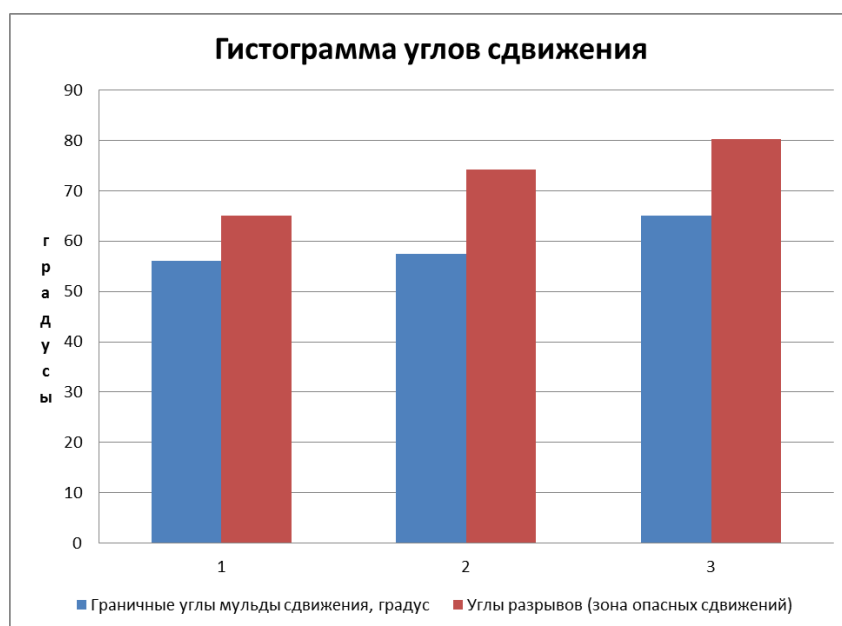
Номер модели	Параметры подработки горного массива		Граничные углы, градус			Углы разрывов, градус		
	Вид подработки	Максимальный прогиб кровли пласта в точках обора флюида, мм	левый	правый	среднее	левый	правый	среднее
Глубина залегания пласта 300 мм (1500 м)								
Одинаковый по								
4-2	Равномерная	всему пролету подработки	58	60	59	61	63	62
5-2	Неравномерная	5	61	61	61	69	69	69
6-2	Неравномерная	10	69	69	69	78	82	80
7-2	Неравномерная	15	69	69	69	82	82	82
3-1	Неравномерная	20	69	69	69	82	84	83
Глубина залегания пласта 400 мм (2000 м)								
Одинаковый по								
1-3	Равномерная	всему пролету подработки	54	54	54	64	64	64
5-3	Неравномерная	5	67	67	67	74	74	74
6-3	Неравномерная	10	67	67	67	81	81	81
7-3	Неравномерная	15	67	67	67	81	81	81
3-2	Неравномерная	20	67	67	67	81	88	85

Из таблицы видно, что глубина залегания пласта не оказывает существенного влияния на величину углов сдвижения. Более чётко прослеживается корреляция между неравномерностью подработки и величиной углов зоны опасных сдвижений. Наименьшие углы зоны опасных сдвижений получены для условия равномерной подработки. При неравномерной подработке углы сдвижений возрастают, причем увеличение угла зависит от величины неравномерности.

Величину неравномерности можно описать отношением оседания кровли пласта в точке отбора флюида (максимальное оседание – h) к радиусу влияния скважины (радиус депрессии – R). Данное отношение принимаем за коэффициент неравномерности подработки:

$$k = h/R \quad (1).$$

Физически коэффициент неравномерности выражает уклон поверхности нефти, который создается в поровом пространстве пласта падением давления в результате откачки флюида. Наглядное представление о влиянии формы подработки на величину углов сдвижения дает гистограмма (рис. 3).



1 – равномерная (горизонтальная, $k_1=0$); 2 и 3 – неравномерная (вогнутая), с разной степенью неравномерности ($k_2=10/140$ и $k_3=15/140$).

Рисунок. 3. Изменение углов сдвижения в зависимости от формы подработки массива.

Результаты моделирования показывают, что существует зависимость значений углов разрыва (β'') от величины неравномерности подработки горного массива (h/R). Увеличение степени неравномерной подработки ведёт к увеличению углов разрыва на 10–20 градусов. При этом значения граничных углов увеличиваются только на 5–10 градусов по отношению к равномерной подработке. Следовательно, если для прогнозирования границ зоны сдвижения на нефтегазовом месторождении за аналог принимать угольное месторождение с равномерной подработкой массива, то граничные углы сдвижения, принятые на угольном месторождении, следует увеличить на 5–10 градусов.

Для упрощения анализа и обобщения результатов моделирования, значения углов сдвижения были усреднены для сходных условий (одинаковых коэффициентов подработки), полученных на разных моделях (табл. 3).

Таблица 3. Значения усреднённых углов сдвижения.

Вид подработки	Параметры подработки массива на модели			Усредненные углы сдвижения, градус	
	Радиус депрессии, R, мм	Максимальное оседание в точке отбора h, мм	Коэффициент неравномерности $k=h/R$	граничные, β_0	разрывов, β''
Равномерная	---	0	0	56,5	63,0
Неравномерная	140	5	0,036	64,0	71,5
Неравномерная	140	10	0,071	68,0	80,5
Неравномерная	140	15	0,107	68,0	81,5
Неравномерная	140	20	0,143	68,0	84,0

4. Обсуждение

Полученные результаты представим в виде графика изменения углов разрыва (β'') в зависимости от коэффициента неравномерности подработки (k , рис. 4 – синяя линия) и произведем его аппроксимацию логарифмической функцией (красная линия).

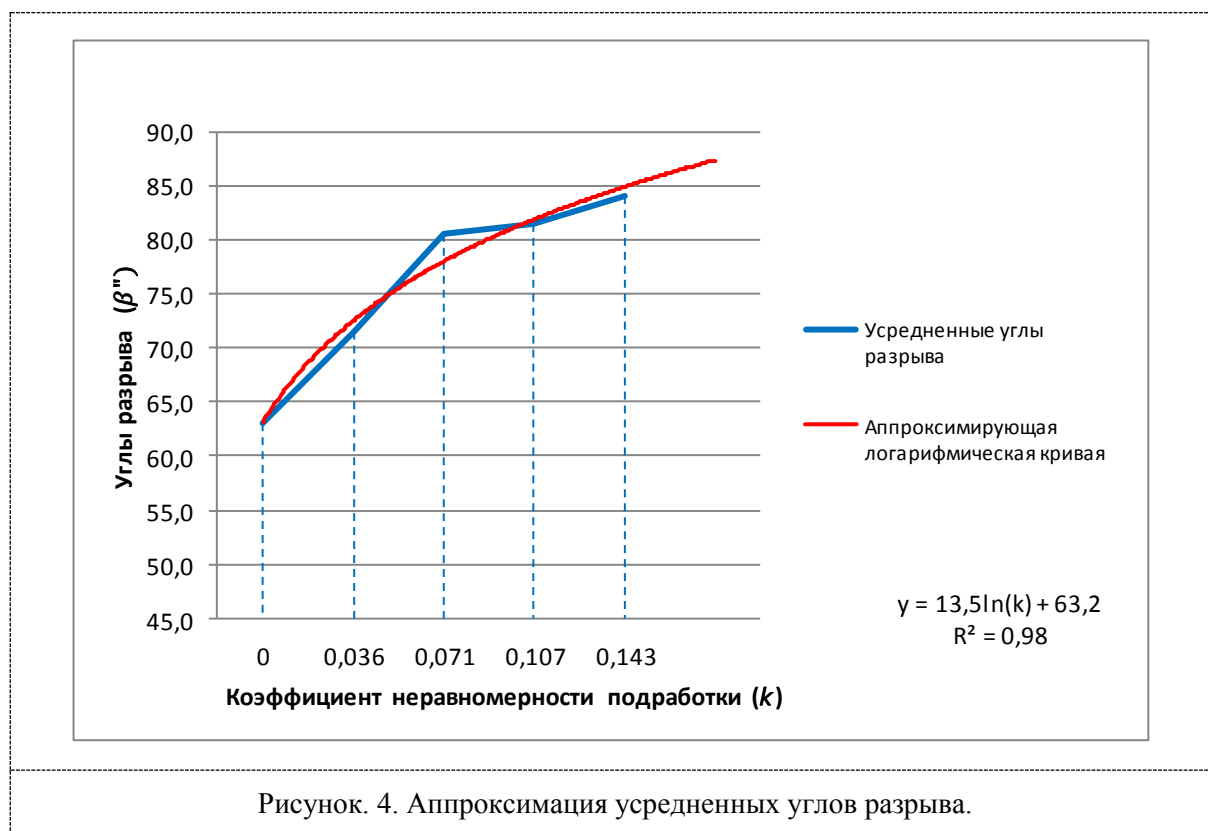


Рисунок. 4. Аппроксимация усредненных углов разрыва.

Установленная зависимость с высоким коэффициентом корреляции ($R^2 = 0,98$) описывается следующим эмпирическим уравнением:

$$\beta'' = 13,5 \ln(k) + 63,2 \quad (2).$$

Полученное уравнение позволяет прогнозировать углы опасных сдвижений на этапе проектирования геодинамических наблюдений для типичных условий нефтегазовых месторождений Восточной Сибири.

Прогнозная величина оседания кровли пласта рассчитывается в зависимости от падения давления в пласте и градиента падения давления по известным методикам, изложенным в работе Ю.А. Кашникова и С.Г. Ашихмина [3]. Указанные параметры пласта задаются технологической схемой или проектом разработки месторождения.

5. Заключение

По результатам моделирования можно сделать следующие выводы.

1. Развитие процесса сдвижения начинается с формирования свода. Размер основания свода соответствует границам подработки. Развитие процесса происходит относительно симметрично, независимо от характера подработки (равномерная или неравномерная) и степени неравномерности.

2. Углы разрывов практически не изменяются с изменением глубины залегания пласта. На величину углов оказывает влияние величина неравномерности подработки массива горных пород. Равномерная подработка дает наименьшие углы разрывов (65°). Неравномерная подработка, которая соответствует условиям градиентного падения давления в пласте при откачке флюида и создает вогнутую форму оседания кровли, приводит к увеличению углов разрывов. Возрастание угла зависит от коэффициента неравномерности. При неравномерной подработке горного массива получены максимальные углы разрывов ($820\text{--}850$).

3. Установленная зависимость с высоким коэффициентом корреляции аппроксимируется логарифмической функцией $\beta = 13,5 \ln(k) + 63$. Полученное уравнение позволяет прогнозировать

границы зоны опасных сдвижений на этапе проектирования геодинамических полигонов для типичных условий Восточной Сибири.

4. При использовании метода аналогии для прогнозирования границ мульды сдвижения на нефтегазовых месторождениях предлагается увеличивать граничные углы сдвижения на 5–10 градусов по отношению к угольным месторождениям, принятым за аналог.

Библиографический список

- [1] Ашмхмин С.Г. Прогноз параметров уплотнения коллекторов и деформаций горного массива при разработке месторождений углеводородов//Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. -2007. -№ 10. –С.40-43.
- [2] Ашихмин С.Г. Особенности методов прогноза напряженно-деформированного состояния горных пород при разработке месторождений углеводородов// Маркшейдерия и недропользование. – 2008. - № 2. –С.38-40.
- [3] Механика горных пород при разработке месторождений углеводородного сырья / Ю. А. Кашников, С. Г. Ашихмин – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2007. – 467 с.
- [4] Горбунов О. Н. Принципы рациональной системы наблюдений за сдвигами земной поверхности на месторождениях нефти и газа / О. Н. Горбунов, И. А. Титаева, Е. А. Горбунов, А. О. Дроздов // Маркшейдерский вестник. – 2016. – № 3. – С. 29-35.
- [5] Кашников Ю. А., Залялов И.М. О нормативной базе, регламентирующей вопросы создания геодинамических полигонов для мониторинга деформационных процессов при разработке месторождений углеводородного сырья // Маркшейдерский вестник. – 2011. – № 3. – С. 5-6.
- [6] Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях (ПБ 07-269-98).
- [7] Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород, земной поверхности и подрабатываемыми сооружениями на угольных и сланцевых месторождениях. М.: Недра, 1989. -97 с.
- [8] Кузнецов Г. Н. и др. Моделирование проявлений горного давления. Л., «Недра», 1968.
- [9] Шмонин И.Б., Селин К.В., Шмонин В.И. Этапный подход к созданию геодинамического полигона на Верхнечонском нефтегазоконденсатном месторождении. Состояние и перспективы развития маркшейдерского дела: Материалы Международной научно-практической конференции, 8-10 ноября 2010. Екатеринбург: УГГУ, 2011. - с.192-196.
- [10] Басниев В.С., Кочина И.Н., Максимов В.М. Подземная гидромеханика. – М.: Недра, 1993.– 416 с.

Опыт маркшейдерской съемки наклонных восстающих, проходимых с помощью механизированных комплексов КПН

Шмонин И.Б., Волохов А.В.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail ibshmonin@yandex.ru, tolya.volokhov@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрен опыт и методика маркшейдерской съемки наклонных восстающих, которые проходятся с помощью механизированных проходческих комплексов КПН. В процессе проходки маркшейдерские работы можно выполнять только с полка механизированного комплекса. Наклон выработки не позволяет использовать длинные отвесы для определения положения забоя восстающего и его съемки.

Основным направляющим и ориентирующим элементом для проходки и съемки служит монорельс. Рассматривается методика задания направления монорельсу на нижнем горизонте и ступенчатой (посекционной) съемки монорельса с помощью короткого отвеса и карманной рулетки с целью определения его пространственного положения.

1. Введение

В настоящее время внимание маркшейдерской науки сосредоточено, в основном, на применении современных электронно-оптических приборов в практике выполнения маркшейдерских работ. Такие приборы как электронные тахеометры и лазерные сканеры успешно применяются в подземных условиях для создания маркшейдерского обоснования и съемок горных выработок на основных и подэтажных горизонтах, съемке очистных выработок с недоступным пространством. Тем не менее, в маркшейдерской практике существует потребность в простых и общедоступных методах съемки подземных выработок с помощью отвеса и рулетки, на уровне маркшейдерского искусства [1]. Примером может служить необходимость съемки наклонных восстающих, проходимых с помощью механизированных проходческих комплексов.

Для проходки восстающих выработок сечением 4-8 м² в устойчивых породах под рудо- и породоспуски, а так же для вентиляции, применяются комплексы проходки восстающих: КПВ – для вертикальных выработок и КППН – для выработок с углом наклона 60-90°. Комплекс проходки восстающих представляет собой механизированный кабину-полок, который перемещается по монорельсу, закреплённому при помощи анкерных болтов к висячему борту выработки. Кабина приводится в движение пневмодвигателем. Монорельс собирается по мере проходки из прямолинейных секций длиной 1,5 м. Для перехода горизонтального участка на наклонный устанавливаются криволинейные секции длиной 0,75 м, обеспечивающие отклонение монорельса на 150 каждая. Кроме того, в комплект входят отклоняющие на 50 и 100 секции (прямого и обратного отклонения), которые применяются для корректировки угла наклона восстающего [2].

2. Материалы и методы

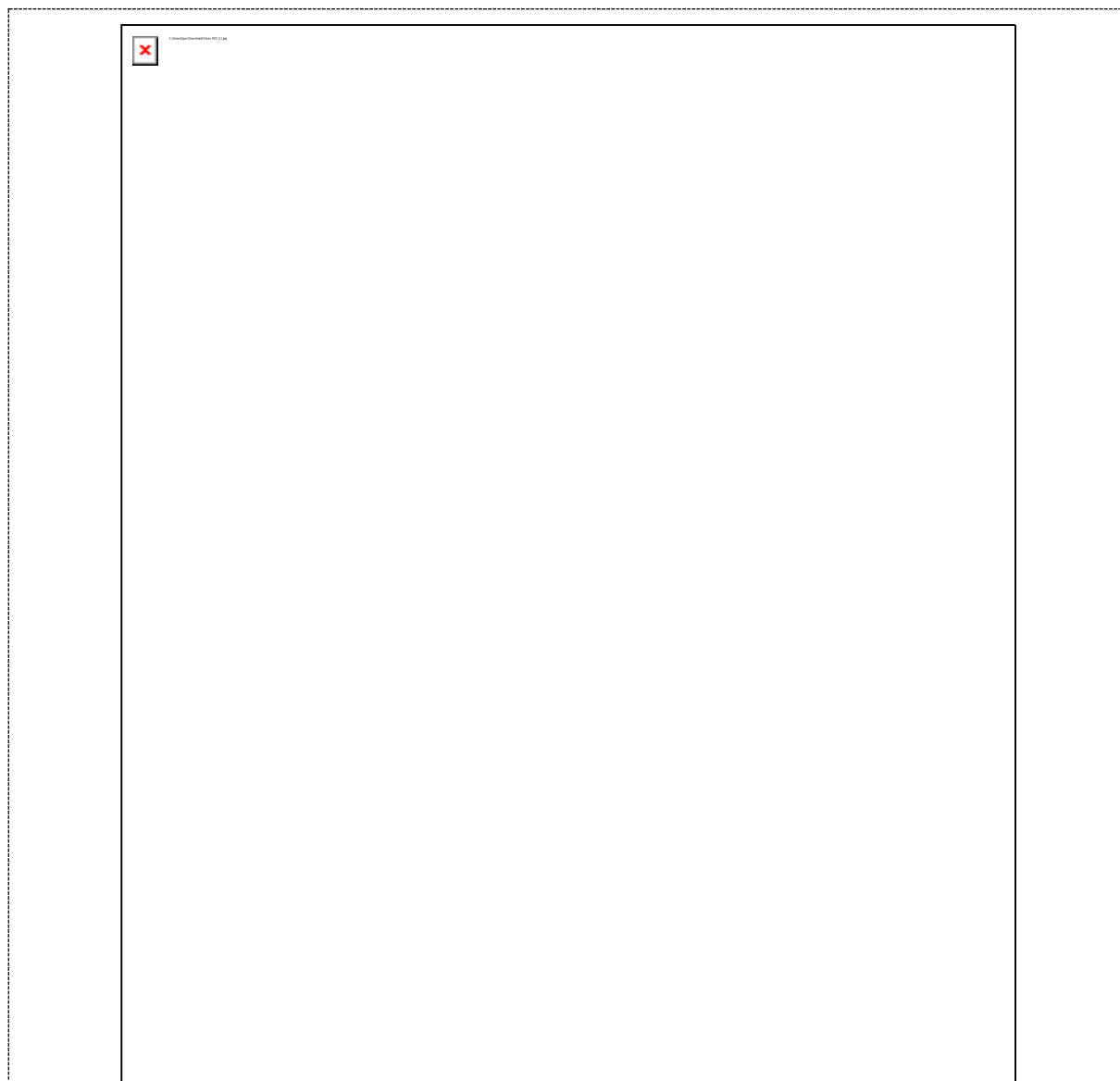
Задание направления и контроль за проходкой вертикальных восстающих, как правило, особых трудностей не вызывает и производится с помощью отвесов. Учитывая, что сечение выработки во время проходки свободно от расстрелов и полков, отвесы могут вывешиваться от забоя (с полка) на всю длину восстающего. В этом случае координаты отвесов, а значит и положение забоя в плане, определяются инструментально на устье восстающего. Отметка забоя или длина восстающего определяется непосредственно рулеточным промером от репера, закрепленного на устье выработки.

Значительные проблемы возникают при проведении наклонных восстающих, так как непосредственное определение положения забоя при помощи отвесов возможно только на первых 4-10 метрах, в зависимости от сечения и угла наклона выработки, которые определяются проектом. Затем отвесы можно вывесить только на ограниченном участке выработки. В практике маркшейдерии известны способы ступенчатой съемки наклонных выработок при помощи отвесов, буссоли и полукруга, однако они требуют наличия ходового отделения в выработке и закрепления отвесов на висячей стенке восстающего [3]. В учебной литературе [4] приводится расчет угла наклона восстающего, соединяющего два подземных горизонта, однако отсутствуют рекомендации по маркшейдерскому контролю в процессе проходки.

Опыт проведения наклонных восстающих длиной 60–80 метров на Барун-Холбинском золоторудном месторождении показывает, что определять положение забоя восстающего в плане можно относительно монорельса путем его ступенчатой съемки. Головка монорельса отстает от забоя обычно на 1,5–3,0 м. Ступенчатую съемку монорельса с целью определения горизонтальных проекций отдельных секций производят в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Затем в крупном масштабе строятся разрез в плоскости монорельса и его проекция на вертикальную плоскость, на которые наносятся результаты измерений (горизонтальные

проекции секций). В результате выстраивается траектория монорельса в двух проекциях и габариты восстающего. Как отмечалось выше, принцип ступенчатой съёмки наклонных восстающих не нов. В данном случае интерес представляет опыт ступенчатой съёмки монорельса и восстающего.

Секции монорельса, по каналам которых в забой подаются сжатый воздух и вода, необходимые для работы перфораторов, соединяются между собой весьма жёстко, образуя цельную конструкцию. Монорельс не позволяет в процессе проходки разворачивать выработку вокруг её оси. Поэтому именно монорельс является ориентирующим элементом, который задаёт направление восстающему и определяет, на сколько точно будет выдержан проектный угол наклона. Следовательно, задав направление монорельсу и периодически определяя его положение в пространстве, маркшейдер может контролировать проходку собственно восстающего.



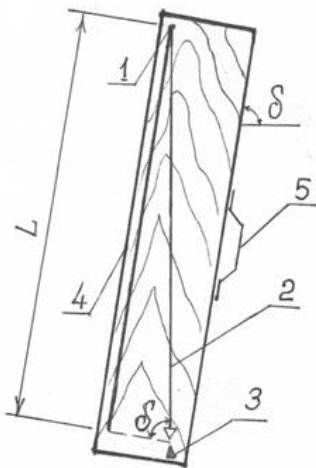
1 – штрек; 2 – «гараж» КПН; 3 – устье восстающего; 4 – высотный репер; 5 – горизонтальные секции монорельса; 6 – анкерные болты крепления монорельса; 7 – усиленная секция; 8 – проходческий полук; 9 – кабина; 10 – отбитая порода.

Рисунок 1. Схема задания направления восстающему.

Маркшейдерское обеспечение проходки наклонных восстающих заключается в следующем. После проходки на горизонте горных работ камеры или «гаража» под монтаж КПН и зарезки восстающего, возле сопряжения выработок закрепляется постоянная маркшейдерская точка, а под устьем восстающего – репер (рис. 1). С маркшейдерской точки производится разбивка оси горизонтальной части монорельса, которая задаёт направление движения наклонного восстающего в плане. После монтажа горизонтальной части монорельса, производится установка секций закругления и первой прямолинейной (усиленной) секции монорельса, которая выводится на проектный угол наклона. Усиленная прямолинейная секция задает направление восстающему в вертикальной плоскости. Поэтому её установка и выверка требует особой тщательности.

Для установки секций монорельса под заданным углом наклона был разработан и использовался шаблон. Конструкция шаблона показана на рис. 2. Шаблон представляет собой доску длиной 1,0–1,1 м, на которой закрепляется отвес. Точку подвеса нити располагают в одном из углов доски, в одном сантиметре от её края. От точки подвеса нити, параллельно длинной стороне доски мягким карандашом (М, 2М) прочерчивается линия, которая задаёт шаблону вертикальное положение. На противоположном конце доски ставится риска, которая соответствует проектному углу наклона восстающего. Положение риски рассчитывается из прямоугольного треугольника, одним из катетов которого является линия, соответствующая вертикальному положению шаблона. Длина этого катета (L) соответствует длине доски – обычно один метр. Тогда второй катет, который определяет положение риски, равен $L/\operatorname{tg}\delta$, где δ – проектный угол наклона восстающего. Гипотенуза данного треугольника будет соответствовать положению отвеса, когда шаблон установлен под проектным углом наклона.

Таким образом, прикладывая шаблон рабочей стороной к монорельсу добиваются, что бы отвес указывал на метку, а его нить совпадала с гипотенузой треугольника. Тогда секция монорельса будет установлена под проектным углом. Для того, чтобы не путать рабочую сторону шаблона с нерабочей, к последней прикрепляют ручку для переноски данного приспособления.



1 – точка крепления отвеса; 2 – отвес; 3 – риска; 4 – рабочая сторона шаблона; 5 – ручка.

Рисунок 2. Шаблон для установки монорельса под заданным углом.

После установки усиленной секции монорельса производится исполнительная теодолитная съёмка смонтированного участка монорельса (точки 1-3, см. рис. 1). Точки 1 и 2 принадлежат горизонтальному участку. Точка 3 (верхний конец усиленной секции) проектируется на горизонт при помощи отвеса. Точки выбираются на краю монорельса со стороны перфорации, т.к. в дальнейшем отверстия перфорации используются для подвешивания отвесов. В этот период необходимо добиваться, что бы все три точки лежали в одной вертикальной плоскости. Это условие будет выполняться, если при нанесении их на план по вычисленным координатам, они будут лежать на одной прямой.

По результатам съёмки на отдельном листе в крупном масштабе (1:200 или 1:100) строятся разрез и проекция приустьевой части восстающего. Вертикальный разрез строится в плоскости монорельса (продольная плоскость). В поперечной плоскости строится проекция восстающего на вертикальную плоскость. На них показываются сбиваемые горизонты, фактическое положение смонтированного монорельса, а также проектный контур восстающего. Верхний конец усиленной секции (точка 3) является той точкой, относительно которой в дальнейшем будут производиться все графические построения, поэтому необходимо обратить внимание на точность графических построений и геометрическую связь между изображениями данной точки на плане, разрезе и проекции. Для правильного перенесения результатов съёмки восстающего на проекцию, которая производится относительно монорельса, на ней указывается ориентация восстающего по отношению к наблюдателю: «лицом на монорельс» - при расположении «гаража» КПН за плоскостью проекции, либо «монорельс за спиной» - при расположении «гаража» перед плоскостью проекции.

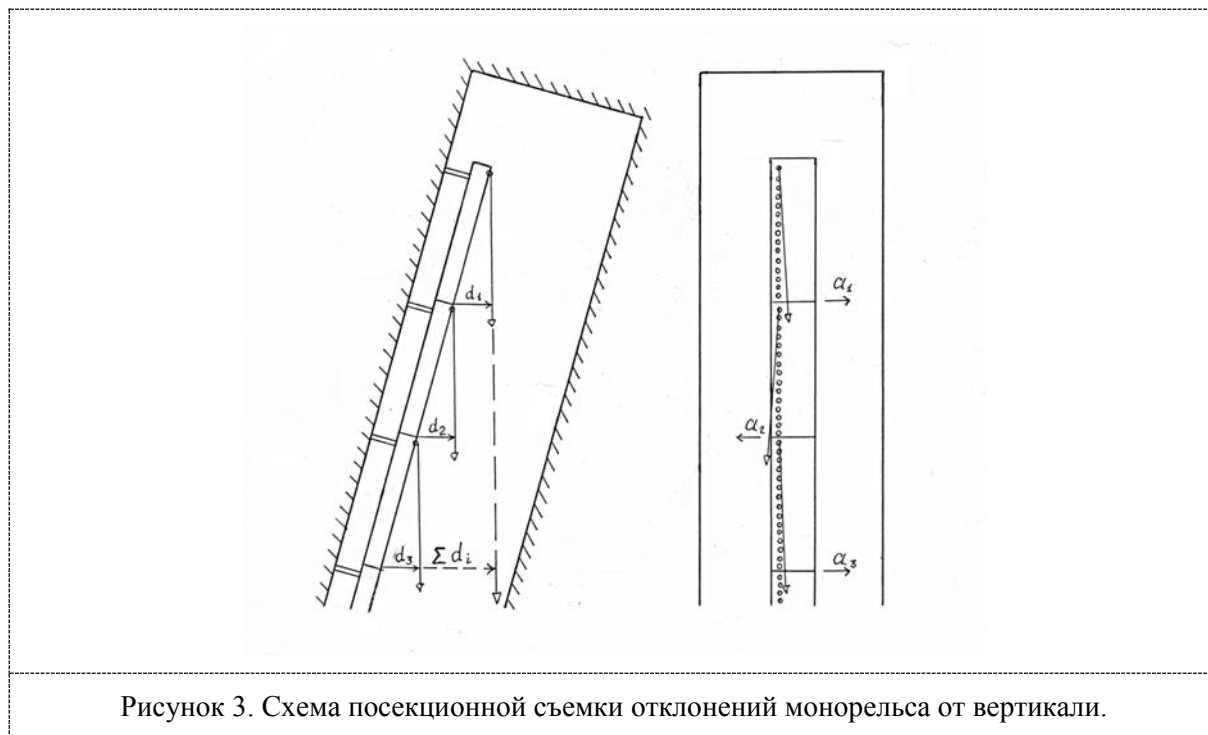
Съёмка наклонной части монорельса производится от забоя. Для этого маркшейдер с проходчиком поднимаются к забою, где с полка производят тщательную обorkу заколов. На приведение забоя и стенок выработки в безопасное состояние следует обратить особое внимание, т.к. при съёмке 6-7 секций монорельса полок опускается на 10-12 метров от забоя.

Съёмка начинается с измерения расстояния от головки монорельса до забоя, габаритов выработки на уровне окончания монорельса и определения общей длины восстающего. Замер габаритов в плане производится с помощью карманной рулетки относительно осевой линии перфорации монорельса. Общая длина определяется непосредственным промером с помощью стальной рулетки. Для этого начало рулетки, к которому прикрепляется небольшой вспомогательный груз, опускается к устью восстающего, где помощник маркшейдера прикладывает ленту нулевым отчётом к реперу, а маркшейдер снимает отсчёт на уровне полка или головки монорельса. Связь между маркшейдером и его помощником осуществляется при помощи голоса – на небольших высотах, и при помощи условных сигналов, подаваемых индивидуальным фонарём, когда речевой обмен затруднен.

Затем выполняется непосредственная посекционная съёмка монорельса. Во время съёмки маркшейдер, находясь на полке, производит замеры и подаёт команды о начале движения полка и его остановке проходчику, который располагается к кабине и управляет движением.

Посекционная съёмка заключается в следующем. Маркшейдер, используя отверстия перфорации в монорельсе, подвешивает с помощью крючка отвес длиной примерно 1,7 м к верхней части секции монорельса. После успокоения отвеса производятся замеры с помощью карманной рулетки на уровне стыка монорельсов. Измеряются расстояния от шнура отвеса до монорельса (в продольной плоскости) и расстояние от шнура отвеса до ближайшей боковой плоскости монорельса (в поперечной плоскости). При этом рулетку стараются держать горизонтально. Для взятия отсчета в поперечной плоскости рулету скобой нулевого отсчета зацепляют за боковую плоскость монорельса и визуально проектируют шнур отвеса на шкалу рулетки, совмещая шнур отвеса с линией перфорации монорельса. Разность отрезков от боковой поверхности монорельса до отвеса в точке подвеса и у основания секции показывает отклонение монорельса от вертикали в поперечной плоскости на участке замера. Съёмке подлежат все секции монорельса, смонтированные с момента предыдущего замера. В журнале съёмки составляется эскиз монорельса в двух плоскостях на котором отмечаются направления

и величины отклонений от вертикали для каждой секции (рис. 3). Съёмка габаритов восстающего производится через 2 секции (3 м).



3. Результаты исследования и их анализ

Результаты замера переносятся на разрез и проекцию в последовательности обратной съёмке. Для этого от последней секции, отображенной на графике, откладывается отрезок, равный проекции секции монорельса на вертикальную плоскость, проводится горизонтальная линия (общая для разреза и проекции), на уровне которой откладываются величины отклонения секции от вертикали. Длины отрезков откладываются с помощью поперечного масштаба. В результате получаем изображение траектории монорельса в двух плоскостях. После переноса на графику габаритов восстающего получаем фактические разрез и профиль самого восстающего, которые сопоставляются с проектом. Величина отклонения восстающего от проекта определяется графическим способом. Корректировка угла наклона восстающего, в случае необходимости, производится с помощью отклоняющих секций монорельса, о чем делается соответствующая запись в Книге маркшейдерских указаний.

В зависимости от условий измерения погрешность проектирования с помощью нитяных отвесов изменяется в значительных пределах – от ± 1 до $\pm 3,5$ мм [4]. Учитывая, что одной точкой отсчёта является монорельс (жёсткая точка), а второй – отвес, принимаем ± 2 мм. Погрешность совмещения визирной цели со шкалой рулетки составляет 0,3 мм. Учитывая стеснённые условия взятия отсчёта принимаем ± 1 мм. Наибольшее значение среди указанных погрешностей составляет погрешность за счёт отклонения рулетки от горизонтального положения. Поскольку горизонтальная проекция секции монорельса может изменяться от 0 до 0,75 м в зависимости от угла наклона, то погрешность измерения данного отрезка даже при значительном отклонении рулетки (до 100) сопоставима с точностью графических построений. Практика показывает, что реальная точность графических построений с применением поперечного масштаба составляет $\pm 0,2$ мм, что в масштабах 1:100 или 1:200 будет соответствовать 2-4 см. Для максимального горизонтального проложения (0,75 м) погрешность измерения составит +11,5 мм. Общая погрешность измерений для одной секции составит +11,7 мм. Для n измерений погрешность, как известно, возрастает в $\sqrt{n}$ раз. Например, для съёмки пяти секций монорельса суммарная погрешность составит 26 мм. Оценочные расчёты показывают, что посекционная съёмка монорельса даёт вдвое меньшую погрешность, чем

съёмка того же интервала при помощи одного длинного отвеса. Это вызвано тем, что при увеличении длины горизонтального проложения резко возрастает влияние погрешности за счёт отклонения рулетки от горизонтального положения. Для уменьшения погрешности за счёт отклонения рулетки можно использовать современный строительный уровень длиной 0,4–0,6 м с миллиметровой шкалой на корпусе.

4. Заключение

Опыт проходки наклонных восстающих длиной 60 метров на Барун-Холбинском месторождении показывает, что фактическое отклонение выработок в плане от их проектного положения при данном способе маркшейдерского контроля составило 0,4–0,6 м, что составляет 20–30 % от линейного габарита выработки (2 м). Предложенный способ позволяет удовлетворительно сбивать вертикальные подземные выработки с горизонтальными при минимальном сечении 3–4 м².

Библиографический список

- [1] Маркшейдерское дело: Учебник для вузов / В.И Борщ-Компониец, В.М. Гудков, М., Недра, 1979.
- [2] Справочник по горному делу / Под ред. Гребенюка В. А. и др. М., Недра, 1993.
- [3] Гельман Д. З., Прошин Ф. Е., Лавриненко В. Ф. Маркшейдерские работы при очистной выемке руды. Metallurgizdat, 1959.
- [4] Маркшейдерское дело: Учебник для вузов / Д. Н. Оглобли, Г. И. Герасименко и др. М., Недра, 1981.

Методика опережающего моделирования кривых ЗСБ для предварительной оценки возможности определения типа насыщения горизонтов-коллекторов

Шобохонова З.Я., Токарева О.В., Мурзина Е.В.

АО "ИЭРП"

Аннотация. Метод зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ) широко применяется для решения различных геологических задач при поисках углеводородов в условиях Восточной и Западной Сибири. Для предварительной оценки возможной эффективности применения метода ЗСБ в произвольных геологических условиях разработана методика опережающего моделирования кривых ЗСБ. В статье рассмотрены методические подходы к синтетическому моделированию кривых ЗСБ. Показано, что синтетическое моделирование кривых ЗСБ позволяет оценить возможность разделения зон с различным насыщением перспективных горизонтов-коллекторов.

1. Введение

Существует бесконечное количество различных геологических сценариев, моделей, вариаций коллекторских свойств и типов насыщения коллектора. Для того, чтобы оценить чувствительность кривых ЗСБ к определенной геологической ситуации, выполняется опережающее моделирование [5]. При этом актуально создание единой методики опережающего моделирования кривых ЗСБ, применимой для любых геологических сценариев. Подход данной методики разработан в АО «ИЭРП». Целью исследования является через анализ кривых ЗСБ оценить возможность восстановления исходных моделей и экспрессно оценить чувствительность метода ЗСБ к изменению петрофизических и геологических параметров целевых горизонтов. Для решения поставленной задачи необходимо рассчитать синтетические кривые ЗСБ, далее наложить электромагнитные помехи, характерные исследуемой территории, для последующей инверсии кривых. Предложенная методика актуальна для сред с горизонтально-слоистым строением, что характерно для юга Сибирской платформы.

2. Методика опережающего моделирования кривых ЗСБ

Моделирование позволяет на основе априорной информации о геологическом строении исследуемой территории рассчитать синтетическую кривую ЗСБ и оценить чувствительность метода к изменениям параметров геологической модели.

1. Алгоритм синтетического моделирования состоит из пяти основных этапов:
2. Формирование геоэлектрических моделей.
3. Расчет кривых ЗСБ и оценка расхождения кривых.
4. Генерация зашумленных кривых ЗСБ.
5. Решение обратной задачи (инверсия).
6. Анализ результатов инверсии.

3. Формирование геоэлектрических моделей

Геоэлектрическая модель представляет собой совокупность геоэлектрических горизонтов определенной толщины и удельного электрического сопротивления (УЭС). Модель осадочного чехла формируется на основе скважинных данных (ГИС) или типовой геоэлектрической модели по ЗСБ. Расчет геоэлектрических параметров целевых интервалов осуществляется через петрофизические зависимости Дахнова-Арчи или по данным электрического каротажа.

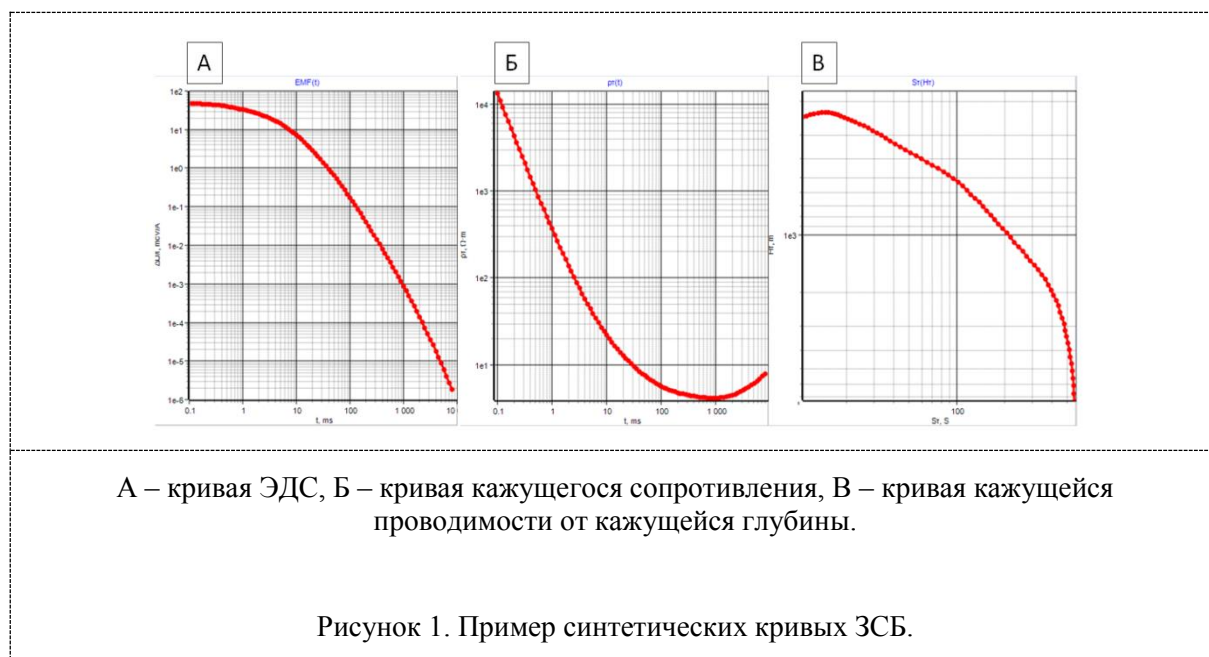
Для формирования геоэлектрической модели разреза осадочного чехла необходима априорная информация:

- границы стратиграфических комплексов;
- диаграмма электрического каротажа (БК, GZ).

Учитывая априорную информацию о насыщении коллекторов по скважинам, для создания набора геоэлектрических моделей коллекторов рассматриваются различные комбинации насыщения для пласта.

4. Расчет кривых ЗСБ и оценка расхождения кривых

От набора сформированных моделей производится расчет синтетических кривых ЗСБ в специализированном программном комплексе «Model 3» [2]. Данный программный комплекс позволяет рассчитать кривые ЭДС и трансформанты $\rho\tau$ и $S\tau(H\tau)$ (рис. 1).

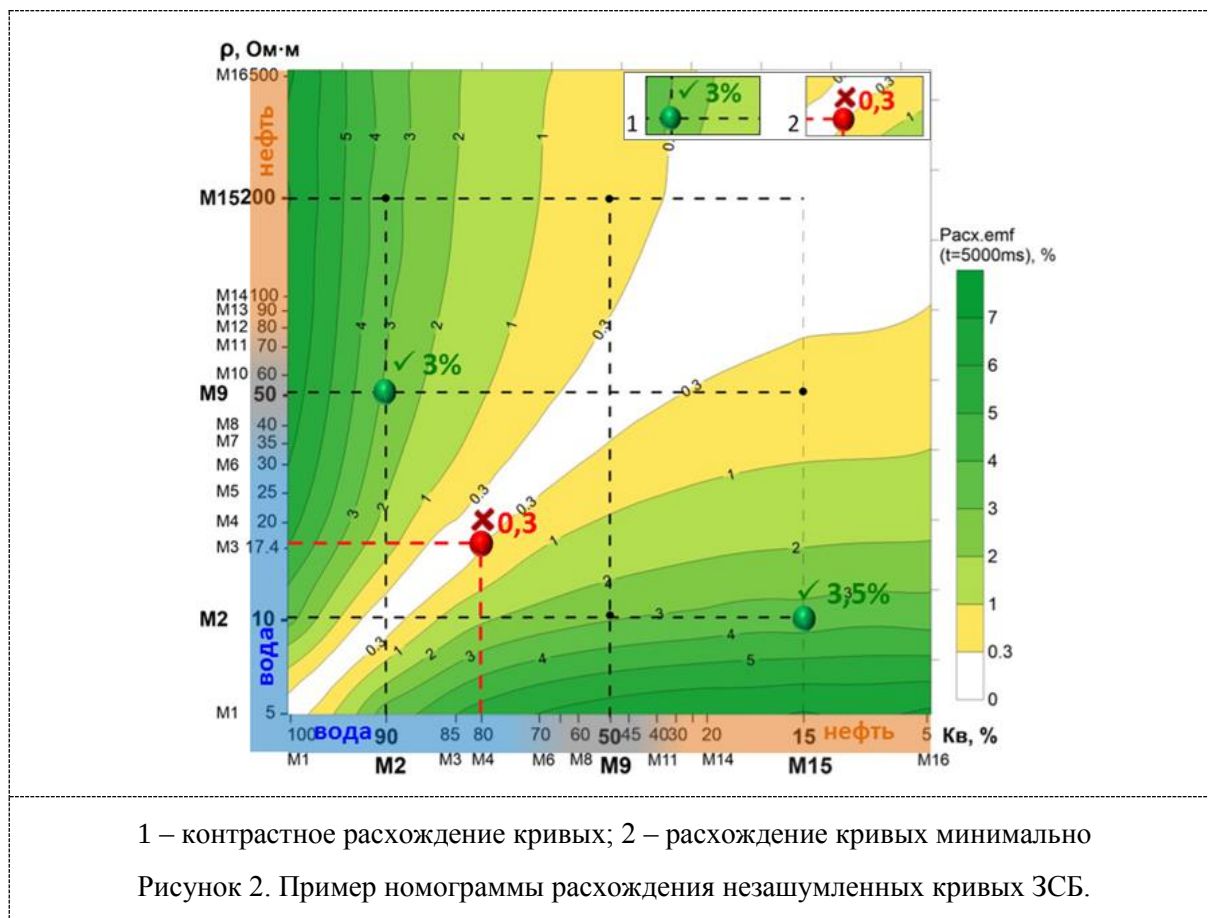


Путем расчета расхождения кривых ЭДС на определенном времени выполняется сравнение кривых ЗСБ. По результатам расчётов составляется номограмма расхождения кривых ЗСБ (рис. 2), которая отражает расхождения всех кривых ЭДС между собой. На номограмме уровень сопротивления модели соответствует коэффициенту водонасыщенности (K_v). Номограмма расхождения кривых ЗСБ позволяет ещё до стадии наложения шума, выявить модели, кривые от которых характеризуются наибольшим расхождением, и модели, кривые от которых не различимы.

На рисунке 2 жирным шрифтом выделены наиболее контрастные модели, характеризующиеся высоким расхождением для дальнейшего зашумления и восстановления кривых. Выбранные модели чаще всего характеризуют различные зоны по насыщению: чисто нефтяная зона (ЧНЗ), водо-нефтяная зона (ВНЗ) и чисто водная зона (ЧВЗ).

5. Генерация зашумленных кривых ЗСБ

Подбор уровня шума для определенной площади производится путем анализа шума на участках с аналогичными условиями. Анализируется уровень шума до и после фильтрации. На этапе зашумления производится псевдо-регистрация кривых ЗСБ, в зависимости от условий исследуемой площади, задаются параметры для зашумления кривой. Для каждой модели с различным насыщением генерируется по 100 кривых, осложненные случайной помехой. Итого 3 модели – это 300 зашумленных кривых. Данный подход зашумления кривых реализован в программе SCG [4].



6. Решение обратной задачи (инверсия)

Для восстановления геоэлектрических параметров применялось 2 подхода инверсии:

1. Инверсия всего разреза;
2. Инверсия ЦИ (Целевой интервал).

Автоматизация процесса инверсии (обратной задачи) данных производится на основе встроенного в программный комплекс «SGS-TEM» [03] модуля «Model4», направленного на решение обратной задачи в рамках одномерного подхода.

Работа алгоритма автоматической инверсии основана на методе Монте-Карло с элементами имитации отжига [5,6]. В процессе инверсии всего разреза для каждого искомого параметра (слоя) находится значение, при котором достигается минимум невязки. Восстановление геоэлектрических параметров всего разреза занимает значительное время, поэтому, был рассмотрен второй подход инверсии – инверсия ЦИ, который реализован в программе FlashInv(4) .

Второй подход инверсии производится в два этапа:

1. Предварительный расчет.
2. Инверсия.

Для ускорения процесса инверсии большого количества кривых ЗСБ (например, для трех моделей – 300 зашумленных кривых) выполняется подготовительный этап. На данном этапе, зная диапазон изменения УЭС целевых горизонтов, для каждого значения УЭС (выбранного с некоторым шагом) от полученной геоэлектрической модели рассчитывается прямая задача ЗСБ. Формируется банк теоретических кривых ЗСБ, который описывает все возможные вариации значений УЭС целевых горизонтов. Предварительный расчет кривых ЗСБ позволяет существенно снизить затраты времени на последующий этап.

В ходе предварительного расчета помимо целевого горизонта выбираются еще 2 слоя для раскрепления, производится анализ удельного электрического сопротивления (УЭС) всех раскрепленных горизонтов, задаются диапазоны допустимых значений, в которых будет подбираться УЭС для каждого горизонта. Для каждого из ста зашумленных кривых выполняется инверсия (восстановление). В ходе инверсии необходимо подобрать такую модель, теоретическая кривая которой максимально сходится с зашумленной. По результатам инверсии 100 зашумленных кривых определяется диапазон распределения значений УЭС для каждой модели.

7. Анализ результатов инверсии

Анализ результатов инверсии производится с помощью построения гистограмм часто встречающихся значений сопротивления целевого горизонта. На рисунке 4 представлен диапазон распределения сопротивления по результатам восстановления 100 зашумленных кривых.

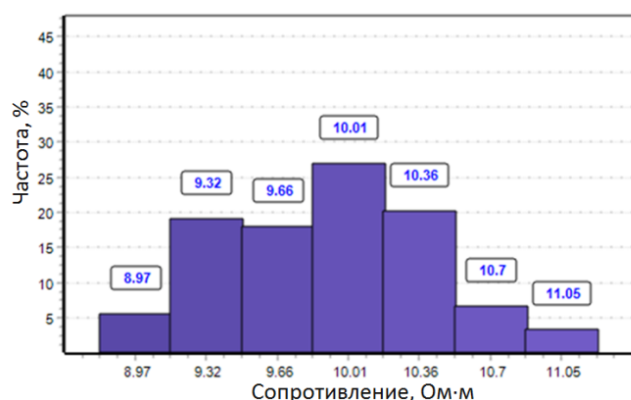


Рисунок 4. Гистограмма распределения сопротивления для одной модели (100 зашумленных кривых).

Для того чтобы оценить устойчивость решения задачи а также оценить возможность применения подхода 2 (инверсия ЦИ), проведена инверсия для модели со смешанным насыщением по двум подходам. По результатам инверсии выявлено, что диапазоны распределения совпадают на 90% (рис. 5). Для 100 зашумленных кривых время, затраченное на инверсию ЦИ, составляет 15 минут, второй подход (инверсия разреза) занимает 1 час для 15 зашумленных кривых. Таким образом, с целью оптимизации, для восстановления большого количества данных в сжатые сроки применен подход инверсии с раскреплением трех геоэлектрических горизонтов (инверсия ЦИ).

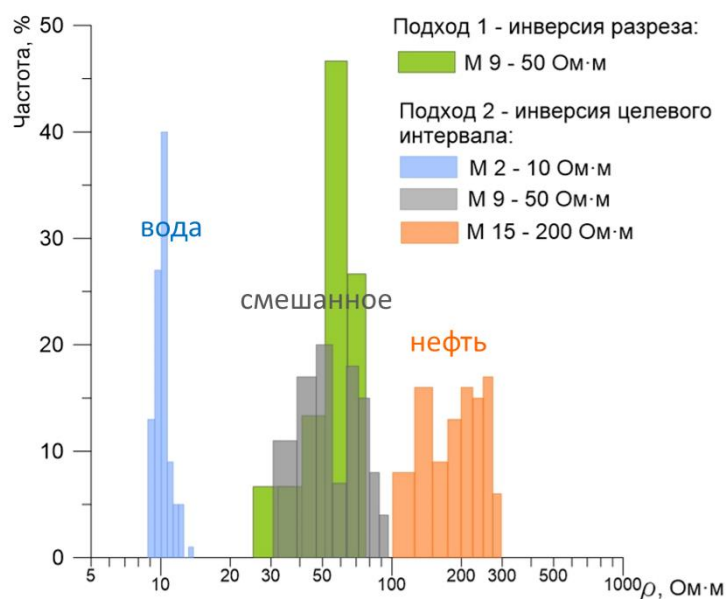


Рисунок 5. Гистограммы распределения сопротивления для трех моделей с различным насыщением, М2 – ЧВЗ ($K_v=100\%$), М9 - ВНЗ ($K_v=50\%$), М15 – ЧНЗ ($K_v=20\%$).

На основе диапазонов распределения УЭС производится анализ разделения моделей по насыщению. Степень пересечения диапазонов характеризует возможность разделения зон по насыщению (ЧНЗ, ВНЗ, ЧВЗ). На данном примере (рис. 5) по результатам восстановления

синтетических кривых ЗСБ выявлено, что все три выбранные модели контрастно разделяются, наложения диапазонов УЭС не наблюдается.

8. Выводы

Таким образом, данный подход инверсии позволяет до начала полевых работ экспрессно оценить возможности метода ЗСБ для различных геологических сценариев. Методика позволяет через анализ кривых ЗСБ оценить чувствительность метода ЗСБ к изменению петрофизических и геологических параметров целевых горизонтов и оценить возможность разделения зон с различным насыщением перспективных горизонтов-коллекторов.

Создание методики опережающего моделирования – путь к оценке возможной эффективности применения метода ЗСБ до начала полевых работ за короткие сроки. Данный подход синтетического моделирования уже применен более чем на 20 различных объектах.

Библиографический список

- [1] Агафонов Ю А и Поспеев А В Программно-измерительный комплекс для работ методом ЗСБ // *Геофизический вестник*, 2001, №10, С. 8 - 11.
- [2] Агафонов Ю А, Поспеев А В и Суров Л В Система интерпретации данных и основные направления применения нестационарных электромагнитных исследований на юге Сибирской платформы // *ПРИБОРЫ и СИСТЕМЫ РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ*, 2006, №1, С.33-36.
- [3] Агафонов Ю А и Шарлов М В Развитие программного обеспечения цифровой телеметрической электроразведочной станции SGS-ТЕМ с применением ГИС-технологий. Статья в сб. трудов конференции «Геофизические методы при разведке недр и экологических исследованиях», Томск, 2003.
- [4] Гусейнов Р Г Система оценки качества кривых нестационарных электромагнитных зондирований: диссертация кандидата технических наук. Иркутск, 2015. 142 с.
- [5] Могилатов В С, Захаркин А К и Злобинский А В Математическое обеспечение электроразведки ЗСБ система «Подбор». Новосибирск, 2007.
- [6] Лопатин А С Метод отжига // *Стохастическая оптимизация в информатике*. Санкт-Петербург: Изд-во СПбГУ, 2005. Вып. 1. С. 133–149.
- [7] Archie G E (1942). «The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics». *Petroleum Transactions of AIME* 146: 54 – 62.

Мероприятия по ликвидации пожаров и открытых газовых фонтанов (на примере месторождения Восточной Сибири)

Аверкина Е.В., Лихтенвальд А.А.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail viva160@mail.ru

Аннотация. Общепринятая практика ликвидации открытых горящих фонтанов показывает, что изначально на фонтанирующих нефтегазовых скважинах проводятся работы по подготовке устья, а также тушению пламени горящего фонтана и уже только потом приступают к ликвидации самого фонтана. Данный подход не всегда уместен, главным его недостатком является то, что только после тушения пламени пожара, приступают к работе по замене и удалению с устья неисправного оборудования. Бывали случаи, когда после тушения пожара снова разгораются разливы на территории устья жидкие углеводороды. Разлитый газовый конденсат воспламенится обязательно, сырая

же нефть может и не воспламениться. К осложнениям в процессе аварийно-восстановительных работ может привести самовозгорание разлитых углеводородов и даже к увеличению их продолжительности, поэтому от успешности проведения таких работ во многом зависит ликвидации фонтана.

1. Введение

В 140 км к Северо-востоку от г. Усть-Кута, расположено Ярактинское нефтегазоконденсатное месторождение южной части Катангского района и в северной части Усть-Кутского района Иркутской области РФ [1]. В верхнем течении Нижней Тунгуски, в бассейнах её левых притоков Яракты и Гульмока находится месторождение. В 1992 году началась эксплуатация Ярактинского нефтегазоконденсатного месторождения. Иркутская нефтяная компания (ИНК), для которой Ярактинское месторождение является основным – является оператором [2]. При бурении наиболее частыми осложнениями являются поглощения бурового раствора, прихваты, нефтегазоводопроявления и снижение вероятности их возникновения является основополагающей задачей интенсификации буровых работ [3].

2. Материалы и методы

Все данные, использованные в работе, получены экспериментальным путем или с помощью обработки экспериментальных данных.

3. Результаты исследования и их анализ

В пожарной части на территории УПН (установка подготовка нефти) данного месторождения базируется три единицы пожарной техники: АЦ 7,0-70 (автоцистерна пожарная пенообразователя 480 л, воды 7000 л); АПТ (автомобиль пенного тушения пенообразователя 7000 л, воды 480 л); АЦП 6,0 (автоцистерна пожарная пенообразователя 360 л, воды 6000 л). На практике для достижения эффективности проведения ликвидационных работ к их выполнению привлекают специализированные подразделения – противofонтанные военизированные части, личный состав которых в обязательном порядке проходит специальную подготовку и тренинг [4]. Также, противofонтанные части имеют специализированное оборудование и технические средства, которые дают возможность эффективно бороться с горящими нефтяными и газовыми фонтанами, соблюдая при этом уровень безопасного ведения аварийных работ [5].

В России при тушении пожаров открытых фонтанов, чаще всего применяется лафетные стволы при тушении не больших пожаров (гидромониторы), автомобили газонефтяного тушения АГВТ-100 (АГВТ-150), используются при тушении всех видов фонтанов, чаще для тушения сильных фонтанов, пневматические порошковые пламеподаватели ППП-200 (при очень мощных фонтанах). Также тушение может осуществляться с вертолета водой или жидким азотом [6].

На основании имеющегося опыта по ликвидации открытых газовых фонтанов, можно выделить несколько типов фонтанов:

- 1) нефтяные, газонефтяные, газоводяные фонтаны, газовые;
- 2) устьем (доступным или недоступным);
- 3) режим действия непрерывный или пульсирующий;
- 4) фонтаны (горящие или негорящие);
- 5) фонтанная струя (распыленная или компактная);
- 6) небольшие (с дебитом газа менее 0,5 млн м³/сут. и нефти менее 100 м³/сут), средние (с дебитом газа 0,5...1,0 млн м³/сут и нефти 100...300 м³/сут),
- 7) мощные (с дебитом газа 1,0...10,0 млн м³/сут и нефти 300...1000 м³/сут),
- 8) большие (газа более 10 млн м³/сут и нефти более 1000 м³/сут).

4. Обсуждения

Анализируя условия развития открытого фонтана и геолого-промысловую информацию выбирается наиболее тактически правильная для данных условий технология или разрабатывается новая, исходя из условий, что каждый фонтан, по сути своей индивидуален [7]. Например, на Большетирском нефтяном месторождении Иркутской области было проведена ликвидация ГНВП баритовой пробкой. При бурении поисково-оценочной скважины в интервале 2270-2275 м на растворе плотностью – 1,25 г/см³ было отмечено увеличение газопоказаний до 0,66% с выходом из скважины на поверхность земли газовых пачек. Произведена закачка кольтационной пачки с наполнителями в объеме 10 м³ на забой скважины. Во время продавки пачки кратковременный выход раствора из затрубного пространства с пробросом газа. Инструмент поднят до глубины 2255 м. Скважина загерметизирована. После остановки бурения произведено глушение скважины прокачкой 110 м³ бурового раствора плотностью 1,63 г/см³ с регулировкой давления дросселем. Было отмечено поглощение бурового раствора, а из затрубного пространства поступали газ-нефть-вспененный буровой раствор плотностью 0,5 г/см³, сброшенный в факельный амбар. Газ и нефть сжигались. В связи с потерей контроля над скважиной под землей принято решение о проведении работ по восстановлению контроля над скважиной для продолжения работ по углублению ствола скважины. После герметизации скважины рост давлений Р_{тр} = 55 атм, Р_{затр} = 70 атм. Технология, хорошо зарекомендовавшая себя на одном фонтане, может оказаться непригодной на другом [8].

Наиболее подходящие методы ликвидации открытого фонтана определяется на основании его типа и мощности:

- 1) создания искусственного пакера в стволе скважины;
- 2) с последующим ее глушением герметизации устья скважины;
- 3) в наклонно-направленные скважины отвод газа;
- 4) в ствол аварийной скважины закачивается жидкости;
- 5) заводнения газового пласта;
- 6) подземный взрыв.

Одним из основных параметров фонтана, определяющих условия и способ его ликвидации, тушения, является дебит скважины. Классификация фонтанов в зависимости от дебита фонтанирующего флюида приведена в таблице 1. Из таблицы также видно, что характеристика фонтана зависит от формы фонтанирующей струи. Форма фонтанирующей струи во многом предопределяет технические и технологические трудности его ликвидации, а также уровень предполагаемых материальных затрат на проведение ликвидационных работ.

Таблица 1. Классификация открытых газовых фонтанов в зависимости от дебита и формы струи.

Вид фонтана	Дебит фонтана, млн. (м ³ /сутки)	
	Компактная форма струи	Распыленная форма струи
Слабый	До 2	До 1
Средний	2÷5	1÷2
Мощный	5	2

Дебит скважины определяется на стадии подготовки к выполнению работ по его ликвидации и затем, при необходимости, уточняется в ходе их проведения. Существует несколько способов определения дебита, основными из которых являются: по геологической характеристике проявляющего пласта; по геометрическим размерам факела пламени, по газодинамическим

параметрам истечения флюида, фотометрический и акустический, т.е. по уровню шума, создаваемого истекающим флюидом.

В частности, дебит можно определить, используя следующие эмпирические формулы:

$$Q = 0,0025 H_{\phi}^2 \text{ для газа;} \quad (1)$$

$$Q = 0,086 V S \text{ для нефти,} \quad (2)$$

где Q – величина дебита фонтана; H_{ϕ} – высота фонтанирующей струи, м; V – скорость истечения флюида на устье скважины, м/с; S – площадь сечения истечения флюида, м².

Успешность проведения работ по ликвидации горящих нефтяных и газовых фонтанов во многом зависит от оперативности принятия решений по ликвидации аварии [9], уровне материально-технического обеспечения аварийных работ, опыта личного состава аварийно-спасательных подразделений и слаженности и координации действий между оперативными и обеспечивающими подразделениями [10], принимающими участие в ликвидации аварии и тушении пожара.

5. Заключение

Главными задачами при тушении пожара являются:

1. Определение требуемого количества сил и средств, а также выбор способа тушения пожара.
2. Распределение сил и средств по боевым участкам, разработка тактического плана тушения, корректировка плана тушения с учетом изменения обстановки, организация связи.
3. Постановка задач перед подразделениями.
4. Обеспечение взаимодействия с другими службами и постановка им задач по созданию условий для успешной работы подразделений (обеспечение водой и материалами [11], прокладка трубопроводов к устью скважины, обеспечение спецодеждой и средствами индивидуальной защиты и т.д.).
5. Обеспечение условий для безопасной работы личного состава [12].

До настоящего момента остаются нерешенными многие методологические вопросы безопасной ликвидации горящего фонтана с минимальными временными и материальными затратами несмотря на успешность проводимых аварийно-восстановительных работ [13-15].

Библиографический список

- [1] Махмудова М.М., Королева А.М., Шакирова Э.В., Ефименко Е.Л. Инвестиционная привлекательность Северного региона. Известия высших учебных заведений. Социология. Экономика. Политика. 2016. No 1 (48). С. 27- 32.
- [2] Ламбин А.И., Иванишин В.М., Сираев Р.У., Аверкина Е.В., Шакирова Э.В., Коротков А.В. Исследование влияния состава эмульсионных буровых растворов на их показатели. Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2015. № 4 (53). С. 58–66.
- [3] Шакирова Э.В., Аверкина Е.В., Сабилов Т.Р. Влияние добавок на характеристики бурового раствора, применяемого при бурении скважин в Восточной Сибири. Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2016. № 3 (56). С. 86–94.
- [4] Гайсина Л.М. Смена парадигмы управления как фактор трансформации института управления персоналом. Известия высших учебных заведений. Социология. Экономика. Политика. - Тюмень: Издательство ТюмГНГУ, 2015. - № 1 (44). - С. 15-18.

- [5] Шакирова Э.В., Аверкина Е.В., Сабиров Т.Р., Перышкина К.О. Применение нефти в качестве смазочной добавки в буровом растворе (на примере Ярактинского нефтегазоконденсатного месторождения). Нефтегазовое дело. 2018. Т. 16. № 2. С. 12-19.
- [6] Gaisina L.M., Belonozhko M.L, Tkacheva N.A., Abdrakhmanov N. Kh, Grogulenko N.V. Principles and methods of synergy modeling of management system at oil and gas sector's enterprises. Espacios, 2017, Vol. 38 (N 33).
- [7] Аверкина Е.В., Шакирова Э.В., Фокин Ю.В. Исследование реагентов-пеногасителей в составе бурового раствора. Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2017. Т. 40. № 3. С. 90-98.
- [8] Gaisina L.M., Barbakov O.M., Koltunova Yu.I., Shakirova E.V., Kostyleva E.G. Social management systems' modeling based on the synergetic approach: methods and fundamentals of implementation. Academy of Strategic Management Journal, 2017, Vol. 16, Special Issue1, pp. 83-95.
- [9] Gaisina L.M., Mikhailovskaya I.M., Khairullina N.G., Pilipenko L.M., Shakirova E.V. Features of the formation of the corporate identity of the staff. Biosciences Biotechnology Research Asia. 2015. Т. 12. № 3. С. 2543-2555.
- [10] Гайсина Л.М. Трансформация системы управления персоналом в условиях социальных изменений: нефтегазовый комплекс России. Уфа: Издательство "Восточная печать", 2014. - 224 с.
- [11] Хайруллин В.А., Зенцов В.Н., Шакирова Э.В. Оценка экономического эффекта от внедрения новых конструктивных решений в строительстве. Известия высших учебных заведений. Социология. Экономика. Политика. 2015. № 1 (44). С. 75-79.
- [12] Хайруллин В.А., Шакирова Э.В. Оценка морального износа при эксплуатации зданий и сооружений предприятий нефтегазового комплекса. Экономика и предпринимательство. No12 - 3 (53 - 3). 2014. - С. 529 - 532.
- [13] Bakhtizin R., Evtushenko E., Burenina I., Gaisina L., Sagitov S. Methodical approach to design of system of the logistic centers and wholesale warehouses at the regional level. Journal of Advanced Research in Law and Economics, 2016, 1(15): pp. 16 – 25.
- [14] Хайруллин В.А., Шакирова Э.В., Быль Е.А. Оценка эффекта от проведения капитального ремонта жилых зданий. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. No3 (98). С. 301-307.
- [15] Хайруллин В.А., Недосеко И.В., Шакирова Э.В., Суворова Н.В. Формирование методического подхода диагностики состояния инвестиционно-строительной сферы РФ. Известия высших учебных заведений. Социология. Экономика. Политика. 2015. No 2. С. 57-60.

Особенности строительства скважин в пластах с аномально высокими пластовыми давлениями на месторождениях Восточной Сибири

Аверкина Е.В., Шакирова Э.В.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail: viva160@mail.ru

Аннотация. Восточная Сибирь является наиболее перспективным районом России в области создания новой мощной нефтегазоносной базы страны. На ее территории имеются крупнейшие провинции, перспективные по запасам нефти и газа. Открытие месторождений сдерживается их сложным геологическим строением, затрудняющим проводку скважин. Это наличие соленосных отложений, аномально-высоких пластовых давлений в интервалах, содержащих высокоминерализованные воды, обваливающиеся неустойчивые глинистые породы и т.д. Многие из этих проблем принципиально можно решить путем использования рапы-высокоминерализованных сибирских рассолов, проявление которых наблюдается на всей сибирской платформе, являющейся одной из крупнейших гидроминеральных провинций мира. В данной работе были проведены исследования по приготовлению утяжеленных и гидрогельмагниевого буровых растворов на основе соли Знаменского месторождения. Соль, полученная из Знаменской рапы использовалась для приготовления утяжеленных растворов. Растворы обрабатывались биополимером Flo-VisPlus и крахмалом Flo-Trol имеющие широкий диапазон устойчивости к высокой минерализации. Утяжеление растворов проводилось баритом и гематитом. На основе рапы Знаменского месторождения приготавливались гидрогельмагниевого буровые растворы. Из данной работы следует, что понизители фильтрации целесообразно вводить в виде раствора 5% концентрации (Сульфаксел и Камсел), так как в сухом состоянии они плохо растворяются в гидрогелях. Не рекомендуется использовать в качестве стабилизаторов, образцы №7 и №8, т.к. растворы имеют высокие значения вязкости и фильтрации. Применение имеющейся рапы позволит предупредить кавернообразование, предотвратить растворимость соленосных пород, снизить вероятность осложнений, связанных с перекристаллизацией рапы в емкостях и на поверхности бурового инструмента.

1. Введение

Месторождения Восточной Сибири по добыче нефти и газа в настоящее время являются весьма перспективными, однаконакладывают определенные трудности при освоении:отдаленность месторождений,сложные горно-геологические условия строительства скважин[6].

В Иркутской области геологический разрез скважин представлен тремя структурно-геологическими комплексами: надсолевым, солевым и подсолевым с несовместимыми условиями бурения (Южно-Ковыктинское, Балаганкинское, Ковыктинское, Знаменское месторождение гидроминерального сырья).

Главнуюпроблему при бурении представляют породы солевого комплекса, которые залегают в виде пачек прослоев каменной соли с пропластками доломитов, доломито-ангидритов. Мощность соленосных отложений в зависимости от района буровых работ колеблется от 300 до 2000 м и более. Осложняется бурение надсолевого и подсолевого комплекса зонами поглощений, приуроченными к Ангаро-Ленскому бассейну подземных вод. На отдельных участках месторождений в этой пачке отложений нередко вскрываются линзы рассолов (рапы) с аномально высокими пластовыми давлениями (АВПД), коэффициент аномальностирапосодержащих пластов может быть $K_{ан} = 2,2$ и выше [1].

Одни из самых распространенных осложнений при бурении данных скважин:прихваты бурового инструмента в результате кристаллизации солевого комплекса, деформация обсадных колонн,агрессивное воздействие рапы,сероводорода и углекислого газа, способные на быстрое коррозионное разрушение металла обсадных труб и цементного камня, частичная или полная потеря ствола скважины,фонтанирование рапы из скважины[2] и т.д.Проявления АВПДосложняют процесс бурения скважин в осадочной толще.

Основные причины осложнений возникающие при разбуривании рапоносных горизонтов - высокая минерализация рапы (до 600 и более г/л), высокие дебиты рассолов, достигающие 7000 м³/сут. и более, и плотность до 1,45 г/см³. Разбуривание соленосных толщ в некоторых районах сопровождается самопроизвольным изливом сильно минерализованных подземных вод из естественных каверн и линз [5].

При всех существующих методах борьбы с рапопроявлениями только в определенных случаях удавалось пробурить скважину до проектной глубины и только тогда, когда поступление рапы снижалось до минимальных значений. В отдельных случаях скважины по техническим или геологическим причинам ликвидировались, либо забуривался новый ствол. Каждый член бригады должен знать признаки предвыбросового состояния скважин при рапопроявлении, поэтому основную роль в предупреждении открытых рапопроявлений играет уровень подготовки буровой бригады [7,10].

В Восточной Сибири разведочными и поисковыми скважинами интенсивностью от 5-10 до 5500-7500 м³/сут вскрыты многочисленные случаи рапопроявления (№№3, 5 Южно-Ковыктинских, №№ 3, 18, 52 Ковыктинских, №№ 131, 100 Верхоленинских, №№ 2, 3 Балаганских, №№1Б, 3 Знаменского месторождения, №1 Берямбинской скважинах) [3]. Данные сейсморазведки определяют, что скважины, располагаются в пределах аномально высоких значений электрической проводимости галогенно-карбонатного комплекса вскрывшие рапоносные горизонты (в зонах интенсивных структурных деформаций, наклонные падения, разломы) [4].

Химический состав рассола рапы представляет собой концентрацию минеральных солей и редких металлов. В Жигаловском районе Иркутской области расположено Знаменское месторождение состав его рассола представлен в таблице 1. Рассолы данного месторождения залегают в глубоких горизонтах осадочного чехла Сибирской платформы (промышленный разрабатываемый пласт - на глубине 1800-1830 м). Химический анализ проб показал следующие результаты: кислотность – 2,00 – 4,35 рН, общая минерализация – до 590 г/л, плотность – до 1,43 г/см³.

Таблица 1. Содержание полезных компонентов в рассоле Знаменской рапы

№ п/п	Название элемента	Содержание компонентов г/л	№ п/п	Название элемента	Содержание компонентов г/л
1	Na	2,54	7	Sr	0,8
2	K	4,57	8	Cl	338
3	Ca	128	9	Br	10,0
4	Mg	28,7	10	B	0,09
5	Li	0,50	11	J	0,013
6	Rb	0,009	12	Mn	0,12

Необходимо, учитывать физико-химические свойства слагающих разрез пород, определяемых минералогическим составом солей, условиями залегания (глубина, давление, температура) при бурении горизонтов, в которых возможны проявления рапы [11].

Одним из наиболее эффективных и перспективных способов обеспечения проводки скважин в условиях рапопроявлений является использование специальных буровых растворов.

Изоляция водоносных горизонтов путем установления цементных мостов является основным методом ликвидации рапопроявлений. На Ковыктинском газоконденсатном месторождении, положительных результатов не дала изоляция с использованием тампонажных растворов из-за высоких пластовых давлений и дебитах высоко минерализованных рассолов.

При рапопроявлениях применяемые при бурении скважин традиционные буровые растворы мало пригодны, при их контакте буровой раствор коагулирует, ухудшаются его структурно-механические и фильтрационные свойства, это не дает возможности утяжелить раствор с целью

создания противодействия на пласты. Увеличивается расход материалов на обработку бурового раствора [9], а хлоркалевая и хлормagneевая агрессия ограничивает применение реагентов, таких как карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ), акриловые полимеры.

На сегодняшний день для ликвидации и предотвращения этого осложнения изучены и экспериментально исследованы, безглинистые растворы с конденсированной твёрдой фазой (гидрогель), растворы на нефтяной основе [8], соленасыщенные растворы на полимергуантной основе в сочетании с наполнителями – кольматантами, составы полимер-эмульсионных утяжеленных буровых растворов.

2. Материалы и методы

В учебно-исследовательской лаборатории буровых растворов и крепления скважин ИРНТУ проведены исследования по приготовлению утяжеленных и гидрогельмагнезиевых буровых растворов на основе соли Знаменского месторождения.

Для приготовления утяжеленных растворов использовалась соль, полученная из Знаменской рапы состав которой представлен в таблице 2.

Соль, полученная из Знаменской рапы, вводилась в раствор в сухом виде или предварительно растворялась в воде, образуя рассол заданной плотности.

Таблица 2. Химический состав соли Знаменского месторождения

№ п/п	Название химического реагента	Массовая доля, %
1	Хлорид кальция CaCl_2	59,4
2	Хлорид магния MgCl_2	0,4
3	Сульфаты SO_4^{2-}	0,018
4	Хлориды Cl^-	39,9
5	Бор В	менее 0,001
6	Бром Вг	менее 0,02
7	pH 20% раствора	6,8

Для придания структурно-механических и фильтрационных свойств растворы обрабатывались биополимером Flo-VisPlus и крахмалом Flo-Trol имеющие широкий диапазон устойчивости к высокой минерализации.

3. Результаты исследования и их анализ

По данным производителя Flo-VisPlus - высококачественный биополимер (ксантановая смола) высокой степени очистки. Природный высокоразветвленный полисахарид с исключительно высокой молекулярной массой. Обеспечивает требуемые реологические свойства раствора, улучшает удерживающие и выносящие свойства. Flo-Trol - особая разновидность модифицированного крахмала, используется для снижения фильтрации в любых буровых растворах на водной основе. Обладает синергетическим эффектом при использовании совместно может применяться как в пресных, так и в соленасыщенных буровых растворах. Целесообразно использовать в сочетании с кольматантами типа карбоната кальция или кристаллической соли. Неионогенный полимер, полностью биоразложим.

Утяжеление растворов проводилось утяжеляющими добавками (баритом и гематитом). С использованием представленных реагентов «Flo-Trol» и «Flo-VisPlus», получены устойчивые системы на основе соли, которые возможно использовать при бурении и вскрытии пластов АВПД.

Результаты лабораторных исследований растворов представлены в таблице 3.

Таблица 3. Утяжеленные буровые растворы на основе соли Знаменского месторождения

№ п/п	Состав бурового раствора, %					Показатели бурового раствора						
	Flo-Trol	Flo-Vis Plus	СЗР	Барит	Гема-тит	ρ, кг/м³	УВ ₇₀₀ , с	СНС _{1/10} , дПа	Φ ₃₀ , см³	К, мм	рН	К _{лип}
1	0,5	0,3	70	-	-	1273	48	7/13	4	пленка	5-6	0,213
2	0,5	0,3	70	20*	-	1338	51	11/15	4	0,5	6	0,425
3	0,5	0,3	70	50*	50*	1775	60	24/40	5	1	6	0,250
4	0,5	0,3	70	82,5*	100*	2192	136	71/105	7,5	2	6	0,213

Примечание: СЗР – соль Знаменского месторождения; * - добавка утяжелителя к объему бурового раствора, в %

Основными недостатками полученных утяжеленных буровых растворов является высокая вязкость и низкая седиментационная устойчивость. Из таблицы 3 видно, что совместное использование Flo-Trol и Flo-VisPlus в результате взаимного усиления действия компонентов (синергизм) образовалась устойчивая структура раствора для удержания утяжеляющих добавок во взвешенном состоянии. За счет этого удалось повысить плотность раствора до 2192 кг/м³.

Таким образом можно сделать вывод, что явление седиментации в утяжеленных буровых растворах требует дальнейшего изучения и обязательного учета при проводке скважин.

Гидрогельмагниевого бурового раствора, также приготавливались на основе рапы Знаменского месторождения.

Для получения геля нужны следующие компоненты: соль, которая образует гель (MgCl₂); гелезатор – вещество, которое осаждает и конденсирует твердую фазу (каустическая сода NaOH); соль, поддерживающая общую минерализацию.

Рапа Знаменского месторождения содержит магний в количестве необходимом для образования геля.

Для получения гидрогеля рапа плотностью 1450 кг/м³ обрабатывалась 20% раствором каустической соды и интенсивно перемешивалась до однородного состояния в течение 1,5 часов. С целью эффективного образования геля и упрочнения структуры раствор выдерживался 24 часа. По истечении времени в раствор вводились реагенты стабилизаторы (Сульфатцелл, Камцел, Flo-Trol и др.).

Результаты лабораторных исследований представлены в таблице 4.

Таблица 4. Состав и показатели буровых растворов с конденсированной твердой фазой на основе рапы ($\rho = 1450 \text{ кг/м}^3$) Знаменского месторождения

№ п/п	NaOH	Образец №7		Сульфат целл	Кам цел	Flo-Trol	$\rho, \text{кг/м}^3$	УВ _{200/100} с	СНС _{1/10} , дПа	$\Phi_{30, \text{см}^3}$	К, мм	pH
1	1,7	0,2	-	-	-	-	1440	42	32/84	полная	3,5	6,5-7
2	1,7	0,5	-	-	-	-	1440	105	75/120	25	3	6,5-7
3	1,7	-	0,1	-	-	-	1440	65	84/96	20	3,5	6,5-7
4	1,7	-	0,2	-	-	-	1430	70	30/48	13	2,5	7
5	1,5	-	-	2	-	-		п.к.	84/90	-	-	7
6	1,7	-	-	2*	-	-	1400	28	36/57	25	-	7
7	1,7	-	-	-	0,2	-	1450	50	46/114	полная	4	6,5
8	1,7	-	-	-	0,625*	-	1290	35	28/48	18	2	8
9	1,7	-	-	-	-	1	1450	н.т.	180/190	полная	4,5	6,5-7

Примечание: NaOH вводился 20% раствором; * - сульфатцелл, камцел вводились 5% раствором; образец № 7 – гидроксиэтилцеллюлоза (сульфатцелл – 2, марка 25, № партии: 1П; образец № 8 – гидроксиэтилцеллюлоза (сульфатцелл – 2, марка 400, № партии: 2976. Производитель образцов № 7,8 – ЗАО «Полицелл», г. Владимир.

4. Обсуждение

С использованием представленных химреагентов и рапы были получены устойчивые системы с высокими значениями вязкости и статического напряжения сдвига. Из полученных данных следует, что понизители фильтрации Сульфатцелл и Камцел целесообразно вводить в виде раствора 5% концентрации, так как в сухом состоянии они плохо растворяются в гидрогелях. Образцы №7 и №8, не рекомендуются использовать в качестве стабилизаторов, т.к. растворы имеют высокие значения вязкости и фильтрации.

Также были выявлены некоторые недостатки данных растворов, а именно, при приготовлении гидрогелевых растворов по рецептурам, представленным в таблице 4, во время перемешивания растворы вспенивались, что влияет на определение показателя плотности бурового раствора. Также получены высокие значения водоотдачи буровых растворов.

Кроме того, необходимо учитывать, что процесс приготовления гидрогелевых растворов растянут во времени и может составлять несколько часов при интенсивном перемешивании, что не очень удобно в условиях буровой.

Для получения качественного гидрогеля на основе рапы Знаменского месторождения, который возможно утяжелить до плотности $2000-2500 \text{ кг/м}^3$, необходимо продолжить лабораторные исследования по подбору наиболее эффективного стабилизатора и пеногасителя. Разработать способ получения буровых растворов с конденсированной твердой фазой, который позволит уменьшить время получения структурированной системы – гидрогеля, которая сохраняла бы стабильность без добавки стабилизаторов в течение определенного времени.

Применение имеющейся рапы позволит снизить временные, а также затраты, связанные с насыщением раствора на поверхности, одновременно предупредить кавернообразования и в значительной степени предотвратить растворимость соленосных пород, а также снизить вероятность осложнений, связанных с перекристаллизацией рапы в емкостях и на поверхности бурового инструмента.

5. Заключение

При бурении скважин в условиях рапопроявлений на обобщении накопленного опыта должно быть основано решение этой сложной проблемы [12], а именно: надежных способов крепления скважины и качественной изоляции рапоностных горизонтов, прогнозированием горно-геологических условий, разработка специальных рецептур буровых растворов и т.д. [13].

Особенно такие системы растворов будут интересны в связи с началом реализацией проекта буровых работ на Ковыктинском газоконденсатном месторождении по программе разработки разведочных скважин с целью уточнения данных по структуре и объёму дебета углеводородного сырья и детализации геологической модели газоконденсатного месторождения.

Библиографический список

- [1] Вахромеев А.Г. Геодинамическая модель формирования аномально-высоких давлений флюидов в разрезе осадочного чехла Сибирской платформы. *Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений*. -2008. - № 12. -С. 39-51.
- [2] Шакирова Э.В., Аверкина Е.В., Сабиров Т.Р. Влияние добавок на характеристики бурового раствора, применяемого при бурении скважин в Восточной Сибири. *Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений*. 2016. № 3 (56). С. 86–94.
- [3] Аверкина Е.В. Анализ рапопроявляющих скважин на газоконденсатных месторождениях Иркутской области. *Известия Сибирского отделения секции наук о земле РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений*. 2009. №2 (35) С.-152-157.
- [4] Gaisina L.M., Belonozhko M.L, Tkacheva N.A., Abdrakhmanov N. Kh, Grogulenko N.V. Principles and methods of synergy modeling of management system at oil and gas sector's enterprises. *Espacios*, 2017, Vol. 38 (N 33).
- [5] Аверкина Е.В., Шакирова Э.В., Фокин Ю.В. Исследование реагентов-пеногасителей в составе бурового раствора. *Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых*. 2017. Т. 40. № 3. С. 90-98.
- [6] Рябков И.И. Прогноз глубины кровли пласта с АВПД в процессе бурения горизонтальных скважин. *Нефтяное хозяйство*. №4. 2011. С. 60-61.
- [7] Bakhtizin R., Evtushenko E., Burenina I., Gaisina L., Sagitov S. Methodical approach to design of system of the logistic centers and wholesale warehouses at the regional level. *Journal of Advanced Research in Law and Economics*, 2016, 1(15): pp. 16 – 25, doi: 10.14505/jarle.v7.1(15).02
- [8] Шакирова Э.В., Аверкина Е.В., Сабиров Т.Р., Перышкина К.О. Применение нефти в качестве смазочной добавки в буровом растворе (на примере Ярактинского нефтегазоконденсатного месторождения). *Нефтегазовое дело*. 2018. Т. 16. № 2. С. 12-19.
- [9] Семенякин В.С., Семеняк М.В., Семенякин П.В. Особенности формирования аномально высоких пластовых давлений. *Газовая промышленность*. -1997. -№ 12. С. 50-52.
- [10] Gaisina L.M., Barbakov O.M., Koltunova Yu.I., Shakirova E.V., Kostyleva E.G. Social management systems' modeling based on the synergetic approach: methods and fundamentals of implementation. *Academy of Strategic Management Journal*, 2017, Vol. 16, Special Issue1, pp. 83-95.
- [11] Ламбин А.И., Иванишин В.М., Сираев Р.У., Аверкина Е.В., Шакирова Э.В., Коротков А.В. Исследование влияния состава эмульсионных буровых растворов на их показатели. *Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений*. 2015. № 4 (53). С. 58–66.

[12] Gaisina L.M., Mikhailovskaya I.M., Khairullina N.G., Pilipenko L.M., Shakirova E.V. Features of the formation of the corporate identity of the staff. *Biosciences Biotechnology Research Asia*. 2015. T. 12. № 3. С. 2543-2555.

[13] Смирнов А.С., Горлов И.В., Яицкий Н.Н., Горский О.М., Игнатьев С.Ф., Поспеев А.В., Вахромеев А.Г., Агафонов Ю.А., Буддо И.В. Интерпретация геолого-геофизических данных – путь к созданию достоверной модели Ковыктинского газоконденсатного месторождения. *Геология нефти и газа*. 2016. № 2. С. 56 - 66.

Методические основы оценки устойчивости подземной гидросферы урбанизированных территорий бассейна р. Ангара (Восточная Сибирь, Россия)

Аузина Л.И., Лоншаков Г.С.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail auzina@istu.edu

Аннотация. Развитие Восточной Сибири сопровождается притоком населения в города и интенсивным развитием городской инфраструктуры, что, в свою очередь, приводит к росту интенсивности техногенного влияния на геологическую среду (ГС). Одним из наиболее неустойчивых компонентов ГС является подземная гидросфера. В гидрогеологическом отношении территория исследования находится в пределах Ангаро-Ленского артезианского бассейна. Осадочный чехол в пределах исследуемой территории имеет блоковое строение, что вместе с развитием эрозионной сети предопределило формирование современных гидрогеологических условий. В статье рассматриваются ведущие факторы, позволяющие оценить комплексный показатель устойчивости гидросферы. Они объединены в три основные группы: природные, формирующие запас устойчивости, техногенные, приводящие к эволюции подземной гидросферы, а также группу природно-техногенных процессов, отражающих происходящую эволюцию. Акцент сделан на первой группе, включающей оценки степени дренированности территории и устойчивости типовых фильтрационных разрезов. Эколого-гидрогеологическое районирование территорий в соответствии с комплексным показателем устойчивости гидросферы дает возможность выделить участки, где требуется проведение природоохранных мероприятий с целью предотвращения негативных последствий урбанизации.

1. Введение

Урбанизация – это процесс создания и развития городских поселений, включая крупнейшие агломерации с многомиллионным населением и сложнейшей городской инфраструктурой. Рост урбанизированных территорий охватил все континенты Земли и, вероятно, с еще большей силой будет продолжаться в третьем тысячелетии.

Восточная Сибирь не является исключением. Так, в Иркутской области последние 26 лет наблюдается отрицательная динамика прироста населения, однако, численность населения крупных городов, в том числе областного центра, продолжает расти. Территория области составляет 775 тысяч квадратных километров, население - 2404 тыс. человек, из которых 78,8% проживает в 22 городах. Самыми крупными являются Иркутск (624 тыс. чел.), Ангарск (226 тыс. чел.), Братск (231 тыс. чел.), Усть-Илимск (82,5 тыс. чел.), Усолье-Сибирское (77,9 тыс. чел.), Черемхово (51 тыс. чел.) и Шелехов (47,6 тыс. чел.). Большая часть городов, а соответственно и городского населения, сосредоточены возле крупных транспортных магистралей – Транссибирской железной дороги и Байкало-Амурской магистрали. На территории области выделяются пятнадцать районов, в пределах которых сосредоточено

большинство экологически опасных стационарных объектов. Шесть промышленно развитых городов, расположенных в центральной части региона, включены в список наиболее загрязненных городов Российской Федерации. Здесь же находятся 957 предприятий, производящих выбросы отходов производства в атмосферу или поверхностные воды. При этом суммарный объем загрязнителей, попадающих в атмосферу, составляет около 1200 – 1300 тысяч тонн и включает в себя пыль, оксиды серы, азота, углерода, хлор и пр. [1].

Почвы промышленно развитых городов загрязнены свинцом, ртутью, цинком и оловом, в то время как поверхностные воды – ртутью, железом и медью. Широко проявляется истощение запасов подземных вод (ПВ) и их загрязнение. Эти проблемы связаны с промышленными отходами и утечками загрязняющих агентов, а также с нерегулируемым водоотбором. Эксплуатация большинства водозаборов производится с нарушением технических и санитарных требований. В самых крупных городах региона (Иркутск, Ангарск, Усолье-Сибирское) продолжается подъем уровня грунтовых вод, что отражается на изменении физико-механических свойств грунтов, ухудшении их несущих свойств, приводящем нередко к разрушению сооружений. Функционирующие на территории области предприятия-загрязнители зачастую работают без специальных мер по снижению вредного воздействия на окружающую среду. В результате активизируются природно-техногенные процессы, ухудшается экологическая ситуация в городах и промышленных районах, то есть, обостряется конфликт «человек-окружающая среда» [2].

Перечисленные проблемы имеют весьма разнообразный характер, но почти все они прямым или косвенным образом связаны с состоянием подземной гидросферы (ПГ). В этой связи одна из важных проблем на сегодняшний день - это создание системы комплексной оценки состояния ПГ с целью прогноза ее эволюции и разработки рекомендаций по регулированию техногенного влияния. Для решения этой задачи разработан комплексный показатель устойчивости подземной гидросферы (КПГ), включающий характеристику природных условий оцениваемого региона (геолого-структурных, геоморфологических, гидрогеологических и инженерно-геологических), а также интегральные оценки показателей техногенной нагрузки, набор которых подбирается в зависимости от масштаба и функционального характера территории исследований [2].

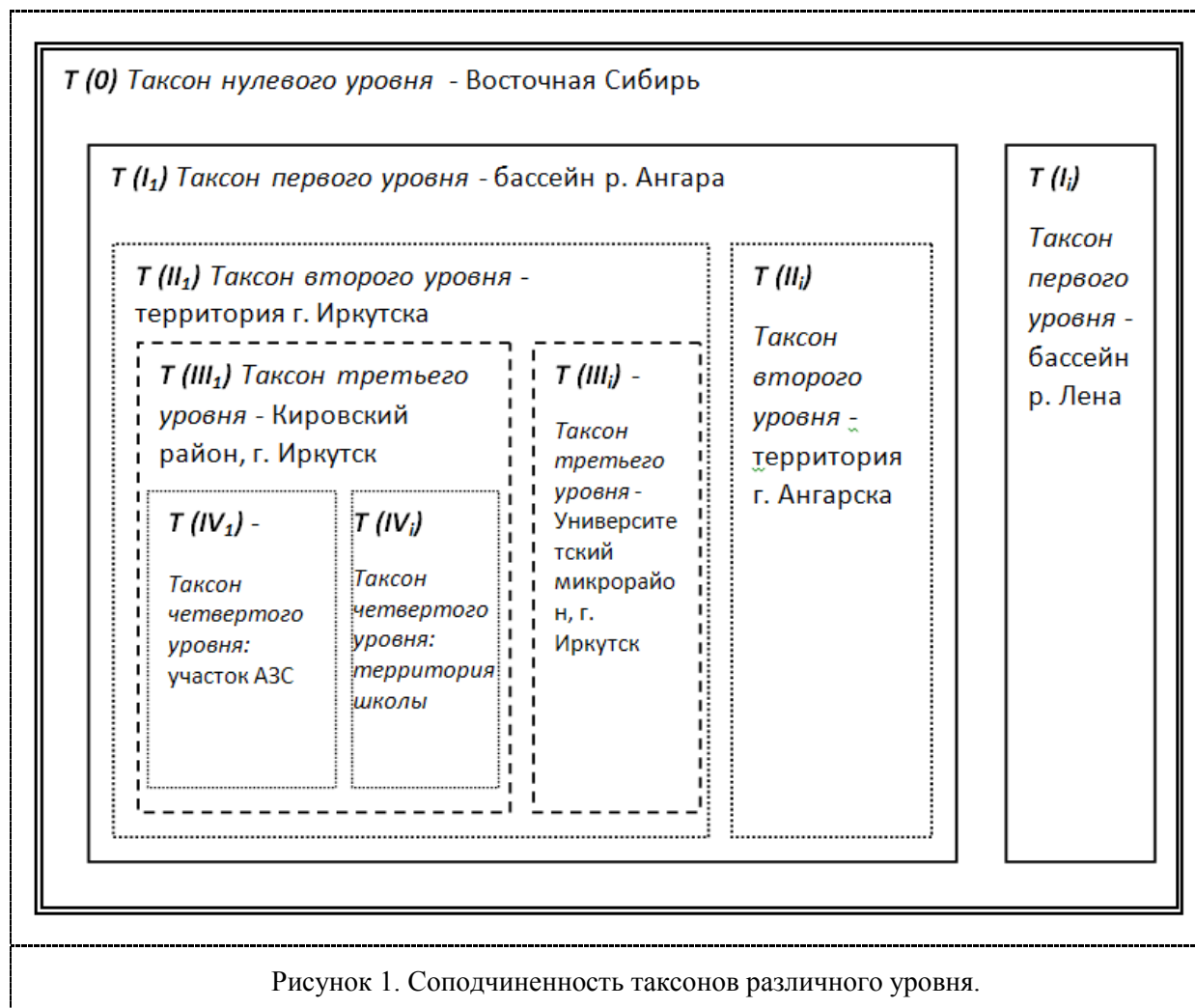
Представленная работа включала в себя численное моделирование ретроспективных условий изменения ПГ на базе стационарных режимных наблюдений и историко-геологического анализа (эпигнозное моделирование), воссоздание современного состояния ПГ (актуальное моделирование) и прогноз изменения её состояния с учетом действующих техногенных нагрузок (прогнозное моделирование). В результате определены ведущие факторы, формирующие состояние ПГ в соответствии с таксономическим уровнем объектов и объединенные в три группы: природной устойчивости, техногенной нагрузки и природно-техногенных процессов. Набор этих факторов положен в основу комплексного показателя устойчивости подземной гидросферы и последующего районирования территорий в соответствии с КПГ.

В статье представлена методика разработки комплексного показателя и оценки природных факторов устойчивости подземной гидросферы городских территорий.

2. Методика исследования

В исследованиях реализован системный подход: объекты исследований рассматриваются как функционирующие по определенным законам природно-техногенные системы [3], имеющие четкую таксономическую соподчиненность (рис.1), в соответствии с которой усиливается значимость того или иного фактора, а также варьируется характер их взаимосвязи. Методика исследования носит универсальный характер и сводится к следующему алгоритму: сбор и систематизация данных о геолого-гидрогеологических условиях рассматриваемой территории, данных о факторах техногенного влияния на ПГ и результатах этого воздействия (развития загрязнения и/или активизации природно-техногенных процессов); создание базы данных в

соответствие с разработанной формой; численное моделирование (эпигнозное, актуальное и прогнозное) и анализ полученных результатов, сопровождающийся определением ведущих природных и техногенных факторов; определение типовых моделей ПГ с учетом сложности природно-техногенных условий; эколого-гидрогеологическое районирование на основе комплексного показателя; разработка природоохранных мероприятий.



2.1. Геолого-гидрогеологические условия района исследований

Апробация методики выполнена на территориях городов, расположенных в бассейне реки Ангара. В гидрогеологическом отношении район исследования принадлежит к одной из самых крупных структур Ангаро-Ленского артезианского бассейна 1-ого порядка – Иркутскому бассейну. Водоносные подразделения представлены рыхлыми гравийно-галечными и песчаными отложениями (образования четвертичного возраста); песчаниками, алевролитами и аргиллитами (юрская система); доломитами и галогенными породами (кембрийская система). Толща осадочных пород имеет блоковое строение, унаследованное от кристаллического фундамента. Системы тектонических разломов и предопределенный ими рисунок эрозионной сети обусловили не только геоморфологический облик, но и, в значительной степени, современные гидрогеологические и инженерно-геологические условия региона. Первая и вторая надпойменные террасы, приуроченные к опущенным блокам земной коры, находятся на значительном расстоянии от дрены – реки Ангара, часто характеризуются плотной застройкой и развитой сетью инженерных коммуникаций, уровень подземных вод в настоящее время в пределах наиболее нагруженных зон может достигать 0-1 м от поверхности земли. При этом на пойменных участках, расположенных в непосредственной близости от уреза воды,

фундаментом которых выступают поднятые относительно остальных блоки фундамента, при тех же техногенных условиях уровень подземных вод формируется значительно глубже: до 6-7 м [3].

2.2. Техногенные условия и природно-техногенные процессы

Анализ современного состояния геологической среды и характера её изменения под воздействием техногенного влияния позволил определить как основные виды техногенных нагрузок, так и результаты этих воздействий, выраженных в развитии таких процессов как загрязнение ПВ, подтопление территорий, изменение физико-механических свойств грунтов, суффозионно-просадочные процессы.

Разноплановое загрязнение подземных вод (химическое, тепловое, биологическое) связано с различными источниками. Один из основных - это сброс сточных вод в реку Ангара, главную водную артерию региона, являющуюся основным источником питьевой воды населенных пунктов исследуемой территории. Объем сточных вод доходит до 3 км³/год, из которых 75% сбрасываются в Ангару, при этом очистку проходят не более 50%. Подземные воды первых от поверхности водоносных горизонтов, как правило, имеют тесную гидравлическую связь с рекой, в связи с чем сбросы жидких отходов химической промышленности весьма существенно влияют на гидрогеохимические условия.

Значительное загрязнение подземных вод отмечается на территории г. Иркутска. Проявления загрязнения связаны с накопителями коммунальных отходов, расположенных в пригороде, с линзами нефтепродуктов, сформировавшимися на зеркале грунтовых вод в результате работы Жилкинского цеха АО «Иркутскнефтепродукт». На Ново-Иркутской ТЭЦ ОАО «Иркутскэнерго» в зоне влияния золоотвала установлено загрязнение подземных вод бором, фторидами (концентрация в три раза превышает допустимые пределы - ПДК), железом и марганцем (до 35 ПДК), алюминием (4 ПДК) и нефтепродуктами (до 13,6 ПДК). На участке лево- и правобережных очистных сооружений г. Иркутска содержание аммония составило 67,3 ПДК [1]. В г. Усолье-Сибирское минерализации грунтовых вод на участке шламонакопителя предприятия ООО «Усольехимпром» в 2014 г. достигала 14,5 г/дм³ что связано, вероятнее всего, с проникновением загрязненных атмосферных осадков, профильтровавшихся через слой отходов в шламонакопителе.

Еще одной значимой причиной изменения исходных условий является неудовлетворительное состояние сетей инженерных коммуникации, что также приводит к разнонаправленному загрязнению: химическому, о чем свидетельствует повышенное содержание нитритов, нитратов, солевого аммония и фосфора в подземных водах; тепловому, связанному с утечками из тепловых коммуникаций, которые повышают температуру грунтовых вод до 10-12°C (при зональной 3-4°C), в центре г. Иркутска отмечаются аномалии с температурой до 45°C [5].

С утечками из подземных коммуникаций часто связано и повышение уровня грунтовых вод, приводящее к подтоплению и затоплению территорий. В настоящее время до половины городских территорий региона находятся в подтопленном состоянии, т.е. это один из наиболее широко развитых природно-техногенных процессов. Подтопление – это процесс комплексный и происходит благодаря набору факторов, которые объединены в две группы. Первая характеризует естественные условия формирования фильтрационных потоков – геолого-структурные положение района, особенности разломно-блоковой тектоники, литологический состав водовмещающих отложений, набор гидрогеологических параметров водоносных подразделений (наличие гидравлической связи с поверхностными водами, глубина формирования уровня подземных вод, фильтрационные параметры водовмещающих отложений). Вторая группа факторов характеризует техногенное воздействие: утечки из систем подземных коммуникаций, приводящие к формированию купольных структур с глубиной положения уровня подземных вод от 0 до 1-2 м от поверхности земли; режимные попуски воды Иркутской ГЭС, вызывающие колебания уровня воды в р. Ангара до 2-3 м/год [5]; обходная

фильтрация из водохранилища; перезаглубленные фундаменты зданий и подземные сооружения, создающие барражный эффект; изменение физико-механических и водных свойств грунтов строительных площадок в результате обратной засыпки строительных котлованов и канав; изменение условий естественного стока в результате планировки территорий, их застройки и развития улично-дорожной сети, часто приводящие к заболачиванию площадей.

Еще один широко развитый на урбанизированных территориях процесс – суффозионно-просадочный. Образованию просадочно-провальных форм способствуют три фактора: собственно суффозионный процесс, просадка лессовых и лессовидных грунтов, а также осадка недоуплотненных насыпных грунтов, часто в местах прокладки инженерных коммуникации. Суффозионные просадки встречаются чаще всего у оснований различных зданий и сооружений, отмечаются провальные воронки в асфальтовом покрытии автомобильных дорог и тротуаров.

Изменение физико-механических свойств грунтов оказывает значительное влияние на инженерно-геологические условия городских территории. Этот процесс приводит к ухудшению несущих свойств оснований сооружений, усилений потенциального сейсмического воздействия [6]. В качестве примера можно привести изменение влажности грунта в точках мониторинговых наблюдений, расположенных в городе Иркутске в среднем с 18,7 до 20,6%, что обусловило уменьшение значений угла внутреннего трения и модуля деформации грунта [2].

Несмотря на естественную унаследованность, в большинстве районов техногенные факторы являются определяющими при развитии природно-техногенных процессов, в том числе суффозионно-просадочных и подтопления.

2.3. База данных и моделирование условий формирования состояния подземной гидросферы

Следующим этапом исследования является проектирование структуры и заполнение базы данных с последующим численным моделированием. База данных состоит 19 атрибутивных позиций.

Моделирование выполняется для трех временных этапов. Первый этап – эпигнозный - базируется на данных режимных наблюдений (по некоторым объектам этот период составляет более 30 лет) и направлен на определение условий первоначального, природного состояния гидрогеологических систем.

На втором, актуальном этапе моделируется состояние природно-техногенной системы и подземной гидросферы на настоящий момент времени. В основу построения моделей положен системный подход с использованием многофакторного анализа исходных данных и метода главных компонент [8].

Последний временной этап включает прогнозное моделирование, позволяющее оценить изменения основных природных составляющих КППГ в результате техногенного влияния на них. Например, при условии сохранения уровня техногенного влияния в центре г.Иркутска подъем уровня грунтовых вод будет происходить с интенсивностью 0,5-3 мм в год, при этом прогнозируется ухудшение несущих свойств грунтов оснований сооружений (угла внутреннего трения, модуля деформации) на 5-7%.

Результаты моделирования позволили детализировать набор природных и техногенных факторов, входящих в КППГ и формирующих современное состояние подземной гидросферы региона различных таксономических уровней (рис.1).

Наибольшую практическую значимость имеет таксон, включающий территории городов (рис.1 – Т III). На рис. 2 представлен набор факторов, используемый для оценки устойчивости ПП городских территорий.

2.4. Определение типовых моделей ПГ и эколого-гидрогеологическое районирование

В настоящее время при оценке устойчивости ПГ специалистами развиваются два направления: гидрогеохимическое, направленное на оценку защищенности ПВ от разнопланового загрязнения, и гидродинамическое, определяющее способность ПГ сохранять естественную структуру фильтрационных потоков [7, 8]. В приведенной статье рассматриваются принципы оценки и картирования гидродинамической устойчивости подземной гидросферы (ПГ) [7, 9].

Для оптимизации проведения оценки устойчивости используется современная открытая геоинформационная система (ГИС) Quantum GIS, на базе которой сформирован ГИС-проект «Атлас геолого-гидрогеологических и техногенных условий территории г. Иркутска» [10]. В Атласе каждый элемент геологической среды, фактор техногенной нагрузки и результат техногенного воздействия представлены в виде самостоятельного растрового или векторного слоев.

Далее определяется интегральный показатель устойчивости ПГ и производится эколого-гидрогеологическое районирование территории.

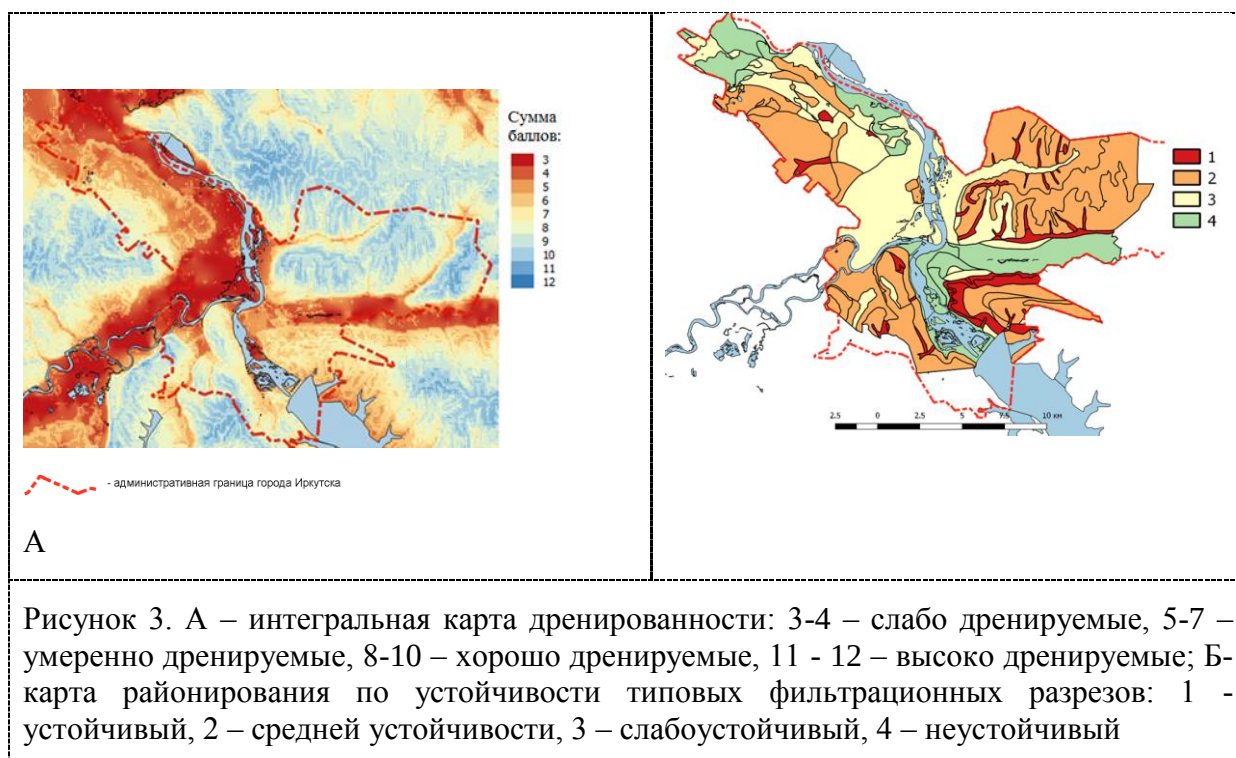


В основе построения эколого-гидрогеологических карт лежит экспертно-балльная оценка природных условий формирования гидродинамической устойчивости ПГ, которая включает в себя условия дренированности территории, фильтрационные условия типовых моделей

гидрогеологических разрезов, глубину формирования уровня подземных вод. Вторая группа факторов - виды техногенных нагрузок и их экспертная оценка, описанные в предыдущих работах [9, 10]. И последняя составляющая – результаты техногенных воздействий, отражающиеся в развитии инженерно-геологических процессов [10, 11].

3. Результаты

Исследователи предлагают различные подходы к оценке дренированности [9, 10], в данном случае используется превышение точки наблюдения над базовыми дренами и параметр естественной дренированности в пределах элементарных водосборов эрозионной сети [11], а также угол уклона дневной поверхности [2]. Таким образом, дренированность в контексте представленной работы отражает способность территории разгружать ресурсы подземных вод, формирующиеся за счет атмосферных осадков, инфильтрации из поверхностных водотоков, перетекания из смежных водоносных подразделений и техногенных источников. Этот показатель оказывает весьма существенное влияние на формирование инженерно-геологических условий, в которых происходит строительство и эксплуатация объектов городской инфраструктуры. Условия дренированности территории г. Иркутска отражены на рис.3А.



Следующий важный природный фактор отражает способность массива горных пород к фильтрации подземных вод и определяется особенностями строения геологического разреза, в том числе наличием слабопроницаемых пород, фильтрационными свойствами вмещающих пород и их мощностью. По результатам анализа перечисленных характеристик составлена карта районирования по типу фильтрационного разреза. Например, в пределах города Иркутска выделено шесть типовых разрезов, слагающих различные геоморфологические элементы и имеющие сходное геологическое строение (рис.3Б).

Результат интегральной оценки выбранных параметров в виде эколого-гидрогеологической карты дренированности и карты устойчивости типовых фильтрационных разрезов по территории г.Иркутска представлен на рис.3.

4. Заключение

С учетом проведенных для крупных городов Восточной Сибири исследований определены три группы факторов, определяющих устойчивость подземной гидросферы урбанизированных территорий: первая группа объединяет природные характеристики, вторая – виды основных техногенных нагрузок, третья – результаты этих нагрузок в виде развития природно-техногенных процессов.

Вторая и третья группы факторов были описаны и оценены ранее [9, 10, 11]. В данной работе акцент сделан на первой группе факторов, выделенных в процессе исследований в качестве основных, влияющих на устойчивость ПГ: морфометрических показателях рельефа, отражающих степень дренированности территории, а также способности массива горных пород к фильтрации подземных вод, выражающейся в виде типовых фильтрационных разрезов.

Количественная оценка этих показателей методом экспертных оценок позволяет окончательно определить структуру комплексного показателя устойчивости гидросферы (КПГ) и уточнить методические аспекты составления эколого-гидрогеологических карт урбанизированных, преимущественно городских территорий Восточной Сибири, в том числе расположенных в бассейне р.Ангара.

Библиографический список

- [1] Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2017 году». Иркутск: Форвард, 2018 г. – 328 с.
- [2] Auzina L I 2000 Engineering geology and hydrogeology in an urban environment of East Siberia, Russia *8th International IAEG Congress. Vol.6*, Balkema, Rotterdam (2000) pp.4521-4525.
- [3] Auzina L I, Parshin A V 2016 System-integrated GIS-based approach to estimating hydrogeological conditions of oil-and-gas fields in Eastern Siberia [*IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*](#). – IOP Publishing (2016). - Volume 33, Number 1. - pp. 12060-12065(6).
- [4] Шенькман Б М, Шолохов П А и Шенькман И Б 2011 Подтопление Иркутска грунтовыми водами. *География и природные ресурсы*. - № 2. - С. 54-61.
- [5] Шенькман Б М и Шенькман И Б 1997 Эволюция гидрогеологических условий на территории Большого Иркутска. *Проблемы оценки и прогноза устойчивости геологической среды г. Иркутска*. - Иркутск: Изд-во ИрГТУ, - С. 39-43.
- [6] Лобацкая Р М 2001 Модели поведения геологической среды урбанизированных территорий для оценки приемлемого риска формирования природных и природно-техногенных чрезвычайных ситуаций. *Инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий : материалы Междунар. симпозиума*. – Екатеринбург, – Т. 1. – С. 287–292.
- [7] Хаустов А П 2007 *Устойчивость подземной гидросферы и основы экологического нормирования*. - М.: Изд-во ГЕОС, -174 с.
- [8] Ткачук В Г и Цапенко В Л 1967 Мелкомасштабное мелиоративно-гидрогеологическое районирование (на примере Причерноморской впадины). *Мелиоративное гидрогеологическое картирование и районирование на примере крупных орошаемых массивов юга УССР* – Киев. – С. 38-45.
- [9] Аузина Л И 2008 Концептуальная модель функционирования природно-антропогенных комплексов. *Будущее гидрогеологии: современные тенденции и перспективы*, С.-Пб., издательство СПбГУ– С. 154 – 158.
- [10] Лоншаков Г С и Аузина Л И 2017 Оценка ведущих факторов эволюции подземной гидросферы урбанизированных территории (на примере г. Иркутска). *Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. Инжиниринг георесурсов* (2017). — Т. 328, № 11. — [С. 50-59].

- [11] Рыбченко А А 2009 *Инженерно-геодинамическая оценка современного состояния геологической среды г. Иркутска*. Диссертация на соискание ученой степени канд. геол.-мин. наук, Иркутск (2009).
- [12] Покровский В Д, Дутова Е М, Никитенков А Н, Кузеванов К И и Покровский Д С 2015 Методические подходы к оценке степени дренированности урбанизированных территорий. *Современные проблемы науки и образования*.– № 1-2.
- [13] Лопатовская О Г и Сугаченко А А 2008 Оценка естественной дренированности территории Приангарья для целей мелиорации. *Мелиорация и водное хозяйство*. (2008) № 4. С. 43-45.

Влияние микрокремнезема на физические свойства тампонажного камня

Буглов Н.А., Бутакова Л.А., Буланов Н.С.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail: nek103@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассмотрена возможность улучшения свойств тампонажного камня при строительстве скважин для эксплуатации углеводородных месторождений. Проведен ряд практических опытов по модифицированию тампонажного цемента марки ПЦТ–1-50. В качестве добавок был использован микрокремнезем марок МК-65 и МК-85. Выбор данных реагентов объясняется тем что, он способен влиять на прочность и проницаемость цементного камня, а также водоотделение, сульфатостойкость, плотность тампонажного раствора. На основе проведенного исследования сделан вывод, что применение данных добавок оказывает воздействие на прочностные свойства камня, но необходимо провести дополнительные эксперименты по увеличению подвижности цементного раствора.

1. Введение

В нефтегазовых районах со сложными геолого-техническими условиями не всегда удается качественно разобщить пласты друг от друга. Анализ литературных данных [1-3] показывает, что число скважин, в которых возникают осложнения после цементирования очень велико. Так, например, анализ проведенный Н. Н. Круглицким и его командой, показал, что из 66 скважин Самотлорского нефтяного месторождения [9], показал, что в 29 из них отмечены межпластовые перетоки и межколонные газопроявления [1]. А.И. Булатов и др. приводят случаи низкого качества цементирования скважин с образованием кратеров [3]. Очень часты случаи, когда цементный раствор в затрубном пространстве не поднимается до планируемых высот.

Цементирование обсадных колонн является заключительным и, вместе с тем, одним из важнейших процессов строительства скважин для разведки и эксплуатации нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений. Большое внимание уделяется поиску тампонажных растворов и смесей, которые наилучшим образом подходят под конкретные горно-геологические условия [6].

Одной из возможных причин некачественного крепления скважин является портландцемент. Бездобавочный портландцемент становится непригодным изоляционным материалом для сложных геолого-технических условий и требует доработок.

2. Материалы и методы

Все данные, использованные в работе, получены экспериментальным путем или с помощью обработки экспериментальных данных.

3. Результаты исследования и их анализ

Одной из добавок, которая может улучшить физическо-механические свойства камня, является микрокремнезем [7]. Его применение объясняется тем что, он способен влиять на прочность, водоотделение, сульфатостойкость, проницаемость, также способствует понижению плотности, и как следствие, и гидравлического давления [4].

Использование МК позволяет цементу добиться таких возможностей как:

- 1) уменьшение расхода цемента;
- 2) увеличение прочности, как на изгиб, так и на сжатие;
- 3) уменьшение водоотделения;
- 4) увеличение срока службы нефтегазовой скважины.

В лаборатории буровых растворов и крепления скважин был проведен ряд исследований по добавлению микрокремнезема двух марок МК-65 и МК-85 к тампонажному портландцементу марки ПЦТ – 1 – 50. В ходе эксперимента замерялись такие показатели как: водоотделение, растекаемость, прочность при изгибе и сжатии.

Таблица 1. Составы и свойства тампонажных растворов.

Составы растворов	Водоотделение, мл	Время ожидания затверд., ч	t, °C	В/Ц
ПЦТ I-50	1,1			
ПЦТ I-50+5%МК-65	0,5			
ПЦТ I-50+8%МК-65	0			
ПЦТ I-50+10%МК-65	0			
ПЦТ I-50+12%МК-65	0	48	22	0,5
ПЦТ I-50+5%МК-85	0			
ПЦТ I-50+8%МК-85	0			
ПЦТ I-50+10%МК-85	0			

В результате добавления микрокремнезема в тампонажный портландцемент наблюдается увеличение прочности, которое обусловлено, образованием связывающих соединений, при реакции с CaO, освобождаемой при гидратации ПЦТ. Вследствие чего, частицы МК присоединяются к каждому зерну цемента, таким образом, цементный раствор начинает уплотняться, а пустоты заполняются продуктами гидратации.

При добавлении МК в цемент увеличилась прочность при сжатии. С концентрацией 12% реагента МК-65, данная характеристика возрастает почти на 24%, что является довольно хорошим показателем (рис. 2) . Но при проверке на прочность при изгибе, показатели в лучшую сторону кардинально не изменились. Наилучший показатель был достигнут при добавлении 10% МК-65, в результате, прочность выросла всего на 8,5% (рис. 1). С применением МК-65 прочностные характеристики цемента возросли, но при этом показатель растекаемости сильно снизился. Так при добавлении 10% МК-65 цементный раствор не

удовлетворяет ГОСТ 26798.1-96, поэтому дальнейшее повышение концентрации МК-65 в ПЦТ I-50 не имеет смысла (рис. 3).

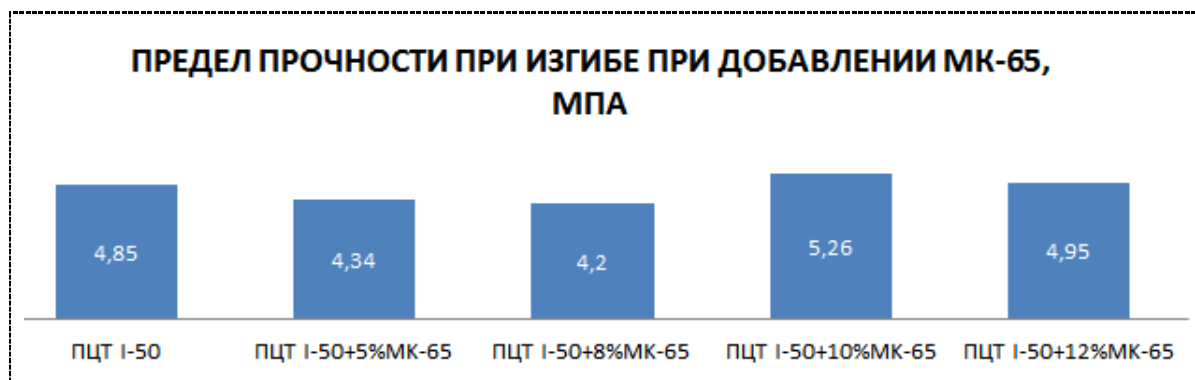


Рисунок 1. Показатели предела прочности при изгибе при добавлении МК-65.

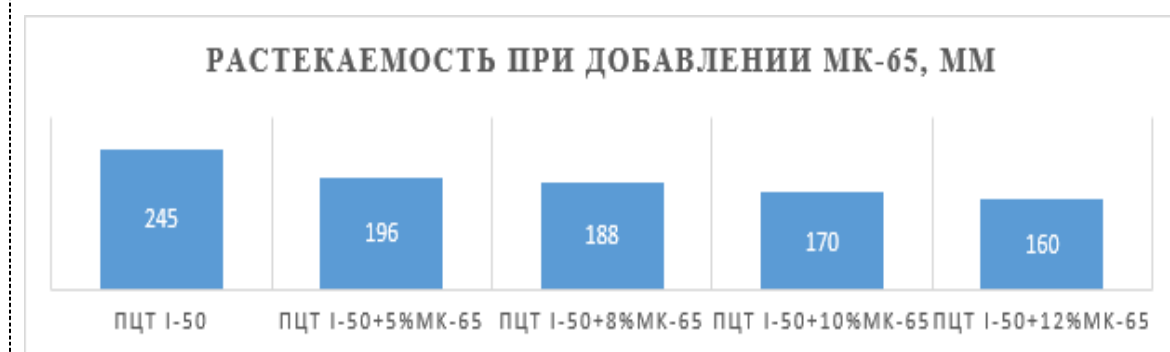


Рисунок 2. Показатели растекаемости при добавлении МК-65.

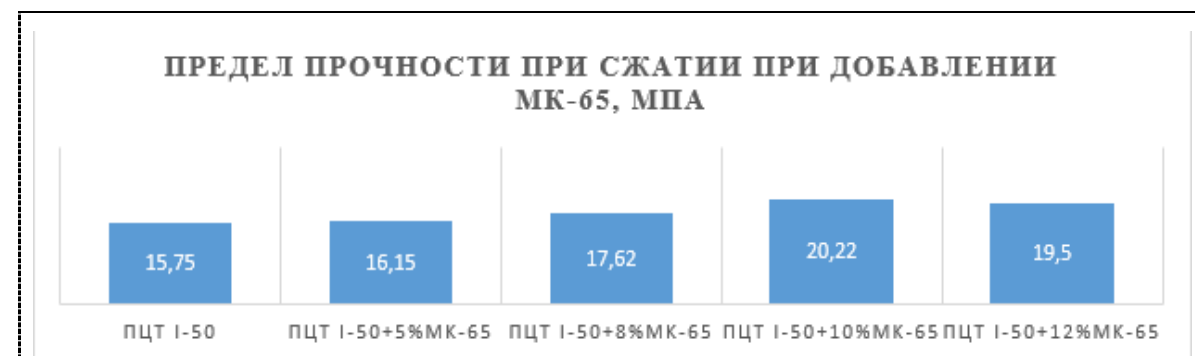
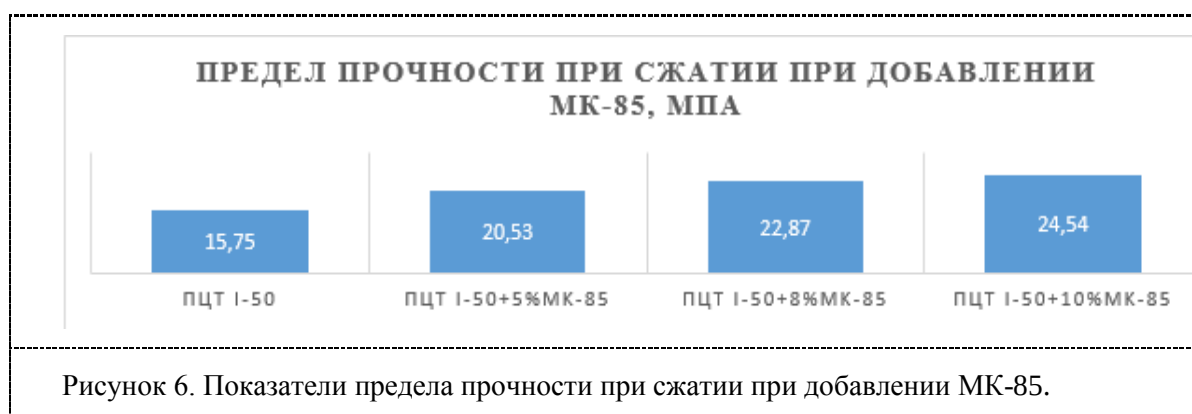
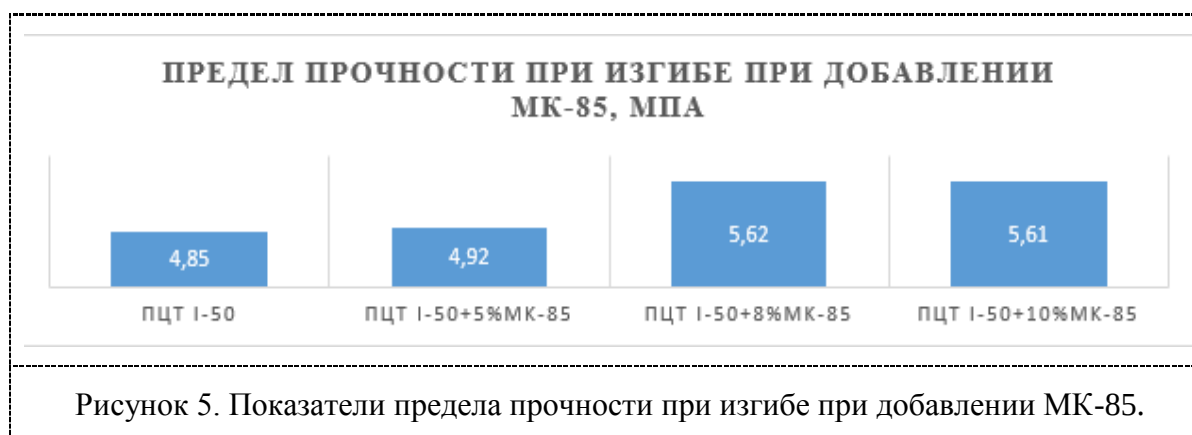
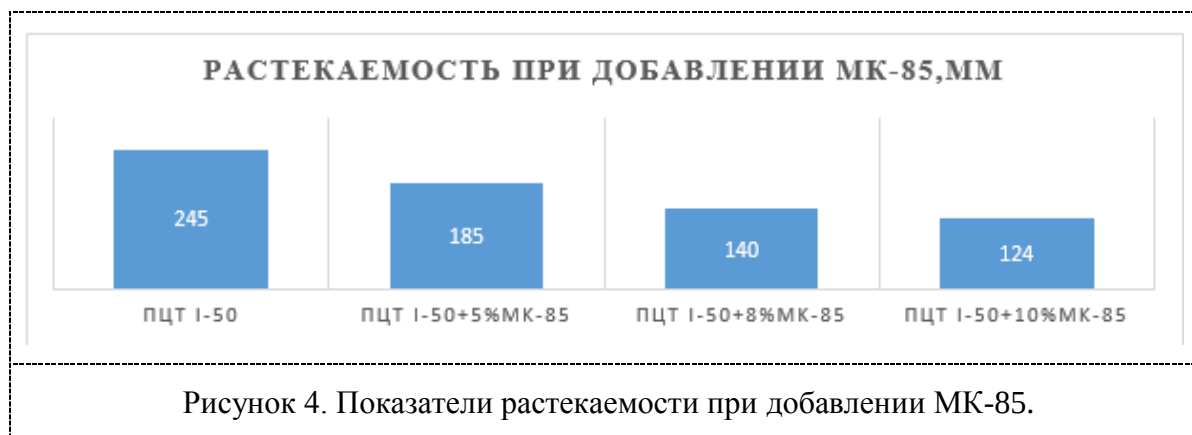


Рисунок 3. Показатели предела прочности при сжатии при добавлении МК-65.

Кроме этого был проведен ряд экспериментов, связанных с добавлением в ПЦТ I-50 МК – 85. Эта добавка также лучше проявила себя в опытах при сжатии. Так как данный показатель, при добавлении 10% МК-85, увеличился по отношению к бездобавочному цементу на 55,8%, что на 27,1% больше по сравнению с добавлением такой же концентрации МК-65 (рис. 6).

В то же время прочность при изгибе, при добавлении 10% МК-85 относительно бездобавочного ПЦТ I-50 возросла на 15,7%, данный показатель также превосходит данные результатов при добавлении МК-65 (рис. 5). Таким образом можно сказать то, что добавление МК-85 порядком увеличивает прочностные характеристики цементного камня по отношению к добавке МК-65, но экспериментальные показатели растекаемости не удовлетворяют ГОСТ

26798.1-96, поэтому дальнейшее увеличение концентрации МК-85 не целесообразно, так как необходимо повышать растекаемость цементного раствора путем добавления пластифицирующих добавок (рис. 4).



Процесс заполнения пор способствует внушительному понижению пористости цемента. При достаточном добавлении МК в ПЦТ можно получить непроницаемый цементный камень, вследствие чего микрокремнезем может оказывать большее влияние на свойство проницаемости, нежели на прочность. Проницаемость камня, содержащего МК будет меньше, чем камень на основе бездобавочного цемента, обладающий такими же прочностными характеристиками.

4. Обсуждение

Экспериментальным путем, при добавлении МК-65 и МК-85, удалось достигнуть повышения прочностных характеристик ПЦТ I-50, но при этом снизился показатель растекаемости. На основе проведенного исследования сделан вывод, что применение данных добавок возможно, но необходимо провести дополнительные эксперименты по увеличению подвижности цементного раствора. Также выяснилось, что при добавлении МК требуются добавление пластифицирующих реагентов [8], способствующих разжижению раствора. Поэтому в процессе тампонирования нефтегазовых скважин данным цементным раствором без добавления разжижающих присадок, могут возникнуть трудности с прокачкой раствора в затрубное пространство, потому что он обладает низкой подвижностью, а как следствие ни один насос не сможет прокачать такую высоковязкую консистенцию.

5. Заключение

Цементирование скважины один из самых ответственных моментов при строительстве скважины, если в ходе этого процесса нарушить технологию или использовать неподходящий цемент, в скором времени скважина может выйти из строя или полностью прекратить свою работу. Недоброкачественный тампонаж скважин может привести к перетоку флюида из продуктивного пласта, в пласт с меньшим давлением. Исходя из этого, необходимо активно работать над модифицированием тампонажных растворов, работы в этом направлении являются весьма актуальными.

Библиографический список

- [1] Круглицкий Н Н, Гранковский И Г, Вагнер Г Р, Детков В П 1974. *Физико-химическая механика тампонажных растворов* – Киев: Наукова думка – 291с.
- [2] Самсоненко Н В, Симонянц С Л, Самсоненко В А 2017. О влиянии объемных изменений тампонажных растворов-камней на качество первичного цементирования. *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море*. №4. - С 19 – 24.
- [3] Булатов А И, Рябченко В И, Сибирко И А, Сидоров Н А 1969. *Газопроявления в скважинах и борьба с ними* – М.:Недра – 287 с.
- [4] Вавржин Ф 1976 *Влияние химических добавок на процессы гидратации и твердения цемента* VI Международный конгресс по химии цемента, Стройиздат Москва.
- [5] Каримов Н Х, Данюшевский В С, Рахимбаев Ш М 1980 *Разработка рецептур и применение расширяющихся тампонажных цементов*. Изд. ВНИИОЭНГ Москва.
- [6] Ламбин А И, Иванишин В М, Сираев Р У, Аверкина Е В, Шакирова Э В, Коротков А В Исследование влияния состава эмульсионных буровых растворов на их показатели. *Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений*. 2015. № 4 (53). С. 58–66.
- [7] Шакирова Э В, Аверкина Е В, Сабиров Т Р Влияние добавок на характеристики бурового раствора, применяемого при бурении скважин в Восточной Сибири. *Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений*. 2016. № 3 (56). С. 86–94.
- [8] Аверкина Е В, Шакирова Э В, Фокин Ю В. Исследование реагентов-пеногасителей в составе бурового раствора. *Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых*. 2017. Т. 40. № 3. С. 90-98.
- [9] Шакирова Э В, Аверкина Е В, Сабиров Т Р, Перышкина К О. Применение нефти в качестве смазочной добавки в буровом растворе (на примере Ярактинского нефтегазоконденсатного месторождения). *Нефтегазовое дело*. 2018. Т. 16. № 2. С. 12-19.

Особенности очистки забоев наклонно-направленных скважин

Буглов Н.А., Пушмин П.С.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

e-mail: pps@istu.edu

Аннотация. В статье рассмотрены некоторые особенности очистки забоев наклонно-направленных скважин. В частности, проведено теоретическое исследование, позволившее выявить и проанализировать факторы, вызывающие скопление частиц разрушенной горной породы (образование области повышенной прочности) на забое наклонно-направленной скважины. Результатом исследования явились рекомендации, способствующие предупреждению образования области масштабно упрочненной горной породы на забое наклонного ствола скважины.

1. Введение

В процессе бурения наклонно-направленных скважин возможно интенсивное осаждение частиц разрушенной горной породы на забой скважины, что приводит к образованию области повышенной прочности. Подобное явление может привести к потере проектного направления ствола скважины за счет неравномерного разрушения забоя породоразрушающим инструментом. Зачастую это вызвано неэффективным режимом очистки забоя и ствола скважины от частиц выбуренной горной породы, в том числе, по причине неустойчивости стенок скважин. Обеспечение устойчивости стенок скважин является одной из сложных технологических задач, возникающих в процессе бурения. Большинство основных видов осложнений в процессе проходки неустойчивых интервалов стволов, склонных к обрушению, осыпанию, образованию обвалов и каверн, связано как с механическим воздействием работающего инструмента, так и с влиянием потока бурового раствора.

2. Материалы и методы

С целью поиска решения поставленной задачи проведено теоретическое исследование, направленное на выявление и анализ факторов, вызывающих скопление частиц разрушенной горной породы на забое наклонно-направленной скважины. В результате исследования выделен ряд основных факторов, вызывающих образование на забое скважины области повышенной прочности, в частности, предупреждение образования области масштабно упрочненной горной породы возможно за счет применения гидромониторных насадок с определенным диаметром выходного отверстия, ориентированных в направлении к периферии бурового долота. Исследование также показало, что правильный подбор свойств очистного агента при оптимальных технологических параметрах процесса бурения позволят достичь высокой производительности и качества буровых работ.

3. Результаты исследования и их анализ

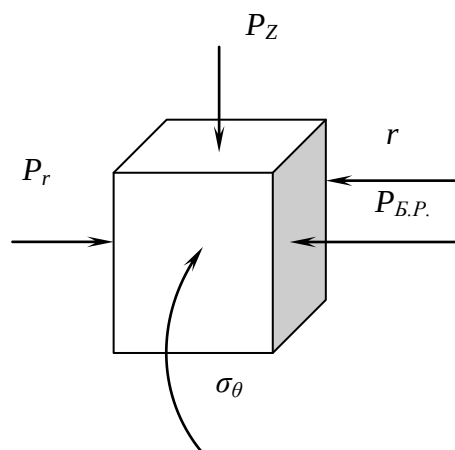


Рисунок 1. Схема действия внешних сил на элемент стенки скважины:
 r – расстояние от оси до внутренней стенки скважины

Современные требования эффективности разведочного и эксплуатационного бурения скважин предполагают строительство большого количества наклонно-направленных стволов, в процессе углубки которых зачастую возникают проблемы с очисткой забоя и выносом разрушенной горной породы на поверхность по причине осаждения и повторного измельчения продуктов разрушения. Помимо горной породы, разрушающейся непосредственно под торцом породоразрушающего инструмента при формировании забоя скважины, зашламованию и повторному измельчению способствует осаждение частиц со стенок скважины за счет их неустойчивости, ослабления и разрушения. При этом напряжения, возникающие вокруг искривленного ствола скважины, могут иметь большие значения, чем вокруг ствола вертикального, что значительно снижает стабильность стенок.

Для сравнения характеристик устойчивости стенок скважин нередко используют зависимости, отражающие связь напряжений вокруг ствола с параметрами радиуса искривления, ориентации ствола, а также соответствующими данным интервалам пластовыми давлениями [7]. Так, устойчивость стенок наклонных скважин может быть обеспечена высокой скоростью проходки при радиусе искривления меньшей длины, что позволит сократить участок сланцевых глин, и, соответственно, уменьшить возможный объем их обрушения. При этом появляется возможность отсечения опасного пласта колонной обсадных труб до перехода к бурению участка с коротким радиусом искривления.

Одной из основных причин разрушения стенок скважины при воздействии как сжимающих, так и растягивающих нагрузок является критическое тангенциальное (касательное) напряжение σ_θ , действующее по периметру ствола скважины (рис. 1). Снижение критического тангенциального напряжения возможно за счет утяжеления бурового раствора, что позволит бороться с разрушением стенок скважины под действием сжимающих нагрузок.

В свою очередь, эффективным решением проблемы, связанной с разрывом горных пород, считается снижение плотности бурового раствора ρ и/или эквивалентной циркуляционной плотности $\rho_{\text{экв}}$ – плотности, которой должен обладать раствор, гидростатическое давление которого на глубине H было бы равно полному давлению $\Delta P_{\text{ГД}}$ в кольцевом пространстве на той же глубине циркулирующего исходного раствора (1).

$$\rho_{\text{экв}} = \rho + \frac{\Delta P_{\text{ГД}}}{gH} \quad (1)$$

Снижение величины эквивалентной циркуляционной плотности возможно, например, за счет уменьшения количества бурового раствора, подаваемого насосами. В том случае, если эквивалентная циркуляционная плотность имеет большее значение, чем градиент

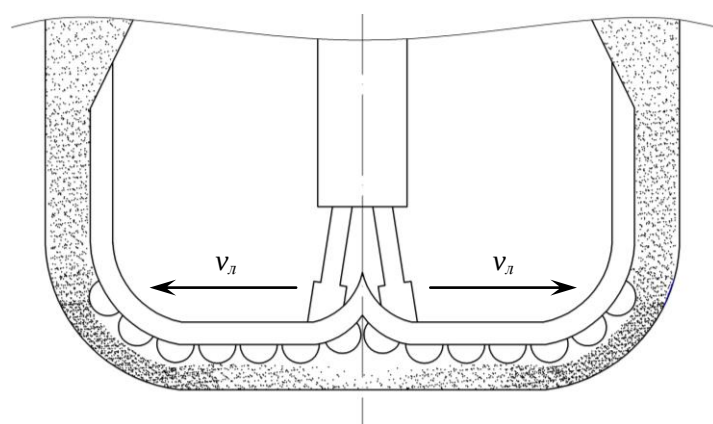


Рисунок 2. Схема для анализа неравномерного зашламования забоя скважины

распространения гидроразрыва пласта, то скважину невозможно пробурить без значительной фильтрации, что имеет особенное значение для продуктивных горизонтов, находящихся под высоким давлением с небольшой разницей между градиентом давления гидроразрыва пласта и пластовым давлением.

Вместе с тем, существующий производственный опыт показывает, что применение раствора более высокого качества вместо повышения его плотности может способствовать улучшению

состояния стенок скважины, в частности, прекращению образования обвалов [3]. Более того, при бурении с продувкой сжатым воздухом стенки скважины достаточно устойчивы, хотя противодавление на горные породы в этом случае практически отсутствует.

Многократное измельчение бурового шлама на забое скважины сопровождается значительной долей затрат энергии, являясь причиной снижения углубки за один оборот породоразрушающего инструмента и механической скорости бурения. В работе [1] отмечена связь данного явления с проявлением *масштабного фактора*, который заключается в повышении прочности единичных обломков разрушенной породы при уменьшении их размера. Так, по размеру частиц шлама, выходящих из скважины с потоком промывочного раствора, судят об эффективности процесса углубки скважины. Преобладание мелкой фракции в продуктах разрушения говорит о неудовлетворительной очистке забоя, а, следовательно, и низкой эффективности разрушения горной породы, что объясняется проявлением эффекта *масштабного упрочнения* скопившейся на забое разрушенной горной породы. Подобное явление особенно актуально при разрушении упруго-хрупких горных пород инструментом режуще-истирающего (режуще-скалывающего) действия, содержащим алмазные разрушающие элементы (алмазные долота и бурголовки, долота PDC).

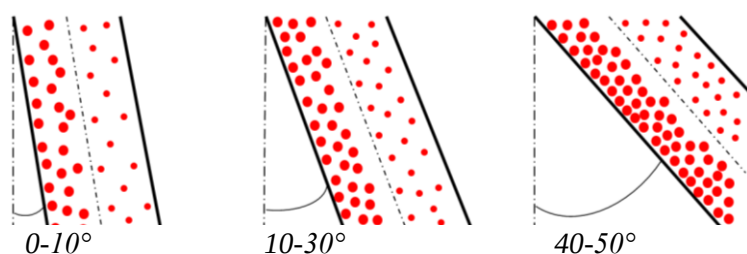


Рисунок 3. Поведение шлама в скважине в интервалах с разными зенитными углами

Проанализируем процесс очистки забоя скважины в упруго-хрупкой горной породе (рис. 2). Буровой раствор, попадая из центрального промывочного канала на забой скважины, распространяется в радиальном направлении от оси вращения инструмента к периферии, постепенно обогащаясь частицами разрушенной горной породы. При

этом количество шлама в буровом растворе возрастает с увеличением расстояния от оси вращения породоразрушающего инструмента.

Породоразрушающие элементы (зубцы), расположенные ближе к оси вращения инструмента (условно *ближние*), и зубцы, расположенные далее до периферии корпуса долота (*дальние*), имеют неодинаковые линейные скорости перемещения v_d , а, соответственно, и скорости резания-скалывания, вследствие чего *ближние* к оси вращения резцы производят работу по разрушению горной породы с большей интенсивностью [4]. Следует предположить, что для

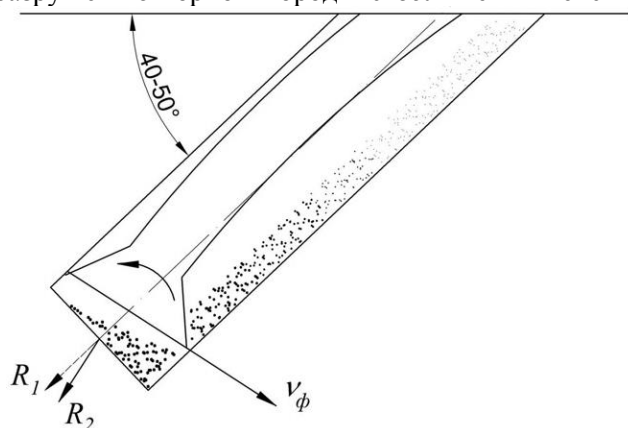


Рисунок 4. Схема для анализа углубки забоя наклонного ствола скважины

дальних от оси вращения зубцов износ о частицы разрушенной породы носит нерациональный усталостный характер, степень которого будет увеличиваться по мере отдаления от оси вращения за счет повышения количества измельчаемого под зубцами шлама, а, соответственно, и степени зашламования забоя скважины.

Интенсивность зашламования забоя скважины зависит не только от основных гидродинамических показателей и технологических параметров режима бурения [1], но и от профиля ствола, определяемого зенитными углами. Известно, что при малых зенитных углах ствола скважины (0-10°) сила тяжести, действующая на каждую частицу шлама,

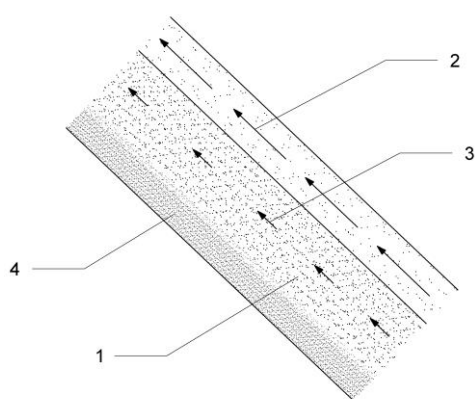
заставляет их оседать в направлении забоя (рис. 3). С ростом зенитного угла ($10-30^\circ$) плотность и вязкость частиц шлама увеличивается, однако, тенденция к скольжению частиц к забою сохраняется. Замедление скорости скольжения частиц шлама вплоть до полной остановки за счет возрастания сил трения возможно при углах $45-60^\circ$.

Подобные явления объясняются, в частности, эффектом Бойкотта, проявляющимся в различных дисперсных средах при бурении скважин с зенитными углами $30-60^\circ$, а наиболее интенсивно – $40-50^\circ$ (см. рис. 3), и заключающимся в накоплении шлама и некоторой части твердой фазы бурового раствора при его движении или в состоянии покоя. Формирующиеся напластования твердой фазы сползают вниз и собираются на забое, являясь причиной зашламования и переизмельчения.

Одновременно со сползанием осадка нарушается равновесие давления за счет изменения направления вектора плотности в поперечном сечении, что приводит к выталкиванию более легкой фазы раствора вверх, а более тяжелой – вниз – проявляется *эффект конвекции*. Осаждение частиц шлама в области суспензии ускоряется. Заметим, что наиболее очевидным в этом случае способом регулирования скорости выпадения частиц в осадок является добавление в промывочный раствор реагентов, повышающих прочность геля, вязкость при низких скоростях сдвига (ВНС).

Тенденция к скоплению шлама в интервалах уменьшения скорости течения промывочной жидкости (каверны, трещины) приводит к закупориванию затрубного пространства по причине скольжения (при углах менее 50°) скопившихся частиц обратно в ствол скважины (рис. 4). В этом случае увеличение скорости движения жидкости в затрубном пространстве, вероятно, позволит повысить эффективность очистки скважины посредством уменьшения количества шлама, оседающего в местах локального снижения скорости потока.

В наклонной скважине при зенитном угле от 20° и более колонна бурильных труб будет «лежать» на нижней стенке скважины, что препятствует равномерной скорости течения жидкости в верхней (над колонной) и нижней части поперечного сечения ствола скважины. Такой вид течения жидкости в кольцевом пространстве не обеспечивает полноценной очистки скважины от шлама, так как в зоне снижения скорости потока, то есть на нижней стенке, будет образовываться шламовая подушка. В данной ситуации для решения проблемы возможно применение инструмента со смещенным центром тяжести. Так, эксцентриситет вращения колонны бурильных труб и колонкового снаряда будет создавать поперечные течения и завихрения потока жидкости (подобие турбулентности), в результате чего шлам будет удаляться из ствола без дополнительных затруднений (рис. 5).



1 – буровая колонна;
2 – скорость потока над колонной; 3 – скорость возле колонны; 4 – шламовая подушка
Рисунок 5. Скопление шлама на нижней стенке скважины

завихрения потока жидкости (подобие турбулентности), в результате чего шлам будет удаляться из ствола без дополнительных затруднений (рис. 5).

Последнее предположение позволяет выделить еще один важный фактор очистки стволов скважин – режим течения промывочной жидкости в затрубном пространстве.

Ламинарный режим течения наиболее эффективен при зенитных углах до 45° при использовании вязкого раствора. Такой режим способствует эффективной очистке скважины от шлама за счет реологических свойств раствора [5].

При турбулентном режиме течения потока реология оказывает гораздо меньшее влияние на транспортировку частиц выбуренной породы, поэтому данный режим течения будет эффективен при углах наклона ствола от 45° в том случае, если стенки скважины и керн устойчивы к размыванию

промывочной жидкостью.

Таким образом, в процессе формирования наклонного ствола скважины, скопление шлама на забое со стороны лежащей стенки будет более интенсивным, чем в стволе вертикальном, в том числе, за счет проявления эффекта Бойкотта. В этом случае, велика вероятность образования области масштабно упрочненного шлама, прочность которой будет выше прочности горной породы, слагающей непосредственно забой скважины.

Буровое долото, формирующее проектное направление наклонного ствола (вектор результирующего усилия R_1 на рис. 4), начинает испытывать большую сопротивляемость углубке со стороны масштабно упрочненной области шлама. Следовательно, дальнейшая углубка будет происходить с некоторым перекосом долота в направлении менее прочного участка забоя (вектор результирующего усилия R_2) за счет действия отклоняющей силы с соответствующей скоростью фрезерования стенки скважины v_ϕ (см. рис. 4). При этом возможно изменение проектного угла набора кривизны за счет естественного искривления ствола скважины.

Интенсивность искривления ствола скважины i , формируемого при фрезеровании стенки с одновременной углубкой забоя, пропорциональна соотношению скоростей углубки забоя v_δ и фрезерования стенки скважины v_ϕ [2]:

$$i = \frac{57,3v_\phi}{v_\delta L}, \quad (1)$$

где L – длина жесткой части бурового снаряда, способной без деформации вписаться в искривленный участок ствола скважины, м.

Из формулы (2) следует, что одним из возможных факторов уменьшения естественного искривления стволов скважин при бурении являются параметры снижения скорости фрезерования стенки v_ϕ . Таким образом, необходим поиск способов предупреждения образования области масштабно упрочненного шлама со стороны лежащей стенки наклонного ствола скважины.

В работе [6] предлагается применение для промывки субгоризонтальных и наклонно-направленных скважин пульсирующего потока очистного агента, что, по мнению авторов, позволит снизить расход очистного агента относительно рекомендованного в конкретных геологических условиях и улучшить показатели выноса выбуренной горной породы на поверхность без ущерба целостности стенок скважины и керновых проб.

При использовании замкнутой циркуляции очистного агента буровой раствор, поднятый с забоя вместе с продуктами разрушения горных пород, снова закачивается в скважину. При этом шлам, находящийся в растворе, зачастую попадает в ствол скважины, так как обычных отстойников для качественной очистки бурового раствора может быть недостаточно. На эффективность очистки раствора от шлама естественным путем влияет размер частиц шлама, его способность к диспергированию в растворе, а также рецептура очистного агента.

Известно, что содержание твердой фазы в буровом растворе отрицательно влияет на механическую скорость бурения, ресурс породоразрушающего инструмента и бурильных труб, создает чрезмерное гидростатическое давление столба жидкости, а также будет способствовать закупориванию мелких зазоров и отверстий в элементах двойных колонковых снарядов, в том числе ССК.

Твердая фаза, как правило, добавляется в буровой раствор для регулирования таких параметров, как фильтрация (водоотдача), плотность, вязкость (растворы на глинистой основе) (табл. 1). Однако, на механическую скорость оказывает влияние не только и не столько процентное содержание твердой фазы, сколько диспергированность, распределение по объему

жидкости частиц. Чем меньше размер частиц, тем больше помех они будут создать на забое при разрушении горной породы.

Таблица 1. Влияние вида твердой фазы бурового раствора на скорость бурения

Вид твердой фазы	Снижение механической скорости при увеличении содержания твердой фазы на 1 % (объемный), %
Барит	2,6
Кальцит	4,8
Глина	6,7

Из таблицы 1 видно, что глинистая фаза имеет наиболее существенное влияние на механическую скорость. Это подтверждает тезис о том, что скорость проходки скважины зависит не только от объемного содержания твердой фазы, но и от характера распределения их по размерам. Так при использовании раствора, в котором содержатся частицы размером до 1 мкм, механическая скорость на порядок ниже, чем при бурении с раствором, содержащим то же объемное количество твердых частиц, но размером от 1 мкм.

Таким образом, твердые частицы размером менее 1 мкм на забое забивают поры и микротрещины, создаваемые в процессе разрушения горной породы, вклиниваются между породой и резами породоразрушающего инструмента, снижая углубку за оборот и величину осевого усилия, а также создают помехи для движения очистного агента, скапливаясь в межконтактных зазорах.

Крупные частицы, образующиеся в основном при бурении твердосплавным инструментом пород средней крепости (V-VIII категории по буримости), легко оседают на дне отстойника естественным путем, поэтому возникновения дополнительных осложнений в этом случае не ожидается. Алмазное бурение предполагает разрушение более крепких пород с высокой угловой скоростью и сравнительно умеренной осевой нагрузкой. Размер частиц шлама в таких условиях может достигать примерно 3-5 мкм, что при определенных реологических свойствах раствора способствует образованию стойкой суспензии с взвешенными частицами.

Следовательно, для замкнутой циркуляции бурового раствора при бурении алмазным инструментом требуется применение дополнительного очистного оборудования, позволяющего

осуществлять повторное использование очистного агента без большого риска возникновения осложнений по причине присутствия в растворе шлама, в частности, чрезмерного значения гидростатического давления на забой скважины.

4. Обсуждение

Известны результаты экспериментальных работ, которые доказывают существенное снижение механической скорости бурения с увеличением гидростатического давления на забой, проявляющееся тем в большей мере, чем выше пластические свойства горной породы, находящейся в состоянии всестороннего сжатия в процессе разрушения на забое скважины.

Отметим, что регулирование показателей промывки скважин является одной из

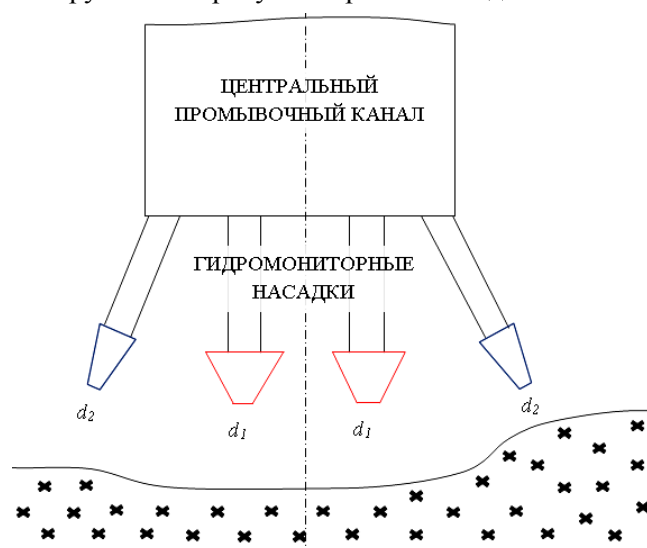


Рисунок 6. Схема расположения гидромониторных насадок буровых долот

основных задач при геологоразведочном и эксплуатационном бурении, следовательно,

правильно подобранные свойства очистного агента при оптимальных технологических параметрах процесса бурения позволят достичь высокой производительности и качества буровых работ.

Одним из возможных способов предупреждения образования области с повышенной прочностью шлама может являться дополнительное гидродинамическое воздействие струи бурового раствора непосредственно на область масштабно упрочненной горной породы, в частности, за счет применения гидромониторных насадок определенного диаметра выходного канала d_2 , создающих значительные скорости выходящей струи (рис. 6).

5. Заключение

Поиск способов предупреждения зашламования забоя скважины и недопущения повторного измельчения продуктов разрушения представляется перспективным, требующим дальнейших теоретических и экспериментальных исследований направлением.

В настоящее время особое научное значение приобретает проведение натурных экспериментальных исследований в конкретных геологических условиях, а также математическое и компьютерное моделирование, в частности, методами планирования полного факторного эксперимента и конечно-элементного инженерного анализа.

Библиографический список

- [1] Евсеев В. Д. *Физика разрушения горных пород при бурении нефтяных и газовых скважин*: учеб. пособие для вузов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 151 с.
- [2] Нескормных В. В. *Разрушение горных пород при проведении геологоразведочных работ*: учеб. пособие. – Красноярск: Изд-во СФУ, 2012. – 300 с.
- [3] Пушмин П. С., Романов Г. Р. *Особенности механизма разрушения твердой горной породы алмазным породоразрушающим инструментом* / Известия Сибирского отделения секции наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2014. – Вып. 5 (48). – С. 59-64.
- [4] Пушмин П. С., Романов Г. Р. *Проблемы промывки наклонно-направленных скважин* / Известия Сибирского отделения секции наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2014. – Вып. 3 (46). – С. 56-60.
- [5] Пушмин П. С. *Факторы регулирования гидродинамических показателей для оптимизации процесса алмазного бурения* / Известия Сибирского отделения секции наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2010. – Вып. 2 (37). – С. 167-172.
- [6] Тунгусов С. А. *Экспериментальное изучение процесса промывки скважин пульсирующим потоком* / Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – М.: Изд-во РГГРУ, 2008. – Вып. 4. – С. 78-80.
- [7] Wu F., Wu J., Shengwen S. Qi. *Fenomena and theoretical analysis for the failure of brittle rocks* / Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2010. – 2 (4). – 331–337.

Картирование зон трещиноватости карбонатно-галогенных пород в Восточной Сибири по комплексу методов сейсмо- и электроразведки

Буддо И.В.¹, Шелохов И.А.¹, Смирнов А.С.^{2,3}, Мисюркеева Н.В.¹

Институт земной коры СО РАН, Россия¹

ООО Газпром геологоразведка²

Тюменский индустриальный университет³

E-mail biv@crust.ru

Аннотация. В работе рассмотрены некоторые подходы к картированию трещиноватых зон в карбонатно-галогенных отложениях нижнего кембрия в пределах Верхнеленского неотектонического сводового поднятия юго-восточной краевой области Сибирского кратона. На основе экспериментальных данных показано, что применение широкоазимутальной сейсморазведки в модификации 3D позволяет картировать зоны трещиноватости по ряду критериев, включая амплитудные аномалии, зоны отсутствия когерентности, аномалии в картине спектральной декомпозиции и рассеянных волн. В свою очередь, электроразведка методом зондирования становлением поля в ближней зоне, с опорой на структурную модель по данным бурения и сейсморазведки, позволяет оценивать удельное электрическое сопротивление непосредственно горизонта-коллектора, а значит, его коллекторские свойства и тип насыщения. Интегрирование результатов геофизических методов с различной физической основой позволяет повысить достоверность выделения зон трещиноватости, характерной для карбонатно-галогенных пород Восточной Сибири.

1. Введение

В связи с возрастающим интересом к изучению карбонатных коллекторов в Восточной Сибири остро встает вопрос об эффективном комплексе геофизических методов, позволяющих получать достоверную информацию о строении коллектора. Одним из таких объектов является Ковыктинское газоконденсатное месторождение (КГКМ).

Ввиду сложного строения карбонатных коллекторов, их изучение с использованием стандартных подходов к интерпретации геофизических данных не всегда эффективно. КГКМ – яркий пример применения интегрированного подхода к комплексному анализу геолого-геофизической информации [1, 2, 9, 11, 14]. В данной работе авторами рассматриваются специальные подходы к интерпретации данных широкоазимутальной сейсморазведки МОВ ОГТ 3D в комплексе с методом зондирования становлением поля (ЗСБ) в модификации 3D, применяемые в рамках работ на КГКМ по заказу ООО «Газпром геологоразведка».

Геологический разрез КГКМ характеризуется сложными горно-геологическими условиями бурения. В составе всех стратиграфических уровней разреза осадочного чехла находятся горизонты-коллекторы, проявляющиеся осложнениями в процессе бурения [9].

Сопоставление интервалов вскрытия высокодебитных рассолоносных карбонатных пластов глубокими скважинами с временными разрезами МОГТ на изучаемых площадях показало, что зоны рапопроявлений приурочены к участкам повышенной тектонической трещиноватости карбонатных пород соленосной толщи [2, 11]. Наиболее приемлемой авторы считают физико-геологическую модель рапопроявляющего пласта, основанную на связи осложненных зон в разрезе с зонами дробления пород галогенно-карбонатной формации. В свою очередь, карбонатные горизонты-коллекторы нижнего кембрия перспективны на наличие скоплений природного газа [5, 10], что существенно повышает актуальность изучения зон трещиноватости, наряду с кавернозностью контролирующих основной объем ёмкостного пространства коллектора.

2. Материалы и методы

Зондирование становлением поля в ближней зоне (ЗСБ)

Известно, что ЗСБ как метод импульсной индукционной электроразведки характеризуется высокой чувствительностью к проявлению хорошо проводящих интервалов разреза на фоне горных пород низкой электропроводности [9]. Такими хорошо проводящими интервалами в

разрезах КГКМ являются горизонты-коллекторы ввиду высокой минерализации водных флюидов (до 400 – 600 г/л) [11]. Физические и петрофизические предпосылки определяют эффективность ЗСБ для картирования зон флюидонасыщенной трещиноватости, т.е. карбонатных коллекторов нижнемембрийского возраста для решения задач на различных этапах геологоразведочных работ [2].

В свою очередь, тонкослоистая инверсия кривых ЗСБ с выделением келорского, бильчирского, биркинского, атовского, христофоровско-балыхтинского, осинского и парфеновского горизонтов-коллекторов позволяет оценить удельное электрическое сопротивление (УЭС) каждого из горизонтов. При проведении инверсии кривых ЗСБ определяется УЭС горизонтов-коллекторов в рамках структурного каркаса, закрепленного по данным сейсморазведки 3D и бурения. УЭС вмещающих глубоко литифицированных венд-нижнекембрийских отложений (доломиты и соли) закрепляется на уровне 500-800 Ом·м. По результатам инверсии получают тонкослоистые геоэлектрические разрезы, а также карты продольного сопротивления либо проводимости непосредственно горизонтов-коллекторов, характеризующих их ёмкостные свойства и тип насыщения (Рисунок 1 – А).

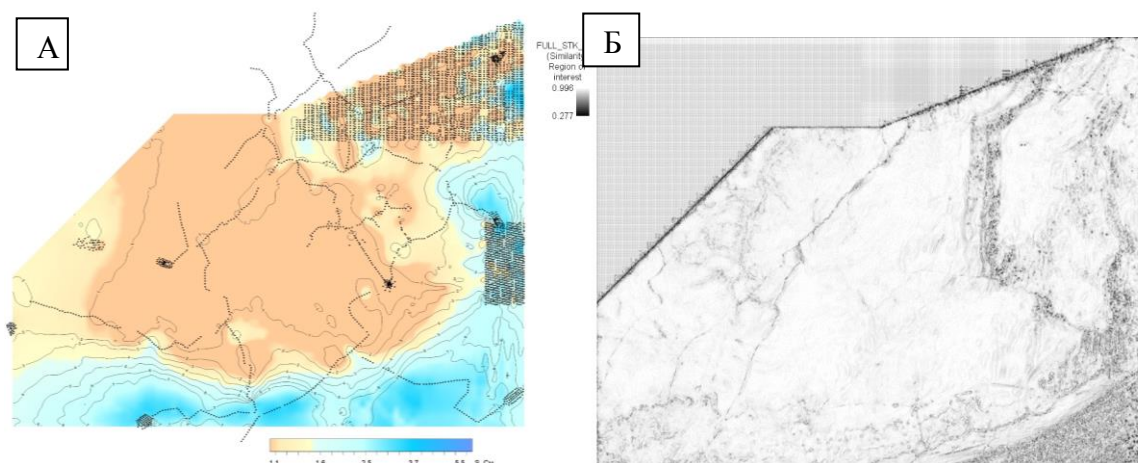


Рисунок 1. Карты геофизических параметров келорского горизонта на Ковыктинском ГКМ: А – продольная проводимость по 3D ЗСБ, См; Б – срез куба когерентности по МОВ ОГТ 3D.

Широкоазимутальная сейсморазведка МОВ ОГТ 3D

Высокоразрешающая широкоазимутальная сейсморазведка МОВ ОГТ 3D эффективна при детальном изучении структурных особенностей разреза, а также для прогноза зон трещиноватости [13]. В частности, анализ амплитудных характеристик и когерентности сейсмической записи позволяет дополнить структурную модель осадочного чехла особенностями тектоники, включая разломы, а также положением зон трещиноватости. Аномальные коллекторы обычно характеризуются зонами повышенных амплитуд сейсмической записи, зоны трещиноватости – зачастую хорошо прослеживаются на кубах когерентности. В комплексе с электроразведкой ЗСБ, анализ данных атрибутов сейсмической записи позволяет картировать зоны развития аномальных коллекторов в отложениях нижнего кембрия Ковыктинского ГКМ [2] (Рисунок 1– Б).

Спектральная декомпозиция волнового поля

Спектральная декомпозиция – широко известный метод определения и исследования геологических объектов в сейсмическом волновом поле посредством локализации отдельных компонент сигнала на выделенных частотах.

Среди методик разложения волнового поля было выбрано непрерывное вейвлет-преобразование (CWT). Появление понятия вейвлета способствовало развитию нового

направления в области анализа сигналов – непрерывного вейвлет-преобразования. В данном случае разложение производится не на гармонические функции, а на серию вейвлетов, сконструированных из некоторого материнского сигнала [15]. Алгоритм непрерывного вейвлет-преобразования заключается в расчете подискретного коэффициента корреляции вейвлета определенной доминантной частоты с участком сейсмической трассы [4]. Полученный частотно-временной спектр позволяет формировать на выходе алгоритма трассы, отражающие распределение энергии по частотам.

Частоты для анализа выбираются по результату анализа амплитудно-частотного спектра исходного временного куба. В ходе настоящих исследований были выбраны частоты 10, 20, 40 Гц, после чего производился расчет кубов атрибутов.

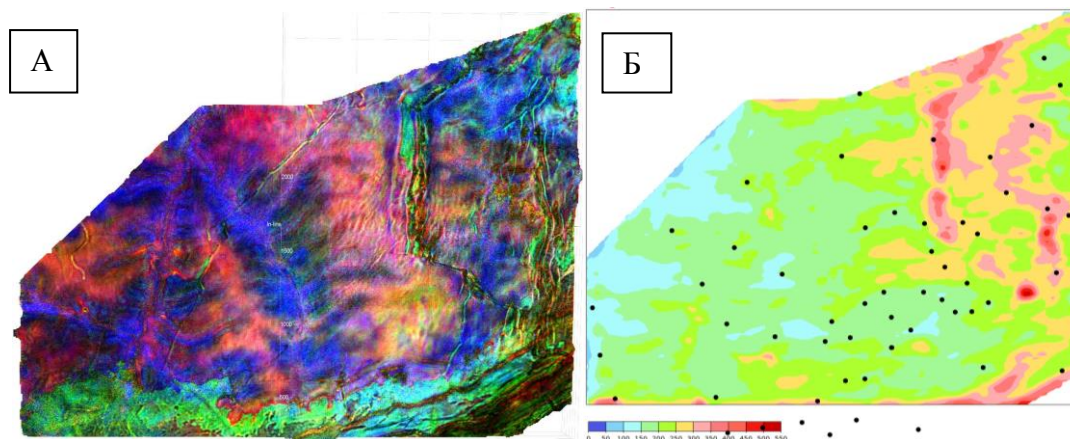


Рисунок 2. Результаты специальной обработки сейсмических сигналов: А - Карта RGB смешивания по кровле келорского горизонта (спектральная декомпозиция волнового поля), Б - Карта энергии рассеянных волн по кровле келорского горизонта.

Полученные кубы спектральных характеристик возможно использовать как в стандартном варианте атрибутивного анализа, так и интерпретировать посредством RGB-смешивания. Принцип данной процедуры заключается в присвоении каждому входному атрибуту цветового кода: красного, зеленого или синего. Изменение величины атрибута описывается мерой насыщенности цветового канала. На выходе алгоритма атрибуты объединяются в единую карту, в каждой точке которой находятся три значения амплитуды [16] (Рисунок 2 – А).

Рассеянные волны

Известно, что вся земная кора в целом представляет собой планетарный трещинный массив с зональной структурой трещиноватости, слагающей его горнопородной среды [8]. Именно трещинный слоистый многопластовый тип распределения природных резервуаров в осадочном чехле платформ, где каждый пропласток трещиноватых карбонатных коллекторов чередуется с флюидоупорным, является наиболее сложным объектом прогноза насыщения и фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС), где результаты могут характеризоваться неоднозначностью интерпретации.

Поле рассеянных волн формируется от совокупности трещин, т.е. анизотропного пустотного пространства, и является интерференционным, зависящим в большей степени от распределения неоднородностей, чем от акустической характеристики пород.

Для картирования зон трещиноватости в карбонатно-галогенной толще используются сейсмические данные, где на первом этапе исключаются нежелательные влияния верхней части разреза (ВЧР), в т.ч. многолетнемерзлой толщи, от зоны развития карстовых явлений в толще ордовика, от локальных пликативных дислокаций (соляная тектоника) линейных и изометричных, а потом применяются фокусирующие процедуры обработки сейсмических данных, с получением разреза целевого объекта изучения, т.е. энергии рассеянных волн, на

основании которых выявляют, исследуют и дифференцированно характеризуют сложно построенные чередующиеся трещинно-кавернозные межсолевые пласты (Рисунок 2-Б).

3. Физико-геологическая модель горизонта-коллектора галогенно-карбонатной части разреза

Зачастую построение эффективной модели трещиноватой среды приходится производить в условиях, когда какая-либо информация о трещиноватости пород в целевом интервале разреза отсутствует. Можно лишь предположить, что имеющиеся на площади дизъюнктивные процессы привели к возникновению трещин.

В общем случае безусловным фактором является то, что наличие трещиноватости приводит к повышению фона рассеянных колебаний, снижению скоростей упругих волн. Также немаловажным моментом является то, что при однонаправленных трещинах и доминирующей ориентации трещин появляется значительная азимутальная анизотропия скоростей, меняющихся в зависимости от угла между простираем трещин и направлением распространения волны.

В естественных условиях трещины занимают малый объем в породе и поэтому не значительно меняют плотность вещества. Вместе с тем, появление трещин существенно меняет прочность породы и, следовательно, модули упругости и значения продольных и поперечных скоростей.

Упругие свойства флюида при этом соответствуют свойствам воды нефти или газа, упругие свойства среды, окружающей трещину соответствуют данным в сплошном массиве.

Основная особенность геоэлектрической модели горных пород карбонатно-галогенного (и подсолевого) комплекса состоит в структуре, которая может быть представлена в виде сочетания двух составляющих – кристаллического скелета и флюидной системы (пластовой воды и углеводородных флюидов, насыщающих пустотное (трещинно-поровое) пространство).

Универсальным способом оценки сопротивления пород является использование так называемого параметра объемной пористости – P_{Π} , в соответствии с известной формулой Дахнова-Арчи [9]:

$$P_{\Pi} = a \cdot \kappa_{\Pi}^{-b}.$$

Реальные среднестатистические параметры горизонтов-коллекторов карбонатно-галогенного комплекса оценить весьма трудно. Это связано с несоответствием истинных мощностей горизонтов поглощающим и проявляющим интервалам, установленным по бурению, так как последние мощности всегда больше. Для оценки пористости горизонтов необходимы специальные исследования кернового материала, а также комплексная интерпретация данных ГИС [9].

4. Результаты исследования и их анализ

По результатам расчёта атрибутов сейсмической записи и решения обратной задачи ЗСБ на Ковыктинском ГКМ построены графики, иллюстрирующие проявление зон трещиноватости в келорском горизонте (соответственно, наличия/отсутствия поглощений бурового раствора) (Рисунок 3).

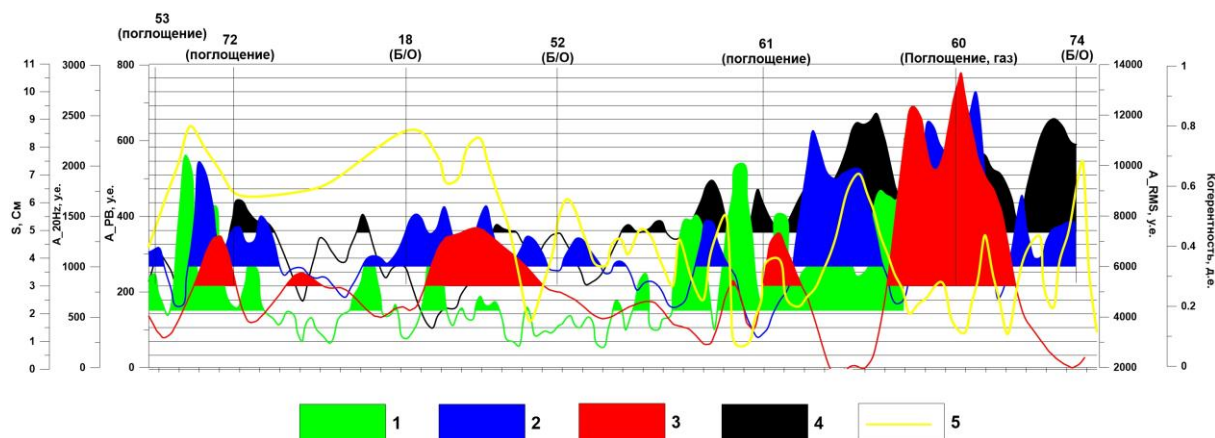


Рисунок 3. Графики распределения атрибутов сейсмической записи и продольной проводимости келорского горизонта по 3D ЗСБ по линии профиля скважин 53-74

Условные обозначения: 1 – амплитуда рассеянной компоненты, у.е., 2 – амплитуда частотной компоненты 20 Гц, 3 – продольная проводимость, См, 4 – амплитуда атрибута RMS (среднеквадратическая амплитуда), у.е., 5 – когерентность, д.е.

Для удобства анализа значения атрибутов сгруппированы по скважинам и представлены на Рисунок 4, а рассчитанные коэффициенты корреляции параметров – в Таблице 1.

Таблица 1. Корреляционная матрица параметров.

	Амплитуда атрибута RMS (среднеквадратическая амплитуда), у.е.	Амплитуда частотной компоненты 20 Гц	Продольная проводимость, См	Амплитуда рассеянной компоненты, у.е.	Когерентность, д.е.
Амплитуда атрибута RMS (среднеквадратическая амплитуда), у.е.	1	0.47	0.29	0.64	0.75
Амплитуда частотной компоненты 20 Гц	0.47	1	0.78	0.76	0.04
Продольная проводимость, См	0.29	0.78	1	0.88	0.06
Амплитуда рассеянной компоненты, у.е.	0.64	0.76	0.88	1	0.51
Когерентность, д.е.	0.75	0.04	0.06	0.51	1

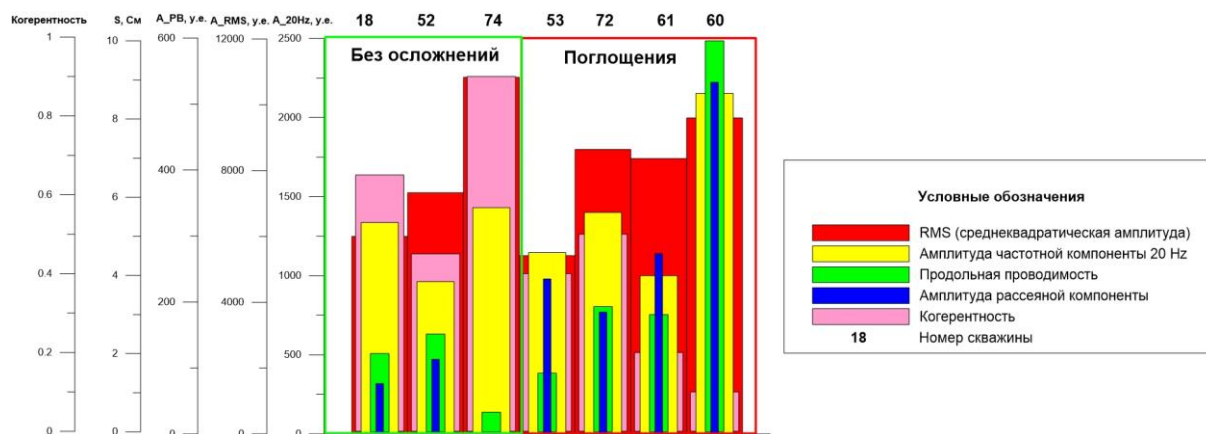


Рисунок 4. Диаграмма распределения атрибутов сейсмической записи и продольной проводимости келорского горизонта по 3D ЗСБ в скважинах с поглощениями и без осложнений
Полученные результаты позволяют сделать ряд выводов:

1. Среднеквадратическая амплитуда RMS имеет невысокие коэффициенты корреляции с остальными атрибутами (кроме зависимой когерентности), и напрямую не отражает наличия осложнений в скважинах (зон трещиноватости).
2. Атрибут когерентности сейсмической записи имеет наиболее высокую корреляцию с амплитудой RMS. Данный факт связан с тем, что когерентность напрямую отражает меру снижения амплитуды между соседними трассами. В свою очередь, области снижения когерентности отражают нарушение корреляции между соседними трассами, что является диагностическим признаком наличия разрывных нарушений.
3. Амплитуда частотной компоненты 20 Гц имеет довольно высокие коэффициенты корреляции (0.78 – 0.88) с продольной проводимостью и рассеянной компонентной. Однако изменение её величины не соответствует результатам бурения.
4. Продольная проводимость по 3D ЗСБ и рассеянная компонента сейсмической записи имеют наивысшие коэффициенты корреляции (0.88) и наилучшим образом отражают результаты бурения: вскрытие зон флюидонасыщенной трещиноватости келорского горизонта.

5. Заключение

Результаты проведенных исследований показывают принципиальную возможность на основе комплекса методов МОВ ОГТ 3D и 3D ЗСБ картирования целевых объектов – флюидонасыщенных межселевых анизотропных каверново-трещинных коллекторов с широким диапазоном проницаемости, с вероятными аномально высокими пластовыми давлениями флюидов в геологическом разрезе осадочного чехла платформ и областей их сочленения с краевыми прогибами, осложняющих бурение на различных этапах и стадиях геологоразведочного процесса.

Библиографический список

- [1]. Буддо И. В., Шелухов И. А. Основы прогноза флюидонасыщенных зон с АВПД по результатам комплексирования сейсмо- и электроразведки ЗСБ // Подземные воды Востока России: материалы Всеросс. совещания по подземным водам Востока России (XXII Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока с междунар. участием), г. Новосибирск, 18-22 июня 2018 г. – С 96-101.
- [2]. Буддо И.В. Тонкослоистые модели при изучении коллекторов в осадочном чехле методом зондирования становлением поля в ближней зоне – методика и результаты интерпретации (на примере юга Сибирской платформы): Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Иркутск, 2012. 16 с.

- [3].Вахромеев А.Г., Горлов И.В., Смирнов А.С., Мисюркеева Н.В., Шутов Г.Я., Поспеев А.В., Станевич А.М., Шемин Г.Г. Неотектонический этап активизации краевой области Сибирского крата как конечная фаза формирования Ковыктинской зоны нефтегазонакопления. Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). Материалы научного совещания. Институт земной коры СО РАН. 2017. С. 26-29
- [4].Витязев, В.В. Вейвлет-анализ временных рядов/ В.В. Витязев. – Санкт-Петербург: СПбГУ, 2001. -58 с.
- [5].Горлов И.В., Смирнов А.С., Игнатьев С.Ф., Вахромеев А.Г., Поспеев А.В., Мисюркеева Н.В., Агафонов Ю.А., Буддо И.В.. Новые газоперспективные объекты в кембрийских отложениях Ковыктинского ГКМ. GeoBaikal 2016. Иркутск. 2016. DOI: 10.3997/2214-4609.201601706.
- [6].Горлов И.В., Мисюркеева Н.В., Вахромеев А.Г., Смирнов А.С. Создание геологической модели межсолевого пласта-коллектора по геолого-геофизическим данным // Подземные воды Востока России: материалы Всеросс. совещания по подземным водам Востока России (XXII Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока с междунар. участием), г. Новосибирск, 18-22 июня 2018 г.– С. 161-166.
- [7].Ильин А.И., Вахромеев А.Г., Мисюркеева Н.В., Буддо И.В., Агафонов Ю.А., Поспеев А.В., Смирнов А.С., Горлов И.В.. Новый подход к прогнозу АВПД в карбонатных рапаноносных коллекторах кембрия на Ковыктинском ГКМ. GeoBaikal 2016. Иркутск. 2016. DOI: 10.3997/2214-4609.201601692.
- [8].Николаевский В.Н. Трещиноватость земной коры как ее генетический признак // Геология и геофизика.2006. Т.47. №5. С.646-656.
- [9].Поспеев А.В., Буддо И.В., Агафонов Ю.А., Шарлов М.В., Компаниец С.В., Токарева О.В., Мисюркеева Н.В., Гомульский В.В., Суров Л.В., Ильин А.И., Емельянов В.С., Мурзина Е.В., Гусейнов Р.Г., Семинский И.К., Шарлов Р.В., Вахромеев А.Г., Сень Е.А.. Современная практическая электроразведка. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2018. – 231 с. – ISBN 978-5-9909584-1-8. DOI: 10.21782/B978-5-9909584-1-8
- [10].Рыжов А.Е., Поляков Е.Е., Горлов И.В., Смирнов А.С., Пылев Е.А., Чичмарёва А.В., Чурикова И.В., Никульникова Н.А. Выделение новых перспективных объектов в отложениях солевого комплекса Ковыктинской зоны газонакопления и сопредельных территорий // Научно-технический сборник Вести газовой науки. 2017. № 3 (31). С. 100-111.
- [11].Смирнов А.С., Буддо И.В., Шелохов И.А., Касьянов В.В. Геофизические методы изучения природных межсолевых резервуаров кембрия и их флюидных систем // Подземные воды Востока России: материалы Всеросс. совещания по подземным водам Востока России (XXII Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока с междунар. участием), г. Новосибирск, 18-22 июня 2018 г.– С. 452-456.
- [12].Смирнов А.С., Горлов И.В., Яицкий Н.Н., Горский О.М., Игнатьев С.Ф., Поспеев А.В., Вахромеев А.Г., Агафонов Ю.А., Буддо И.В.. Интеграция геолого-геофизических данных – путь к созданию достоверной модели Ковыктинского газоконденсатного месторождения. Геология нефти и газа № 2. Москва. 2016. С. 56 – 66.
- [13].Aarre V., Astratti D., Dayyni T.N., Mahmoud S.L., Clark A., Stellas M., Stringer J., Toelle B., Vejbaek O, White G. Seismic detection of subtle faults and fractures // Oilfield Review. – 2012. – V. 24. – No 2. – P. 28 – 43.
- [14].Buddo I.V., Pospееv A.V., Shelohov I.A., Misiurkeeva N.V., Agafonov Y.A., Smirnov A.S.. Geoelectric Model of the Section As an Integral Part of the Oil and Gas Fields Geological Model (Case Study From the Kovykta Gas Condensate Field). GeoBaikal 2018. 2018. DOI: 10.3997/2214-4609.201802044.

[15].Castagna, J. Comparison of spectral decomposition methods / J. Castagna // First Break. -2006. – vol. 24. –p. 75-79

[16].Chopra S., Marfurt K.J. Seismic Attributes for Prospect Identification and Reservoir Characterization. SEG Geophysical Developments Series No. 11, 2007, p. 481

Особенности вещественного состава пород Верхнеянского золоторудного поля (Северное Забайкалье)

Ванин В.А.

Институт земной коры СО РАН, Россия

664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, лаб. Палеогеодинамики, 664033, грант РФФИ № 16-35-60033, РФ.

E-mail: Vanin_geo@mail.ru

Аннотация. Изучены минералого-геохимические особенности вещественного состава рудных метасоматитов Верхнеянского золоторудного поля расположенного на территории северной части Байкало-Муйского пояса. Золотое оруденение представлено линейными штокверковыми телами золотоносных метасоматитов трассирующих рудоконтролирующую зону разлома. Рудовмещающими являются измененные вулканы аюлиндинской толщи и породы габбро-плагиогранитного янско-мамаканского комплекса подверженные процессам пропилитизации на дорудном этапе. На рудном этапе произошло преобразование попавших в зону разлома вмещающих пород с образованием золотоносных (альбит)серицит-кварц-хлорит-карбонатных метасоматитов и золотоносных кварц-карбонатных жильных метасоматитов. Степень золотоносности метасоматитов находится в полном соответствии с проявлением окварцевания и насыщенностью сульфидной минерализацией (пирит-II и пирит-III-халькопиритII-галенитовая ассоциация).

1. Введение

Разработка технологических схем обогащения рудных месторождений и наиболее полного извлечения рудного компонента является актуальной проблемой современной эксплуатации золоторудных месторождений. Одним из методов решения разработки технологических регламентов и оптимизации технологического процессов извлечения полезных компонентов является детальное изучение минералогии и вещественного состава руд.

В настоящей работе представлены результаты изучения геолого-структурных особенностей и вещественного состава руд Верхнеянского золоторудного поля, расположенного в северной части территории Байкало-Муйского складчатого пояса (БМП). Данный рудный объект является одним из представителей характеризующих особенности вещественного состава руд имеющих свое распространение в северо-западной части БМП.

Как показали исследования последних лет [1], на территории БМП в его Янской зоне [3], распространены протяженные разломные зоны, контролирующие золоторудную минерализацию. К одной из таких разломных зон, приурочены золоторудные зоны Верхнеянского рудного поля. Рудное поле имеет протяженность более 13 км при мощности рудных зон до 300 м, что позволяет наиболее объективно судить об особенностях строения и формирования рудной минерализации на территории, охватывающей породы различного состава.

2. Методы исследования

Петрографические и минераграфические исследования пород проводились при помощи микроскопа Полар 3 (Орлова Г.В., Ванин В.А., ИЗК СО РАН) и электронного сканирующего микроскопа с энергодисперсионным спектрометром (EDS): LEO-1430 (система микроанализа IncaEnergy-300, Геологический институт СО РАН, Улан-Удэ). Условия EDS-анализа: ускоряющее напряжение – 20 кВ, ток электронного пучка – 1,5 нА, время набора спектров – 60 с. Для количественной оптимизации (нормировка на ток зонда и калибровка спектрометра по энергии) применялся металлический Со. Аналитик - Е.А. Хромова.

3. Геологическое строение рудного поля

В строении рудного поля принимают участие породы неопротерозойского и верхнепалеозойского возрастов. К неопротерозойским относятся вулканиты аюлиндинской толщи, метагаббро и плагиограниты янско-мамаканского комплекса. К верхнепалеозойским образованиям относятся дайки гранитоидов конкудеро-мамаканского комплекса входящих в состав Ангаро-Витимского батолита.

Вулканиты аюлиндинской толщи прорваны метагаббро первой фазы и плагиогранитами второй и третьей фаз янско-мамаканского комплекса. Неопротерозойские породы на рассматриваемой территории изменены в условиях зеленосланцевой фации. Геохимические исследования позволили установить их островодужную специфику и объединить в единую вулканоплутоническую ассоциацию с возрастом 650–645 млн лет [2].

Завершают возрастную колонку дайки конкудеро-мамаканского комплекса входящего в состав Ангаро-Витимского батолита. Контакты даек с вмещающими породами и золоторудными зонами резкие, интрузивные. Сами же тела гранитоидных массивов широко распространены за пределами рудного поля.

Вся золоторудная минерализация приурочена к протяженной зоне разлома дугообразной формы, меняющей направление с северо-восточного на юго-восточное. Данная особенность во многом определила морфологию рудной зоны в линейный штокверк (см. 3.1 тектонические особенности рудного поля).

Рудовмещающими породами на территории Верхнеянского рудного поля являются габбро-плагиогранитные интрузии янско-мамаканского комплекса и базальты аюлиндинской толщи. Данные породы интенсивно преобразованы в метасоматиты (по составу) и динамокластиты (по текстурно-структурным особенностям) в зоне рудоконтролирующего разлома. Преобразованные породы в метасоматиты и являются золотосодержащими рудными зонами. Они представляют собой светло-серые, иногда с зеленоватым оттенком метасоматиты (альбит)серицит-кварц-хлорит-карбонатного и кварц-карбонатного состава. В зоне влияния гипергенных процессов золоторудные метасоматиты приобретают ржаво-бурые, коричнево-бурые цвета, благодаря чему отчетливо выделяются среди зеленоватых, зеленовато-серых вмещающих пород.

Оруденение на территории рудного поля относится к золото-сульфидно-кварцевой рудной формации и представлено кварцево-жильным и прожилково-вкрапленным морфологическими типами.

Прожилково-вкрапленный тип представлен рассланцованными (альбит)серицит-кварц-хлорит-карбонатными метасоматитами. Кварц представлен в виде кварцевых и кварц-карбонатных прожилков мощностью от нитевидных до первых сантиметров. Кварцево-жильный тип представлен кварц-карбонатными жилами и прожилками.

Суммарная доля прогнозных ресурсов золота по категории P1 и P2 составляет 25 т. Мощность рудных тел достигает 50 м, редко 230 м. Они прослежены горными выработками на расстоянии более 13 км и скважинами колонкового бурения до глубины 90 м.

Тектонические особенности рудного поля

Рудоконтролирующая зона разлома на территории Верхнеянского золоторудного поля имеет протяженность более 13 км и мощность более 300 м. Падение сместителя на север, северо-запад, под углом 60-800, редко наблюдается выполаживание до 400.

Зона разлома характеризуется сложным чешуйчатым строением и по кинематике соответствует взбросу с минимальной сдвиговой составляющей. Тектоно-деформационные процессы проявленные в зоне влияния разлома выразились в образовании линейного расщепления, зон будинажа, брекчирования и складчатости. При приближении к зоне разлома на плоскостях расщепления пород отмечается окварцевание, в виде кварцевых и кварц-карбонатных прожилков, мощностью от нитевидных до нескольких сантиметров. Прожилки ориентированы субпараллельно направлениям сланцеватости.

Для сланцеватости рудных и безрудных пород, распространенных в зоне влияния рудоконтролирующего разлома характерны углы 60-850, (редко до 400), азимут падения варьирует от 340 до 500. При приближении к зоне разлома во вмещающих породах увеличивается интенсивность расщепления, на плоскостях расщепления отмечается окварцевание, в виде кварцевых прожилков, мощностью от нитевидных до нескольких сантиметров. Прожилки ориентированы субпараллельно направлениям сланцеватости.

Геологическими наблюдениями взаимоотношений гранитных даек и золоторудных зон установлен пострудный возраст внедрения даек в зону рудоконтролирующего разлома. Данные наблюдения вероятно свидетельствуют о смене полей напряжений с условий сжатия на условия растяжения, с образованием разрывов в зоне рудоконтролирующего разлома. По разрывам происходило внедрение даек конклюдеро-мамаканского комплекса на пострудном этапе. Ориентировка их субсогласна сланцеватости основного сместителя.

4. Вмещающие породы и руды месторождения

4.1 Вмещающие породы

Вулканиды аюлиндинской толщи, характеризуются единым набором минералов, но в разном процентном соотношении породообразующей минеральной ассоциации. Они представлены зеленоватыми, зеленовато-серыми породами кварц-хлорит-эпидотового, кварц-серицит-хлоритового, альбит-кварц-карбонат-хлоритового, кварц-амфибол-хлорит-эпидотового состава. Объем кварца в породах имеет значения 5-15%, альбит до 10%, хлорит 20-40%, эпидот 10-45%, амфибол 10-20%, серицит 20-30%. Мощность толщи ориентировочно составляет 1000 м.

Габброиды имеют зеленовато-серый цвет. Текстура массивная, структура апогаббровая с элементами замещения. Состоят из эпидота (25–40%), замещившим плагиоклаз, роговой обманки (40–60%), развивающейся по пироксену, второстепенных минералов – кварца, тремолита и хлорита. Рудные минералы (2%) представлены магнетитом и ильменитом. Первичная структура диагностируется по реликтовым структурам плагиоклаза и пироксена. Зеленая роговая обманка интенсивно хлоритизирована и окварцована. Кварц также отмечается в межзерновых промежутках роговой обманки.

Плагиограниты второй фазы янско-мамаканского комплекса имеют зеленовато-серый цвет, гнейсовидную текстуру, средне- и крупнозернистую, иногда порфировидную, реже мелкозернистую структуры. Плагиоклаз (50%) замещен роговой обманкой, эпидотизирован, по эпидоту развивается хлорит. Кварц трещиноватый, обдавленный, содержание в породе до 30%. Гранитоиды третьей фазы представлены розовато-серыми средне и крупнозернистыми лейкоплагиогранитами. Плагиоклаз (50%) сосюритизирован, кварц представлен двумя генерациями – гранобластовый и в виде прожилков (25–30%). Эпидот (<5%) и серицит (10–15%) распространены в виде прожилков образуя полосчатую текстуру породы. Розоватый цвет плагиогранитам придают включения микроклина (2%). Кроме того рассматриваемые породы в своем составе имеют включения рудной минерализации (2 %) представленную рутилом, магнетитом, пиритом и малахитом.

Описанный состав пород свидетельствует о наложенных на них процессах пропилитизации и является самым ранним – дорудным. Он имеет площадное развитие и охватывает всю неопротерозойскую вулкано-плутоническую ассоциацию имеющую распространение на территории Верхнеянского рудного поля.

4.2 Золотоносные метасоматиты и вещественный состав руд

Характер метасоматического процесса рудной системы в зоне разлома на изученном участке (более 10 км) был примерно одинаков. Рудные метасоматиты сформированные по метагаббро и плагиогранитам янско-мамаканского комплекса, на 98 % состоят из серицита, хлорита, кварца и карбоната (анкерит, кальцит, доломит). В зоне преобразования вулканитов аюлиндинской толщи в составе появляется альбит (до 5%). Процентное соотношение минеральных фаз может широко варьировать даже в двух образцах отобранных на одном погонном метре. Текстура золотоносных метасоматитов полосчато—сланцеватая, линзовидно-полосчатая. Структура - микролепидогранобластовая, пойкилопорфирообластовая.

Содержание рудных минералов составляет 2%, главным из которых является пирит. Сопутствующие минералы представлены халькопирит, галенит. Среди акцессорных минералов встречаются рутил, магнетит, ильменит, апатит, циркон, монацит.

Пирит - один из наиболее распространенных рудных минералов и присутствует во всех рудных образованиях. Представлен кубическими и изометричными выделениями, нередко катаклазированными. Часто образует скопления, приуроченные к сланцеватости рудных метасоматитов, не имея при этом четкой минеральной ориентировки. Размер зерен от 0.1 до 5 мм.

При микроскопическом изучении метасоматитов и руд выделено три разновидности пирита и две халькопирита.

Пирит-I представлен кубическими, изометричными и иногда неправильными формами размером до 1.2 мм, образует совместные агрегаты размером до 3.3 мм. В пирите-I наблюдаются пойкилитовые включения вмещающих пород, рутила, халькопирита, магнетита. Часто раздроблен и корродирован, по трещинам дробления и в центральных частях зерен развиваются окислы железа (гетит), отмечается развитие оторочек карбоната. Пирит-I образуется в начальную стадию метасоматоза в процессе пропилитизации дорудного этапа.

Пирит-II мелкокристаллический, часто развивается вдоль плоскостей сланцеватости рудных метасоматитов, имеет таблитчатые и изометричные формы размером до 0.65 мм. Частично окислен и катаклазирован. Распространен в прожилково-вкрапленном типе минерализации. Связан с серицитизацией, окварцеванием и карбонатизацией пропилитов.

Пирит-III крупнокристаллический, размером до 2.3 мм, часто образует скопления и цепочки кристаллов. Свое преобладающее развитие имеет в метасоматитах жильного типа кварц-карбонатного состава. В результате катаклаза часто раздроблен, трещины дробления заполнены кварцем и карбонатом. В нем присутствуют пойкилитовые включения кварца, карбоната, халькопирита, галенита и теллуридов золота (см. ниже).

Халькопирит находится в виде включений округлой и неправильной формы в пирите, а также заполняет трещины дробления и промежутки между зерен кварца, в виде аллотриоморфных, реже гипидиоморфных зерен. Размеры включений от 0.025 до 0.1 мм в поперечнике.

Выделяется халькопирит двух генераций: халькопирит-I распространен в околорудных метасоматитах заполняя промежутки между зерен кварца. Халькопирит-II находится в виде включений в пирите-III.

Галенит наблюдается в виде зерен аллотриоморфной, реже гипидиоморфной формы, часто в сростании с халькопиритом и пиритом или в виде включений неправильной и удлиненной формы в пирите. Границы соприкосновения зерен ровные. Размер зерен различен: от 0.001 мм до 2 мм.

Серебро найдено в виде теллуридов – гессита и штютцита в пирите-III. Имеет неправильные формы размером до 5 мкм.

Золото является основным рудным компонентом и распространено в самородном виде в кварц-карбонатных жилах и прожилках, а также в виде теллуридов в пирите-II и пирите-III в ассоциации с халькопиритом-II и галенитом. Теллуриды золота представлены петцитом и калаверитом в ассоциации с алтаитом и мелонитом. Самородное золото имеет золотисто-желтый цвет, удлиненную, крючковатую и комковатую формы. Размеры золотинок достигают 1.5-3.0 мм. Преобладающий размер золотинок 0.1-0.3 мм. Пробность самородного золота колеблется от 925 до 971 единиц. Состав золотосодержащих минералов приведен в таблице 1.

Таблица 1. Состав золотосодержащих минералов Верхнеянского рудного поля

№ п/п	Au	Ag	Te	Минерал
1	43.27	0.82	56.91	Калаверит
2	25.7	40.91	32.27	Петцит
3	26.99	43.19	33.62	Петцит
4	26.32	42.29	32.8	Петцит
5	43.42	0.84	57.45	Калаверит

Примечание: результаты получены с помощью электронного сканирующего микроскопа с энергодисперсионным спектрометром (EDS).

5. Заключение

Рудное поле локализовано в динамокластической толще, сложенной вулканитами и габбро-плагиогранитным комплексом. Золотое оруденение приурочено к рудоконтролирующей зоне разлома дугообразной формы с падением сместителя (до 800) на север. Приуроченность золотоносных метасоматитов к протяженной зоне разлома предопределило его штокверковый прожилково-вкрапленный и жильный морфологические типы оруденения.

Вмещающие породы подверглись метасоматическим преобразованиям (пропилитизации) на дорудном этапе. На рудном этапе произошло окварцевание, серицитизация и карбонатизация пропилитов с образованием (альбит)серицит-кварц-хлорит-карбонатных метасоматитов и жильных метасоматитов кварц-карбонатного состава.

Характер метасоматического процесса рудной системы в зоне разлома был примерно одинаков. Рудные метасоматиты сформированные по метагаббро и плагиогранитам, имеют практически один и тот же минералогический состав: серицит, хлорит, кварц и карбонат (анкерит, кальцит, доломит). В зоне преобразования в составе золотоносных метасоматитов появляется альбит.

Золотоносными на территории рудного поля являются метасоматиты (альбит)серицит-кварц-хлорит-карбонатного состава и метасоматиты жильного типа кварц-карбонатного состава. Концентраторами золота являются кварц-карбонатные жилы и прожилки, пирит-II и пирит-III в ассоциации с халькопиритом-II и галенитом. Золото в рудных метасоматитах высокопробное.

Выявленные особенности распределения золота в рудных зонах, его свободных форм в кварце и связанных форм в виде теллуридов в разных генерациях пиритах должно помочь в определении оптимального технологического процесса извлечения золота.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-35-60033.

Библиографический список

- [1] Ванин В.А., Чугаев А.В., Демонтерова Е.И., Гладкочуб Д.П., Мазукабзов А.М. Геологическое строение золоторудного поля Мукодек и источники вещества, Северное Забайкалье (Pb-Pb и Sm-Nd данные) // Геология и геофизика. 2018. Т. 59. С. 1345-1356.
- [2] Ванин В.А., Донская Т.В., Гладкочуб Д.П. Геохимическая характеристика, возраст и обстановки формирования магматических пород Верхнеянского рудного поля (Северное Забайкалье) / В.А. Ванин, Т.В. Донская, Д.П. Гладкочуб // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания. Вып. 15. Иркутск: Институт земной коры СО РАН. 2017. С. 24-25.
- [3] Рыцк Е.Ю., Ковач В.П., Коваленко В.И., Ярмолук В.В. Структура и эволюция континентальной коры Байкальской складчатой области // Геотектоника. 2007. № 6. С. 23-51.

Экзогенные геологические процессы Удокана

Верхозин И.И., Верхозин П.И.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail m777mc@yandex.ru

Аннотация. Проектирование и строительство инженерных сооружений в районах развития геологических процессов требует их изучения, оценки, прогноза и разработки, методов и методик по их управлению, в нужном для человека направлении. Они оказывают решающее влияние на устойчивость местности и, соответственно, на устойчивость существующих и проектируемых сооружений. В данной работе рассмотрены экзогенные геологические процессы развитые в районе Удоканского месторождения меди, где планируется создание крупного горнодобывающего кластера.

Удоканское месторождение медных руд, одно из крупнейших в мире, расположено в отрогах хребта Удокан. Согласно схеме инженерно-геологического районирования Забайкалья, район месторождения входит в Байкальский регион второго порядка, который охватывает Байкальское сводовое поднятие, характеризующееся очень высокой активностью новейших и современных тектонических движений [1].

Климат описываемого района резко континентальный. Абсолютный минимум температур достигает минус 57⁰, абсолютный плюс составляет 35 – 37⁰, при средних годовых температурах минус 6 – минус 9⁰. Годовое количество осадков изменяется от 354 до 638 мм. Устойчивый снежный покров, мощностью от 0,5 до 2,0 и более метров создает предпосылки для формирования лавин. Район исследований расположен в зоне многолетней мерзлоты мощность которой составляет более 800 метров.

Орография хребта Удокан на описываемой территории довольно сложная. Благодаря молодым тектоническим движениям, рельеф местности характеризуется значительной расчленённостью. По морфологии его можно разделить на три основных морфогенетических комплекса: высокогорный альпинотипный, среднегорный гольцовый и низкогорный [2].

Восточная часть описываемой площади слагается альпинотипным рельефом, с абсолютными отметками достигающими 1900-2175 м, узкими пилообразными водоразделами и крутыми склонами (до 40 – 70⁰), расчленёнными эрозионными и троговыми ущелистыми долинами.

В центральной части изучаемой площади горы имеют массивные формы с плоскими или округлыми куполовидными вершинами с абсолютными отметками 1500 -1800 м, отвечающими среднегорью.

Западная часть площади исследований представлена типичным низкогорьем с абсолютными отметками вершин 900-1200 м, переходящим в аккумулятивную равнину Чарской впадины.

В геологическом строении района исследований принимают участие осадочно-метаморфизованными породами нижнепротерозойского комплекса, осадочными четвертичными отложениями, комплексом изверженных пород и эффузивными образованиями. Осадочно-метаморфизованные породы нижнепротерозойского комплекса представлены метаалевролитами, метаалевропесчаниками, метапесчаниками, известняками и доломитами. Все эти породы метаморфизованы и превращены в слюдистые и высокослюдистые разновидности. Четвертичные отложения развиты в Нижне-Ингамакитской впадине и в пределах Чаро-Ингамакитского междуречья. В разрезе отложений преобладают образования ледникового комплекса, а также аллювиальные, пролювиальные, делювиальные и коллювиальные отложения. *Эффузивные образования* представлены базальтами, выходы которых зафиксированы в бассейне р. Эмегачи. Магматические образования раннепротерозойского и палеозойского возраста занимают до 40% площади исследований. Они представлены гранитами, гранодиоритами, диабазами, габбро-диоритами, диоритами, габбро, щелочными сиенитами и кварцевыми сиенитами.

По структурно-тектоническим условиям изучаемый район относится к Западно-Алданской структурно-формационной зоне Алданского щита и расположена в осевой части Удоканского синклинория.

Район Удоканского месторождения расположен в северной ветви Байкальской сейсмической зоны – наиболее сейсмоактивной неотектонической структуре Восточной Сибири. Уровень современной сейсмической активности хребта Удокан очень высокий. В регионе за последние 60 лет, в максимальном приближении к площади работ произошли несколько сильнейших землетрясений силой до XI баллов (шкала MSK-64), магнитудой до 8 (по шкале Рихтера)[3].

Развитие экзогенных геологических процессов и их интенсивность обусловлены особенностями геологической и природной среды изучаемой территории. К ним относятся: резкоконтинентальный климат; сложный рельеф высокой степени расчлененности; развитая речная сеть; высокая сейсмическая активность и активная неотектоника; распространение горных пород различного генезиса; сплошное развитие многолетней мерзлоты; сложные условия обводненности; отсутствие растительности в высокогорной зоне и разреженной растительности в средне- и низкогорной зоне. Вышеперечисленные факторы создали благоприятные условия для развития сложного комплекса взаимодействующих экзогенных процессов, среди которых наиболее интенсивное проявление имеют: выветривание, осыпи, обвалы, курумы, лавины, сели, эрозия, солифлюкция, термокарст, пучение, наледообразование и заболачивание.

Процесс выветривания широко развит на исследуемой территории. Здесь преобладающим является физическое выветривание, обусловленное суровым климатом, широким развитием скальных обнажений осадочно-метаморфических пород, их тектонической раздробленностью и сильной трещиноватостью. Скорость выветривания горных пород зависит также от их литологического состава. В лабораторных условиях установлено, что наиболее устойчивые к выветриванию оказались граниты (магматические породы), наименее устойчивые – алевролиты и песчаники (осадочные породы). Породы осадочно-метаморфического происхождения занимают промежуточное положение [4]. Количественные показатели скорости выветривания составляют для водонасыщенных гранитоидов – 0,0031 мм/год, сланцев – 0,0186 мм/год, гравелитов – 0,0656 мм/год, песчаников – 0,0892 мм/год, алевролитов – 0,1081 мм/год. Процессы химического выветривания на площади работ почти не происходят.

В горно-таежном поясе площади исследований некоторое значение приобретают почвообразовательные процессы, являющиеся основой биохимического выветривания, которое проявляется достаточно активно. Показатель скорости биохимического выветривания для Удокана составляет 0.034 мм/год.

Гравитационные процессы района представлены вывалами, обвалами и осыпями[4]. Под вывалами и обвалами понимается мгновенное обрушение крупных блоков горных пород с крутых и отвесных склонов, выемок и полувыемок, сложенных скальными породами. На развитие этих процессов указывают хаотические скопления крупных глыб на склонах и у подножья скальных массивов. Вывалы наблюдаются в бортах искусственных выемок железной дороги Новая Чара – Чина и в бортах V-образных долин бассейнов рек Нирунгнакан и Наминга. Обвалы формируют у подножий скальных обнажений горных пород различные аккумулятивные формы. На площади исследований выделены такие формы аккумуляции как обвальные шлейфы, вытянутые вдаль склонов; каменные потоки, располагающиеся перпендикулярно к подножию скальника; отдельные глыбы на пологой части склонов и в днищах долин. Обвалы, как правило, происходят в высокогорной и среднегорной зонах района. Их образованию способствует тектоническая раздробленность и насыщение трещиноватых зон водой. В ряде случаев мелкие обвалы в виде отдельных глыб диаметром 0,8-1,5 м приурочены к крутым, склонам долин и в низкогорно-таежной зоне, где идет интенсивная подрезка скальных массивов водными потоками. Массовые мелкие обвалы происходят на правобережных скалистых склонах реки Нижний Ингама в ее верхнем течении, нанося ущерб Чинейской железной дороге.

Осыпи имеют широкое распространение и развиты всюду, где имеются коренные обнажения пород. Нередко осыпи достигают значительных размеров, сливаясь в сплошные шлейфы вдоль подножья крутых скальных бортов. Осыпание продуктов выветривания происходит практически на всех скальных поверхностях имеющих уклон более 40°. Высота осыпных шлейфов может достигать 100-120 м.

Скорость движения осыпного материала, по данным Пластинина Л.А. [4], зависит от крутизны и экспозиции склона и изменяется от 0,01 мм/год до 0,31 мм/год, составляя в среднем 0,19 мм/год. Установлено, что наиболее подвижной является центральная часть осыпи, менее подвижны - периферийные участки.

Снежные лавины развиты в высокогорных и среднегорных зонах территории. Их образованию благоприятствуют резко расчлененный рельеф и крутые склоны, на которых отсутствует растительность и формируется мощный снежный покров.

Лавиноопасный период в районе наступает в конце февраля - начале марта.

К этому времени выпадает большое количество снега и начинаются сильные ветра. Особенностью лавиносборных бассейнов Удоканской площади является наличие значительных площадей занятых глыбовыми осыпями с размером глыб от 0,2 до 1,5 м в поперечнике. К февралю, неровные шероховатые поверхности лавиносборов выравниваются снегом и выпадающий, а также метелевый снег ложится на ровную поверхность. В результате, к концу марта образуется снежный пласт мощностью до 1 м и более. Для лавинообразования, критическая масса снежного покрова составляет 30-50 см. По гребням лавиносборов, образуются снежные карнизы и козырьки. Их отрыв вызывает сход лавин. Период с конца февраля-начала марта и до конца мая является периодом максимальной лавинной опасности. Преобладающими типами лавин в этот период являются сухие лотковые лавины образующиеся в эрозионных врезках и денудационных воронках. Большинство сухих лавин сходит в марте – апреле, когда мощность снежного покрова достигает максимума. Мокрые лавины образуются в мае–июне, когда снег насыщен влагой. В пределах абсолютных высот 1200 – 2000 м практически все снегосборные бассейны являются лавиноопасными. В низко - горно-таежном поясе (1000 м и ниже), в связи с залесенностью склонов лавиноопасность отсутствует. Лавиноопасными являются склоны, уклоны которых составляют 0,5-0,6.

Объем перемещаемого лавинами снега достигает 100000 м³ и более. Лавины имеют большую скорость движения (до 60-80 м/сек) и обладают большой силой удара (до 15-20 т/м²) что приводит к деформациям горных склонов и образованию новых форм рельефа и рыхлых отложений. Снежно-грунтовая масса лавины формирует конусы выноса высотой до 10-15 м.

На исследуемой площади широко распространена линейная, и плоскостная эрозия.

Линейная эрозия представляет собой врезание водного или селевого потока вглубь (глубинная эрозия) и расширение или перемещение его в горизонтальном направлении (боковая эрозия). Процессы боковой эрозии происходят более интенсивно в паводковый период. Боковая эрозия на площади отмечается практически по всем водотокам при пересечении ими предгорных шлейфов, речных террас, сложенных рыхлыми отложениями. Глубинная (донная) эрозия выражается в значительном углублении существующих и образовании новых русел. Глубинная эрозия широко проявляется в высокогорной и среднегорной зонах района. Верховья рек здесь имеют V-образные поперечные профили долин со значительными перепадами высот, с висячими долинами боковых притоков.

Процессы плоскостного смыва наблюдаются практически повсеместно на поверхности предгорных шлейфов и речных террас. В средне- и высокогорной зоне плоскостной смыв происходит на склонах лишенных растительности.

Удоканский горный массив относится к районам со значительной селеопасностью. Сели здесь возникают внезапно, обладают большой скоростью движения и огромной разрушительной силой. Об этом свидетельствуют многочисленные промоины на склонах гор и селевые конусы выноса у их подножий. Особенно благоприятные условия для образования селей существуют в высокогорной части хребта Удокан, где отмечаются часто повторяющиеся, кратковременные, но мощные сели. К наиболее селеопасным относятся бассейны рек Наминга и Нижнего Ингамакита. Здесь очаги зарождения селей занимают до 30% площади горных склонов. К районам со слабой селеопасностью и к неселеопасным можно отнести все пологие склоны, днища широких долин и межгорной Нижнеингамакитской впадины. По условиям формирования, источникам питания и морфодинамическим особенностям селей на исследованной площади можно выделить два селеобразующих района: верхний высокогорный и низкий среднегорный.

Высокогорный район зарождения селей приурочен к водосборам, расположенным на высотах более 1400-1800 м. Основными источниками питания селей каменным материалом, здесь являются процессы физического выветривания и обвально-осыпные процессы.

Низкогорный район формирования селевых потоков расположен на высотах ниже 1400 м. Здесь громадные объемы ледниковых и речных отложений на днищах логов и долин способствуют возникновению русловых селей большой разрушительной силы.

Сели, образующиеся здесь отличаются наиболее мощным, стоком водо-каменных и грязе-каменных масс. Такие сели опасны для инженерных сооружений.

В долинах реки Наминга и ручья Ущелистый формировались и гляциальные сели водо-снежного состава с включениями глыб наледного льда и обломков горных пород. Мощность гляциально-селевых потоков достигала 1,5 м, а скорость 7 м/сек. Возникновение гляциальных селей было связано с прорывом лавинных снежников подпруженными водами. По историческим данным сели возникают в одних и тех же руслах хребта Удокан с периодичностью один раз в 5-10 лет.

Заболачивание широко распространено в западной части исследуемой площади. В основном на площади развиты низинные болота. Заболоченность долин имеет почти ровную поверхность, осложненную рядом мелких форм рельефа, связанных с мерзлотой – это бугры пучения, мелкие термокарстовые воронки. Болота Нижнеингамакитской впадины характеризуется большим количеством мелких озер. Верховые болота распространены на водоразделе рек Нирунгнакан и Сангиях, а также в высокогорном рельефе, на водоразделе рек Нирунгнакани Наминга. Они представлены мозаичным комплексом бугров пучения высотой до 1 м и редких мочагин. Водоупором всех болот района служат многолетнемерзлые грунты.

Бугры пучения сезонные и многолетние широко распространены на изучаемой площади. Они представлены пучинами, гидролакколитами и торфяными буграми. В среднем их размеры

по высоте изменяются в пределах 0,5-1,5 м, а в поперечнике 5-10 м. Они начинают формироваться с первыми заморозками, а к концу лета сильно разрушаются. Более мелкие бугры пучения разрушаются полностью. Бугры встречаются как поодиночке, так и группами из 3-4 бугров. Они приурочены к окраинам заболоченностей, к долинам небольших ручьев.

Криогенное растрескивание грунтов обусловлено температурными напряжениями, возникающими в многолетнемерзлых породах. Существующий температурный режим почв и грунтов на исследуемой площади способствует интенсивному развитию этого процесса повсеместно. Полигональный рельеф представляет собой обычно четырехугольник размером 10-15 м с слабовыпуклой поверхностью. Трещинами четырехугольник разбит на отдельные полигоны. Это клинья глубиной до 0,8-1,2 м и шириной до 0,5-0,8 м. Особенно часто участки растрескивания можно встретить на выровненных бесснежных поверхностях днищ долин.

Наледи имеют исключительно широкое распространение в районе Удоканского месторождения. Коэффициент наледности водотоков, с учётом только крупных ледяных массивов составляет в среднем 0,15, а в бассейне реки Нижний Ингамакит – 0,2-0,3. Если учитывать наледи без наледных полей, то наледность возрастёт до 0,6-0,8.

Размеры наледей изменяются в широких пределах. Их длина изменяется от 50-100 м до 2000-3000 м, а ширина – от 25-50 м до 500-600 м. В наледях аккумулируется большой объём льда.

Питание наледей происходит за счёт поверхностных и подземных вод, а в ряде случаев за счёт их смешения. В режиме наледей выделяется период наледообразования (зимний период) и таяния – разрушения наледного льда (летний период). По многолетним наблюдениям активное наледообразование начинается при установлении устойчивых отрицательных температур воздуха и протекает активно в ноябре-январе. В долинах мелких ручьёв и рек к концу января источники питания наледей иссякают и намораживание вод прекращается. На крупных водотоках (река Нижний Ингамакит) с глубокими несквозными и сквозными таликами наледообразование продолжается в течение всей зимы. Толщина льда сформированной наледи к концу зимы составляет от 3-4 м до 7-8 м. Разрушение наледей начинается в мае-июне. Небольшие наледи полностью разрушаются к началу-середине июля. Наледи средних размеров разрушаются к концу июля-началу августа. Нижнеингамакитская наледь, благодаря мощным блокам накопившегося льда сохраняется летом. Морфологически наледи разнообразны. Это потоки, покровы, бугры, валы, ледопады.

Курумы, как геологические процессы покрывают значительные площади в пределах среднегорного рельефа района. В высокогорном поясе они распространены на менее расчленённом рельефе с плавными формами водоразделов и склонов. В хребте Удокан курумы – обычное явление на склонах крутизной менее угла естественного откоса и на многих днищах ложбин временных водотоков. Здесь курумы занимают до 25-50% площади, а на плосковершинных междуречьях – нередко до 90% и более.

На Удокане, степень поражаемости курумами склонов и водоразделов и их размеры зависят от высотной поясности. Наиболее активно курумообразование проявлено в гольцовом поясе. Здесь курумы доминируют. Размеры курумов обычно превышают 1000 м². В подгольцовом поясе закурумленные участки имеют размеры 300-1000 м². Для горно-таежного пояса Удоканского хребта характерным является мелкопятнистый тип курумов. Размеры курумов этого типа в плане обычно менее 500 м². По морфологическим особенностям все курумы представлены каменными полями (морями) и каменными потоками (реками). Площади распространения курумовых полей составляют до нескольких квадратных километров. Курумы имеют двухслойное строение. Верхняя часть, мощностью от 0,5-1 м до 2-4 м сложена крупноглыбовым материалом размером до 1,5-2 м. Нижняя часть представлена слоем мелкообломочного щебнисто-дресвяного материала с примесью песка и супеси. При переувлажнении отложений, а так же во время промерзания – оттаивания по нижнему слою

может происходить смещение тела курума. Скорость их движения изменяется от 3,5 мм/год до 35 мм/год.

Процессы солифлюкции широко развиты в западной части исследуемой площади в пределах низкогорного и среднегорного рельефа. Солифлюкция охватывает значительные площади в междуречье рек Нижний Ингамакит и Сангиях, развиваясь на склонах крутизной 5 – 10° покрытых неоднородными по составу отложениями содержащими наряду с крупными обломками пород мелкую дресву и глинистый мелкозем. В западной части площади основными формами солифлюкционного рельефа являются солифлюкционные террасы разных размеров (до 100 м и более). Ширина солифлюкционных форм колеблется от 0,5 до 10 м, высота фронтальных уступов от 0,5 до 3,5 м. Солифлюкционные террасы и потоки обычно сложены супесчаными грунтами с прослоями дресвы, щебня и растительных остатков. Скорости солифлюкционного течения грунта составляет 8-12 мм/год. Режимные наблюдения показали, что процесс возникновения и разрушения солифлюкционных форм повторяется ежегодно, обуславливая постепенное, но непрерывное преобразование и отступление склона [4].

Термокарст на площади исследований развит крайне неравномерно. Этот процесс активно проявляется в Нижне-ингамакитской впадине, на площадях занятых ледниковыми отложениями. Умеренно термокарст развит в сравнительно широкой долине реки Нижний Ингамакит и слабо – на водоразделах и склонах. В Нижне-ингамакитской котловине активное развитие термокарста связано с вытаиванием повторно-жильных льдов [5]. Термокарст, развивающийся в моренных ледниковых отложениях, активно участвует в формировании осадочно-провальных форм рельефа: воронок, котловин и других термокарстовых образований [5].

Библиографический список:

- [1] Инженерная геология СССР. Т.3. Восточная Сибирь. М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1977, 657с.
- [2] Верховин И.И., Верховин П.И. Геологическая среда Удокана. Уральский научный вестник. №9. ISSN 1561-6908.
- [3] Хромовских В.С., Солоненко В.П., Чипизубов А.В. и др. К сейсмоструктурной характеристике Северного Прибайкалья – В кн.: Сейсмичность и глубинное строение Прибайкалья. Новосибирск: Наука, 1978, с. 101-107;
- [4] Пластинин Л.А. «Изучение и картографирование экзогенных геологических процессов рельефообразования Удоканского промузла дистанционными методами» Иркутск, 1985 г;
- [5] Некрасов И.А. Геоэкология Станового нагорья и Витимского плоскогорья, Якутск, 1964 г.

Оценка экологического ущерба при разработке рудных месторождений подземным и открытым способами как мера техногенного воздействия на окружающую среду

Верховин И.И., Шевченко Е.И.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail iverhozin@istu.edu, elena-shevchenko@bk.ru

Российская Федерация обладает весомым запасом полезных ископаемых, как по разнообразию самих ископаемых, так и по объемам их подтвержденных запасов. В последние

десятилетия добыча и переработка полезных ископаемых составляют одну из значительных частей государственного бюджета.

Большие объемы разработки месторождений полезных ископаемых почти всегда предполагают также и большие объемы образующихся техногенных отходов. Процесс добычи полезных ископаемых оказывает негативное воздействие на окружающую среду. При этом техногенному воздействию подвергается не только литосфера, но, также, гидросфера и атмосфера. Величину техногенного ущерба, нанесенного окружающей среде оценивают, используя понятие «экологический ущерб». Существует несколько методик общей оценки экологического ущерба. В данной работе, мы рассмотрим их применимость к оценке экологического ущерба при разработке месторождений полезных ископаемых (МПИ).

Для комплексной оценки нанесенного экологического ущерба необходимо всесторонне оценить возможные воздействия на окружающую среду, возникающие при разработке МПИ. Для этого воспользуемся классификацией, предложенной В.И. Папичевым [1]. Он подразделил возможные виды ущерба на 4 группы, по объективному классификационному признаку, отражающему характер производимого воздействия на недра:

I группа. Отделение (изъятие) вещества недр, ведущее к уменьшению его количества. На наш взгляд, сюда можно также включить отвод земель под разработку месторождения, вызывающую сокращение земель лесного или сельскохозяйственного фонда.

II группа. Преобразование или нарушение геологической среды. Оно проявляется в виде: проходки подземных и открытых горных выработок и других инженерных сооружений; перераспределении полей напряжений в породном массиве в зоне ведения горных работ; нарушении циркулирующих в недрах водных, газовых, флюидных, энергетических и иных потоков; изменении горно-геологических и структурных характеристик и свойств геологической среды, вмещающей минеральные образования; изменении ландшафта территории, занятой под геологическими и горными отводами. В эту группу следует отнести и потерю территории, как невозобновляемого природного ресурса.

III группа. Загрязнение геологической среды (геомеханическое, гидрогеологическое, геохимическое, радиационное, геотермическое, геобактериологическое). К этой группе можно отнести воздействие на гидрологию и геоботанику.

IV группа. Комплексное (синэнергетическое) воздействие на недра, проявляющееся при различном сочетании воздействий трех вышеприведенных групп.

Количественная, да и качественная оценка столь масштабного и всеобъемлющего техногенного воздействия – весьма нетривиальная, а порой и неразрешимая задача. К сожалению, до настоящего времени, не существует единой методики для всесторонней оценки экологического ущерба, наносимого природной окружающей среде при разработке месторождений полезных ископаемых.

В практике техносферной безопасности, для комплексной оценки нанесенного природе ущерба, используется «Методика определения предотвращенного экологического ущерба» [2]. Она предназначена для получения укрупненной эколого-экономической оценки ущерба природной среде. Согласно методике ущерб предотвращается в результате осуществления государственного экологического контроля, реализации экологических программ и природоохранных мероприятий, а также других мероприятий и видов деятельности территориальных органов системы Госкомэкологии РФ (ныне Министерство природных ресурсов и экологии). Методика позволяет, за счет своей комплексности рассчитывать экологический техногенный ущерб в целом и по отдельным областям воздействия (биоресурсы, водные ресурсы, загрязнение земель и атмосферного воздуха).

Другой, настолько же полной методики, в современном российском законодательстве нет. Однако следует отметить, что в этой методике не учитывается вред, наносимый подземным водам, ущерб, связанный с изъятием минеральных ресурсов, что приводит к снижению запасов

полезных ископаемых, а также нарушение ландшафтов и полезных площадей вследствие инженерной деятельности человека.

Применяя в оценке величины техногенного ущерба эту методику, мы исходим из презумпции потенциальной экологической опасности любой намечаемой хозяйственной и иной деятельности, согласно ФЗ N 174 «Об экологической экспертизе» [3]. Это означает, что понятие экологический ущерб следует распространить и на нормативные сбросы, выбросы, а так же лимиты на размещение отходов.

Оценивая техногенный ущерб от разработки месторождений полезных ископаемых, нельзя не отметить, что отличительной особенностью водного баланса горной промышленности является превышение забора и сброса воды по сравнению с производственно-необходимым потреблением, более чем в 3 раза для открытой, и - в 7 раз для подземной отработки. При этом сточные воды сильно минерализованы из-за высокой их кислотности, реже - щелочности. Загрязнение поверхностных вод в зоне естественной эрозии рудных выходов, не сопоставимо по интенсивности и объему с карьерными или шахтными водами.

Закисные соединения железа обедняют воды кислородом, что приводит к гибели водной флоры, загрязнению вод продуктами распада органики, усиливается бактериальная загрязненность.

Кроме загрязнения происходит нарушение режима гидросферы - смешение вод различных водоносных горизонтов при отработке месторождений и бурении скважин. В свою очередь, воды рудников загрязняют (при фильтрации через почвы и грунты) значительный объем земель, донные отложения и, в конечном счете, местную флору.

Кислые техногенные воды активизируют развитие карстовых процессов. Они вызывают изменение режима фильтрации подземных вод, активизируют образование пьезунов и суффозионных процессов, вызывая вымывание более легких мелких и растворимых компонентов грунтов с нарушением их структуры. Таким образом, возникает опасность масштабных изменений геологической среды в пределах площадей, еще не затронутых прямым техногенным воздействием.

Осушение или подтопление значительных площадей при ведении горных работ, приводит и негодность сельскохозяйственные земли. Так процессы подтопления территорий могут возникать вокруг отвалов пустых пород, из-за уплотнения их оснований и ухудшения фильтрационных свойств грунтов. При ведении добычных работ нередко нарушается и речной сток тех или иных территорий, усложняя вопросы обеспечения водой местного населения. Особенно серьезной эта проблема становится в связи с ростом открытой добычи, которая составляет сейчас около 75% всего объема разработок, являясь более простой и экономически выгодной, если не учитывать уровень экологического ущерба [4].

Ухудшение экологической обстановки в районах добычи и переработки полезных ископаемых часто связано с повышенными концентрациями металлов в почве и воде. Накопление металлов является следствием геохимических процессов, которые в природе приводят к формированию рудных месторождений.

Особенно сильное влияние на состояние окружающей природной среды оказывают процессы преобразования и миграции химических элементов, слагающих минералы рудных месторождений, связанные с их изменениями в зоне гипергенеза. Самыми существенными в этом отношении являются процессы окисления и растворения сульфидов, приводящие к возникновению хорошо растворимых в воде сульфатов. Общую схему преобразования сульфидов в этой зоне можно проиллюстрировать на примере пирита (FeS_2) - наиболее широко распространенного рудного минерала: $2\text{FeS}_2 + 7\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{FeSO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$.

Сульфат железа (FeSO_4) – неустойчивое соединение, а образующаяся серная кислота (H_2SO_4) усиливает кислотные свойства подземных вод и интенсифицирует процессы окисления.

Высвобождение элементов, в том числе и токсичных, при окислении сульфидов и их миграция в подземные воды, может приводить к широкому рассеиванию компонентов с последующим концентрированием их в различных объектах окружающей среды. При этом фиксированный разнос отдельных компонентов в водах изменяется от сотен метров до нескольких километров.

Значительное влияние на переход элементов из рудных тел в растворы оказывают микроорганизмы. Под действием бактерий, в раствор переходят соединений металлов в несколько тысяч раз больше, чем при простом окислении. Многие выносимые в процессе окисления элементы накапливаются в донных илах, особенно при наличии в них гидроокислов железа, марганца и органического вещества. Наблюдается также и увеличение содержания рудных элементов в почвах и растениях. Растения можно сравнить с мощными насосами, перекачивающими минерализованные растворы на дневную поверхность. Отмирание зеленой массы растений приводит к повторному, и часто более сильному, загрязнению тяжелыми металлами поверхностного слоя почв, а ее сжигание - к загрязнению атмосферы.

В областях влияния зон окисления сульфидных месторождений отмечено угнетающее, а иногда и губительное воздействие высвобождающихся из рудных минералов токсичных элементов на растительные сообщества: появление белых омертвевших пятен на листьях растений, задержку в росте и гибель.

Развитие гидрогеохимических и биогеохимических ореолов рассеяния рудных компонентов значительно расширяет области влияния месторождений на окружающую среду, а высокая миграционная способность многих токсичных элементов руд сказывается на ухудшении общей экологической обстановки в районах их расположения.

При подземной разработке месторождений на поверхность земли поступает относительно мало раздробленной породы и руды. Однако и этого количества извлекаемого материала достаточно, чтобы нарушить естественное состояние окружающей среды в районе действующих горнорудных предприятий. Породы, вмещающие рудные тела, всегда в той или иной мере обогащены металлами. Они остаются на поверхности в виде отвалов, которые являются источником загрязнения территорий токсичными элементами образующимися в результате их окисления и выщелачивания.

Объектами исследования в данной работе являются рудные Новофирсовское и Коневинское месторождения, которые планируется отрабатывать открытым и подземными способами, и на которых помимо добычи планируется обогатительные работы.

Новофирсовское рудное поле находится на территории Алтайского края, которая входит в состав Предалтайской возвышенной равнины. Структурно оно приурочено к одноименной синклинали, сложенной осадочными породами нижнедевонского возраста представленными полимиктовыми песчаниками, аргилитами, алевролитами, а в ее замке залегают вулканогенно-осадочные породы и вулканиты одноименного комплекса среднего девона.

Коневинское месторождение расположено в Восточном Саяне в республике Бурятия в пределах Сайлагского гранодиоритового массива на пересечении разрывных нарушений северо-западного простирания с широтным дайковым поясом вулканогенно-тектонической структуры. В геологическом строении месторождения принимают участие гранодиориты и лейкократовые граниты нижнего палеозоя, дайки основного и среднего состава вулканогенного комплекса девона.

Экологические нарушения, вызванные деятельностью горнорудных предприятий, обусловлены как составом перерабатываемых руд и горных пород, так и предполагаемой технологией их добычи, обогащения и извлечения. Учитывая, что во всех случаях технологические схемы предусматривают извлечение и дробление больших масс пород, а также мероприятия по обеспечению обогащения и извлечения основного рудного компонента, экологические проблемы будут носить комплексный характер. Он связан с образованием

техногенных миграционных потоков в основных цепях распространения загрязняющих веществ: воздушной (дробление, обогащение, дефляция отходов) и водной (водоотлив, сток с водохранилищ, технологические стоки при обогащении и извлечении). Кроме того, рассеяние рудного материала, загрязняющее почвы, будет происходить при его транспортировке от участка добычи к месту переработки.

Несмотря на различные схемы отработки месторождений общим для них явится способ извлечения полезного ископаемого – кучное выщелачивание. Данный метод обеспечивает наиболее полное извлечение ценного сырья из руды, однако он требует применения ядовитых и сильнодействующих веществ – цианидов.

По результатам инженерно-экологических исследований по оценке фоновое загрязнение по лицензионной площади Новофирсовского месторождения можно сделать следующие выводы:

1. Фоновые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе не превышают значений ПДК и находятся в пределах 0,03 – 0,40 ПДК.

2. Обследованные почвы характеризуются повышенными относительно кларка и ПДК фоновыми содержаниями свинца, меди и цинка. Природное загрязнение почв свинцом установлено в 63 %, медью – в 85 %, цинком – в 86 % отобранных проб.

3. Особенности химического состава горных пород, масштабные рудообразующие процессы и специфичные ландшафтные условия предопределили геохимический облик поверхностных и подземных вод района.

4. В ряде случаев общая минерализация, а также количество присутствующих в поверхностных и подземных водах ртути, марганца, железа и сульфат-иона превышают ПДКв и ПДКвр.

5. В золе всех биогеохимических проб установлены аномальные содержания свинца, меди, цинка, ртути, кадмия и мышьяка, причем экологически токсичные и гигиенически опасные металлы мышьяк, кадмий, свинец и ртуть обнаружены в концентрациях, превышающих кларковые в десятки, сотни и тысячи раз.

6. Обследованный район без преувеличения может быть отнесен к территориям со сложной экологической ситуацией. При наличии природных геохимических аномалий, обусловивших превышение ПДК ряда химических элементов в почвах, растительности и питьевых подземных водах, вовлечение его в горнорудную деятельность требует разработки специальных мероприятий для предупреждения ухудшения и без того сложной экологической обстановки.

Материалы инженерно-экологических исследований проведенные в районе Коневинского месторождения показывают, что:

1. Фоновые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе не превышают значений ПДК и находятся в пределах 0,04–0,40 ПДК

2. Содержания большинства макроэлементов в почвах, грунтах и коренных породах превышают кларковые значения ($KK = 1,76–5,84$). На уровне кларковых значений находятся Si, Al и Fe. Средние содержания всех проанализированных микроэлементов в почвах, грунтах и коренных породах исследуемой территории намного ниже кларковых значений.

Почва в верхней и нижней частях профиля имеет слабощелочные показатели pH. Содержания нитратов, сульфатов, хлоридов в почвах рассматриваемого участка не превышают ПДК.

4. По химическому составу вода исследуемых водных объектов гидрокарбонатная кальциевая с минерализацией 0,064 – 0,123 г/л, мягкая. По результатам определения pH вода имеет слабощелочную реакцию. По микроэлементам зафиксировано превышение только по

меди (до 2,5 ПДКВР), цинку (до 2,3 ПДКВР) и молибдену (1,5 ПДКВР), по остальным компонентам содержания значительно ниже ПДКВР и ПДКВ. В поверхностных водах отмечается повышенное содержание фенолов (2,2 ПДКВР). Содержание нефтепродуктов достигает 1,96 мг/л, что превышает ПДКВР в 39 раз.

5. Обследованный район может быть отнесен к территориям со стабильной экологической ситуацией, однако вовлечение его в горнорудную деятельность требует разработки специальных мероприятий для предотвращения техногенного ущерба.

Ущерб, наносимый деятельностью проектируемых добывающих предприятий, рассчитан только по проектным результатам их работы за один год.

Рассчитанный по приведенной выше методике [2], с допущением о потенциальной опасности любой хозяйственной деятельности, даже укладывающейся в рамки нормативно-допустимых выбросов и сбросов, а также лимитов на размещение отходов, техногенный ущерб составит для Новофирсовского ГОКа – 230 876 036,54 рублей, а для Коневинского ГОКа – 122 548 623,35 рублей.

Следует особо отметить, что эти суммы весьма приблизительно могут характеризовать реальную величину техногенного ущерба от деятельности рассмотренных предприятий, т.к. они не учитывают ущерб, причиненный подземным водам и, следовательно, поверхностным источникам, которые они питают.

В заключение хотелось бы отметить, что в использованной нами методике оценки экологического ущерба, как и во всех других официальных методиках подсчета, понятие экологический техногенный ущерб подменяется или отождествляется понятием экологических платежей. Однако платежи предприятия платят на всех этапах своего жизненного цикла, а экологический ущерб, нанесенный окружающей среде жидкими отходами и сбросами предприятий, может проявляться еще долгое время после ликвидации предприятий. Величину этого ущерба можно было бы оценить, лишь оценив стоимость ликвидации последствий хозяйственной деятельности предприятий.

Для подобной оценки необходима новая методика, подходы к разработке которой могут быть заданы на основании нормативного документа [5]. К сожалению, дальше создания общих положений, разработка столь необходимой методики, за прошедшие годы, так и не продвинулась.

Экологическая нагрузка, оказываемая добывающими предприятиями на окружающую среду, в ближайшие годы будет только возрастать, поскольку в разработку вовлекаются месторождения содержащие бедные руды, расположенные в удаленных и труднодоступных районах. Это вызовет значительное пространственное распространение техносферы.

Библиографический список

- [1] Методология комплексной оценки техногенного воздействия горного производства на окружающую среду, Папичев В.И. (автореферат докторской диссертации), М. Изд. ИПКОН РАН, 2004 г.
- [2] Методика определения предотвращенного экологического ущерба.
- [3] Федеральный закон об экологической экспертизе N 174-ФЗ.
- [4] Эколого-экономическая оценка месторождений (твердые полезные ископаемые), Учебное пособие, В.А. Домаренко Под ред. профессора. Рихванова, Томск: Изд-во Томского Политехнического Университета 2007 г.
- [5] ГОСТ Р 54003-2010. Экологический менеджмент. Оценка прошлого накопленного в местах дислокации организаций экологического ущерба. Общие положения.

Вторичные изменения в карбонатных породах Олхино-Иркутного междуречья

Егорова Н.Е., Колесников С.Д.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mailegorova_ne @istu.ex.istu.edu

Аннотация. Рассмотрены основные разновидности карбонатных пород и вторичные изменения, встречающиеся в осадочных образованиях на территории Олхино-Иркутного междуречья.

Введение

Осадочные горные породы испытывают различные преобразования под влиянием постседиментационных процессов (в первую очередь гипергенеза и катагенеза). Процессы гипергенеза в значительной степени определяются климатическими условиями, а катагенеза – тектоническим режимом территории.

Материалы и методы

В работе применены результаты геологических наблюдений во время полевой практики, методы крупномасштабного картирования и макропетрографическое изучение пород.

Результаты исследования образцов осадочных пород

Район геологической практики расположен в пределах Олхино-Иркутного междуречья в 35 км от г. Иркутска.

В орографическом отношении район представляет собой переходную зону от Восточно - Сибирской возвышенности к нагорьям Восточного Саяна[2].

Карбонатные породы, развитые в пределах Олхино-Иркутного междуречья представлены отложениями усольской и бельской свит нижнекембрийского возраста.

Отложения свит нижнего кембрия наглядно представлены в известково-доломитовом карьере и протягиваются по левому берегу р. Олха в юго-восточном направлении (Рисунок 1).

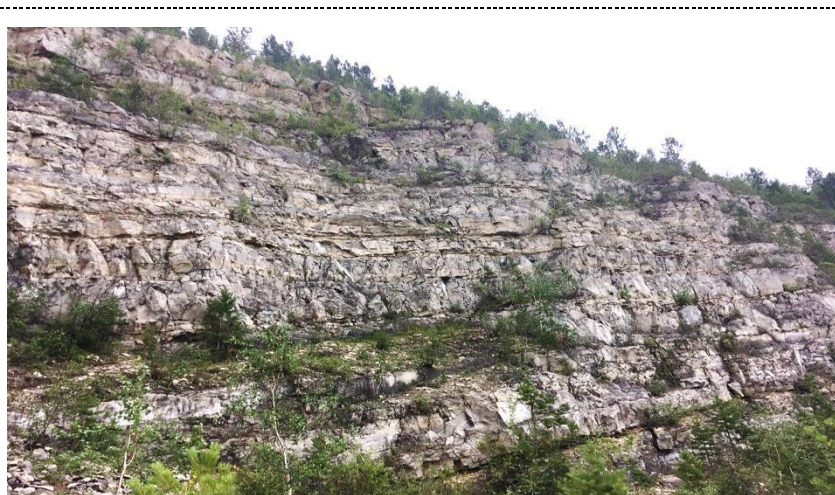


Рисунок 1. Карьер Олха.

Усольская свита ($C_1 us$) сложена доломитами, карбонатными брекчиями с прослоями известняков и мергелей серого, коричнево- и тёмно-серого цвета (Рисунок 2). Доломиты это

породы, сложенные более чем на 50% минералом доломитом. В качестве примеси в породе присутствуют кальцит, халцедон, кварц, органическое вещество, ангидрит, глинистые минералы.



Рисунок 2. Доломит.

Для пород свиты характерно преобладание доломитов над известняками, присутствие терригенного материала в карбонатных породах и большое количество карбонатных брекчий в нижней части разреза свиты (Рисунок 3).



Рисунок 3. Карбонатная брекчия

Бельская свита (C_{1bs}) распространена незначительно в бассейне р. Олха и верховьях р. Ушаковка. Свита сложена доломитами, известняками с прослоями карбонатных брекчий, мергелей и аргиллитов. Окраска пород серая, коричнево- и темно-серая

Для пород бельской свиты характерно обилие известняков (Рисунок 4), с незначительной примесью терригенного материала, широкое развитие водорослевых построек, приуроченных к средней части разреза свиты и интенсивное окремнение практически повсеместно развиты желваковые, конкреционные и послойные кремнистые стяжения эллипсоидальной и линзовидной формы, ориентированные, в основном, по наложению[1]. Известняки на 50% и более сложены минералом кальцитом, белые, светло-серые, массивные, пелитоморфные.



Рисунок 4. Известняк.

Обсуждение результатов

Отложения карбонатного кембрия фациально неустойчивы. В изучаемых породах широко развиты процессы кальцитизации, доломитизации, окремнения и др.

Кальцитизация. Она выражается в обогащении пород кальцитом при замещении их изначальных составляющих, а так же заполнение пустот, трещин и каверн.

Поскольку карбонатные минералы относятся к числу сравнительно легко растворимых соединений, особенно в присутствии в воде углекислоты, поэтому в катагенезе и гипергенезе происходит процесс выщелачивания, которое включает растворение вещества и удаление образовавшихся растворенных продуктов. Достаточно крупные кристаллы кальцита образуются в катагенезе из пластовых вод в порах, кавернах, трещинах либо сокращая их объем, либо изолируя их друг от друга, либо полностью выполняя эти пустоты (Рисунок 5) и (Рисунок 6).



Рисунок 5. Крупные кристаллы кальцита



Рисунок 6. Крупные кристаллы кальцита в пустотах и трещинах

Окремнение. Выражается в обогащении горных пород различными модификациями кремнезема - кварцем, халцедоном, опалом. Обогащение пород кремнеземом при гипергенезе

связанно с выносом легкомигрирующих компонентов. В этом случае образуются песчаники на кремнистом цементе, окремнелые известняки и доломиты (Рисунок 7.).



Рисунок 7. Доломит окремнелый

Карбонатно-кремнистые породы в пределах Олхино-Иркутного междуречья представлены в виде оолитовых и онколитовых известняков серых, сложенные выделениями округлой и овально-вытянутой формы (Рисунок 8.).

Промежутки между оолитами и онколитами выполнены тонкозернистым агрегатом зёрен халцедона, кальцита.



Рисунок 8. Оолитовый известняк

Заключение

В результате процессов замещения, кальцитизации, доломитизации и других процессов образуются новые породы (рис. 5-8), в них частично сохраняются первичные структуры, а в случае полной переработки исходной породы происходит развитие новых структур и текстур. Многообразие подобных процессов наблюдается на изученной территории.

Библиографический список

- [1] Государственная геологическая карта Российской Федерации N-48-XXXIII (Иркутск). Издание второе. Ангарская серия. Объяснительная записка. Составили В.Г. Рыбаков И.И. Хоботова Москва (Санкт-Петербург) 1999 г. – 206 с.
- [2] Карпышев В.С., Лузин В.Ф. Учебная геологическая практика геологов-нефтяников в Восточной Сибири. Иркутск Изд-во: ИГУ, 1985 г. – 184 с.

Повышение эффективности функционирования логистическо-перевозочных операций в границах лицензионных участков добычи нефти на примере ВЧНГ

Зедгенизов А.В., Лагереv Р.Ю., Налетов И.Н.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail ivan.nalllyotov@gmail.com

Аннотация. Рассмотрены основные принципы функционирования автомобильно-дорожного комплекса лицензионного участка ВЧНГ. Представлены основные технологические операции, направленные на полное и своевременное удовлетворение потребностей в перевозках пассажиров и грузов в пределах лицензионного участка ВЧНГ. Обоснована необходимость повышения эффективности функционирования логистическо-перевозочных операций, основанное на замене подвижного состава, совершенствования автомобильных дорог и переходе на автоматизированные системы управлением транспортными средствами в границах лицензионных участков.

1. Введение

Нефтяная промышленность в России является одной из передовых отраслей российской промышленности не только по добычи, но и по их переработке, обогащению и транспортировке в т. ч. и на экспорт. Более того, многие годы нефтегазовая отрасль страны является одной из основных благодаря которой бюджет страны пополнялся более чем на одну четверть, а в отдельные периоды и более чем на одну треть. В последние десятилетия достаточно быстрыми темпами идет освоение нефтяного бассейна Восточной Сибири (ВЧНГ, Яракта и др.). Освоение таких месторождений требует особой инфраструктуры, позволяющей выполнять требуемые технологические операции без снижения производительности добычи углеводородов.

Наиболее востребованной инфраструктурой, практически с первых дней освоения месторождения, является дорожная сеть, позволяющая осуществлять логистическо-снабженческие функции, доставку технического персонала, связывать разрозненные в плане лицензионного участка скважины и т.п. Реализация этих задач возлагается на специализированные дорожные-строительные организации, выполняющие проектирование дорог в соответствии генеральным планом разработки лицензионного участка. Уже на этапе проектирования дорог закладываются наиболее важные параметры эксплуатации: средняя скорость движения транспортного потока, средняя допустимая скорость по дорожным условиям, безопасность дорожного движения с учетом элементов трассы и дорожной одежды.

2. Материалы и методы

В исследовании применены материалы геоинформационных систем, фотосъемка автора, статистический анализ и методы планирования экспериментов. Особое место в проведении данного исследования принадлежит методу экспертных оценок, который позволяет в предварительной стадии оценить целесообразность внедрения предлагаемых мероприятий.

3. Результаты исследования и их анализ

Эксплуатируемый парк подвижного состава, как правило, содержит автомобили повышенной проходимости (рис. 1), причем такой подход продиктован усреднением стандартов нефтедобывающей организации, ориентирующейся на сложные условия эксплуатации, приходящихся на первоначальный этап разработки месторождения. Во многом, эксплуатация такого парка приводит к неоправданному расходу топлива, чрезмерному износу эластичных шин и узлов трансмиссии. Учитывая дорожные и погодные условия движения на многих месторождениях, имеющих развитую дорожную инфраструктуру, по нашему мнению, следует применять транспортные средства более экономичные, комфортабельные и быстроходные. Предлагаемая замена подвижного состава позволит существенно сократить затраты на техническую эксплуатацию такого парка транспортных средств.



Рисунок 1. Пример транспортных средств, применяемых на месторождении ВЧНГ.

Другая проблема, организации сообщения в рамках лицензионного участка связана с безопасностью движения, которая, в свою очередь, кроме факторов, связанных с человеком приходится на проектирование дорожной сети (рис. 2).

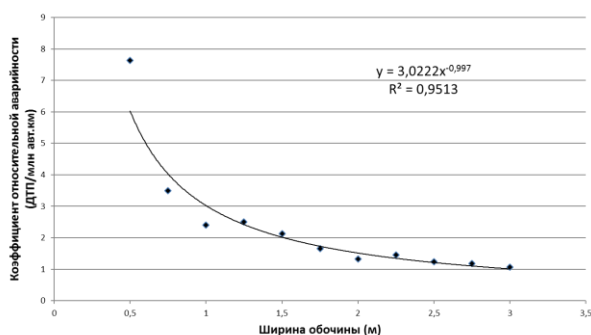


Рисунок 2. Пример дороги на месторождении ВЧНГ.

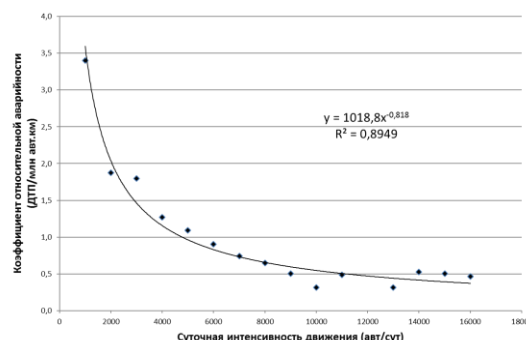
Ключевыми факторами при проектировании дорог, влияющими на безопасность движения являются:

- ширина проезжей части;
- ширина обочины;
- радиусы кривых в плане и продольном профиле, которые во многих случаях определяют расстояние видимости;
- интенсивность транспортного потока;
- плотность пересечений в одном уровне.

В России и мире существует достаточное количество работ, посвященных безопасности дорожного движения, связанной с дорожными условиями. Наиболее известные труды в этой области принадлежат профессору Бабкову [1], Чванову В.В.[2], Сильянову В.В.[3] и другим ученым. Наряду с перечисленными факторами, наиболее значимым для рассматриваемых условий является ширина обочины, а точнее её отсутствие. При отсутствии обочины, особенно в местах с ограниченной видимостью возникает высокая вероятность опрокидывания транспортного средства, особенно в зимний период времени. Некоторые примеры влияния перечисленных факторов на коэффициент относительной аварийности представлены на рисунке 3. Следует отметить что, при прочих равных условиях относительная аварийность на дорогах, обслуживающих лицензионный участок, по мнению авторов, будет ниже чем на дорогах той же технической категории вне лицензионного участка. Это объясняется высоким уровнем дисциплины, отсутствием возможности употребления спиртных напитков, высокой мативированностью водителей.



а)



б)

Рисунок 3. Зависимость коэффициента относительной аварийности от а) ширины обочины б) интенсивности движения.

Современное постиндустриальное общество стремится к переходу на автоматизированные системы управления производственными процессами. Справедливости ради, следует отметить, что автоматизация подразумевает меньшее участие человека и, следовательно, устранение его как ненужного звена от принятия решений в этой системе. В результате возрастает безработица, снижается социальная эффективность от внедрения подобного рода мероприятий. В связи с этим, просматривается другая ветвь деятельности, направленная на повышение эффективности функционирования логистическо-перевозочных операций – внедрение интеллектуальных транспортных систем с перспективой автоматизированного контроля не только скорости движения по дорожным и погодным условиям, но и с полным переходом к беспилотным транспортным средствам. В рамках лицензионного участка для этого имеется ряд преимуществ:

- низкая интенсивность движения;
- строгая сеть дорог, имеющих примерно одинаковые технические характеристики (рис. 4);
- высокая окупаемость;
- низкая вероятность появления транспортных средств под управлением человека.



Рисунок 4. План сети автодорог лицензионного участка ВЧНГ.

Кроме этого, следует понимать значительный экономический эффект в виду снижения затрат на фонд оплаты труда водителей и всех сопутствующих затрат.

4. Обсуждение

Поясним, что в современных условиях нефтегазового дела, учитывая общемировые тенденции совершенствования технологии добычи и переработки необходимо обращать самое пристальное внимание на совершенствование сопутствующих технологий, поскольку именно от слаженности и высокой устойчивости работы всех подсистем возможна устойчивая работа базовой системы.

5. Заключение

Рассмотренные пути повышения эффективности функционирования логистическо-перевозочных операций должны рассматриваться с позиций повышения рентабельности я нефтедобывающих компаний, снижения числа дорожно-транспортных происшествий на предприятии, сокращение временных затрат на передвижения между технологическими участками и, в целом, повышать надежность функционирования системы нефтегазодобычи. Предложенные пути повышения эффективности могут быть предложены другим нефтедобывающим компаниям, имеющим схожее технологическое устройство лицензионных участков. Дальнейшие разработки в данном направлении следует дополнить расчетами, основывающимися на данных службы эксплуатации ВЧНГ.

Библиографический список

- [1] Бабков В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения: Учебник для вузов. – М. : Транспорт, 1993. – 271 с.
- [2] Чванов В.В. Исследование влияния параметров поперечного профиля автомобильных дорог на безопасность движения. «Дороги и мосты». – Сборник ст./ФГУП РосдорНИИ. – М. : 2006, вып. №15/2, с. 238-251.
- [3] Элвик Рунэ, Боргер Мюссен Аннэ, Ваа Труле. Справочник по безопасности дорожного движения: Перевод с Норвеж./ Под редакцией проф. В.В. Сильянова. – М.: МАДИ (ГТУ), 2001. – 754 с.
- [4] А.В. Колесников, Н.А. Буглов, А.К. Шмаков, Э.В. Шакирова. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых скважин: учебное пособие. – Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2016. – 80 с.

О потенциальной рудоносности гранитоидов Чуйского антиклинория (Байкальская горно-складчатая область)

Кочнев А.П., Шульга В.В., Филиппова В.А.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail shulga@istu.edu

Аннотация. В статье приведены результаты изучения потенциальной рудоносности гранитоидов Чуйского антиклинория БГСО на основе петрохимических пересчетов. Показано, что раннепротерозойские гранитоиды куандинского и чуйско-кодарского комплексов, слагающие ядерную часть антиклинория, в минерагеническом плане слабо изучены и по материалам ГСР относятся к безрудным образованиям, хотя на геологических картах отмечены проявления разных полезных ископаемых, а на смежных территориях расположены Бодайбинская золотоносная и Мамская мусковитоносная провинции. По имеющимся в фондовых и опубликованных источниках химическим анализам гранитоидов определены петрохимические модули рудоносности по известным методикам З.Г. Караевой и Б.Н. Пермькова и их позиция на исходных диаграммах. На диаграмме З.Г. Караевой большая часть проб попадает в поле измененных лейкократовых гранитов, материнских для месторождений молибдена,

вольфрама и олова силикатной и полиметаллической формаций, а также слюдоносных и частично редкометалльных пегматитов. По систематике Б.Н. Пермякова благоприятное сочетание петрохимических модулей наблюдается в большинстве проб, которые попадают в поля разных типов рудоносных гранитоидов с олово-вольфрам-молибден-редкометалльной минерализацией. Сделан вывод о необходимости дополнительного исследования этих гранитоидов для оценки геологической позиции потенциально-рудоносных фаций и их доли в составе изученных комплексов.

1. Введение

На территории Байкальской горно-складчатой области (БГСО) широко распространены магматогенные образования разного состава и возраста [1,2,3]. Особенно большие площади заняты разновозрастными гранитоидами, приуроченными к ядерным частям антиклинорных структур – Чуйской, Тонодской, Конкудеро-Мамаканской и Нечерской.

Геологическая позиция и петрография этих комплексов достаточно детально освещены в многочисленных публикациях [1,2,3]. Однако вопросы о минерагенической специализации магматитов разных комплексов до сих пор остаются дискуссионными и слабо изученными. В частности это касается и гранитоидов Чуйского антиклинория, который совместно с Тонодским и Нечерским антиклинорными структурами формируют внешний пояс раннепротерозойских образований [2]. Если минерагеническая специализация гранитоидов Конкудеро-Мамаканского антиклинория определена достаточно однозначно – они считаются материнскими для золоторудных месторождений Бодайбинской провинции, то минералогия гранитоидов Чуйского антиклинория практически не изучена – они априорно считаются безрудными, хотя по материалам ГСР-200 имеются находки проявлений олова, урана и золота как на юго-восточных, так и на северо-западных (притоки Мал. Чуи, Чаи и др.) склонах Чуйского хребта [1,2,3], а на смежных территориях находятся Бодайбинская золотоносная и Мамская мусковитоносная провинции.

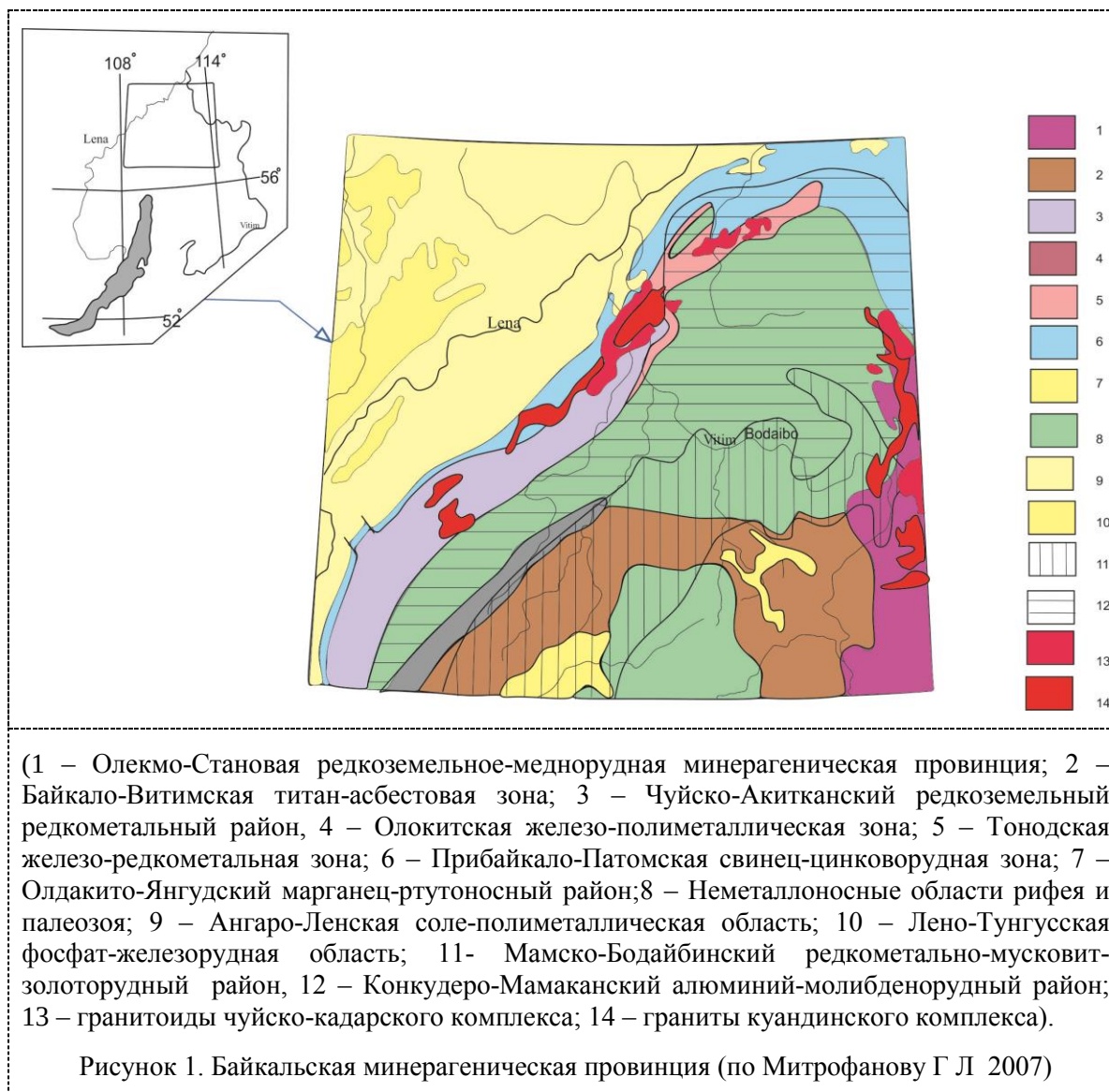
2. Материалы и методы

Более обоснованно оценка потенциальной рудоносности гранитоидов Чуйского антиклинория БГСО может быть дана по петрохимическим критериям на основе разработанных к настоящему времени специальных методик.

По имеющимся в опубликованных источниках химическим анализам гранитоидов составлена база данных [БД], определены петрохимические модули рудоносности по методам З.Г. Караевой [4] и Б.Н. Пермякова [5] и проанализирована их позиция на эталонных диаграммах.

3. Результаты исследования и их анализ

Чуйское поле гранитоидов по традиционной схеме магматизма Л.И. Салопы [2] в основном представлено выходами гранито-гнейсов куандинского и гранитов чуйско-кодарского комплексов раннепротерозойского возраста (рисунок 1), которая принадлежит к Чуйско-Ачитканскому редкоземельному редкометалльному району.



Куандинские граниты и гранито-гнейсы развиты в основном в пределах внешней Чуйской зоны байкалаид и слагают различной величины тела, вытянутые согласно с тектонической структурой метаморфических толщ нижнего протерозоя. В бассейнах рек Большой Чуй и Чаи (Рисунок1) они имеют СВ ориентировку, а в Кодаро-Удоканской зоне в бассейнах рек Куанды, Чары и Калара – СЗ ориентировку, далее на восток аналогичные магматиты выделены Д.С. Коржинским под названием древнестановых гранитов в области Становика – Джугджура [2]. Граниты, как правило, обладают отчетливой гнейсовой текстурой, направление которой во многих случаях совпадает со слоистостью во вмещающих породах и повторяет в общих чертах ее тектонический узор. Внутри массивов гранитов находятся ксенолиты и скиалиты субстрата то с расплывчатыми, то, напротив, с резкими контурами.

Гранитоиды чуйско-кадарского комплекса залегают среди поля куандинских гранито-гнейсов в центральной ядерной части антиклинория в виде батолитоподобных крупных массивов (Чуйско-Витимский, Хайвергинский, Южно-Кевактинский и др.), имеющих несколько удлиненную форму и вытянутых, как правило, в соответствии с простираем складчатой структуры. В северо-восточном направлении эти граниты значительно перекрыты верхнепротерозойскими отложениями.

В публикациях по геологии БГСО приведены многочисленные силикатные анализы пород

разных комплексов, в том числе гранитоидов Чуйского антиклинория, положенные в основу созданной нами базы петрохимических данных гранитоидов [6]. В базе данных учтено 26 анализов куандинского и 18 анализов чуйско-кодарского комплекса, пересчет которых и позволяет дать предварительную оценку потенциальной рудоносности этих комплексов.

Известно несколько методических разработок по оценке потенциальной рудоносности гранитоидов. Наиболее обоснованными нам представляются методики З.Г. Караевой [4] и Б.Н. Пермякова [5].

Методика З.Г. Караевой [4] разработана для оценки рудоносности редкометальных гранитоидов, измененных процессами натриевого метасоматизма, на основе обработки 1200 химических анализов В. Саяна. Она учитывает соотношения щелочных и щелочноземельных элементов и предусматривает построение бинарной диаграммы в координатах $A=Na+K-Ca$ (ось абсцисс), $B=(Na-Ca)/K$ (ось ординат), вычисленных в атомных количествах. На типовой диаграмме (рис. 2) эмпирическим путем выделяются 10 полей гранитоидов с разным типом минерализации в зависимости от соотношения этих модулей:

1. Неизмененные гранодиориты – $A=100-130$, $B=0,65-0,8$.
2. Неизмененные монзониты и адамеллиты – $A=130-165$, $B=0,35-0,7$.
3. Неизмененные граниты $A=165-190$, $B=0,65-0,8$,
4. Неизмененные аляскиты – $A=200-220$, $B=0,7-0,9$.
5. Измененные граносиениты (с касситерит-сульфидной, молибденовой, вольфрамовой и полиметаллической, минерализацией) – $A>200$, $B=0,1-1,0$.
6. Измененные биотитовые и лейкократовые граниты (материнские для месторождений W, Mo, Be, Sn силикатной и полиметаллической формаций, слюдоносных и частично редкометальных пегматитов) – $A=100-160$, $B>0,85$.
7. Измененные граниты-аляскиты (материнские для месторождений силикатной и кварцевой формаций, редкометальных и хрусталеносных пегматитов) – $A=200-220$, $B>0,95$.
8. Граниты, материнские для месторождений W, Mo, Be - $A=100-160$, $B>0,85$.
9. Танталоносные гранитоиды с литиевыми слюдами – $A=>220$, $B>1,1$.
10. Танталоносные гранитоиды с щелочными темноцветными минералами – $A>220$, $B>1,1$.

В целом рудоносные гранитоиды имеют повышенные значения модуля A (более 100) и модуля B (больше определенной величины).

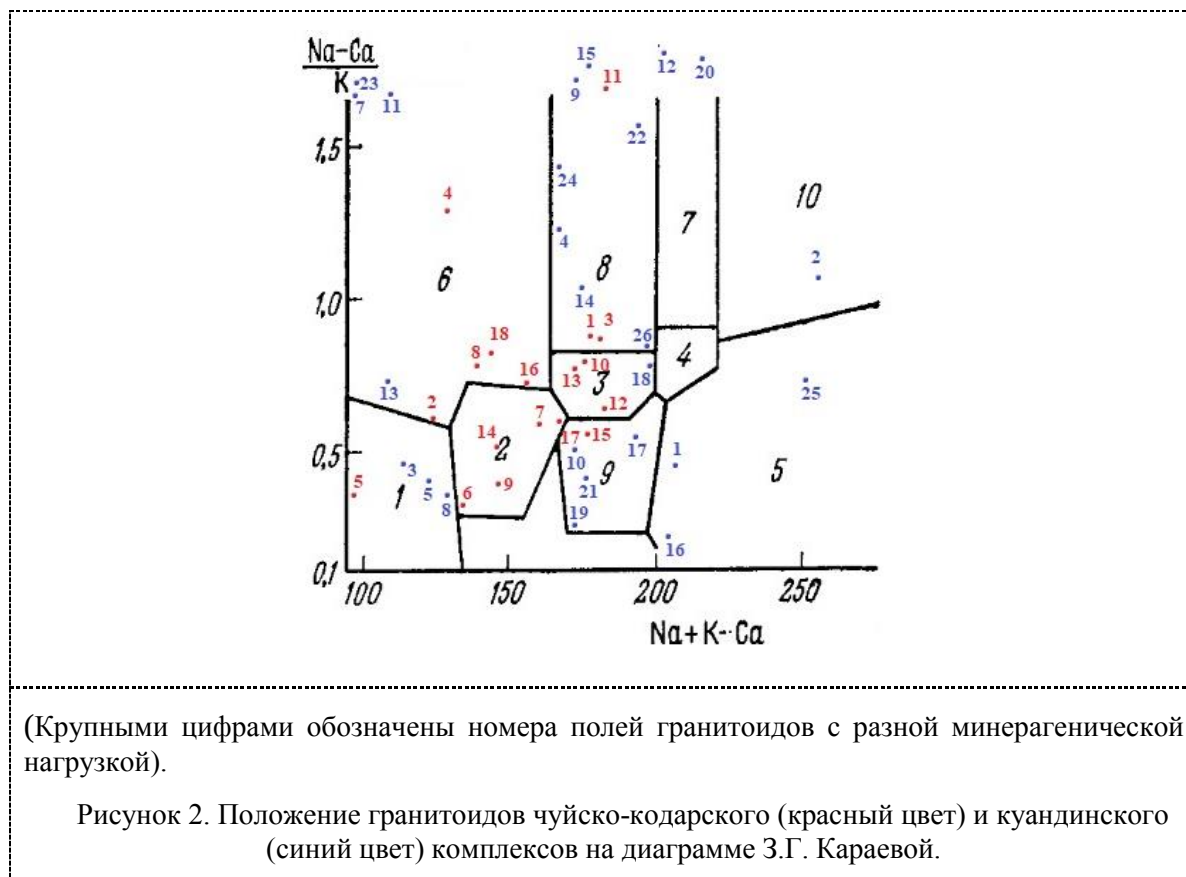
Эта методика была апробирована нами при изучении архейских (по Л.И.Салопу) гранито-гнейсово-мigmatитовых комплексов Приольхонья [8], которые на диаграмме З.Г. Караевой тяготеют к полю гранитоидов, материнских для месторождений олова, вольфрама, молибдена силикатной и полиметаллической формаций, редкоземельных и редкометалльных пегматитов. Эти данные хорошо согласуются с материалами специальных минерагенических исследований, проведенных здесь В.С. Малых и Т.С. Михайловой [7].

Рассчитанные нами петрохимические модули З.Г. Караевой для гранитоидов куандинского и чуйско-кодарского комплексов приведены в таблице 1 и на рисунке 2.

Таблица 1. Значения модулей З.Г. Караевой в гранитоидах Чуйского антиклинория

Куандинский комплекс						Чуйско-кодарский комплекс								
№№ проб	Модули*		№№ проб	Модули		№№ проб	Модули		№№ проб	Модули		№№ проб	Модули	
	А	В		А	В		А	В		А	В		А	В
1к	205	0,79	10к	176	1,11	19к	174	0,50	1ч	180	0,94	10ч	178	0,84
2к	258	1,77	11к	111	6,59	20к	215	11,37	2ч	126	0,62	11ч	186	1,83
3к	113	2,12	12к	202	3,06	21к	179	0,70	3ч	184	0,93	12ч	185	0,66
4к	171	2,28	13к	109	1,92	22к	191	1,70	4ч	130	1,33	13ч	175	0,81
5к	124	1,16	14к	178	1,64	23к	95	5,91	5ч	86	0,36	14ч	148	0,56
6к	131	0,58	15к	181	5,21	24к	170	2,06	6ч	136	0,34	15ч	179	0,58
7к	88	6,46	16к	203	0,46	25к	205	1,04	7ч	163	0,62	16ч	158	0,77
8к	129	1,20	17к	191	1,02	26к	195	1,09	8ч	142	0,82	17ч	171	0,63
9к	175	3,13	18к	197	1,12				9ч	149	0,41	18ч	147	0,86

*Цветом отмечены повышенные значения модуля А и В, отвечающие полям потенциально рудоносных гранитов



Из таблицы 1 и рисунка 2 видно, что большая часть проб (отмечены цветом) имеет повышенные значения модуля А (более 100 – 92% проб куандинских гранитоидов и 94% чуйско-кодарских гранитов) и В (более 0,80 – 81% проб куандинских гранитоидов и 39% чуйско-кодарских гранитов), характерное для рудоносных гранитоидов, а благоприятное соотношение модулей А и В характерно для 64% проб (в т.ч. 73% проб куандинских гранитоидов и 50% чуйско-кодарских гранитов), которые на рисунке 2 попадают в поле гранитов, материнских для месторождений *вольфрама, молибдена, бериллия и олова*, а также *слюдоносных и редкометальных пегматитов*.

Методика Б.Н. Пермякова [5] разработана на основе изучения рудоносных гранитоидов Забайкалья и предусматривает расчет эталонных петрохимических модулей: кремнекислотности (q), известковистости (с), щелочности (а), железистости (f) и типа щелочности (n). Эти модули отражают соотношения атомных количеств основных петрогенных элементов:

- модуль кремнекислотности $q = [\text{Si} - (\text{Na} + \text{K} + \text{Ca} + \text{Mg} + \sum \text{Fe})] / \text{Si}$,
- модуль известковистости $c = \text{Ca} / (\text{Ca} + \text{Na} + \text{K})$,
- модуль щелочности $a = (\text{Na} + \text{K}) / \text{Al}$,
- модуль железистости $f = \sum \text{Fe} / (\sum \text{Fe} + \text{Mg})$,
- модуль типа щелочности $n = \text{Na} / (\text{Na} + \text{K})$.

Предельные величины этих модулей для рудоносных гранитоидов Забайкалья приведены в таблице 2.

Таблица 2. Предельные величины петрохимических модулей рудоносности гранитоидов Забайкалья по Б.Н. Пермякову [4].

Тип минерализации	Петрохимические модули				
	q	с	а	f	n
I. Золото-полиметаллическая и полиметаллическая	0,49-0,60	0,12-0,31	0,65-0,80	0,32-0,53	0,59-0,76
II. Золото-молибденовая	0,62-0,70	0,15-0,24	0,72-0,85	0,32-0,52	0,49-0,66
III. Молибденовая	0,70-0,785	0,105-0,20	0,65-0,80	0,44-0,70	0,535-0,69
IV. Молибден-вольфрамовая	0,74-0,76	0,01-0,07	0,90-1,01	0,70-0,825	0,52-0,61
V. Вольфрамовая и флюоритовая	0,74-0,785	0,01-0,09	0,78-1,01	0,70-0,92	0,46-0,57
VI. Олово-вольфрамовая и щелочно-редкометальная	0,785-0,805	0,02-0,08	0,75-1,00	0,59-0,97	0,49-0,61
VII. Ниобий-фтористая, вольфрам- ниобиевая и флюоритовая	0,805-0,83	0,01-0,08	0,75-0,91	0,74-0,93	0,46-0,61

Результаты расчета петрохимических модулей Б.Н. Пермякова для куандинских и чуйско-кодарских гранитоидов приведены в таблице 3.

Таблица 3. Значения модулей Б.Н.Пермякова в гранитоидах Чуйского антиклинория.

Номер пробы	Модули*					Номер пробы	Модули					Номер пробы	Модули				
	q	c	a	f	п		q	c	a	f	п		q	c	a	f	п
Гранитоиды куандинского комплекса																	
1к	0,7 0	0,0 9	0,6 8	0,7 3	0,3 8	10к	0,7 4	0,1 3	0,7 4	0,7 2	0,4 5	19к	0,8 0	0,0 8	0,6 8	0,6 7	0,27
2к	0,6 1	0,1 3	1,0 3	0,6 5	0,5 9	11к	0,7 4	0,2 7	0,5 8	0,5 2	0,8 2	20к	0,7 7	0,0 4	0,7 9	0,7 7	0,92
3к	0,6 8	0,2 6	0,6 5	0,7 6	0,5 7	12к	0,7 2	0,1 0	0,8 4	0,7 4	0,7 3	21к	0,7 9	0,0 7	0,7 2	0,7 6	0,36
4к	0,6 7	0,1 6	0,8 6	0,8 9	0,6 4	13к	0,7 6	0,2 0	0,6 2	1,0 0	0,5 7	22к	0,7 9	0,0 3	0,6 8	0,2 3	0,62
5к	0,7 6	0,1 7	0,5 3	0,9 7	0,4 4	14к	0,7 6	0,1 1	0,7 1	0,4 7	0,5 7	23к	0,8 0	0,2 0	0,4 9	0,5 9	0,82
6к	0,7 2	0,1 8	0,7 2	0,8 2	0,2 2	15к	0,7 9	0,0 7	0,6 1	0,5 8	0,8 3	24к	0,8 0	0,1 0	0,6 8	0,7 1	0,64
7к	0,7 8	0,2 7	0,4 3	0,6 6	0,8 1	16к	0,7 8	0,0 8	0,7 4	0,6 7	0,2 6	25к	0,7 9	0,0 7	0,7 8	0,3 7	0,47
8к	0,7 5	0,1 9	0,6 8	0,8 3	0,4 4	17к	0,7 6	0,1 1	0,8 1	0,5 3	0,4 4	26к	0,8 1	0,0 5	0,8 1	1,0 0	0,50
9к	0,7 5	0,1 1	0,6 5	0,4 7	0,7 3	18к	0,7 8	0,0 7	0,7 6	0,6 7	0,4 9						
Гранитоиды чуйско-кодарского комплекса																	
1ч	0,74	0,0 9	0,6 0	0,7 6	0,5 3	7ч	0,7 3	0,1 1	0,7 3	0,71	0,4 6	13ч	0,7 7	0,1 2	0,7 0	0,7 0	0,52
2ч	0,68	0,2 4	0,7 2	0,7 4	0,5 8	8ч	0,7 6	0,1 6	0,6 6	0,77	0,5 5	14ч	0,7 9	0,1 2	0,5 8	0,7 3	0,44
3ч	0,73	0,0 9	0,6 3	0,7 8	0,5 3	9ч	0,7 4	0,1 6	0,7 0	0,71	0,4 3	15ч	0,7 8	0,0 9	0,7 1	0,5 0	0,43
4ч	0,75	0,1 9	0,6 0	0,9 7	0,6 7	10ч	0,7 5	0,1 3	0,7 4	0,69	0,5 4	16ч	0,8 0	0,0 9	0,6 4	0,7 6	0,49
5ч	0,74	0,2 8	0,5 2	0,7 1	0,5 5	11ч	0,7 5	0,0 9	0,7 7	0,73	0,6 8	17ч	0,8 0	0,0 9	0,7 3	0,9 1	0,45
6ч	0,71	0,2 3	0,7 8	0,6 9	0,4 8	12ч	0,8 0	0,0 7	0,6 2	0,63	0,4 4	18ч	0,8 3	0,0 8	0,5 8	0,8 4	0,51

*Цветом отмечены повышенные значения модуля А и В, отвечающие полям потенциально рудоносных гранитов

Из таблицы 3 видно, что большая часть проб (отмечены цветом) имеет положительные значения разных модулей, характерные для рудоносных гранитоидов:

-кремнекислотности (q) - 100% проб куандинских и чуйско-кодарских гранитов,

- известковистости (с) - 81% проб куандинских и 100% чуйско-кодарских гранитов,
- щелочности (а) - 69% проб куандинских и 56% чуйско-кодарских гранитов,
- железистости (f) - 85% проб куандинских и 89% чуйско-кодарских гранитов,
- типа щелочности (n) - 42% проб куандинских и 83% чуйско-кодарских гранитов.

Однако благоприятное сочетание всех пяти модулей характерно лишь для 34% проб (в т.ч. 27% проб куандинских гранитоидов и 44% проб чуйско-кодарских гранитов), которые попадают в поля разных типов рудоносных гранитоидов с олово-вольфрам-молибден-редкометальной минерализацией. Однозначно отнести тот или иной анализ к определенному типу минерогенических ассоциаций невозможно, поскольку поля значений некоторых модулей для разных гранитоидов перекрывают друг друга.

4. Обсуждение

Расчет модулей рудоносности по методикам З.Г. Караевой [4] и Б.Н. Пермякова [5] для гранитоидов куандинского и чуйско-кодарского комплексов и анализ результатов исследования, приведенных в таблицах 1-3 и на рисунке 2, позволяет отнести их в основном (за исключением нескольких проб) к потенциально рудоносным образованиям.

На диаграмме З.Г. Караевой (рисунок 2) большая часть проб попадает в поле гранитов, материнских для месторождений *вольфрама, молибдена, бериллия и олова*. а также *слюдоносных и редкометальных пегматитов*.

По сочетанию модулей Б.Н. Пермякова большинство проб тяготеет к полям рудоносных гранитоидов с олово-вольфрам-молибден-редкометальной минерализацией.

По-видимому, выявленные выше петрохимические зависимости не случайны, потому что к юго-востоку от Чуйско-Витимского массива находится одна их крупнейших мусковитоносных пегматитовых провинций – Мамская, которая к юго-западу сменяется потенциально-перспективными полями редкометальных пегматитов – Чайским, Кутимским, Миньским, Абчадским и др. [7].

5. Заключение

Опыт использования петрохимических модулей З.Г. Караевой и Б.Н. Пермякова для оценки потенциальной рудоносности гранитоидов куандинского и чуйско-кодарского комплексов позволяют рекомендовать эту методику для оценки перспектив рудоносность других комплексов гранитоидов как БГСО, так и других регионов при наличии представительной выборки силикатных анализов. Кроме того, необходимы дополнительные исследования изученных гранитоидов для выделения и уточнения перспективности разных фаз и фаций этих гранитоидов.

Библиографический список

- [1] Салоп Л И 1967 *Геология Байкальской горной области* (Москва: Недра) Т.2. 699 с.
- [2] Иванов А И Лившиц В И Перевалов О В Страхова Т М и др. 1995 *Докембрий Патомского нагорья* (Москва: Недра) 352 с.
- [3] Малых В С Михайлова Т С 1974 *Прибайкальская зона глубинного разлома и ее роль в металлогении Западного Прибайкалья* (Труды ВСНИИГГИМСа) С. 62-71.
- [4] Караева З Г 1968 *Петрохимические особенности рудоносности гранитоидов* (Докл. АН СССР) Т. 179, № 6, С. 1436-1439.
- [5] Пермяков Б Н 1986 *Петрохимические параметры как индикаторы потенциальной рудоносности магматитов (металлогения и прогноз полезн. ископ. Материалы чтений памяти акад. С.С. Смирнова)* (Чита: Изд-во Заб. фил. Географ. об-ва СССР) С. 76-78.

- [6] Шульга В В Жилиев А С Кочнев А П Аксенов В Н 2014 *База данных петрохимических параметров* (Свидетельство о гос. регистрации базы данных № 2014620797).
- [7] Кочнев А П Мисюркеева Н В 2009 *Геотектоническая позиция Байкало-Патомского пегматитового пояса* (Известия Сиб. отдел. Секции наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и разведка месторождений рудных полезных ископаемых Иркутск) Вып. 8 (34). С. 45-52.
- [8] Кочнев А П Шульга В В 2011 *Минерагеническая позиция и минерагеническое районирование Приольхонья* (Известия СО Секции наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и разведка месторождений рудных полезных ископаемых Иркутск) Вып. 2(39). С. 70-83.

К вопросу о картировании разрывных нарушений и степени их проницаемости комплексом глубинных геофизических методов в пределах нефтегазоносных структур Сибирской платформы

Мисюркеева Н.В., Буддо И.В., Шелохов И.А.

Институт земной коры СО РАН, Россия

E-mail mnv@crust.ru

Аннотация. На территории Сибирской платформы расположены крупные месторождения углеводородов (УВ). Выявленные на сегодняшний день скопления УВ связаны преимущественно с неантиклинальным типом ловушек. Зачастую это литологические, структурно-тектонические ловушки, часто приуроченные к блоковым поднятиям различного порядка. Размещение залежей УВ может контролироваться зонами улучшенных коллекторов и зонами трещиноватости карбонатных пород. Это определяет важное научное и во многом прикладное значение изучения тектонических нарушений и трещиноватости с оценкой их флюидопроницаемости. Кроме того, при разведке и освоении месторождений венд-нижнекембрийского комплекса методами глубокого бурения на территории Восточной Сибири зачастую встречаются мощные выбросы газа и рапы из галогенно-карбонатной части разреза, а также многочисленные поглощения и другие осложнения при бурении. По данным геофизических исследований скважин (ГИС) в галогенно-карбонатной части разреза выделяются пласты-коллекторы, что свидетельствует о потенциальных перспективах данных горизонтов, которые могут содержать залежи углеводородов. Карбонатные коллекторы галогенно-карбонатного комплекса - преимущественно трещинного и кавернозного типов. В данной работе рассмотрены подходы к картированию тектонических нарушений осадочного чехла, а также оценке их флюидопроницаемости на основе результатов высокоплотных геофизических съемок: сейсморазведки МОВ ОГТ 3D и электроразведки 3D ЗСБ.

1. Введение

Дизъюнктивные нарушения являются самой широко распространенной группой структур в земной коре. Различный масштаб их проявления – от мелкой трещиноватости до разломов глобального значения, разнообразие причин и условий, определяющих характер создаваемых ими структур, привлекает внимание все большего числа исследователей [3].

Эти структуры, особенно разломы, влияют на осадконакопление, различное проявление эффузивного и интрузивного магматизма, его пространственное размещение и время развития.

Кроме того, ведущее значение разрывов разных масштабов отмечается в размещении металлогенических зон, а внутри них - рудных полей, месторождений и рудных тел.

То же относится и к нефтегазовой геологии. Разрывные нарушения играют важную роль в формировании скоплений нефти и газа, а также контролируют отдельные месторождения и залежи, в том числе на территории Восточной Сибири.

Глубинные разломы являются подводящими каналами и создают в породах зоны повышенной трещиноватости, являющиеся хорошими коллекторами трещинного типа. Наиболее благоприятными участками образования таких зон являются узлы пересечения дизъюнктивных нарушений.

Разрывные нарушения оказывают большое влияние на формирование, переформирование и разрушение залежей углеводородов. При поисково-разведочных работах необходимо учитывать наличие и расположение в плане и разрезе дизъюнктивных нарушений вблизи геологических структур.

Говоря в целом об актуальности изучения разломов можно сказать, что на сегодняшний день оценка флюидопроницаемости является важной задачей как при поисках УВ, так и подземных вод.

Для выявления зон трещиноватости, оценки степени ее флюидопроницаемости, а также приуроченности к зонам трещиноватости коллекторов, необходим комплекс геофизических методов, который был бы не только чувствителен к наличию в разрезе коллектора, но и позволял бы с высокой точностью картировать структурно-тектонические особенности геологического разреза. Согласно имеющемуся опыту [4, 7, 11], таким является комплекс методов сейсморазведки МОВ ОГТ и электроразведки методом зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ). Известно, что высокоразрешающая широкоазимутальная сейсморазведка МОВ ОГТ 3D позволяет с высокой степенью точностью картировать структурные особенности разреза и выделять зоны мелкой трещиноватости [9,10]. В свою очередь метод ЗСБ чувствителен к наличию флюида, насыщающего ёмкостное пространство коллекторов в галогенно-карбонатной части разреза [5].

В данной работе авторами рассматриваются специальные подходы к интерпретации данных широкоазимутальной сейсморазведки МОВ ОГТ 3D в комплексе с методом зондирования становлением поля (ЗСБ) в модификации 3D, применяемые в рамках работ на КГКМ по заказу ООО «Газпром геологоразведка».

2. Материалы и методы

В исследовании применены материалы высокоплотных геофизических съемок: сейсморазведка МОВ ОГТ 3D и электроразведка методом зондирования становлением поля в ближней зоне в модификации 3D (3D ЗСБ). За счет большого количества пространственных накоплений и высокой вертикальной разрешающей способности данные методы позволяют картировать разрывные нарушения, характеризующиеся различной степенью флюидопроводности.

Участвующие в исследовании участки относятся к крупнейшим Ангаро-Ленскому и Якутскому артезианским бассейнам.

Геологическое строение территории Ангаро-Ленского и Якутского артезианских бассейнов описывается в границах трех структурных этажей – насолённого, солёного (галогенно-карбонатного) и подсолённого. Большинство исследователей отмечается полное несоответствие геолого-структурных планов между этажами. Гидрогеологические условия для водонапорных систем выделенных мегарезервуаров этажей разреза осадочного чехла и соответствующих им гидрогеологическим формациям принципиально различны и требуют самостоятельного обоснования [2].

3. Результаты исследования на территории юга Сибирской платформы

На территории крупнейшего на юге Сибирской платформы Ковыктинского газоконденсатного месторождения (КГКМ), являющегося уникальным геологическим объектом, проведены высокоплотные геофизические съемки методами сейсморазведки МОВ ОГТ 3D и электроразведки 3D ЗСБ [7].

В региональном плане Ковыктинское ГКМ располагается в северо-восточной части моноклинального склона Ангаро-Ленской ступени, в зоне перехода от Непско-Ботуобинской антеклизы к Ангаро-Ленской ступени и к Предпатомскому региональному прогибу.

На уровне региональной модели в осадочном чехле выделено 2 структурных яруса, верхний из которых интенсивно дислоцирован в области сочленения платформенных структур и краевых прогибов платформы.

В гидрогеологическом отношении Ковыктинское ГКМ размещается в пределах сложного Ангаро-Ленского артезианского бассейна. В разрезе осадочного чехла выделяются сверху–вниз три гидрогеологические формации: надсолевая, соленосная и подсолевая, в каждой из которых выделяются водоносные горизонты. Для каждой формации характерны различные гидродинамические условия флюидных систем – нефти, газа, рассолов, и гидрохимическая характеристика залежей.

Территория исследования располагается в поясе развития фронтально-надвиговых структур внутренней части платформы, граничащей с поясом принадвиговых структур краевой части платформы, что обусловило ее сложное структурно-тектоническое строение.

Наибольшее переформирование структурного плана территория Ангаро-Ленской ступени претерпела в галогенно-карбонатной части разреза, где породы в палеозойский тектонический этап оказались смяты в складки и разбиты многочисленными тектоническими нарушениями. Кайнозойский тектонический этап способствовал образованию новых и раскрытию первичных трещин в карбонатных горизонтах-коллекторах.

Геолого-структурные условия галогенно-карбонатной толщи нижнего кембрия на территории КГКМ крайне осложнены наличием линейных антиклинальных валов в солевой толще, ассиметричным строением антиклинальных складок в поперечном сечении характерным для аллохтонных антиклиналей и многочисленными тектоническими нарушениями.

Галогенно-карбонатная часть разреза Ковыктинского ГКМ представляет собой крупнейшую сложную систему взаимодействия трещиноватости, по которой происходит перераспределение (транзит) и циркуляция флюида в межблоковом пространстве.

Учитывая тот факт, что при бурении глубоких скважин на территории ГКМ в галогенно-карбонатной части разреза происходят многочисленные интенсивные поглощения и рапопроявления, можно утверждать о наличии в разрезе пластов-коллекторов с высокой емкостью и проницаемостью [2].

Значительные диапазоны варьирования коэффициента аномальности и высоты пьезоуровней на территории месторождения свидетельствуют об энергетической возможности подземных перетоков между пластами в различных направлениях (вверх и вниз). Перетоки происходят в основном по вторичным трещинам, которые пересекают и карбонатные, и соляные пласты [2]. Коллекторы приурочены к интервалам трещиноватости и кавернозности карбонатных образований, а в качестве флюидоупоров выступают мощные прослои солей.

Так как зоны осложнений располагаются в особых структурно-тектонических условиях, для целей картирования структурных особенностей геологического разреза лучшим инструментом является широкоазимутальная сейсморазведка в модификации 3D. Выделенные структурные

особенности по данным МОГТ 3D находят своё отражение в распределении геоэлектрических характеристик пород по 3D ЗСБ.

Результаты комплексной интерпретации данных сейсмо-и электроразведочных работ, а также данных бурения и ГИС позволили повысить точность модели структурно-тектонического строения Ковыктинского ЛУ, проследить изменения, происходящие на уровне не только свит солевой части разреза, но и регионально распространенных карбонатных горизонтов-коллекторов, выделяемых в их составе [12].

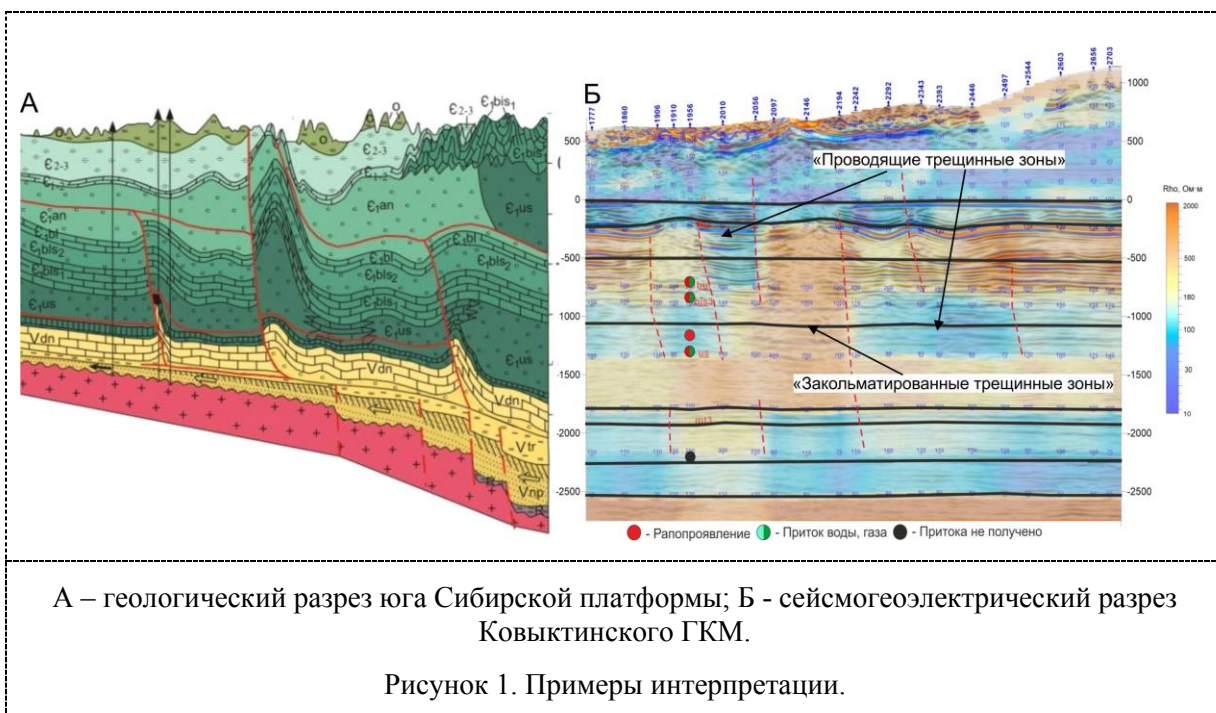
Исследование структурно-тектонического строения территории является одним из главных критериев при прогнозе горно-геологических условий бурения, выявлении особенностей строения природных карбонатных резервуаров кембрия.

Структурно-тектонические особенности могут вносить огромный вклад в формирование и строение природных резервуаров. Кроме того, структурно-тектонические особенности территории исследования могут контролировать закономерности размещения зон осложнений в процессе бурения. Широко известна связь между проявлением соляной тектоники и локализацией зон осложнений в верхних соленосных свитах кембрия. Зоны АВПД также зачастую контролируются тектоническими нарушениями.

По данным сейсморазведочных работ, на территории Ковыктинского ГКМ выделяются тектонические нарушения, по своей морфологии характерные для надвиговых систем. По разрезу интенсивность складчато-надвиговых деформаций весьма значительна в солевом и надсолевом структурных комплексах.

Если сейсморазведка позволяет с высокой степенью точности картировать положение, форму и структурные особенности разрывного нарушения как в плане, так и в разрезе, то электроразведка, в свою очередь, позволяет как выявить тектоническое нарушение, по зонам резкой смены геоэлектрических характеристик, так и охарактеризовать разрывное нарушение по степени проницаемости (способное и не способное к проведению флюида).

Так, на рисунке 1 можно видеть, как участки повышенной дислоцированности по данным МОГТ 3D соответствуют зонам повышенного либо пониженного сопротивления по данным 3D ЗСБ, что в свою очередь отражает степень флюидопроницаемости разлома или трещинной зоны.



4. Результаты исследований на территории Непско-Ботуобинской антеклизы (НБА)

На территории исследования, для изучения верхней части разреза (до глубины 500 м) были проведены высокоплотные исследования методом мЗСБ и МОГТ 3D.

Участок исследования расположен в пределах Мирнинского выступа – положительной структуры I порядка в пределах Непско-Ботуобинской антеклизы Сибирской платформы. В геологическом строении принимают участие метаморфические образования архейско-протерозойского возраста, осадочные образования протерозойского, палеозойского, мезозойского возрастов.

В гидрогеологическом отношении участок расположен на юго-западном приподнятом крыле Якутского артезианского бассейна (ЯАБ). В гидрогеологическом отношении ЯАБ бассейн представляет сложную водонапорную пластовую систему, сложенную водоносными комплексами пород, разделенных региональными экранирующими толщами. Верхние горизонты осадочного чехла заморожены. Чехол бассейна сложен терригенно-карбонатными отложениями мезозойского, нижнепалеозойского и протерозойского (вендского) возраста [1].

Необходимо отметить, что на особенности гидрогеологического разреза оказала влияние длительная геологическая история развития с многофазными этапами кимберлитового и траппового магматизма, оказавшего, в свою очередь, различное влияние на структуру вмещающих отложений, а также формирование и распространение подземных вод.

Влиянию траппового магматизма на вмещающие отложения посвящены многочисленные публикации. Так, по данным Ю.М. Шеймана [8], внедрение основной магмы происходит с глубин порядка 60 км, ее температура к поверхности Земли снижается с 1430 до 110...120 °С. Значительную роль при охлаждении магмы, кроме отдачи тепла вмещающим породам, играет уходящий из магмы во фронтальной части потока водяной пар. В осадочных породах кембрия водяной пар частично растворяет пласты каменной соли. Занимая освободившееся пространство, образовавшиеся перед фронтом потока магмы, горячие рассолы устремляются по трещинам в разные стороны и, охлаждаясь, оседают в них. Магма, ассимилируя вмещающие породы, становится более вязкой. И ее дальнейшее продвижение происходит за счет импульсной энергии поступающих новых порций. Если мощность горных пород над кровлей потока магмы невелика, то она будет их приподнимать и деформировать, сминая в мелкие складки [6].

Большинство исследователей считают, что интрузивные тела при их внедрении в осадочные породы приподнимают перекрывающую их толщу и осложняют ее структуру, за счет чего могут образовываться надтрапповые положительные структуры. В связи с тем, что в разрезе нижнего кембрия присутствует каменная соль, мощность пластов которой достигает десятков метров, объективно существуют предпосылки проявления соляного тектогенеза, способного в значительной степени исказить мощности отдельных стратиграфических подразделений. Анализ суммарных мощностей свит, в разрезах которых находится значительное количество солей, показывает, что она по большинству скважин близка. Неоднократная тектоническая активизация привела к широкому развитию дизъюнктивных нарушений, что определило специфику проницаемости осадочных толщ чехла.

В одном случае, развитие дизъюнктивных нарушений способствовало водообмену, осуществляющемуся в основном благодаря субвертикальным межпластовым перетокам по трещинам и «гидрогеологическим окнам». Тогда как в других случаях тектоническая активизация способствовала развитию соляного тектогенеза.

На сейсмогеоэлектрическом разрезе (рис. 2) можно видеть, как тектонические нарушения отражаются в сейсмическом и геоэлектрическом полях. В сейсмическом поле разрывные нарушения следятся по нарушениям осей синфазности, а по данным электроразведочных работ мЗСБ картируются предполагаемые тектонические нарушения различных типов. Представляется, что для вертикальных перетоков флюида в осадочном чехле должны

существовать разломные зоны либо зоны повышенной трещиноватости, способные к проведению флюида, которые в геоэлектрическом поле отражаются низкими значениями сопротивления. В то же время, существуют тектонические зоны, не способные к проведению флюида, так называемые «залеченные» разломы или зоны трещиноватости, которые характеризуются высокими значениями сопротивления (рис. 2).

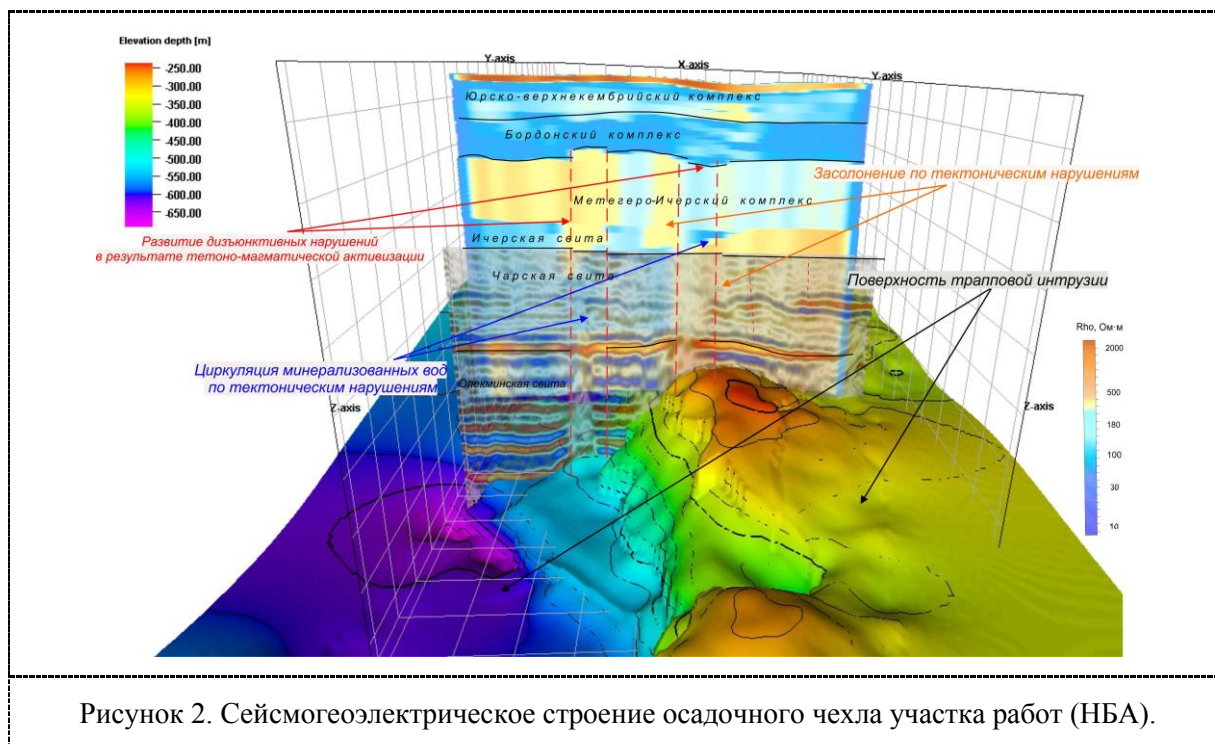


Рисунок 2. Сейсмогеоэлектрическое строение осадочного чехла участка работ (НБА).

5. Заключение

В результате исследований выявлены основные предпосылки выявления зон тектонической нарушенности по данным 3D ЗСБ и МОГТ 3D. Определена роль каждого из методов в выделении тектонических нарушений.

По результатам исследований представляется, что применение комплекса методов позволит с высокой степенью эффективности оценивать структурно-тектоническое строение осадочного чехла в сложных структурно-тектонических условиях, а также производить оценку флюидопроницаемости тектонических нарушений.

Необходимо отметить, что степень достоверности выделения и картирования дизъюнктивных нарушений в разрезе осадочного чехла различна и зависит от сложности геологического строения территории, плотности сейсмических профилей, качества полевых материалов и наличия априорной геологической информации.

Библиографический список

- [1]Алексеев С.В. Криогидрогеологические системы Якутской алмазоносной провинции. Новосибирск:Гео: 2009/
- [2]Вахромеев А.Г. Закономерности формирования и локализации месторождений промышленных рассолов в карбонатных каверново-трещинных резервуарах кембрия юга Сибирской платформы, Монография, 2015 г.
- [3]Кушнарев И.П. Методы изучения разрывных нарушений. М., «Недра», 1977. 248 с
- [4]Огибенин В.В., Горлов И.В., Смирнов А.С., Поляков Е.Е., Пылев Е.А., Вахромеев А.Г., Буддо И.В. Эффективность проведения геологоразведочных работ с целью создания

Иркутского центра газодобычи. Тезисы докладов IV Международной научно-практической конференции «Мировые ресурсы и запасы газа и перспективные технологии их освоения (WGRR-2017)». – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2017. – С. 43.

[5]Поспеев А.В., Буддо И.В., Агафонов Ю.А., Шарлов М.В., Компаниец С.В., Токарева О.В., Мисюркеева Н.В., Гомульский В.В., Суров Л.В., Ильин А.И., Емельянов В.С., Мурзина Е.В., Гусейнов Р.Г., Семинский И.К., Шарлов Р.В., Вахромеев А.Г., Сень Е.А.. Современная практическая электроразведка. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2018. – 231 с. – ISBN 978-5-9909584-1-8. DOI: 10.21782/B978-5-9909584-1-8

[6]Растегин А.А. О флювиогляциальной природе продуктивных отложений хужирского циклита и возможном влиянии траппов на строение залежей Верхнечонского газонефтяного месторождения / Литмологические закономерности размещения резервуаров и залежей углеводородов. – Новосибирск: Наука, 1990. – С. 211–216.

[7]Смирнов А.С., Горлов И.В., Яицкий Н.Н., Горский О.М., Игнатьев С.Ф., Поспеев А.В., Вахромеев А.Г., Агафонов Ю.А., Буддо И.В.. Интеграция геолого-геофизических данных – путь к созданию достоверной модели Ковыктинского газоконденсатного месторождения. Геология нефти и газа № 2. Москва. 2016. С. 56 – 66.

[8]Шейман Ю.М. Тектоника и магматизм. – М.: Наука, 1976. – 370 с. 4.

[9]Aarre V., Astratti D., Dayyani T.N., Mahmoud S.L., Clark A., Stellas M., Stringer J., Toelle B., Vejbaek O, White G. Seismic detection of subtle faults and fractures // Oilfield Review. – 2012. – V. 24. – No 2. – P. 28 – 43.

[10]Bratton T, Canh DV, Que NV, Duc NV, Gillespie P, Hunt D, Li B, Marcinew R, Ray S, Montaron B, Nelson R, Schoderbek D and Sonneland L: “The Nature of Naturally Fractured Reservoirs,” Oilfield Review 18, no. 2, 4-23/

[11] Buddo I.V., Misurkeeva N.V., Agafonov Y.A. & Smirnov A.S.. Optimal Sequence Of Gas Field Investigations From The Kovycta Gas-Condensate Field. 7th Saint Petersburg International Conference & Exhibition 2016. Saint Petersburg. 2016. DOI: 10.3997/2214-4609.201600167.

[12] Misurkeeva N.V., Buddo I.V., Shelohov I.A., Vakhromeev A.G., Agafonov Y.A., Gorlov I.V., Smirnov A.S.. Feasibility of Fault Zones Fluid Permeability Assessment From the Set of Geophysical Data. GeoBaikal 2018. 2018. DOI: 10.3997/2214-4609.201802046.

Синтетическое моделирование сигналов ЗСБ на целевом горизонте месторождения Белый Тигр

Нгуен Т.Л.¹, Тонких М.Е.¹, Рапацкая Л.А.¹, Токарева О.В.²

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия¹

Иркутское электроразведочное предприятие, Россия²

E-mailSmiletc93@gmail.com

Аннотация. На основе априорной информации о разрезе месторождения Белый Тигр сделана попытка применить синтетическое моделирование сигналов становления поля в ближней зоне (ЗСБ) для прогноза типа насыщения коллектора и оценки чувствительности сигналов ЗСБ.

1. Общие сведения о месторождении «Белый тигр»

Месторождение «Белый Тигр» является наиболее крупным на южном шельфе Вьетнама и расположено в 120 км от города-порта Вунгтау, являющегося основной производственно-технической базой предприятия.

Геологический разрез месторождения представлен докайнозойскими кристаллическими породами фундамента и кайнозойскими терригенными породами осадочного чехла, в котором выделяются песчано-алевритовые и глинистые породы олигоцена, неогена и четвертичных (Рисунок 1) [2].

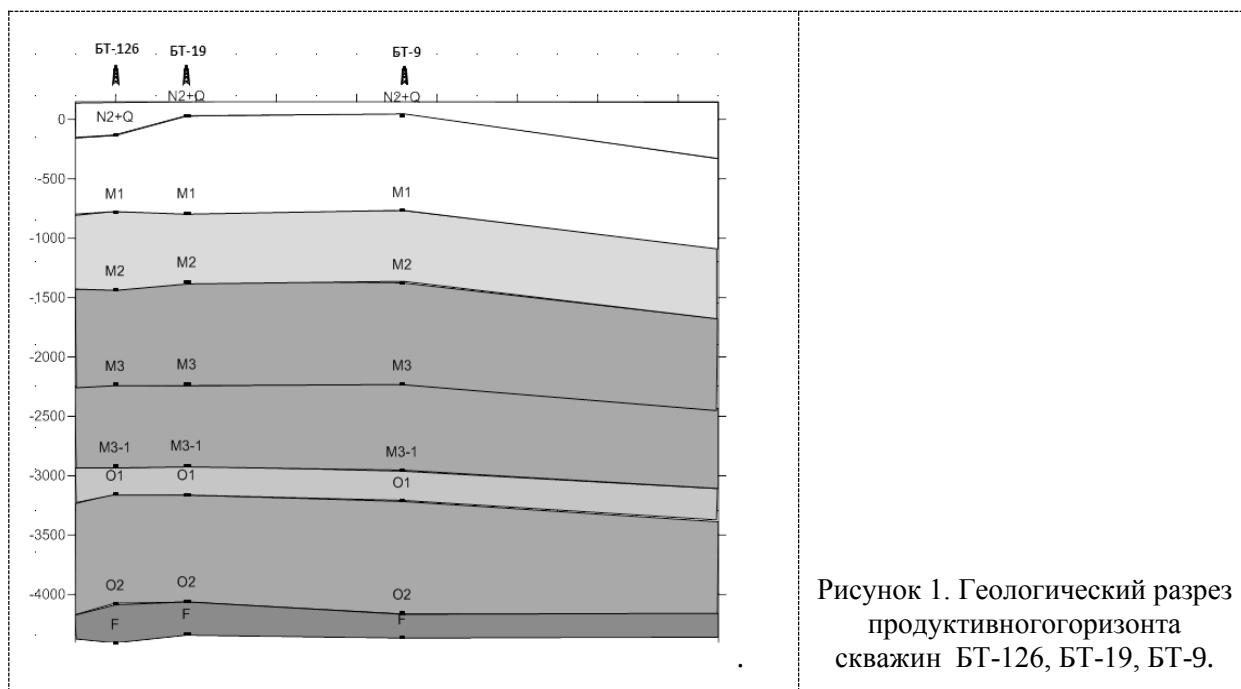


Рисунок 1. Геологический разрез продуктивного горизонта скважин БТ-126, БТ-19, БТ-9.

Целевыми продуктивными горизонтами месторождения Белый Тигр являются верхний олигоцен, нижний олигоцен и фундамент. Для исследования использовались данные по скважине БТ-126. Кроме того составлен сводный геологический разрез по скважинам БТ-126, БТ-19, БТ-9 в ПК Surfer 12. Продуктивные горизонты это – коллекторы расположены в отложениях: верхнего миоцена (O1), нижнего миоцена (O2) и трещиноватых породах фундамента (F).

2. Основы метода ЗСБ

Основой метода ЗСБ является изучение характера становления электромагнитного поля в земле при резком изменении тока в источнике. Резкое выключение тока в генераторной петле вызывает появление индукционных токов, которые с уменьшением плотности токовых линий распространяются от дневной поверхности на глубину. Изучение геоэлектрических особенностей разреза методом ЗСБ позволяет получать информацию о коллекторских свойствах и типе насыщения коллектора [1].

Прогноз насыщения производится путем пересчета УЭС, полученного по данным ЗСБ, в коэффициент водонасыщения (K_v), с применением петрофизической зависимости Дахнова-Арчи. На основе априорной информации о геологическом строении изучаемой территории было необходимо сформировать синтетический сигнал ЗСБ и оценить чувствительность к параметрам изменения геологической модели – насыщение целевых горизонтов. При этом необходимо дать оценку чувствительности ЗСБ к изменению насыщения пласта – трещинных и кавернозных коллекторов путем синтетического моделирования для условий месторождения «Белый Тигр».

Синтетическое моделирование осуществлялось в несколько этапов.

1. Сбор априорной информации (каротаж, структурные параметры).
2. Формирование типовой геоэлектрической модели на основе априорной информации.
3. Решение прямой задачи и оценка чувствительности сигналов ЗСБ.
4. Генерация зашумленных первичных данных.
5. Решение обратной задачи (инверсия).
6. Сравнение результатов инверсии и исходной модели.

В работе выполнены 3 первых этапа, следующие этапы сейчас в процессе выполнения.

Геоэлектрическая модель разреза –это последовательность геоэлектрических горизонтов с фиксированной толщиной и удельным электрическим сопротивлением. Входными данными (Таблица 1) являются: структурный каркас модели, УЭС и параметры целевых горизонтов (Кп, Кв, Нэф) [3].

Таблица 1. Коллекторские параметры продуктивных горизонтов месторождения «Белый Тигр».

Продуктивные горизонты	Параметры		
	Нэф (м)	Кп (%)	Сопротивление коллекторов (Ом)
Верхний олигоцен (O1)	34	12.5	100
Нижний олигоцен (O2)	96	10	95
Фундамент (F)	30	5.5	1200

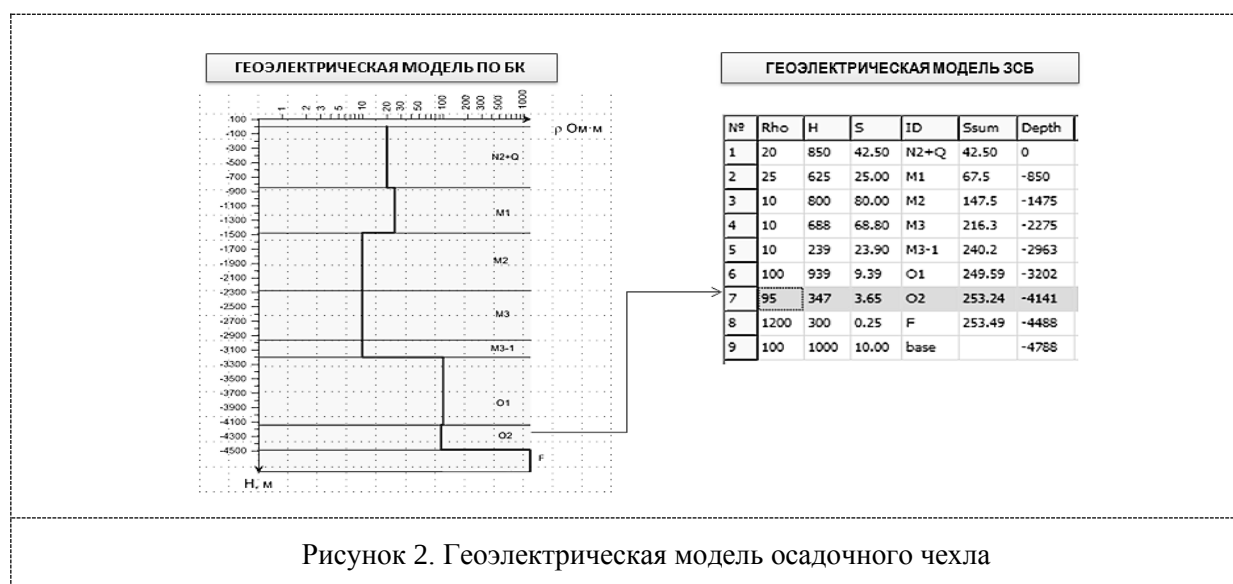
Параметры коллекторов Кп и Кв (1–Кнг) определяются как средневзвешенные значения по ГИС/геологической модели, Нэф как сумма интервалов коллекторов.

Сопротивление целевых пластов-коллекторов рассчитывается через петрофизическую зависимость.

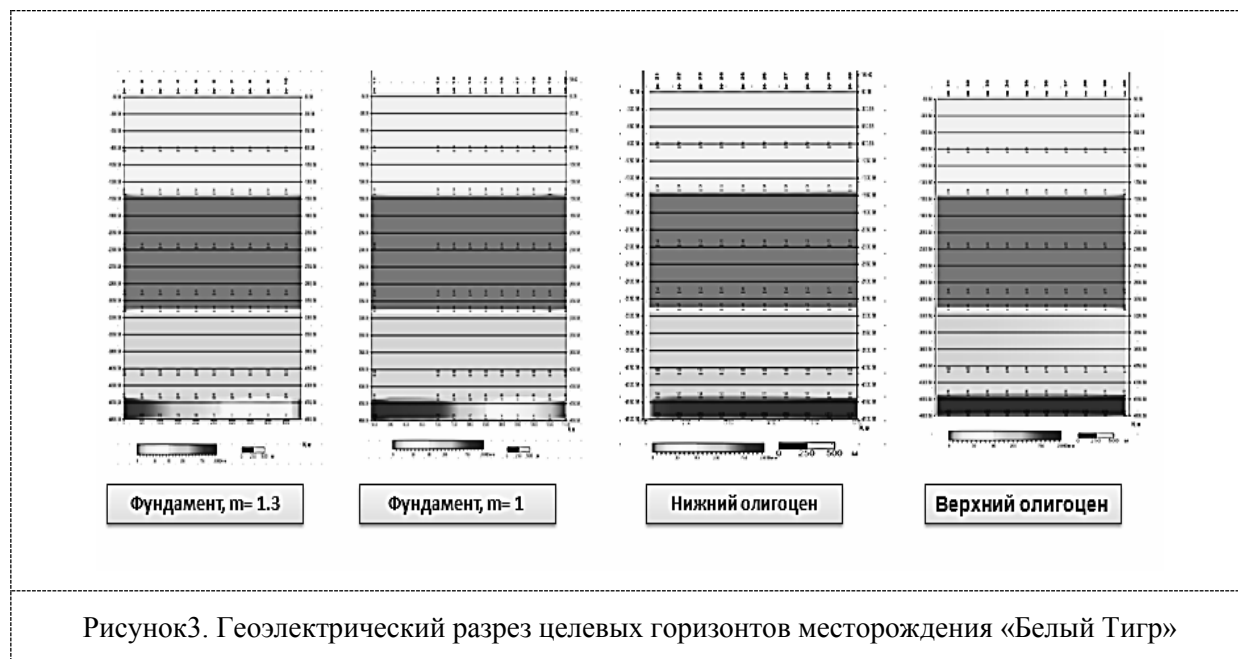
3. Результат работы исследования объекта

По результатам бокового каротажа построена осредненная геоэлектрическая модель ЗСБ

осадочного чехла месторождения «Белый Тигр». Геоэлектрическая модель до глубины 5 км, чаще всего состоит из 9 – 10 геоэлектрических горизонтов (Рисунок 2).



Составлен набор геоэлектрических моделей при различном насыщении целевого горизонта-коллектора (Рисунок 3).



Для расчета значения УЭС коллектора целевого горизонта применить петрофизическую зависимость Дархнова – Арчи: [3]

$$K_B = \left(\frac{a \cdot b \cdot R_w}{R_{\Pi} \cdot K_{\Pi}^m} \right)^{\frac{1}{n}}$$

За тип порового пространства отвечает коэффициент m:

m = 2.96 – поровый коллектор;

m = 1.3 – кавернозно-поровый коллектор;

m = 1 – трещиноватый коллектор.

Рассмотрены изменения значений сопротивления при различных насыщениях для перечисленных типов коллекторов.

На разрезе фундамента с трещинными и кавернозными коллекторами, значения УЭС сильно изменяют от очень маленьких до очень больших(от 21.8 Ом.м до 1084 Ом.м) .

На геoeлектрическом разрезе нижнего миоцена значения УЭС немного изменяются, от 92 до 130 Ом.м .

На геoeлектрическом разрезе верхнего миоцена значения УЭС немного изменяют, от 71Ом.м до 104 Ом.м).

На основе формализованных физико-геологических моделей (ФГМ) рассчитаны синтетические кривые исходного сигнала электродвижущих сил (ЭДС) и трансформанты кажущегося сопротивления R_t , суммарной продольной проводимости S_t (Рисунок 4). Например, рассчитан набор синтетических кривых ЗСБ при различном насыщении трещиноватых коллекторов фундамента (m = 1).

ФГМ1 – это физико-геологическая модель коллекторов с коэффициент водонасыщения K_v = 10%;

ФГМ 2, $K_v = 50\%$ - это физико-геологическая модель коллекторов с коэффициентом водонасыщения $K_v = 50\%$;

ФГМ3, $K_v=100\%$, это физико-геологическая модель коллекторов с коэффициентом водонасыщения $K_v = 100\%$.

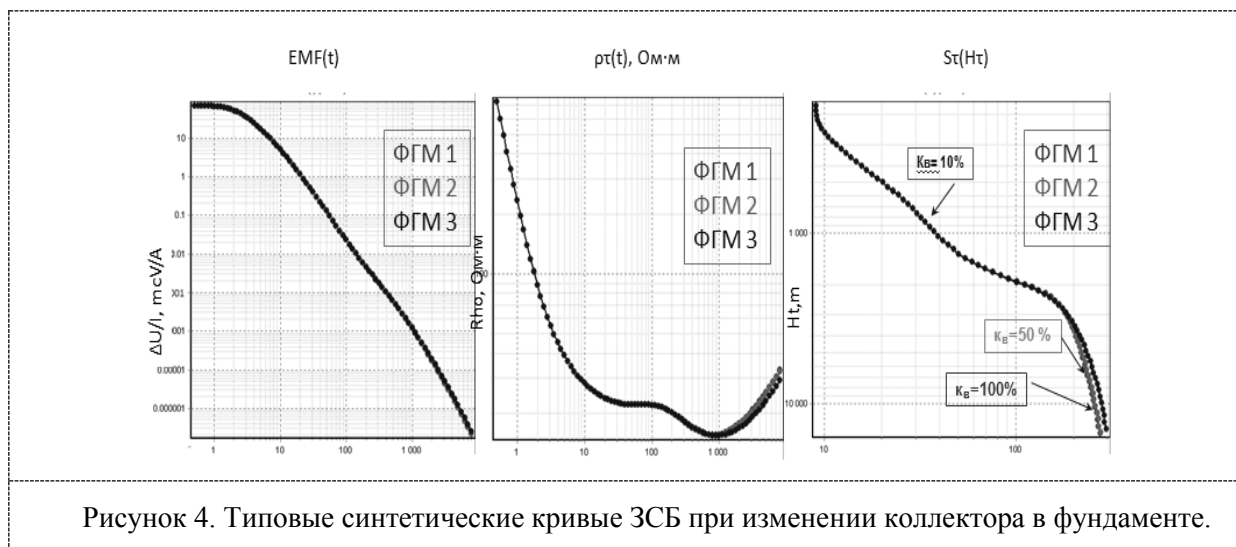
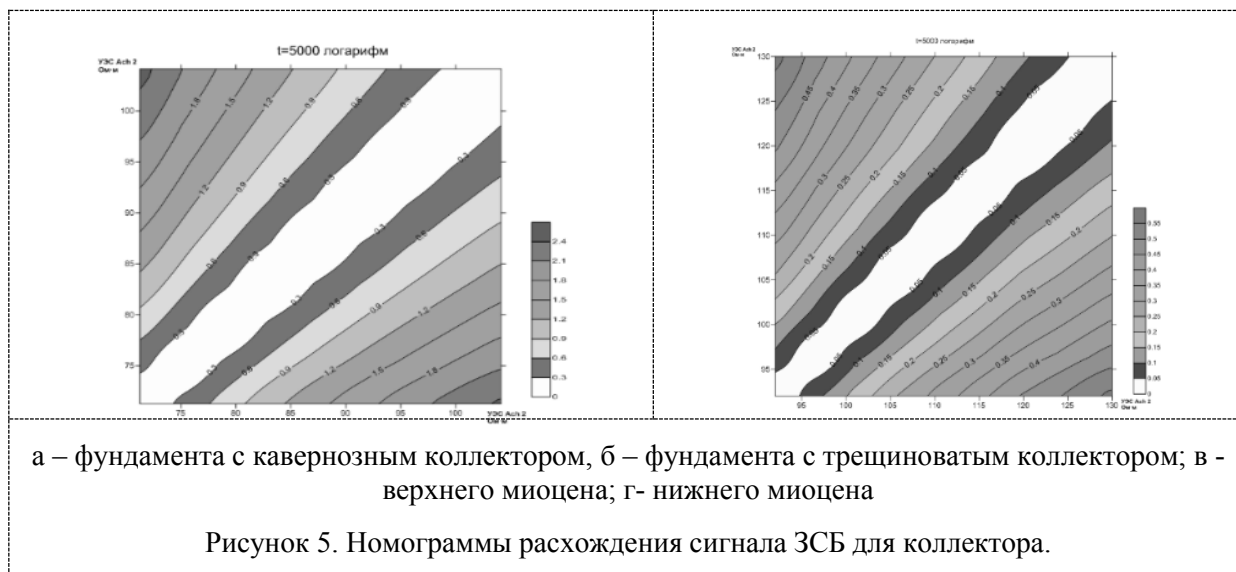


Рисунок 4. Типовые синтетические кривые ЗСБ при изменении коллектора в фундаменте.

Для оценки чувствительности сигналов ЗСБ на типы насыщения коллекторов построены номограммы расхождения сигналов (Рисунок 5).



а – фундамента с кавернозным коллектором, б – фундамента с трещиноватым коллектором; в - верхнего миоцена; г- нижнего миоцена

Рисунок 5. Номограммы расхождения сигнала ЗСБ для коллектора.

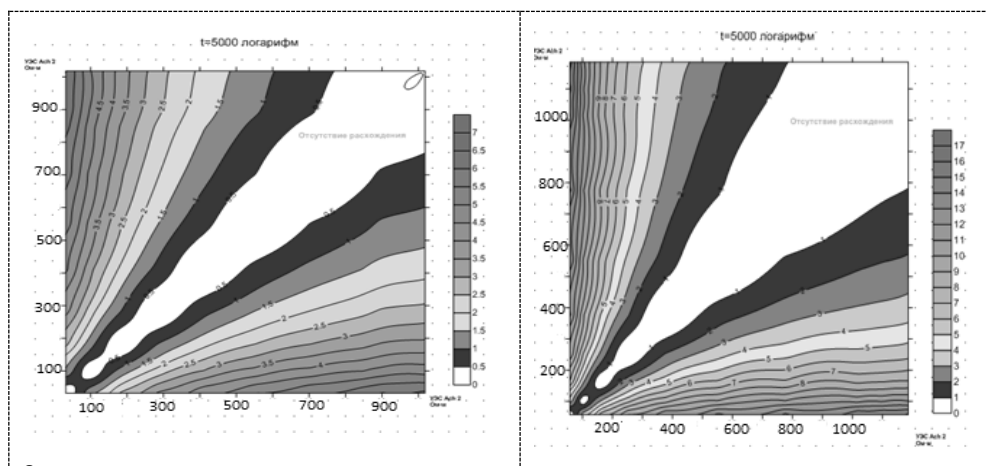
Выполнена оценка расхождения сигналов ЗСБ на времени 5000 мс. Каждому уровню значений сопротивления соответствует различное насыщение, K_v 10 – 100 %.

Рассмотрено два типа коллектора: кавернозный при $m=1,3$ и трещиноватый $m=1$.

Номограмма отражает процентное расхождение моделей. Оно возможно при расхождении более 1%. Возможно выявление коллекторов с водным насыщением $K_v = 90 - 100\%$. Для трещиноватых коллекторов расхождение сигналов ЗСБ при УВ-насыщении выше и достигает 17 %. Для терригенных коллекторов нижнего миоцена при изменении насыщения, расхождение сигналов ЗСБ низкое, максимальное равно - 0,55%. Принят граничный уровень расхождения 0,3%.

Чувствительность к изменению насыщения терригенных коллекторов верхнего олигоцена выше, чем для пород нижнего олигоцена и составляет 2,4%.

Расхождение синтетических сигналов ЗСБ для коллекторов продуктивного горизонта месторождения «Белый Тигр» показывает чувствительность метода ЗСБ к наличию кавернзности и трещиноватости в породах фундамента, расхождения незашумленных сигналов ЗСБ между моделями у УВ-насыщением и водой составляет –17%.



При сравнении моделей с насыщением: $K_v = 10\% - 100\%$ выявлено, что, чем больше водонасыщенность, тем меньше удельное электрическое сопротивление коллектора.

5. Заключение

Таким образом, по результатам предварительного анализа геолого-геоэлектрического строения целевых горизонтов месторождения «Белый Тигр» получены следующие результаты:

1. Выявлена чувствительность сигналов ЗСБ коллекторов с различным насыщением и типом порового пространства в породах фундамента.
2. Показано, что чувствительность сигналов ЗСБ, более высокая к изменению насыщения коллекторов в верхнем олигоцене и фундаменте. В первом случае за счет глубины расположения, во втором за счет типа порового пространства.

Библиографический список

- [1] Хмелевский В К, Модин И Н, Яковлев А Г 2005 Электроразведка: пособие по электроразведочной практике для студентов геофизических специальностей. М.: С. 311.
- [2] СП – «Вьетсовпетро» 2012 Отчет по интерпретации и обработке материалов промыслово - геофизических исследований месторождения Белый Тигр.
- [3] Агафонов Ю А, Москва - ВНИГНИ- 26.IX.2014 Опыт применения электромагнитных зондирований при проведении региональных и нефтегазопромысловых исследований в Восточной Сибири.

Опыт комплексирования нестационарных электромагнитных зондирований и ГИС с целью обнаружения каналов миграции газа

Оцимик А.А.^{1,2}, Сень Е.А.^{1,2}, Гомульский В.В.²

Институт земной коры СО РАН, Россия¹

АО «Иркутское электроразведочное предприятие»²

Аннотация. Основной задачей исследования являлись поиски каналов миграции газа в верхней части разреза (ВЧР) участка, расположенного в Самарской области. Предварительно на изучаемой площади были проведены геофизические исследования скважин (ГИС), что позволило выявить потенциально газоносные коллекторы в ВЧР, для прослеживания которых по латерали необходимо применение площадных методов исследования, таких как зондирование становлением поля в ближней зоне (ЗСБ), а также увязка полученных результатов с данными ГИС. В ходе работ выполнялась интерпретация геофизических исследований скважин методом гамма-каротажа (ГК) и нейтронного гамма-каротажа (НГК) и сопоставление результатов с данными исследований методом ЗСБ. В результате выявлено сходство в распределении значений УЭС по ЗСБ и параметра проницаемости по ГИС – зоны пониженных значений УЭС тяготеют к наиболее проницаемым зонам. Также были выявлены вертикальные геоэлектрические неоднородности в ВЧР, связанные с каналами миграции газа из нижележащих продуктивных отложений. Сделан вывод о том, что комплексирование данных ГИС и ЗСБ эффективно для обнаружения коллекторов и каналов миграции газа.

1. Введение

Объектами поисков при производстве работ являлись коллекторы в ВЧР участка, расположенного в Самарской области, и возможные пути миграции газа из нижележащих продуктивных отложений. Цель исследований заключалась в оценке герметичности газовой залежи, расположенной на глубине 300–350 м. Потенциально газоносные коллекторы в ВЧР выделялись в процессе интерпретации данных ГИС, однако для их прослеживания по латерали необходимо применение площадных методов исследования, таких как зондирование становлением поля в ближней зоне, а также увязка полученных результатов с данными ГИС.

В разрезе площади принимают участие отложения четвертичной и неогеновой систем, казанского яруса средней перми. В литологическом плане разрез преимущественно терригенный с преобладанием глинистого материала, вниз по разрезу увеличивается количество песчаных и карбонатных прослоев.

В породах ВЧР повсеместно выделяются водовмещающие коллекторы, в которых также может скапливаться газ [7]. Коллекторами являются слабосцементированные песчаники, трещиноватые известняки и мергели, флюидоупорами – плотные глины. Мощность пачек по разрезу варьирует от 30 до 140 м, покрышек – от 2 до 4 м.

В структурном плане рассматриваемая площадь представляет собой унаследованную пологую брахиантиклинальную складку. Отложения всех комплексов выдержаны по мощности.

2. Исходные данные, методика работ

Исходным материалом являлись данные ГК и НГК, по которым был выполнен пересчет в параметры объемной глинистости, песчанистости, пористости и проницаемости и дальнейшая интерпретация с расчленением разреза на коллектор/неколлектор.

Гамма-каротаж применяется для выделения глинистых отложений по их высокой радиоактивности. Глины и битуминозные глины показывают наиболее высокие значения гамма активности, а чистые песчаники, известняки, доломиты и ангидриты характеризуются наименьшими показаниями. Следует учитывать, что чистые (неглинистые) разности отложений могут содержать включения, которые увеличивают показания гамма-каротажа по сравнению с чистыми разностями песчаников. К таким включениям относятся полевые шпаты, слюды, глауконит и тяжелые минералы.

Коллекторы выделяются по наименьшим показаниям гамма каротажа, соответствующим чистым неглинистым разностям пород. Следует учитывать, что плотные неглинистые породы

(неколлекторы) также будут характеризоваться низкими значениями ГК. Также показания ГК понижаются в интервалах кавернообразования.

Нейтронный гамма-каротаж эффективен при определении коллекторов, насыщения, уровней водо-нефтяных, газо-нефтяных, газо-водяных контактов (ВНК, ГНК, ГВК), пористости и литологии.

Для плотных пород с низким водородосодержанием и пористостью (плотные известняки, карбонатизированные песчаники, доломиты, алевролиты и др.) характерны повышенные значения показаний НГК. Для глинистых же пород, обладающих максимальной водонасыщенностью, характерны минимальные показания. Примесь глинистого материала снижает показания НГК.

Для газонасыщенных коллекторов регистрируются повышенные показания НГК. Для нефтенасыщенных коллекторов характерны промежуточные значения кривой НГК. Для водонасыщенных коллекторов характерно небольшое увеличение показаний НГК в сравнении с показаниями в нефтенасыщенных породах из-за наличия хлора (при захвате нейтронов атомами хлора выделяется большее количество γ -квантов) [2, 3, 4].

Алгоритмы подсчета параметров объемной глинистости, песчанистости, пористости и проницаемости (K_{gl} , A_{ps}^{GK} , K_p^{GK} , K_p^{NGK} , $K_p^{NGK,GK}$, K_{pr}) были подобраны из литературных источников [1].

Относительная амплитуда ГК или двойной разностный параметр $\Delta J\gamma$ рассчитывался по формуле:

$$\Delta J\gamma = (J\gamma - J\gamma_{min}) / (J\gamma_{max} - J\gamma_{min})$$

где $\Delta J\gamma$, $J\gamma_{min}$, $J\gamma_{max}$ – показания ГК в изучаемом прослое, в опорном пласте с минимальными значениями, в опорном пласте с максимальными показаниями соответственно. Опорный пласт с минимальными показаниями ГК выбирался в чистом коллекторе; с максимальными показаниями – в неразмытых глинах.

Объемная глинистость (K_{gl}) – определялась по рекомендованной упрощенной формуле Ларионова:

$$K_{gl} = C \times dJgk,$$

где C – массовая глинистость, которая составляет 0,6.

$$A_{ps}^{GK} = 1 - K_{gl},$$

$$K_p^{GK} = 0.238 \times A_{ps}^{GK} + 0.0926,$$

$$K_p^{NGK} = 0.59 \times dJngk - 0.03 \times dJgk,$$

$$K_p^{NGK,GK} = K_p^{NGK} + 0.07 - 0.03 \times dJgk,$$

$$K_{pr} = 10^{(17.4342 \times K_p^{GK} - 3.2605)}.$$

Метод ЗСБ основан на изучении поля переходных процессов, которое возбуждается в земле при изменении тока в источнике, позволяет решать такие задачи как изучение геологического строения осадочных бассейнов, прогноз наличия коллекторов и их насыщения, картирование разломов, исследование фундамента, выявление зон разуплотнения [6, 8].

При производстве полевых малоглубинных электроразведочных работ ЗСБ была применена методика профильных зондирований. Длина стороны генераторной петли составляла 150 м, приемной – 20 м. В генераторную петлю подавался ток силой до 37 А, что позволило получить надежную информацию о строении верхней части разреза до глубины не менее 450 м. Шаг по профилю между приемниками составлял 100 м, между источниками – 300 м.

Обработка сигналов ЗСБ заключается в анализе и исключении некондиционных записей, минимизации помех и осреднении сигналов различными способами, анализе спектральной характеристики первичных и обработанных сигналов. Далее следует расчет отношения сигнал/помеха для сигналов, обработанных различными способами, на основании чего осуществляется выбор наилучшего результата обработки записи. Завершающим этапом обработки является итоговое суммирование интерполированных на единую временную сетку кривых зондирований всех кондиционных записей, сделанных на пикете.

Далее выполняется моделирование и построение итоговых моделей, представляющих собой разрезы и карты удельного электрического сопротивления.

Полнота исходных материалов ГИС не позволяет определить количественные подсчетные параметры исследуемого района, однако выделенные коллекторы в совокупности с данными ЗСБ позволяют с высокой степенью достоверности прогнозировать их насыщение.

3. Примеры результатов

Результатом работ являются сводные геоэлектрические разрезы, представляющие собой совокупность разрезов УЭС по ЗСБ и каротажных данных с выделенными коллекторами.

На рисунке 1 представлен сводный геоэлектрический разрез, отображающий сходство в распределении значений УЭС по ЗСБ и параметра проницаемости по ГК. Наиболее проницаемые породы характеризуются пониженными значениями УЭС в сравнении с вмещающими непроницаемыми толщами.

На геоэлектрическом разрезе до глубины 100 м контрастно выделяется водоносная пачка, характеризующаяся низкими значениями УЭС по ЗСБ (менее 11 Ом·м) и высокими значениями проницаемости по ГИС (более 140 мД).

В западной и центральной частях рассматриваемого разреза прослеживаются вертикальные геоэлектрические неоднородности, которые, согласно опыту работ методом ЗСБ [5], могут быть интерпретированы, как каналы миграции газа из нижележащих продуктивных отложений (рис. 2).

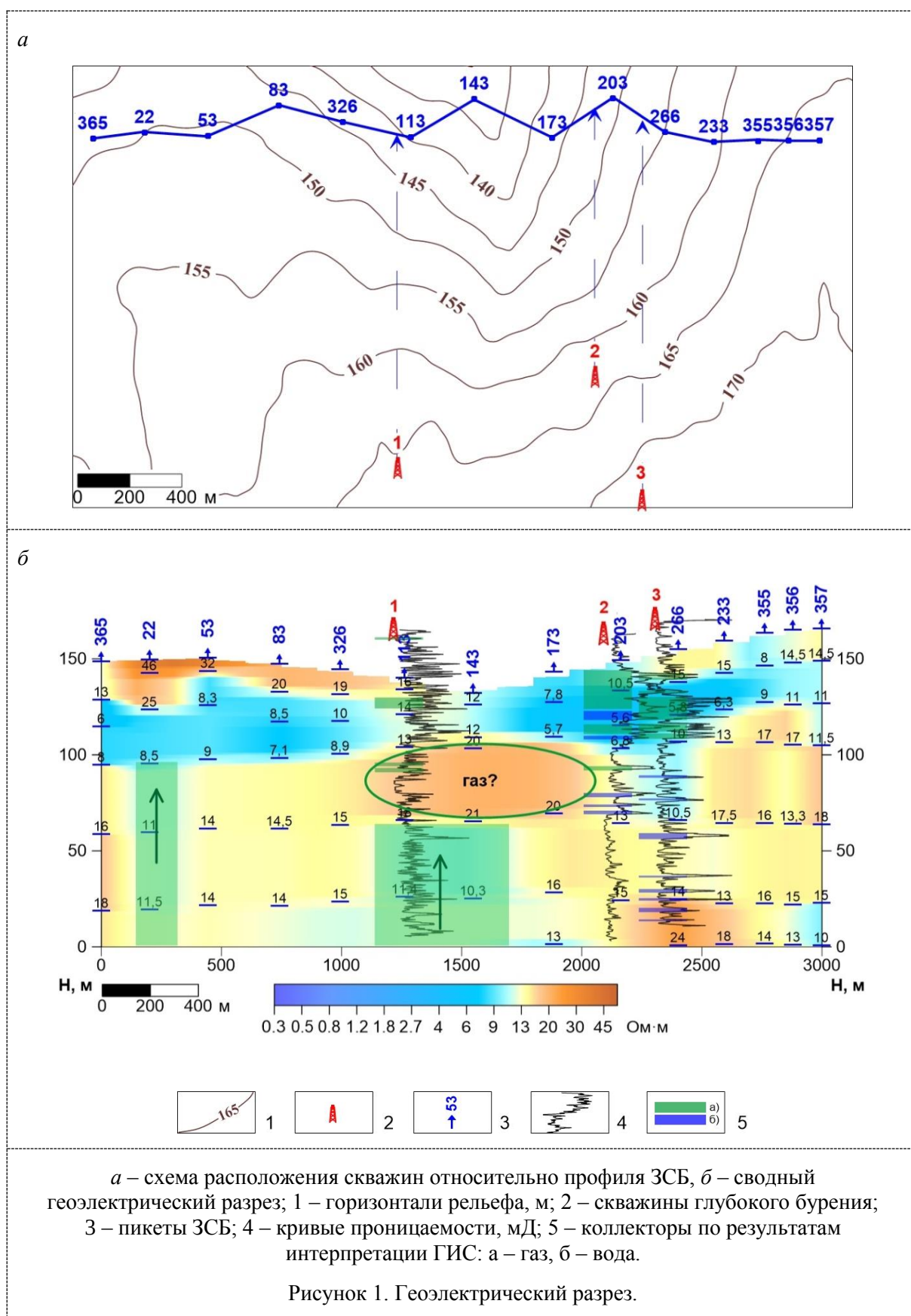
Несмотря на то, что скважины расположены на значительном удалении от профиля ЗСБ (от 1 до 1,5 км), распределение изучаемых параметров практически сохраняется ввиду относительной выдержанности структуры участка.

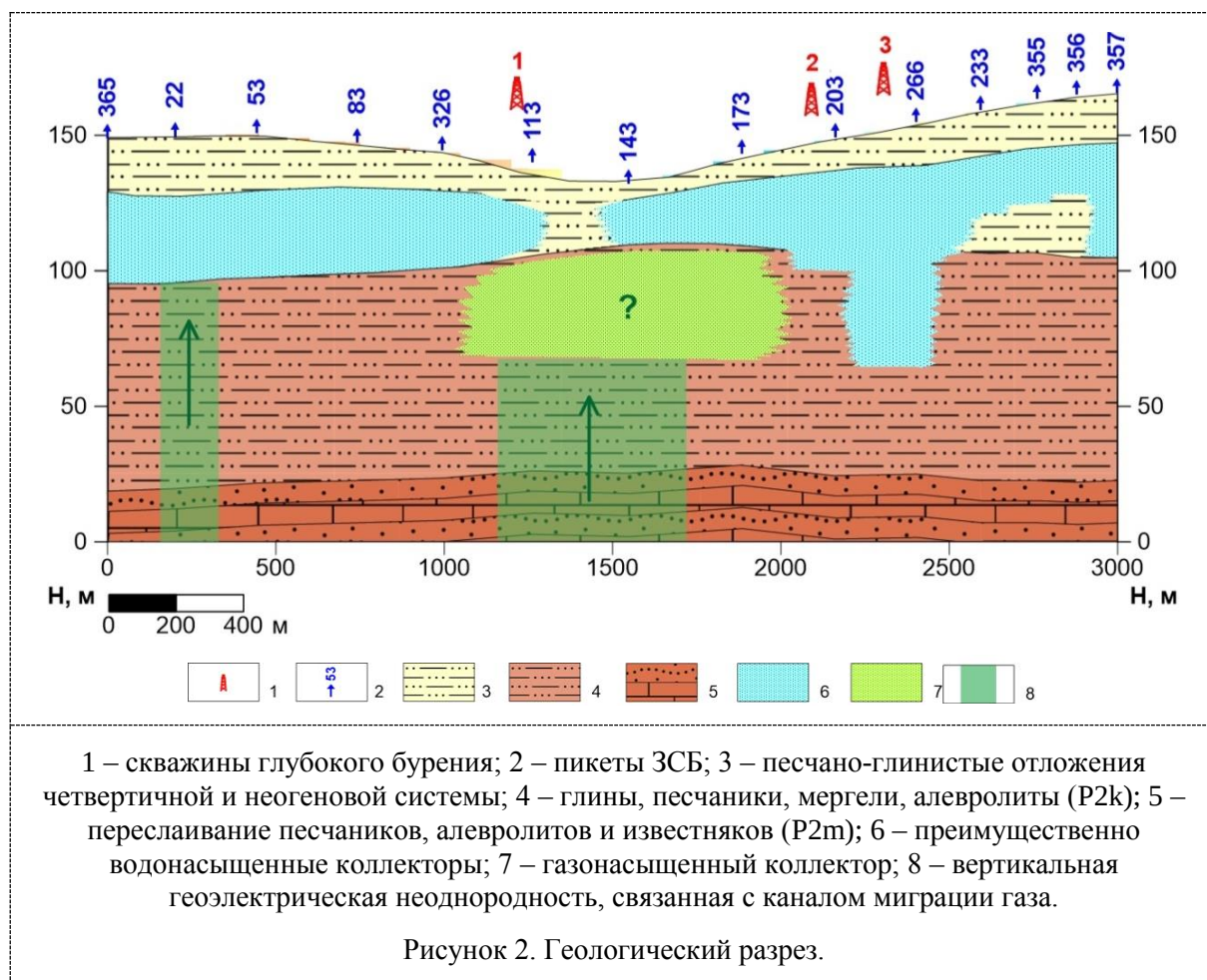
4. Выводы и рекомендации

1. Комплексирование данных ГИС и ЗСБ эффективно для обнаружения коллекторов и каналов миграции газа.

2. Из результатов проведенных работ следует, что герметичность газовой залежи нарушена, в связи с чем рекомендованы мониторинговые работы методом ЗСБ, которые позволят выявить ключевые изменения конфигурации и положения в пространстве аномалий УЭС.

3. Рекомендовано сгущение сети наблюдений с целью повышения точности прогноза коллекторов и обнаружения каналов миграции газа.





Библиографический список:

- [1] Венделыштейн Б.Ю., Ларионов В.В., Использование данных промысловой геофизики. при подсчете запасов нефти и газа. – М.:Недра,1964. – 198с.
- [2] Дьяконов Д.И., Кузнецов Г.С., Леонтьев Е.И. Общий курс геофизических исследований скважин – Учебник для вузов. – М.:Недра, 1984. – 432 с.
- [3] Итенберг С.С., Дахкильгов Т.Д. Геофизические исследования в скважинах. – М.: Недра, 1982. – 351 с.
- [4] Косков В.Н., Косков Б.В. Геофизические исследования скважин и интерпретация данных ГИС – Учебное пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. – 317с.
- [5] Мисюркеева Н.В., Буддо И.В., Агафонов Ю.А., Смирнов А.С., Жариков М.Г., Кулинченко А.С. Результаты применения электромагнитных исследований 3D ЗСБ и мЗСБ в условиях Арктической зоны Западной Сибири. «Геомодель 2017» – Геленджик, Россия, 11-14 сентября 2017 г. DOI: 10.3997/2214-4609.201702225.
- [6] Поспеев А.В., Буддо И.В., Агафонов Ю.А., Шарлов М.В., Компаниец С.В., Токарева О.В., Мисюркеева Н.В., Гомульский В.В., Суоров Л.В., Ильин А.И., Емельянов В.С., Мурзина Е.В., Гусейнов Р.Г., Семинский И.К., Шарлов Р.В., Вахромеев А.Г., Е.А. Сень. Современная практическая электроразведка. – Новосибирск: «Гео», 2018. – 221 с.
- [7] Ханин А.А. Породы-коллекторы нефти и газа и их изучение. – М.: Недра, 1969. – 368 с.
- [8] I.V. Buddo, N.V. Misurkееva, I.A. Shelohov, Y.A. Agafonov, A.S. Smirnov, M.G. Zharikov, A.S. Kulinchenko. Experience of 3D Transient Electromagnetics Application for Shallow and Hydrocarbon

Exploration within Western Siberia. 79 th EAGE Conference & Exhibition 2017. Paris, France, 12-15 June 2017. DOI: 10.3997/2214-4609.201700667.

Влияние траппового магматизма на нефтегазоносные горизонты (юг Сибирской платформы)

Рапацкая Л.А., Тонких М.Е., Стрижаков Е.А.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail: raplarisa@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрены некоторые вопросы роли траппового магматизма в процессе онтогенеза углеводородов. В качестве примера приведены данные по осинскому продуктивному горизонту, характеризующемуся региональным распространением на месторождения нефти и газа юга Сибирской платформы (Байкитская антеклиз, Катангская седловина, юго-западная часть Непско-Ботуобинской антеклизы, Ангаро-Ленская ступень). Построены графики зависимости между мощностями осинского продуктивного горизонта, перекрывающего соленосного флюидоупора и пластовых интрузий долеритов, занимающих центральную часть платформы. Рассмотрена зависимость фазового состояния залежей и температурного градиента на отдельных месторождениях.

1. Введение

Трапповый магматизм играет существенную роль в процессах переформирования, уничтожения и сохранения залежей нефти и газа и имеет важное значение при оценке нефтегазоносности территорий.

2. Материалы и методы

В работе использованы данные разведочных и эксплуатационных работ на месторождениях нефти и газа юга Сибирской платформы. Применены методы корреляции литолого-стратиграфических разрезов месторождений и графического изображения информации с помощью диаграмм.

3. Результаты исследования и их анализ

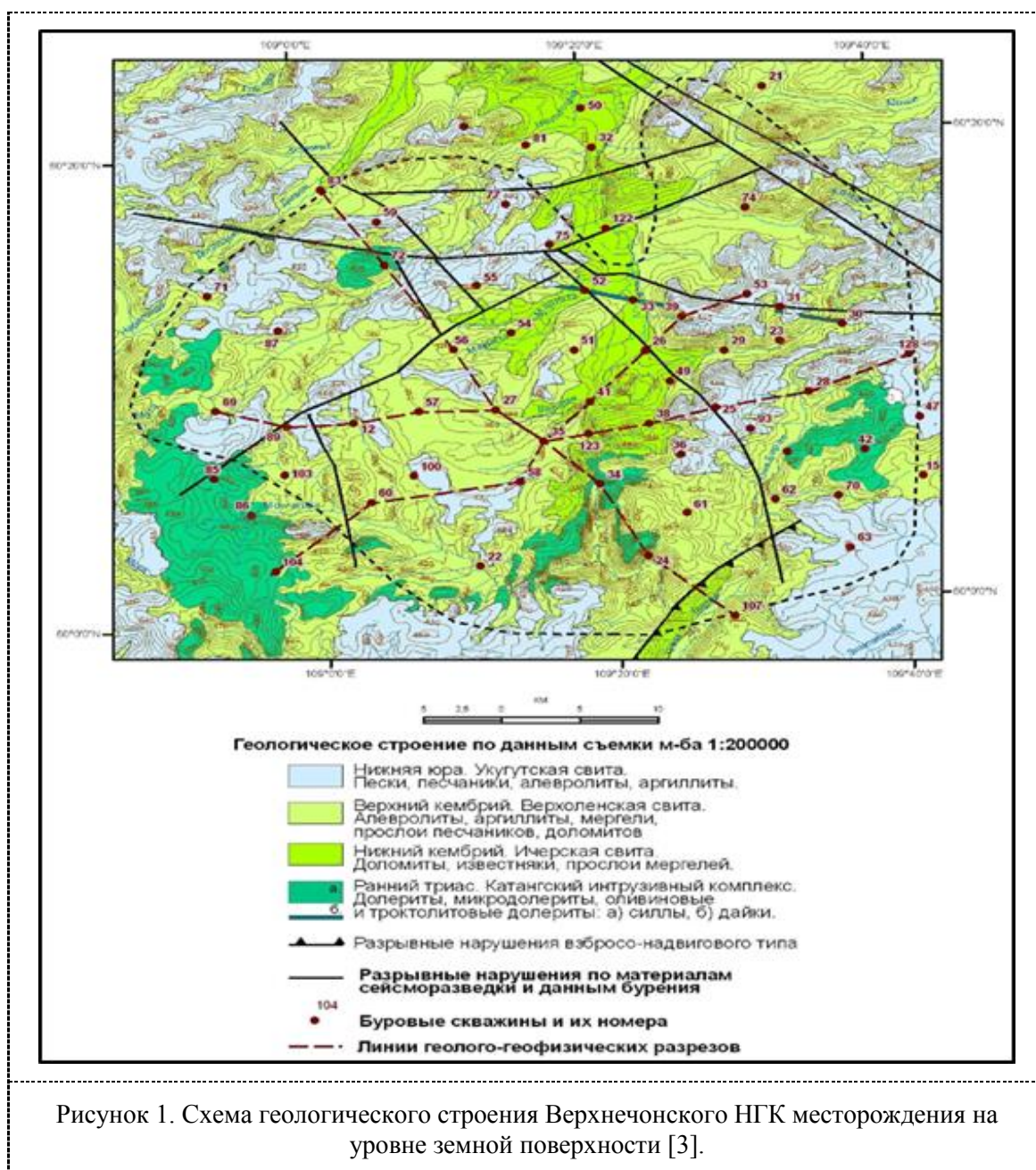
Сибирская платформа является обширным полем развития траппового магматизма пермь – раннетриасового возраста, занимающего её центральную часть, площадью около 1, 5 млн. км².

На территории Сибирской платформы открыты многочисленные месторождения нефти и газа, приуроченные к рифей-венд- кембрийским отложениям: Верхнечонское, Среднеботуобинское, Ярактинское, Даниловское, Ковыктинское и целый ряд других. Внедрение магмы с температурой до 1000–1200°С. в толщу осадочных пород, проходившее в условиях воздымания - растяжения земной коры, не могло не оказать разрушающего влияния на раннее сформированные залежи углеводородов [1]. Роль трапповых интрузий в процессах генерации, миграции, накопления и разрушения залежей УВ далеко неоднозначна и является чрезвычайно важной при оценке нефтегазоносности данной территории.

В нефтегазовой литературе влияние траппового магматизма на нефтегазоносность обсуждались неоднократно (Гажула С.В., Лёвин Ф.Д., Ивченко О.В., Поляков Е.Е., Ивченко М.В., Одинцова Т.В., Дробот Д.И.). Нами сделана попытка проследить на примере продуктивного осинского горизонта отдельных месторождений Сибирской платформы зависимость между: 1) мощностями нефтегазоносного горизонта и соленосного флюидоупора; 2) мощностью покрывки (кратчайшим расстоянием от подошвы траппового силла до кровли флюидоупора) и фазового состояния залежи нефтегазоносного горизонта.

Осинский горизонт - единственный стратиграфический уровень карбонатного комплекса венда и нижнего кембрия, характеризующийся региональной нефтегазоносностью и чрезвычайно широким распространением на Сибирской платформе [2]. К осинскому горизонту приурочена одна нефтяная залежь и три газоконденсатных. После испытания на Верхнечонском месторождении с применением вторичных методов воздействия на пласт получены притоки пластовых флюидов: газа – дебитом до 109,9 тыс. м³/сут (скв. 46), нефти – 14,7 м³/сут (скв. 113).

Немаловажное значение в процессе сохранения залежей горизонта имеет литологический состав пород и толщина перекрывающего флюидоупора. Мощная соленосная толща нижнего кембрия, сложенная доломитами, гипсами, галитами (с преобладанием последних) является надёжным региональным флюидоупором для залежей углеводородов.



На площадях отдельных месторождений (Аянская, Ярактинская, Большетирская, Дулисьминская и других) трапповый силл отмечается среди галогенно-карбонатных отложений

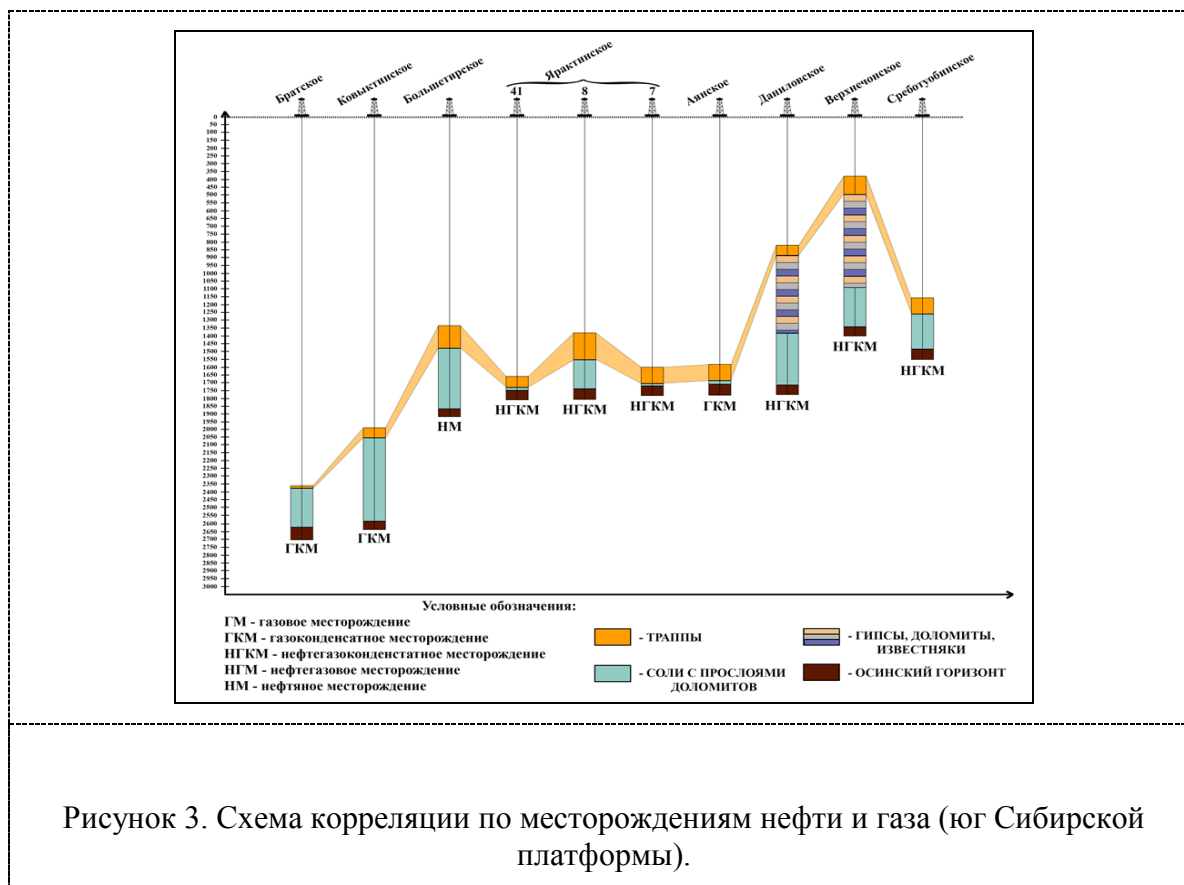


Рисунок 3. Схема корреляции по месторождениям нефти и газа (юг Сибирской платформы).

По данным скважин глубокого бурения на структурах Непско-Ботубинской антеклизы и Ангаро-Ленской ступени (таблица 1) были построены линейные графики зависимости между мощностями продуктивного осинского горизонта, соленосного флюидоупора и пластовых интрузий долеритов (рис. 4).

Таблица 1. Мощности осинского горизонта, флюидоупора и долеритов.

Название месторождения	Осинский горизонт (м)			Мощность долеритов (м)	Мощность флюидоупора (м)
	Отметка кровли	Отметка подошвы	Мощность		
Братское (ГКМ)					
Ковыктинское (ГКМ)					
Большетирское (НМ)	2632	2714	82	16	248
Ярактинское (скв. 41) (НГКМ)	2582	2640	58	64	529
Ярактинское (скв. 8) (НГКМ)	1875	1926	51	142	390
Ярактинское (скв. 7) (НГКМ)	1753	1818	65	71	12
Ярактинское (скв. 7) (НГКМ)	1748	1813	65	179	188
Ярактинское (скв. 7) (НГКМ)	1726	1791	65	110	10
Ярактинское (скв. 7) (НГКМ)	1719	1788	69	110	26
Аянское (ГКМ)	1717	1777	60	59	335
Даниловское (НГКМ)	1350	1410	60	120	250
Верхнечонское (НГКМ)	1495	1560	65	105	225
Среднеботубинское (НГКМ)					

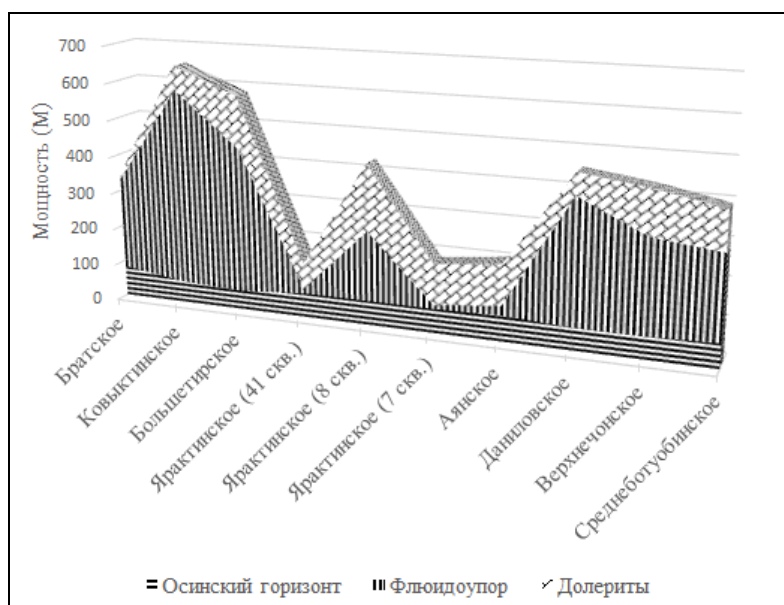


Рисунок 4. Линейный график зависимости мощности осинского горизонта, флюидоупора и долеритов.

4. Обсуждение

Анализируя график зависимости между мощностями осинского горизонта, флюидоупора и пластовыми интрузиями долеритов, можно сделать следующий вывод: между мощностями флюидоупора и пластовыми интрузиями долеритов просматривается прямая зависимость, т.е. горизонт сохраняется в том случае, если мощность флюидоупора увеличивается по мере возрастания мощности пласта долеритов.

Анализ графика зависимости фазового состояния залежи и температуры генерации нефти и газа (рис. 5.) из расчёта возможной глубины образования залежи через температурный градиент) показывает, что газоконденсатные залежи образуются при более высоких температурах, чем нефтяные.

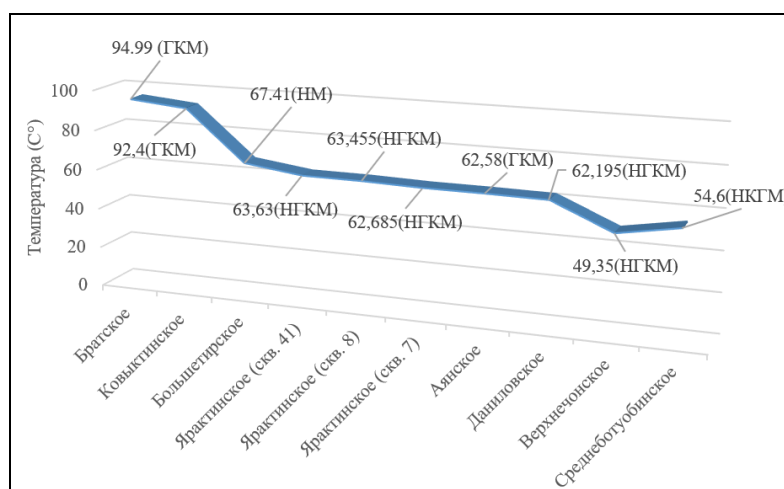


Рисунок 5. График зависимости температуры от фазового состояния залежи.

Этот факт подтверждает теорию Н.Б. Вассоевича [4] о главной фазе нефтегазообразования. Можно, с определённой долей осторожности, сделать и другой вывод: при снижении температуры после остывания траппового силла, происходит дистилляция нефти и образование конденсата и газа.

5. Заключение

Роль траппового магматизма на формирование и разрушение залежей нефти и газа несомненна и требует особого внимания при поисках, разведке и эксплуатации месторождений углеводородов.

Библиографический список

- [1] Гажула С В 2008 Особенности траппового магматизма в связи с условиями нефтегазоносности сибирской платформы. *Нефтегазовая геология. Теория и практика* 1, 1-8.
- [2] Одинцова Т В и Дробот Д И 1983 Трапповый магматизм и нефтегазоносность вендского терригенного комплекса Приленского нефтегазоносного района. *Геология нефти и газа* 7, 6-10.
- [3] Лёвин Ф Д 2009 Объёмная геолого-геофизическая модель Верхнечонского месторождения УВ. *Современные аэрогеофизические методы и технологии* 1, 195-225.
- [4] Вассоевич Н Б 1967 Теория осадочно-миграционного происхождения нефти (исторический обзор и современное состояние) *Изв. АН СССР. Сер. геологическая* 11, 135-156.

Состав, состояние и свойства техногенных грунтов дамб карт-шламонакопителей в районе Байкальского ЦБК

Рященко Т.Г.¹, Гринь Н.Н.², Штельмах С.И.¹

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия¹

E-mail ryashenk@crust.irk.ru

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия²

E-mail grinki.i@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены состав, состояние и свойства техногенных дисперсных грунтов дамб карт-шламонакопителей в районе Байкальского ЦБК с применением стандартных и специальных методов. Выделена особая разновидность техногенного продукта в виде глинистых пылеватых песков, для которых впервые определены химический и микроэлементный состав, степень загрязнения токсичными компонентами, выявлены их потенциальная плавучность, слабая пластичность за счет совместного влияния пылеватых и глинистых фракций, способность к физико-химической активности. В исследованных скважинах опасные зоны текучей консистенции практически отсутствуют.

1. Введение

В инновационно-технологическом центре Иркутского Национального Исследовательского технического университета (ИРНИТУ) рассматривалась проблема, связанная с отходами Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (БЦБК), практически закрытого в 2013 г. В результате определена необходимость выполнения следующих мероприятий: нейтрализация шлам-лигнина; рекультивация территории комбината; отведение и обезвреживание с помощью специальных сорбентов надшламовых вод; создание из шлам-лигнина техногенного малотоксичного твердого грунта; использование биотехнологического способа получения плодородного слоя (эти материалы опубликованы в газете «Аргументы недели» № 49 от 14

декабря 2017 года). Исполнителями предложенных мероприятий в условиях федерального финансирования являются «Росгеология» и ИРННТУ.

2. Материалы

На первом этапе работ в рамках указанного проекта в ноябре 2017 года были выполнены исследования дисперсных техногенных грунтов гидротехнических сооружений – дамб, окружающих девять карт-шламонакопителей (длина 1500–2000 м, ширина 100–200 м, глубина 5–6 м) (Рисунок 1). Для этой цели пробурено 15 скважин глубиной 6–10 м с отбором проб нарушенной структуры и природной влажности с интервалом 2 м. Необходимо было изучить состав, состояние и некоторые свойства техногенных грунтов искусственных гидротехнических сооружений, «охраняющих» опасные отходы в картах-накопителях.

В лаборатории по изучению состава и физико-механических свойств горных пород научно-исследовательского и проектного института геологии, инженерных изысканий и экологии НИЧ ИРННТУ определялись гранулометрический состав 69 образцов; после отделения крупнообломочных фракций для 34 (из 69) проб (материал <1 мм) получены значения природной влажности и пределов пластичности, рассчитаны показатели текучести. По результатам гранулометрического анализа с учетом пластичности каждый объект получил собственное «наименование» согласно стандартной классификации ГОСТ 25100-2011 [1]. Другие показатели состава, за исключением гранулометрического, в указанной лаборатории не определялись, поэтому часть воздушно-сухих образцов (25 из 34) в виде материала <1 мм были исследованы в лаборатории инженерной геологии и геоэкологии и Центре коллективного пользования (ЦКП) «Геодинамика и геохронология» Института земной коры СО РАН (ИЗК СО РАН). При описании объектов, методов и результатов исследований представляем материалы ИРННТУ и ИЗК СО РАН, которые позволили составить общее заключение по оценке состава, состояния и некоторых свойств техногенных грунтов дамб карт-накопителей в районе БЦБК.



Рисунок 1. Шламонакопители № 1–7 БЦБК (фото В.А. Короткоручко)

3. Методы и результаты исследований

В испытательной лаборатории ИРННТУ по стандартным методикам [2] определялись гранулометрический состав, природная влажность и пластичность.

При проведении *гранулометрического анализа* использовались два метода: ситовой (с промывкой водой) и комбинированный (34 образца), когда после отделения крупнообломочной и грубой песчаной фракций (200–1 мм) оставшая часть материала (<1 мм) исследовалась пипеточным методом. В первом случае содержание частиц < 0,1 мм чаще всего не превышало 10 % и выделение в их числе тонкопесчаных, пылеватых и глинистых разновидностей отсутствовало. Во втором случае частицы <1 мм были представлены песчаными, пылеватыми и

глинистыми разновидностями, которые в сумме составляли 100 %, но после пересчета на всю массу образца их содержание изменялось. Заметим, что именно для фракции <1 мм устанавливались пределы пластичности и рассчитывался показатель текучести грунта.

По кумулятивным кривым гранулометрического состава, полученного ситовым методом, установлены коэффициенты неоднородности (K_d), сортировки (S_o) и асимметрии (S_k), которые показали, что грунты характеризуются существенной неоднородностью (минимальное значение коэффициента 5,5) и плохой сортировкой. (S_o в среднем составляет 7,7). Величина коэффициента асимметрии ($S_k < 1$) свидетельствует о преобладании крупных фракций, способствующих водопроницаемости техногенных грунтов, что может негативно повлиять на устойчивость дамб в условиях нарушения гидроизоляции [1].

Природная влажность, пределы пластичности и показатель текучести определялась в 34 пробах (материал <1 мм). Влажность изменялась от 4,0 до 25,8 %, но только в двух случаях показатель текучести оказался >1 (1,24 при влажности 25,8 % и 1,02 при влажности 22,9 % в интервале 2–4 м). В остальных исследованных разрезах грунты находились в твердом состоянии. Возможно, аналогичные опасные зоны со временем могут появиться на других участках.

В лаборатории определены пределы текучести (W_m) и пластичности (W_p), затем число пластичности (I_p), которое мы называли экспериментальным, поскольку в дальнейшем были выполнены расчеты по прогнозным формулам. Статистическая обработка данных по I_p ($n=34$) показала, что среднее значение пластичности составляет 2,9 % и соответствует супеси, коэффициент вариации (V) равен 42 %. Значительная разнородность значений связана с относительно широким диапазоном показателя (1,1–5,8) при общем слабом проявлении пластических свойств. Предел текучести (W_m) в среднем составляет 19,3 %, коэффициент вариации снижается до 17 %.

В ИЗК СО РАН проводился визуальный просмотр 25 образцов, который сопровождался использованием полученных в лаборатории ИРНИТУ данных о гранулометрическом составе, поэтому в разрезах скважин были выделены различные зоны по соотношению песчаных, пылеватых, глинистых ($ps < 1$ мм) и крупнообломочных и грубозернистых песчаных ($cr > 1$ мм) фракций. В дальнейшем индекс $[ps]$ будем называть «песчаной» фазой, $[cr]$ – «крупнообломочной». После выделения указанных фаз каждый образец получил «двойное» наименование: по стандарту и с учетом соответствующей корректировки, выполненной на основе литологических признаков, некоторых свойств и различных опубликованных рекомендаций относительно классифицирования песчаных и глинистых грунтов.

В качестве примера приводится описание двух образцов, для которых предлагается «двойное наименование» – стандартное и с учетом корректировки.

841 – 0–2 м. Песок серый, содержание дресвы и гравия 50,9 % (гранулометрический анализ выполнялся ситовым методом). Следовательно, песчаная $[ps]$ и крупнообломочная $[cr]$ фазы в техногенном продукте по содержанию практически равны $[ps=cr]$. В песчаной фазе содержатся грубые (8,7 %), крупные (9,6 %), средние (14,0 %) и мелкие (11,9 %) песчаные частицы, а также тонкозернистые песчаные, пылеватые и глинистые фракции (<0,1 мм), в сумме составляющие всего 4,9 %.

ГОСТ: дресвяный грунт с песком средней крупности.

Корректировка: песок разнородный с незначительным содержанием материала < 0,1 мм + гравий с дресвой $[ps=cr]$.

842 – 2–4 м. Песок серый, пылеватый; содержание дресвы и гравия 43,3 % (гранулометрический анализ выполнялся комбинированным методом). Таким образом, песчаная фаза $[ps]$ представляет основную часть техногенных образований – 56,7 % (в том числе грубозернистых песчаных частиц 7,4 %). По данным гранулометрического анализа фракции <1 мм методом пипетки установлено, что здесь содержатся крупные (23,1), средние

(20,7) и мелкие (20,9 %) песчаные частицы, а также тонкие песчаные (11,0), пылеватые (20,1) и глинистые (4,3 %) фракции (в сумме составляют 35,4 %). Пылеватость определяется существенной примесью «тонкого» материала (35,4 %) и, возможно, мелкозернистых песчаных частиц (20,9 %), то есть имеет место имитация этого признака. Для образца определены пределы и число пластичности ($I_p=3,3$). Проявление пластических свойств в этих песках определяют, по всей вероятности, повышенное содержание пылеватых фракций (20,1 %) и присутствие глинистых (4,3 %).

ГОСТ: супесь песчанистая щебенистая.

Корректировка: песок глинистый (содержание частиц $<0,002$ мм 4,3 %), разнозернистый, пылеватый, проявляет слабую пластичность ($I_p=3,3$), имеется примесь дресвы и гравия, (43,3 %) [ps].

После просмотра данных по всем скважинам установлено, что в техногенном продукте можно выделить три варианта сочетаний песчаной и крупнообломочной фаз: 1) $ps=cr$ [ps=cr]; 2) $ps>cr$ [ps]; 3) $ps<cr$ [ps–заполнитель]. В этом случае любой разрез можно представить как чередование зон с различным сочетанием указанных фаз, при этом выделяется особая разновидность глинистых, пылеватых разнозернистых песков – сыпучих, без следов связности, серого цвета, обладающих слабой пластичностью. Таких образцов зафиксировано 34 из 69, именно для них гранулометрический анализ выполнялся комбинированным способом. Согласно ГОСТ 25100-2011 (табл. 2.10, с. 24) они получили наименование «супесь песчанистая».

Для подтверждения несостоятельности термина «супесь песчанистая» обратимся к публикациям. Определенные выводы сделаны в работе В.И. Каширского, который пишет о том, что термин «супесь» давно существует в классификации грунтов, принятой в СССР – России, но отсутствует в зарубежной нормативной документации [3]. В прежних нормах отсутствовали супеси песчанистые, но были супеси легкие (3–6 %) и тяжелые (6–10 %), которые для дочетвертичных отложений именовались песками глинистыми [4]. Валерий Давидович Ломтадзе в словаре по инженерной геологии представляет следующее определение термина: «супесь – глинистая порода четвертичного возраста, в составе которой содержится от 3 до 10 % глинистых частиц; это сильно глинистый песок, обладающий некоторой связностью и пластичностью» [5, с. 307].

За рубежом понятие «глинистый песок» используется в роли «переходного типа» от глин и суглинков к «нормальным» песчаным грунтам [6]. Кстати, в русско-английском словаре терминов, используемых при инженерных изысканиях для строительства, «супесь» переводится как «sand dust» (песок пылеватый) [7, с. 39]. Для территории юга Восточной Сибири роль «переходного типа» принадлежит природным «связным пескам», которые являются продуктом процессов лессового литогенеза [8]. Техногенные глинистые пески связностью не обладают и к этой группе не относятся. Они представляют особую разновидность, в которой содержание фракции $<0,002$ мм превышает 3 % и проявляются слабые пластические свойства. Для этих песков впервые были изучены химический и микроэлементный состав и определены некоторые свойства.

Химический состав (содержания породобразующих оксидов) определялся методом силикатного анализа для шести образцов; проведена статистическая обработка данных, рассчитаны специальные геохимические коэффициенты. Полученные материалы позволяют заключить, что химический состав однороден (коэффициент вариации преимущественно <10 –15 %), пески химически слабо переработаны, обогащены оксидами железа (среднее общее содержание 7,60 %), кальция (4,98) и магния (4,09). Особо аномальных признаков не наблюдается.

Микроэлементный состав для тех же шести образцов определялся рентгенофлуоресцентным методом с помощью спектрометра S8 TIGER (Германия, фирма Брукер). Установлено содержание 23 микроэлементов (ppm): V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, As, F,

Sn, Ba, La, Ce, Nd, Sr, Y, Zr, Nb, Ga, U, Th, Rb, S. Для группы токсичных компонентов (V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, As) проведена статистическая обработка данных: по содержанию преобладают ванадий, хром и цинк, очень много фтора (в среднем 548 ppm); распределение относительно однородное (V9–23, для фтора – 37). В группе не указано олово, поскольку его содержание $<4 \text{ ppm}$ ($\text{ppm}=0,0001 \%$).

Рассчитан специальный показатель Zc [9], величина которого (15–18, в среднем 17) свидетельствует о том, что глинистые пески, представляющие значительную часть техногенных грунтов дамб, по степени загрязнения находятся в ситуации, близкой критической (почти пограничной) [10]. Установлен коэффициент концентрации (Kc), который показывает отношение содержания компонента (среднего и максимального) к величине кларка (по А.П. Виноградову). Среди токсичных микроэлементов превышают кларк ($K_c > 1$) V, Cr, Co, особенно As (4,71–5,29), остальные близки к его значению.

Из числа других микроэлементов ведущее место занимают барий (485–728 ppm), стронций (246–349) и сера (112–376), несколько завышена концентрация циркония (79–134 ppm). La, Ce, Nd, Y, Nb, Ga, Rb по содержанию ($<10\text{--}50 \text{ ppm}$) относятся к второстепенным компонентам; радиоактивные уран ($<3 \text{ ppm}$) опасности не представляет, торий (4,7–7,5 ppm) по содержанию близок мышьяку.

Выполнен стандартный химический анализ солянокислой, водной и щелочной вытяжки для 11 образцов глинистых песков [11]. Отмечается обогащение карбонатами при широком диапазоне изменения их содержания (6,3–23,1 %), преобладают железистые и магниевые формы; водорастворимых солей $<0,3 \%$, преобладают сульфаты, реакция среды щелочная, только в одном случае (образец 865–10 м) обнаружено аномальное засоление (2,4 %) и кислая среда ($\text{pH}=4,0$); подвижные (свободные) оксиды алюминия по содержанию имеют в разрезах положительные и отрицательные «пики» (пределы изменений 0,70–3,52 %). Аналогичные «пики» отмечены в содержании гумуса (определялся по методу И.В. Тюрина) – 0,0 до 2,0 %.

Некоторые свойства. Определялись емкость катионного обмена по методу Л.И. Кульчицкого [11], угол естественного откоса на воздухе и под водой, седиментационный объем [2] и расчетные значения пластичности по трем прогнозным формулам – $\text{Ip}1$, $\text{Ip}2$, $\text{Ip}3$ [12]. Кроме того, рассмотрен специальный вопрос о влиянии на пластичность исследованных грунтов различных фракций.

Измерения емкости обмена (ЕКО, мг-экв на 100 г вещества) проводились для 10 образцов: Диапазон изменения этого показателя составил 10–62 мг-экв (среднее значение 35). Следовательно, глинистые пески, кроме пластичности, обладают некоторой физико-химической активностью, что также не свойственно обычным песчаным грунтам.

Углы естественного откоса измерены для 13 образцов, при этом установлена общая закономерность – под водой происходит снижение на $7\text{--}13^\circ$ ($\Delta\phi$). Эта закономерность является признаком склонности глинистых песков к плавунности (опасное свойство).

Седиментационный объем (V , см³), определение которого выполнено для 25 образцов глинистых песков, является классификационным признаком потенциально плавунных грунтов. Выделяется три типа: I ($V < 3,3$) – пески; II ($V = 3,3\text{--}10,0$) – пылевато-глинистые, в том числе лессовые отложения; III ($V > 10$) – плавунные глины. Из 25 образцов 21 (84 %) относятся к первому типу, таким образом, подтверждается их принадлежность к плавунным глинистым пескам, тем более что для них характерно резкое снижение угла естественного откоса под водой за счет, вероятнее всего, глинистых и пылеватых частиц.

Пластичность. По пределу текучести (W_m) проведен пересчет ($n=34$) пластичности по прогнозным формулам, предложенным Б.Ф. Галаем ($\text{Ip}1 = 0,75 \cdot W_m - 11$; $\text{Ip}2 = 0,8 \cdot W_m - 14$) и сотрудниками ВосСиБТИСИЗа (Восточно-Сибирский трест инженерно-строительных изысканий, Иркутск) ($\text{Ip}3 = 0,599 \cdot W_m - 0,079$) [12]. Расчет по формулам № 3, № 1 показал почти полное совпадение с экспериментальными данными (Ip).

С помощью кластерного анализа R-типа проведен своеобразный «эксперимент» по оценке влияния на пластичность грунта различных фракций. Располагая данными о количестве тонкозернистых песчаных, пылеватых и глинистых фракций и определенной в лаборатории величине пластичности (I_p), мы построили несколько вариантов графиков-дендрограмм и установили коэффициенты корреляции (r). Оценка тесноты связей между признаками выполняется следующим образом: при $r > 0,7$ связи существенные, $r < 0,4$ – несущественные, $r = 0,4 - 0,7$ – заметные (среднего уровня). Матрица признаков включала экспериментальное число пластичности (I_p), содержание тонкозернистых песчаных ($M_{псТ}$), пылеватых ($M_{п}$), глинистых ($M_{г}$) и сумму пылеватых и глинистых ($M_{п} + M_{г}$) частиц ($n=34$). Размеры частиц: $0,01 - 0,05$ мм – тонкозернистые песчаные; $0,05 - 0,002$ мм – пылеватые; $< 0,002$ мм – глинистые. Первый вариант показал отрицательную взаимосвязь пластичности с содержанием тонкозернистой песчаной фракции ($r = -0,18$). Таким образом, эта фракция проявлению пластичности не способствует. Далее отдельно определили уровень связи пластичности с глинистыми и пылеватыми частицами. Оказалось, что коэффициент корреляции с глинистыми фракциями равен $0,64$; уровень связи с пылеватыми частицами оказался более высоким ($0,72$). На заключительном этапе проверили корреляцию пластичности с общим содержанием глинистых и пылеватых частиц; коэффициент увеличился до $0,73$ (Рисунок 2).



На основе представленных данных доказано совместное влияние пылеватых и глинистых фракций на проявление пластичности техногенных глинистых песков пылеватые частицы даже больше влияют на пластичность ($r=0,72$), чем глинистые ($r=0,64$).

4. Заключение

На основе изучения гранулометрического состава техногенных дисперсных грунтов дамб шламонакопителей БЦБК выделены стандартные разновидности и их особенности.

Обнаружено почти полное отсутствие в разрезе скважин опасных зон текучей консистенции.

В составе техногенных грунтов выделена особая разновидность – пески глинистые, пылеватые, слабо пластичные (вместо стандарта «супесь песчанистая»), представляющие «переходный тип» от глин и суглинков к «нормальным» пескам.

При анализе разрезов скважин выявлены различные зоны по соотношению материала < 1 мм [ps] и > 1 мм [gr], первая из которых определена как «песчаная» фаза, вторая – «крупнообломочная».

Для особой техногенной разновидности грунтов, представленной глинистыми, пылеватыми, слабо пластичными песками, впервые выполнены комплексные исследования химического и микроэлементного состава: отмечается обогащение оксидами железа, кальция и магния; степень загрязнения токсичными микроэлементами оказалась критической, при этом зафиксированы высокая концентрация (по сравнению с кларком) мышьяка, обогащение фтором и серой; а также присутствие радиоактивного тория.

Техногенные глинистые пески, кроме слабой пластичности, обладают некоторой физико-химической активностью, что также не свойственно обычным песчаным грунтам; имеет место потенциальная опасность проявления плавунности.

На примере нового объекта подтвердились рекомендации о применении в практике изысканий прогнозных расчетов для определения числа пластичности по пределу текучести.

Доказано совместное влияние пылеватых и глинистых фракций на проявление пластических свойств техногенных глинистых песков.

Библиографический список

- [1] Гринь Н Н, Ланкин Ю К, Рященко Т Г 2018 Изучение техногенных грунтов в рамках реализации проекта рекультивации отходов Байкальского БЦК. *Сергеевские чтения*. Вып. 20. (М.:РУДН). С. 112–117.
- [2] Ломтадзе В Д 1990 *Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований*. (Л.: Недра).
- [3] Каширский В И 2010 Нормативные документы в условиях перехода к саморегулируемым организациям. *Сергеевские чтения*. Вып. 12. (М.: РУДН). С. 30–39.
- [4] Иванов И П 1990 *Инженерная геология месторождений полезных ископаемых*. (М.: Недра).
- [5] Ломтадзе В Д 1999 *Словарь по инженерной геологии*. (Санкт-Петербургский горный институт).
- [6] Zimbardo M. et al. 2016 The open metastable structure of a collapsible sand: fabric and bonding. *Bulletin Engineering Geology and the Environment*. V. 75. № 1. P.125–139.
- [7] *Русско-английский и англо-русский словарь терминов, используемых при инженерно-геологических изысканиях при строительстве 2016* / Составитель Н М Хайме. (Казань: «Астор и Я»
- [8] Ryashchenko T G, Akulova V V, Ukhova N N 2011 Processes of loess lithogenesis during the Pleistocene – Holocene. *Quaternary International*. № 240. P. 150–155.
- [9] Порядин А Ф, Хованский А Д 1996 *Оценка и регулирование качества окружающей природной среды*. (М.: Издательский дом «Прибой»).
- [10] Сает Ю Е, Ревич Б А, Янин Е П и др. 1990 *Геохимия окружающей среды*. (М.: Недра).
- [11] *Лабораторные работы по грунтоведению: Учебное пособие*. 2017 (М.: КДУ, Университетская книга).
- [12] Рященко Т Г, Тирских С А 2016 Определение пластичности глинистых и лессовых грунтов: оценка расчетного метода и рекомендации. *Инженерные изыскания*. № 8. С. 10–14.

Социологические аспекты работы вахтовым методом (на примере ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»)

Сабиров Т.Р.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail viva160@mail.ru

Аннотация. Возрастает значимость северных сырьевых регионов России, что связано, в основном, с разработкой и добычей на их территории природных ресурсов. В современных условиях развития мировой экономики нефть и газ являются ценнейшим сырьем. Освоение новых месторождений в условиях отсутствия необходимой инфраструктуры, работа в еще более сложных природно-климатических условиях заставляют расширять масштабы использования вахтового метода организации труда.

1. Введение

Вахтовый метод – это выполнение работ силами мобильных подразделений с постоянным выездом трудовых коллективов на объекты, удаленные от постоянного места жительства работников, когда экономически нецелесообразны ежедневные поездки [1]. Вахтовый метод чреват многочисленными правовыми, экономическими и социальными издержками, основные из которых: тяжелые условия проживания во время вахты, чрезмерная тяжесть труда, социальная незащищенность, распад семьи, высокий травматизм работников, консервация депрессивного состояния малых городов [2].

2. Материалы и методы

Авторы этой статьи исследовали готовность молодых специалистов к работе вахтовым методом при помощи социологического опроса на примере студентов Иркутского национального исследовательского технического университета (ИРНИТУ). Выборочная совокупность составила 100 человек - студенты института недропользования, обучающиеся по направлению «Нефтегазовое дело».

3. Результаты исследования и их анализ

На данном направлении обучаются преимущественно мужчины, поэтому, на вопрос «Ваш пол?» 77,2% опрошенных ответили мужской, а 22,8% женский. Большинство опрошенных в возрасте от 19 до 21 лет, в основном были задействованы первые, вторые, третьи курсы они составляют 71%, а от 21 лет и старше 29%.

Основными распространенными причинами выбрать профессию, подразумевающую работу вахтовым методом, являются: высокая зарплата (28%), плохая ситуация на местном рынке труда (20%) и возможность посещать другие регионы страны (19%)[12]. После этого студентами были названы полагающиеся по закону надбавки к окладу (11%), которые сопутствуют работе на Севере, Сибири и возможности профессионального роста (16%); 6% назвали иные причины (рисунок 1).

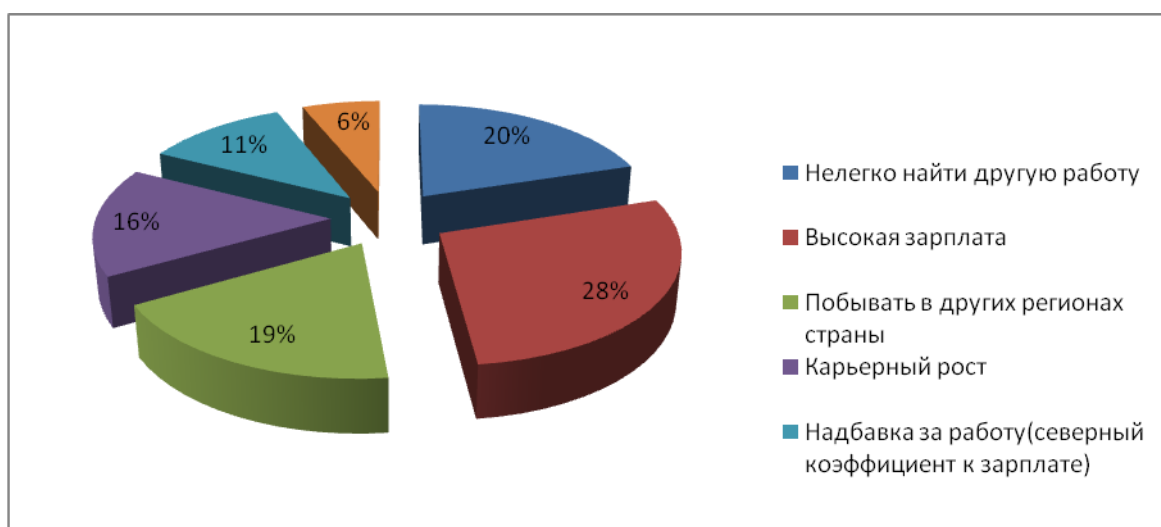


Рисунок 1. Что по Вашему взгляду мотивирует выбрать работу

вахтовым методом (%)

4. Обсуждение

Главной отрицательной стороной работы вахтовым методом является, то что «работа опасна и наносит вред здоровью» так считают 46,7% респондентов, «неблагоустроенный быт» - 29,3%, «плохие условия для жизни в вахтовом поселке» - 26,5%, «разлука с родными» - 7,2%, «другое» - 2,2% (рисунок 2).



Основной положительной стороной работы вахтового метода, респонденты считают «высокая заработная плата» - 47,5%, «возможность карьерного роста» - 26,2%, «вахта благотворно влияет на отношения в семье» - 17,3%, «другое» - 9%. Как правило, работа вахтовым методом, это высокооплачиваемая работа и в основном, люди идут работать по вахтам, чтобы улучшить свое материальное положение [3].

Меньшинство (30,2%) имеют принципиально негативное отношение и не готовы по окончании учебы работать вахтовым методом. В процентном соотношении так ответило больше женщин, нежели мужчин. Предпочли бы работать недалеко от места постоянного проживания 10,8% опрошенных, независимо от того, смогут ли они работать по специальности или нет [13]. Еще 10% попытаются найти работу за границей, поскольку зарплаты там выше. Однако большинство опрошенных (49%) позитивно настроены по отношению к вахтовой работе: 51% мужчин и 18,8% женщин. Судя по этим данным, мужчины скорее, чем женщины, готовы начать в будущем мобильную жизнь [9].

Самыми распространенными причинами выбрать профессию, подразумевающую работу вахтовым методом, являются: хорошая зарплата (28%), не стабильная ситуация на рынке труда (20%) и возможность проживать в других регионах страны (19%). Позже студентами были названы надбавки к окладу (11%), которые выплачиваются на вахте (Север, Сибирь, Дальний Восток) [14], а также возможности профессионального роста (16%); 6% назвали иные причины (рисунок 2).

5. Заключение

Все более распространенной системой организации труда становится работа вахтовым методом нефтяной и газовой промышленности России, особенно в северных регионах [4]. В ходе данного исследования среди учащихся Иркутского национального исследовательского технического университета авторы сделали попытку лучше понять ситуацию, в которой находится «молодое поколение» рабочей силы в нефтегазовой промышленности [6]. С одной

стороны, промышленность в большой степени зависит от гибкости и мобильности рабочей силы [15]. С другой стороны, специфика производства в этом секторе дает вахтовым работникам заработок выше среднего и хорошие карьерные перспективы [5]. Опросы отчетливо показывают, что студенты в большинстве своем размышляют о будущем в профессии и в основном знакомы с условиями труда в данной отрасли [10]. Результаты данного исследования представляют как основные факторы, стимулирующие студентов работать вахтовым методом, так и причины, по которым они не хотят трудиться таким образом всю жизнь [7, 11]. Они показывают высокую степень ответственности при принятии решений о собственном будущем и серьезно размышляют над тем, должны ли они сделать выбор в пользу работы вахтовым методом [8].

Библиографический список

- [1] Гайсина Л.М., Дорожкин Ю.Н. Управление персоналом в российских компаниях нефтегазового комплекса: современные социальные приоритеты. – Уфа: Изд-во «Нефтегазовое дело», 2010.
- [2] Gaisina L.M., Mikhaylovskaya I.M., Khairullina N.G., Ustinova O.V., Shakirova E.V. The role of the media in the spiritual and moral evolution of society. *Mediterranean Journal of Social Sciences.- MCSER Publishing, Rome-Italy*, 2015.-Vol. 6, No. 5 S2, pp. 93-101.
- [3] Gaisina L.M., Barbakov O.M., Koltunova Yu.I., Shakirova E.V., Kostyleva E.G. Social management systems' modeling based on the synergetic approach: methods and fundamentals of implementation. *Academy of Strategic Management Journal*, 2017, 16(1), pp. 82-94.
- [4] Гайсина Л.М. Современные социальные технологии подбора кадров в российских нефтегазовых компаниях. *Вестник Башкирского университета. Научный журнал*. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2010. – Т. 15. - № 4. – С. 1264-1268
- [5] Гайсина Л.М. Персонал новой формации: нефтегазовый комплекс России. *Известия высших учебных заведений. Социология. Экономика. Политика*. 2014. № 3 (42). С. 9-12.
- [6] Saxinger G., Öfner E., Shakirova E., Ivanova M., Yakovlev M., Gareyev E. (2016). Ready to Go! The Next Generation of Mobile Highly Skilled Workforce in the Russian Petroleum Industry. *The Extractive Industries and Society*. Vol. 3. Issue 3. P. 627-639.
- [7] Saxinger G., Öfner E., Shakirova E. Ich bin bereit. Die nächste Generation mobile Fachkräfte in der russischen Erdgas- und Erdölindustrie. *Austrian Studies in Social Anthropology*, 2014, no. 2, pp. 1-24.
- [8] Саксингер Г., Эфнер Э., Шакирова Э.В., Иванова М.Е., Яковлев М.В., Гареев Э.С. «Я ГОТОВ!»: новое поколение мобильных кадров в Российской нефтегазовой промышленности. *Сибирские исторические исследования*. 2014. № 4. С. 73-103.
- [9] Gaisina L.M., Dorozhkin Yu.N., Iakupova G.A., Rasuleva Iu.V., Dallakian G.R., Shakirova E.V. Reflection of contemporary socio-cultural factors on young rural family as a problem of rural development. A study case-the Republic of Bashkortostan. *Scientific Papers. Series "Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development"*, 2018, Vol. 18, Issue 3, pp. 131-138.
- [10] Гайсина Л.М. Формирование современной системы управления персоналом нефтегазовых предприятий России: оценки и перспективы. Уфа: Издательство "Восточная печать", 2015. - 256 с.
- [11] Гайсина Л.М. Дефицит в стране изобилия: нехватка высококвалифицированных кадров в системе нефтегазового комплекса России. *Электронный научный журнал "Нефтегазовое дело"*. 2011. №6. С. 501-509.
- [12] Гайсина Л.М. Архитектура социальных приоритетов в российских компаниях нефтегазового комплекса. *Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Гуманитарные и социальные науки*. 2011. № 6. С. 54-60.

- [13] Хаируллин В.А., Недосеко И.В., Шакирова Э.В., Суворова Н.В. Формирование методического подхода диагностики состояния инвестиционно-строительной сферы РФ. *Известия высших учебных заведений. Социология. Экономика. Политика*. 2015. № 2. С. 57-60.
- [14] Хайруллин В.А., Зенцов В.Н., Шакирова Э.В. Оценка экономического эффекта от внедрения новых конструктивных решений в строительстве // *Известия высших учебных заведений. Социология. Экономика. Политика*. 2015. № 1 (44). С. 75-79.
- [15] Хайруллин В.А., Шакирова Э.В., Быль Е.А. Оценка эффекта от проведения капитального ремонта жилых зданий. *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2015. №3 (98). С. 301-307.

Еще раз о подземных водах Тункинской котловины и перспективах их использования

Сапрыкина М.И., Распопин Е.В., Аузина Л.И.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail msaprykina@live.ru

Аннотация. В статье описаны малоизученные источники минеральных трещинно-карстовых подземных вод «Папий Аршан» и «Субурга», их минерализация и особенности химического состава, в том числе, генезис соединений азота, а также характерные донные отложения.

1. Введение

Исследуемая территория находится в юго-западной части республики Бурятия, в районе поселка Аршан и приурочена к сочленению северной окраины Тункинской котловины с подножием Тункинских Гольцов.

Территория обладает огромными запасами природных вод, в том числе, подземных, обладающих различным составом и свойствами.

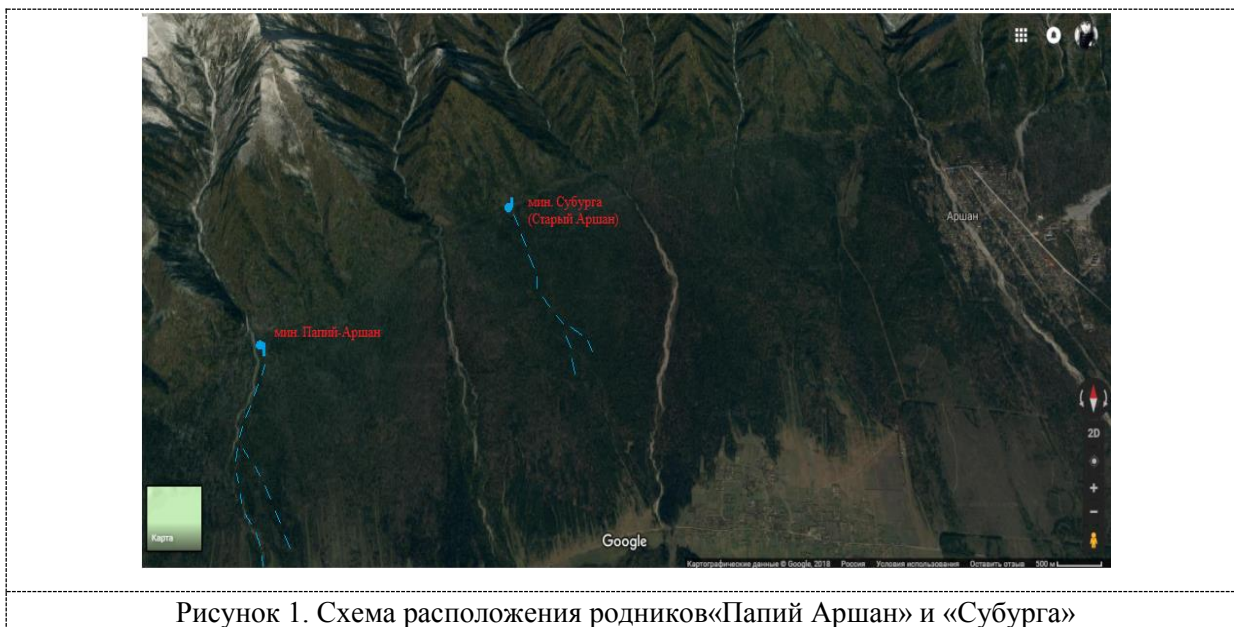
В районе исследований выделены три основных типа гидрогеологических структур – массивы, бассейны и обводненные разломы [1].

Гидрогеологические массивы, приуроченные к горным сооружениям Тункинских гольцов, включают трещинно-грунтовые подземные воды, характеризующиеся незначительными запасами (дебиты родников не превышают 0,3 л/с); невысокой минерализацией: до 0,3 г/дм³, Ph=7,11 (нейтральная среда); Eh=15,7 мВ; t=5,9°C.

Гидрогеологический наложенный бассейн соответствует долине р. Кынгырга и содержит порово-пластовые подземные воды, которые характеризуются Ph=7,3-7,5 (нейтральная среда); Eh=16,29 мВ; t=7-8,8°C [2].

Обводненные разломы – один из наиболее значимых видов гидрогеологических структур региона. Среди обводненных разломов выделяются приповерхностные и глубокие структуры. К ним приурочены трещинно-жильные и трещинно-карстовые воды, которые разгружаются в виде родников из-под коренных склонов, а также вскрываются скважинами. Приповерхностные обводненные разломы отличаются относительно небольшой глубиной (несколько километров) и невысокой температурой подземных вод t=7,1-9,3°C. Глубокие обводненные разломы глубиной до 6 км вскрывают как пресные, так и минеральные подземные воды с различной температурой – от 14 до 40°C. Минеральные подземные воды используются для бальнеологического водоснабжения курорта Аршан.

Целебные воды Тункинской впадины были известны местному населению с древних времен. Еще в советское время началось серьезное изучение минеральных вод Тункинского района, однако, немало еще осталось слабо изученных, но активно используемых местным населением, источников. Два из них обследованы студентами ИрНITU в 2018 году в рамках учебной практики: это выходы трещинно-карстовых вод, именующиеся «Папий Аршан» и «Субурга» (рис.1).



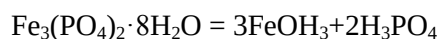
2. Результаты исследования и их анализ

«Папий Аршан» – источник трещинно-карстовых слабоминерализованных вод в живописной местности у подножия Тункинских гольцов.

Родник каптирован самодельными деревянными желобами, по которым вода поступает в металлический чан для нагревания и затем подается в ванны для использования в лечебных целях.

Восходящий выход подземных вод сформировал воронку диаметром около 6 м, глубиной 2,5 м, дно которой представлено разноокатанными обломками кварца и карбонатных образований, покрытых окислами железа. Кроме того, на дне образовавшегося озера обнаружен довольно редкий минерал – вивианит, придающий воде голубой оттенок.

В природных условиях вивианит образуется в восстановительных условиях за счет фосфора органических остатков, обычно распространен в богатых фосфором торфяниках и болотах. Широко распространен в глинах, обычно в виде конкреционных стяжений, и в современных аллювиальных или других осадочных месторождениях, где этот минерал находится вместе с костями, гниющей древесиной или другими органическими остатками [3]. Локализация процесса образования в озерах вивианита объясняется тем, что в илах накапливаются остатки высшей растительности, которые создают благоприятные условия для развития микроорганизмов, восстанавливающих железо. Деятельность микроорганизмов в донных отложениях сводится в первую очередь к высвобождению фосфора из связанных форм и к переводу его в подвижное состояние путем минерализации органических соединений фосфора. Избыток фосфора, образующийся при разложении органических остатков, создает благоприятные условия для осаждения двухвалентного железа в виде вивианита [4].



Состав вод источника «Папий Аршан» мало изучен. В июне 2018г. отобрана проба воды и сделан общий химический анализ. Трещинно-карстовые воды имеют слабую минерализацию,

тип воды гидрокарбонатный кальциевый, подземные воды без вкуса, цвета и запаха, $\text{Ph}=7,17$ (нейтральная среда); $\text{Eh}=19,3$ мВ; $t=7,1$ °С (табл.1.).

«Субурга» – слабоминерализованный источник трещинно-карстовых подземных вод, имеющий рассредоточенный характер с тремя головками, расположенными в линейный ряд на расстоянии от 20 до 65 м друг от друга. Источник расположен у подножия залесенного склона Тункинских гольцов в 3 км от села Тагархай.

Дно ручьев представлено щебенистым материалом в виде крупнозернистого песка и во многих местах покрыто травертином, мощностью от 5 до 25 см. Травертин — это известковый туф, поликристаллическая хрупкая тонкозернистая горная порода, образованная солями кальция, известковые отложения характерны для выходов углекислых подземных вод. Например, у скважины №41 в пос. Аршан, вскрывающей минеральные подземные воды с повышенным содержанием CO_2 , использующейся для водоснабжения ванных корпусов санатория «Саяны», сформировано большое поле травертинов площадью 168 м^2 , мощностью от 65 до 90 см.

Механизмы образования травертинов достаточно хорошо изучены. В соответствие с современными представлениями, травертины образуются в результате дегазации растворенной угольной кислоты $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$ и связанного с этим уменьшения растворимости карбоната кальция CaCO_3 .

Следовательно, травертины – это следствие выхода на дневную поверхность углекислых вод и дегазации углекислоты. Углекислые воды, а значит и травертины, обычно связывают с зонами глубоких разломов, очагами неинтрузий, проявлениями современного или молодого вулканизма[4].

Причинами осаждения карбонатов, наряду с выделением из раствора CO_2 , также могут быть повышенные температура и рН водного раствора.

Состав вод родника «Субурга» также практически не исследовался. Это слабоминерализованные трещинно-карстовые воды, тип воды: гидрокарбонатный кальциевый, без вкуса, без цвета, без запаха, Ph =от 7,1 до 7,29 (нейтральная среда); Eh =от 18,4 до 20,2 мВ; t =от 8,3 до 9,8 °С (табл.1.).

Кроме того, следует отметить высокое качество исследуемых подземных вод и возможность их использования для бальнеологических целей, поскольку воды Аршана – углекислые сульфатно-гидрокарбонатные с повышенным содержанием CO_2 – весьма сходны по составу с исследуемыми подземными водами источников «Папий Аршан» и «Субурга».

В химическом составе подземных вод исследуемых родников обращает на себя внимание несколько повышенное суммарное содержание соединений азота: нитратов (NO_3^-), нитритов (NO_2^-); аммония (NH_4^+). Источниками загрязнения азотными соединениями могут являться окислы азота в атмосфере, сточные воды различных отраслей промышленности (химической и нефтехимической, микробиологической, медицинской, коксохимической, металлургической, пищевой), хозяйственно-бытовые стоки, сточные воды с сельскохозяйственных полей, в результате разложения белковых веществ.

Главный поставщик связанного азота в природе — это бактерии, благодаря им связывается приблизительно от 90 до 140 миллионов тонн азота. Биологический азот претерпевает в почвах циклические превращения (из нитратов и нитритов в аммиак и аминокислоты и обратно), в процессе которых он меняет свои валентности.

Нитраты (NO_3^-) представляют собой соли азотной кислоты и являются последним этапом окисления азота аммонийного. Нитриты (NO_2^-) представляют собой соли азотистой кислоты и появляются на одном из этапов биохимического окисления азота аммонийного до азота нитратного при условии доступа кислорода или в результате восстановления нитратов при дефиците кислорода.

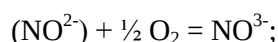
Круговорот азота является одним из самых сложных круговоротов в природе, в котором выделяют следующие этапы:

- начальный этап - фиксация азота: а) азотфиксирующие бактерии связывают газообразный азот с образованием аммонийной формы (NH_4^+ и солей аммония) – это биологическая фиксация; б) вследствие грозовых разрядов и фотохимического окисления образуются оксиды азота, при взаимодействии с водой они образуют азотную кислоту, которая в почве превращается в нитратный азот;

- далее азот в форме аммиака и соединений аммония, получающихся в процессах биогенной азотфиксации, быстро окисляется до нитратов и нитритов:



- бактерии *Nitrobacter* окисляют нитрит:



- на конечном этапе происходит процесс денитрификации: нитратный азот под воздействием денитрифицирующих бактерий восстанавливается до молекулярного азота, который поступает в атмосферу.

Круг замыкается.

Поскольку в пределах области питания родников никаких промышленных предприятий, хозяйственных и бытовых стоков, а также территорий, где бы применялись азотные удобрения, не наблюдается, можно сделать вывод о естественном растительном происхождении азотных соединений, т.е. их источником может быть перегнивающая растительность, густо покрывающая территорию вокруг выходов родников.

Таблица 1. Результаты химического анализа воды

Определяемые показатели	Единицы измерений	Название источника	
		Папий Аршан	Субурга
гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	131	247
хлорид-ион	мг/дм ³	менее 0,5	0,8
сульфат-ион	мг/дм ³	12,9	39,1
нитрат-ион	мг/дм ³	2,6	1,2
натрий	мг/дм ³	2,9	6,2
калий	мг/дм ³	1,1	1,1
кальций	мг/дм ³	34,8	63,3
магний	мг/дм ³	6,6	20,3
рН	ед. рН	7,6	7,8
железо	мг/дм ³	менее 0,050	менее 0,050
жесткость общая	°Ж	2,3	4,6
сухой остаток	мг/дм ³	127	249

3. Заключение

Таким образом, в рамках проведенных работ начато более детальное изучение подземных вод источников «Папий Аршан» и «Субурга», которые впоследствии могут использоваться для бальнеологического водоснабжения и расширения санаторно-курортной базы в Тункинском районе. Планируется продолжить эти исследования определением микрокомпонентного и газового составов подземных вод.

Библиографический список

- [1] Диденков Ю.Н., Аузина Л.И., Верховин И.И. Структурно-гидрогеологические условия района Байкальского учебного полигона // Сб. «Геофизика на пороге третьего тысячелетия». – Иркутск: Изд-во ИргТУ, 2002. – С.31-44
- [2] Отчет по полевой практике гр. РМ-16-1, 2018г. -54 м.п.с
- [3] <https://natural-museum.ru/mineral/вивианит>
- [4] Шерышева Н.Г., Мороз В.П. Динамика образования вивианита в накопительных культурах метанотрофных водородоокисляющих бактерий в процессе анаэробного Fe(III) восстановления – Институт экологии Волжского бассейна РАН, 2012. – С.16-24
- [5] Лепкурова О. Е. Геохимия подземных вод севера Алтае-Саянского горного обрамления, формирующих травертины – Том. политехн. ун-т. - Томск, 2005. - 21 с.

К вопросу о применении подхода совместной инверсии геолого-геофизических данных для решения нефтегазопроисловых задач

Селяев В.А.¹, Буддо И.В.², Шелухов И.А.²

АО «Иркутское электроразведочное предприятие», Россия¹

Институт земной коры СО РАН, Россия²

Аннотация. Работа содержит обзор и анализ современного состояния методов совместной инверсии геофизических данных при прогнозировании характеристики недр. Обозначаются преимущества и необходимые условия для применения совместной инверсии на основе петрофизических ограничений при решении задач прогнозирования параметров пласта. Предлагается подход к совместной инверсии материалов высокоплотной электроразведки методом ЗСБ и материалов 3D сейсморазведки в условиях Восточной Сибири.

Введение

В современной прикладной геофизике комплексирование методов является инструментом повышения точности и оптимизации геологических прогнозов для месторождений при оценке их коммерческого потенциала. В классическом виде комплексирование стоит понимать, как подход совместной геологической интерпретации геофизических моделей среды [3]. Более современный подход заключается в создании геологической модели, содержащей в себе данные нескольких геофизических методов, объединенные за счет введения связи между полученными моделями. В западной литературе данный подход описывает термин *joint inversion* – совместная инверсия. Совместная инверсия позволяет получить более полный и достоверный геологический сценарий для исследуемого объекта в целом, а в частности, при совместной инверсии уменьшаются неопределенности решения обратной задачи каждого метода и при построениях снижается вероятность получения противоречащих моделей среды [9].

Подход к современной совместной инверсии ассоциируется с именами P. Dell'Aversana [15], M. A. Meju [22-23], Luis A. Gallardo [17], также ощутимый вклад в развитие внес коллектив исследователей из RSI P. Alvarez L. и MacGregor [13-14, 16] и исследователи из Schlumberger G. Gao и A. Abubakar [18].

Отечественная наука в сфере совместной инверсии представлена работами Жданова М. С. [6], Антонова Ю. Е. [1], Шеина А. Н. [12], Каминского А. Е. [8]. Стоит отметить, что в приведенных работах освещается область совместной инверсии для электромагнитных данных. Результаты комплексирования данных сейсморазведки и электроразведки для проведения совместной инверсии в отечественной науке, чаще всего встречаются в публикациях Молодцова Д. М. [9]. Анализ опубликованных материалов позволяет сделать вывод о том, что отечественная литература еще не достаточно раскрыла тему современных подходов к совместной инверсии электромагнитных и сейсмических материалов, данный факт позволяет рассматривать эту тему в качестве актуальной.

Предпосылки к совместной инверсии

Совместная инверсия осуществляется с использованием петрофизических зависимостей. Еще в середине 20 века отечественными и иностранными исследователями были сформулированы петрофизические связи между пористостью и удельным электрическим сопротивлением (УЭС) пород. Основой стало уравнение Дахнова-Арчи (1) (1942) и его последующие модификации Simandoux (6) (1963) и др [5].

$$\rho_{н.п.} = P_{п.} \cdot P_{н.} \cdot \rho_{п.ф.} \quad (1)$$

Для описания параметров упругих свойств пористых сред используются различные методики и модели, наибольшее распространение из которых получило уравнение Гассмана (2).

$$K = K_{dry} + \frac{\left(1 - \frac{K_{dry}}{K_m}\right)^2}{\frac{n}{K_f} + \frac{1-n}{K_m} - \frac{K_{dry}}{K_m^2}} \quad (2)$$

Располагая эмпирически полученными петрофизическими связями можно переходить к этапу совместной инверсии.

Однако каждое из представленных выше уравнений описывает лишь функцию отдельного конкретного свойства, переход к совместной инверсии свойств в рамках единой регуляризационной функции возможен благодаря моделям кросс-свойств.

Существует большое количество эмпирических моделей кросс-свойств как для полностью водонасыщенных пород, так и для сухих пород.

Для флюидонасыщенных пород наиболее часто применимо комбинирование уравнения Арчи с уравнением среднего времени Уайли (3), это уравнение дает следующее соотношение между объемной проводимостью пород и скоростью упругой волны:

$$\sigma = \sigma_f \left(\frac{\frac{V_0}{V_p} - 1}{\frac{V_0}{V_f} - 1} \right)^m \quad (3)$$

Для сухой породы со случайно ориентированными конусообразными трещинами нулевой проводимости в изотропной упругой среде, Бристоу (1960) дал следующие соотношения между модулем упругости горных пород и электропроводностью (4) и (5):

$$\frac{K_s - K_m}{K_m} = \frac{2(1 - \nu_s^2)}{1 - 2\nu_s} \frac{\sigma_s - \sigma_m}{\sigma_m} \quad (4)$$

$$\frac{\mu_s - \mu_m}{\mu_m} = \frac{4}{5} (1 - \nu_s) (5 - \nu_s) \left(\frac{\sigma_s - \sigma_m}{\sigma_m} \right) \quad (5)$$

где K_m и μ_m - объемные и сдвиговые модули сухой породы, σ_m - электропроводность сухой породы, K_s и μ_s - объемный модуль, модуль сдвига и коэффициент Пуассона для твердого минерала, σ_s - электропроводность твердого минерала [21].

Оценка параметров пласта-коллектора (пористость, насыщение, проницаемость, литология) является конечной целью исследователей (геологов, геофизиков). Для получения прогнозируемых параметров, еще первым исследователям было очевидно, что необходим комплекс геофизических методов с опорой на каротажные исследования и лабораторные исследования керн для решения задач совместной инверсии. С техническим прогрессом методика совместной инверсии переходила все больше от качественных к количественным подходам. А это означает, что с ходом времени повышается сложность условий поиска объектов, с одновременным повышением требований к качеству прогноза параметров пласта-коллектора. В настоящее время можно провести простую «качественную» инверсию с минимальными затратами, но это не обеспечит нам приемлемое качество прогноза. Однако использование полного количественного подхода в инверсии потребует значительных затрат времени, вычислительных мощностей и максимально полной априорной информации. Поэтому необходим промежуточный подход количественной интерпретации с постепенной интеграцией упругих и электромагнитных параметров, основанных на данных сейсморазведки и электроразведки. Такой подход подробно описан в публикации коллектива RSI [13].

Совместная инверсия на основе петрофизических ограничений

Классический пример совместной инверсии на основе петрофизических связей рассмотрен в работе [20]. В исследовании использовались 3 типа данных: сейсморазведочные, магнитотеллурические и гравиметрические материалы. Также использовались данные каротажа для получения эмпирической зависимости скорости продольных волн и удельного электрического сопротивления (УЭС) на основе регрессионного анализа (рис. 1).

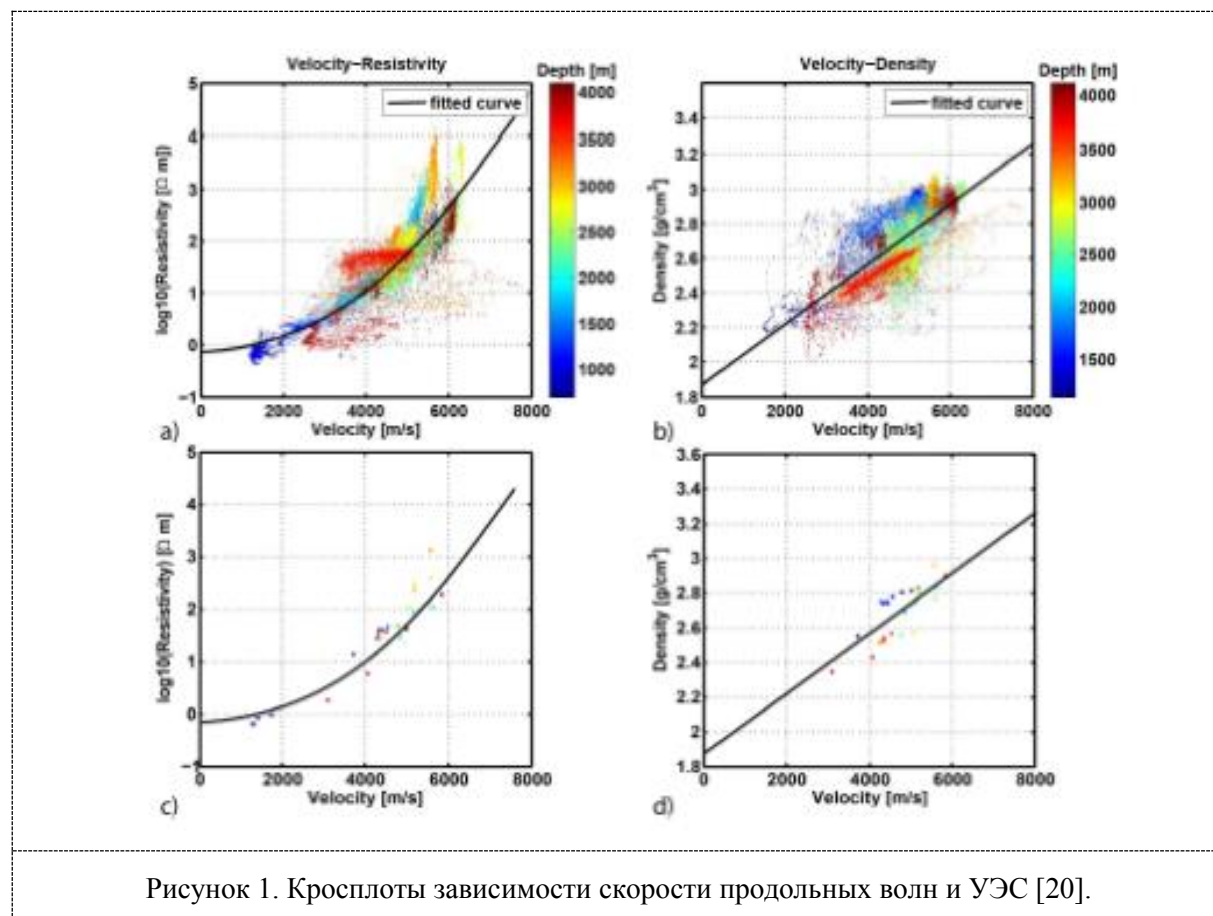
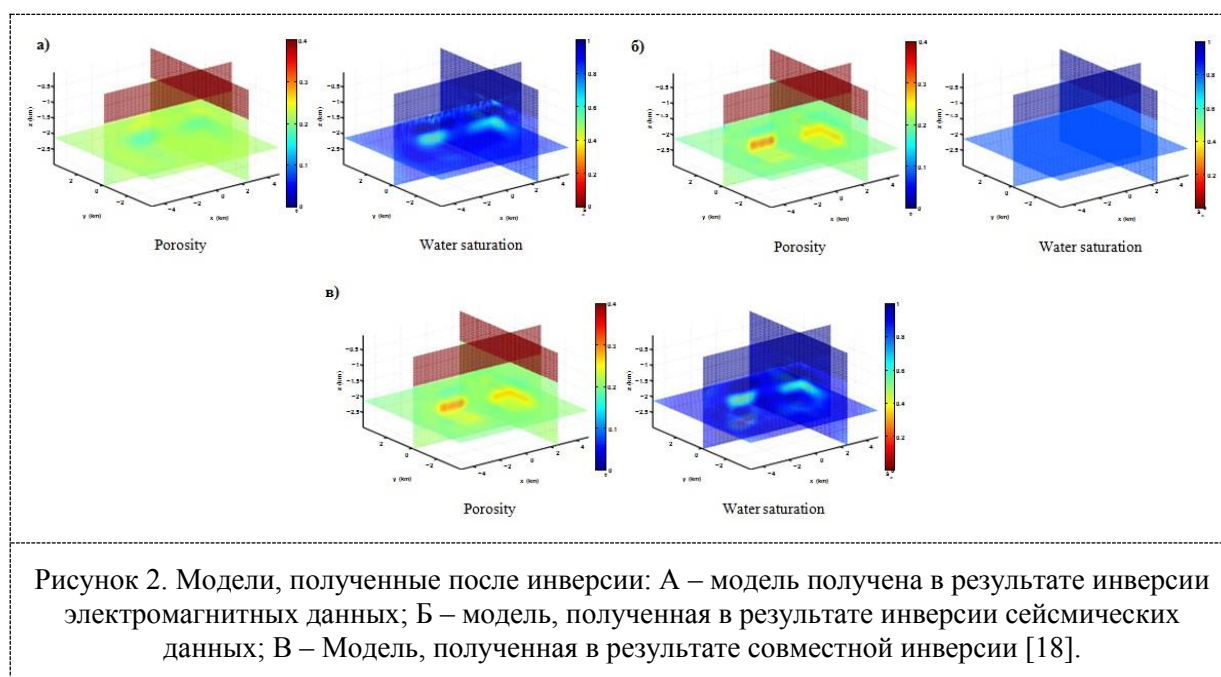


Рисунок 1. Кроссплоты зависимости скорости продольных волн и УЭС [20].

Но, в то же время, особенностью данной работы является сопоставление результатов 2D и 3D совместной инверсии на реальных данных. В результате составлены выводы о большей информативности трехмерной совместной инверсии.

Пример трехмерной петрофизической инверсии синтетических данных электроразведки CSEM (controlled source electromagnetic method) и сейсмических данных показаны в работе [18]. Петрофизические зависимости были описаны эмпирическими уравнениями Арчи и Гассмана. Особенность заключалась в инверсии с использованием уникального метода сопряженного градиента (P-NLCG). Совместная инверсия основывалась на чувствительности электромагнитных и сейсмических данных к параметру пористости и параметру водонасыщенности, в процессе которой устанавливались жесткие границы водонасыщенности, полученные по результатам инверсии ЭМ данных на момент сейсмической инверсии, и жесткие границы пористости, полученные по результатам инверсии сейсмических данных во время инверсии электромагнитных данных. В заключении производилось сопоставление результатов однометодной и совместной инверсии (рис. 2).



Для успешного решения задач совместной инверсии с петрофизическими ограничениями необходимо получить максимально жесткие петрофизические связи на основе скважинных данных. Такой подход осуществлен коллективом RSI на участке Хооп в Баренцевом море [14]. Перед авторами стояла задача оценки перспективности площади, выделения пластов-коллекторов и прогноз насыщения на основе данных электроразведки CSEM, сейсморазведки и калибровочной скважины. Первым этапом была проведена интерпретация и калибровка петрофизических моделей на основе каротажных данных калибровочной скважины. Операторам для перехода к УЭС из петрофизических параметров выступало уравнение Simandoux, которое является модификацией уравнения Дахнова-Арчи для глинистых песчаников.

$$\sigma = \frac{1}{F} \sigma_w + V_{sh} \sigma_{sh} \quad (6)$$

где V_{sh} – объем глинистой фракции, σ_w – удельная электропроводность пластового флюида, σ_{sh} – удельная электропроводность полностью насыщенного глинистого песчанника.

Для прогнозирования скорости использовались гранулированные модели Mavko (1998)[21], Dvorkin and Nur (1996) и Greenberg and Castagna (1992). Ключевая же особенность описана на втором этапе. Для моделирования и прогнозирования насыщений данные сейсморазведки

конвертировали в электрический домен, а именно приводили к поперечному сопротивлению, масштабировали. В итоге анализ насыщений проводился сопоставлением и комплексированием данных CSEM к данным сейсморазведки в электрическом домене, тем самым удалось спрогнозировать не коммерческие насыщения углеводородов и отказаться от разработки участка на данном этапе изученности.

К вопросу о применении подхода совместной инверсии геолого-геофизических данных для решения нефтегазопроисловых задач

Сейсморазведка в модификации 3D позволяет построить высокоточную структурно-тектоническую модель участка исследований, картировать положение перспективных горизонтов-коллекторов. Метод ЗСБ, в свою очередь, чувствителен к наличию и типу насыщающих их флюида. Используя петрофизические зависимости, ёмкостные параметры коллектора (эффективные мощности и коэффициенты пористости по сейсморазведке), возможно выполнить расчёт коэффициента водонасыщенности коллектора. Схожим образом можно прогнозировать эффективные мощности горизонтов-коллекторов при закреплении остальных параметров по данным сейсморазведки и бурения глубоких скважин.

Данный подход был апробирован в ходе 3D исследований на одном из нефтегазоконденсатных месторождений Восточной Сибири [11].

Выводы

1) Совместная инверсия на основе петрофизических ограничений, несомненно, является надёжным инструментом, повышающим качества прогнозирования параметров пласта. Но существует ряд необходимых условий для формирования жестких петрофизических связей:

а) Наличие одномерной петрофизической картины и минимум одна скважина с комплексом ГИС или набор скважин для описания сложного геологического сценария в рамках исследуемой площади с возможностью последующего деления площади на зоны.

б) Необходим обязательный набор априорной информации высокого качества, а именно: материалы ГИС для калибровки петрофизических связей, материалы сейсморазведки и электроразведки с максимально подобной плотностью и схемой наблюдений для нивелирования и так существенной разницы в разрешающей способности.

2) По мнению авторов, дальнейшее развитие подхода состоит в оценке влияния неопределенностей при определении каждого из параметров, являющихся составными частями интегрированной модели месторождений нефти и газа.

Библиографический список

- [1] Антонов Ю. Е., Кашеваров А. А. Совместная инверсия данных индукционного и электрического микрокаротажа ГЕО-Сибирь. Недропользование. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых: сб. материалов IV Международного научного конгресса 2008. Т. 5. С. 121-126
- [2] Буддо И.В. 2012 Тонкослоистые модели при изучении коллекторов в осадочном чехле методом зондирования становлением поля в ближней зоне – методика и результаты интерпретации (на примере юга Сибирской платформы): дис. канд. геол.-мин. наук. Иркутск: Изд-во ИРНИТУ. С. 162.
- [3] Вахромеев Г.С., Давиденко А.Ю. Комплексирование геофизических методов и физико-геологические модели: Учебное пособие. – Иркутск.: ИПИ, 1989.-88 с.
- [4] Емельянов В. С., Гусейнов Р. Г., Буддо И. В., Агафонов Ю. А. Оценка устойчивости решения обратной задачи ЗСБ на основе инверсии зашумленных синтетических кривых // Тезисы докл. междунар. конф. EAGE «GeoBaikal 2016». Иркутск.
- [5] Еникеев Б. Н. 70 лет уравнению Дахнова-Арчи // Каротажник №7 2011. С. 209-226.
- [6] Жданов М. С., Дмитриев В. И., Грибенко А. В. Совместная трехмерная инверсия магнитотеллурических и магнитовариационных данных // Физика Земли. 2010. С.12-16.

- [7] Жданов М.С. 1986 Электроразведка. М.: Недра. – 1986. С. 316
- [8] Каминский, А. Е., Ерохин, С. А., & Шлыков, А. А. (2015). Совместная двумерная инверсия данных электротомографии и РМт/АМТ. *Геофизика*, (4), 32-39.
- [9] Молодцов Д. М. Совместная инверсия сейсмических, магнитотеллурических и гравиметрических данных с использованием структурных ограничений: дис. канд. ф.-м. наук. Санкт-Петербург. С. 102.
- [10] Поспеев А. В., Буддо И. В., Агафонов Ю. А., Кожевников Н. О. 2010 Выделение пластов-коллекторов в разрезе осадочного чехла юга Сибирской платформы по данным зондирований становлением электромагнитного поля в ближней зоне // *Геофизика*. № 6. С. 47–52.
- [11] Поспеев А.В., Буддо И.В., Агафонов Ю.А., Шарлов М.В., Компаниец С.В., Токарева О.В., Мисюркеева Н.В., Гомульский В.В., Суров Л.В., Ильин А.И., Емельянов В.С., Е.В. Мурзина, Гусейнов Р.Г., Семинский И.К., Шарлов Р.В., Вахромеев А.Г., Сень Е.А.. Современная практическая электроразведка. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2018. – 231 с. – ISBN 978-5-9909584-1-8. DOI: 10.21782/B978-5-9909584-1-8
- [12] Шеин А. Н. Разделение поляризационных и индукционных процессов и совместная инверсия данных импульсной электроразведки: дис. канд. ф.-м. наук. Новосибирск. С. 110.
- [13] Alvarez P., MacGregor L., Bolivar F., Keirstead R. Reservoir properties prediction integrating controlled-source electromagnetic, prestack seismic, and well-log data using a rock-physics framework: Case study in the Hoop Area, Barents Sea, Norway. Interpretation. 2017.
- [14] Alvarez P., MacGregor L., Vrijlandt M., Keirstead R. Multiphysics characterization of reservoir prospects in the Hoop area of the Barents Sea. Interpretation. 2018.
- [15] Dell'Aversana P. Integrated geophysical models. Combining Rock Physics with Seismic, Electromagnetic and Gravity Data. EAGE Publications. 2014.
- [16] Du Z., MacGregor L. Reservoir Parameter Estimation from Joint Inversion of Marine CSEM and Seismic AVO Data Using the Genetic Algorithms. 71 st EAGE Conference & Exhibition. Amsterdam. 2009.
- [17] Gallardo, L. A. Joint two-dimensional inversion of geoelectromagnetic and seismic refraction data with cross-gradients constraint, Ph.D. thesis, Lancaster Univ., Lancaster, U. K. 2004
- [18] Gao G., Abubakar A., Habashy T. M., and Pan G. Three-dimensional joint petrophysical inversion of electromagnetic and seismic data. SEG. 2012.
- [19] Harris P., MacGregor L. Enhancing the resolution of CSEM inversion using seismic constraints. SEG 2007
- [20] Heincke B. et al. 2-D and 3-D Joint Inversion of Seismic, MT and Gravity Data from the Faroe-Shetland Basin // 76th EAGE Conference and Exhibition 2014
- [21] Mavko, G., T. Mukerji, and J. Dvorkin, The rock physics handbook: Cambridge University Press. 1998.
- [22] Meju, M. A. (1994), Biased estimation: A simple framework for parameter estimation and uncertainty analysis with prior data, *Geophys. J. Int.*, 119, 521–528.
- [23] Meju, M. A., L. A. Gallardo, and A. K. Mohamed (2003), Evidence for correlation of electrical resistivity and seismic velocity in heterogeneous near-surface materials, *Geophys. Res. Lett.*, 30(7)
- [24] Morten J. P., Bjørke A. K., and Nguyen A. K. Hydrocarbon reservoir thickness resolution in 3D CSEM anisotropic. SEG. 2010.

Применение долот PDC на месторождениях Восточной Сибири и Якутии

Тренёв И.С., Зайцев В.И., Карпиков А.В.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail zaicshev@istu.edu

Аннотация. Долота PDC были разработаны в основном для бурения пород мягкой и средней твердости, где раньше использовались трехшарошечные долота. В этих породах долота с резцами PDC демонстрировали скорость проходки, более чем в три раза превышающую аналогичную скорость других долот. Это достигается за счет режущего механизма долот PDC и их большей долговечности в связи с отсутствием в их конструкции движущихся частей, которые могут быстро изнашиваться. Хотя резцы PDC и показывают сопротивление абразивному износу, они очень чувствительны к ударной нагрузке.

В Якутии применение долот PDC затруднительно в силу того, что в данных регионах сложный геологический разрез. В условиях карбонатных пород применение имеющихся долот PDC было неэффективным с экономической точки зрения. Необходимо вырабатывать более рациональный инструмент и режимы его применения.

После анализа отработки долот предлагается увеличить запас вооружения, увеличивать количество лопастей и уменьшать диаметр резцов. Для менее твердых пород размер резцов рекомендуется увеличивать до 22,5 мм. Предлагается изменить длину калибрующей части в зависимости от назначения долота: для участка набора зенитного угла, для зарезных долот и т.д. В связи с чувствительностью долота к ударной нагрузке рассмотрена более вязкая твердосплавная основа алмазно-твердосплавных таблеток. Наилучшие результаты показал дисперсионно-твердеющий сплав ТТ7К12. Определен оптимальный для этого сплава передний угол резания-скалывания породы. При резании твердых пород долотами PDC рекомендуется буровой раствор с применением биополимера «Биосин», показавший хорошие результаты, минимальную подачу бурового раствора для долот PDC разных диаметров предлагается рассчитывать по найденной эмпирической зависимости. Высокая частота вращения буровой колонны вызывает ее чрезмерные вибрации, приводящие к сколам алмазно-твердосплавных пластин резцов. Нами получена эмпирическая формула, показывающая зависимость критической частоты вращения инструмента от размеров бурильных труб колонны. Следует избегать увеличения скорости вращения свыше $245\text{--}280\text{ мин}^{-1}$.

1. Введение

Буровые долота составляют только долю от общей стоимости скважины (от двух до пяти процентов), но являются основным компонентом экономики строительства скважины. Время, необходимое для бурения скважины, напрямую зависит от скорости бурения долота и от продолжительности его работы до износа.

С увеличением стоимости долота уменьшается количество спускоподъемных операций, что благоприятно сказывается на бурении глубоких скважин. Например, для бурения неглубоких скважин с помощью наземных установок могут вполне подходить менее дорогие стандартные шарошечные долота.

В настоящее время усовершенствованные долота PDC, как и шарошечные, характеризуются более высокой механической скоростью проходки, большим сроком службы, более дорогие, могут быть самым экономически выгодным выбором при бурении глубоких скважин (особенно в море), где высока стоимость времени использования буровой установки и стоимость спускоподъемных операций для замены долот. Стоимость покупки оптимизированных долот PDC затем многократно окупается.

К основным достоинствам долот с алмазно-твердосплавными пластинками относятся отсутствие в их конструкции подвижных частей, высокая износостойкость, самозатачивающееся действие резцов и низкая осевая нагрузка на долото. Для создания режущего действия требуется осевая нагрузка на долото на порядок меньше, чем для шарошечных долот при тех же или больших скоростях бурения. Высокая устойчивая механическая скорость бурения обусловлена острой режущей кромкой резцов, низкой скоростью их износа и эффектом самозатачивания резцов во время бурения. Самозатачивание резцов происходит в результате некоторого опережающего изнашивания твердосплавной основы по сравнению с износом алмазного слоя.

2. Материалы и методы

На Восточно-Сургутском месторождении долотом PDC 220,7 FD 220,7 368 MHA80-01 в интервале бурения 733–2877 м средняя проходка на до-лото составила 3454,75 м, среднее время бурения – 98,27 ч и средняя механическая скорость – 35,16 м/ч.

Из приведенного примера видно, что долота PDC имеют высокую скорость бурения и ресурс работы, что позволяет сократить сроки строительства скважин на месторождениях Западной Сибири, где геологический разрез способствует быстрой проходке.

Специально для бурения горизонтальных скважин создана новая конструкция алмазного долота диаметром 220,7 мм – долото 220,7 FD 368 MH – A80, первая партия которых отработана на месторождениях ОАО Сургутнефтегаз, и была получена механическая скорость бурения 150 м/ч в интервале 750–2560 м [2].

Хотя резцы PDC показывают прекрасное сопротивление абразивному износу, они очень чувствительны к ударной нагрузке [1].

Долота PDC в основном предназначены для бурения нефтяных и газовых наклонно-направленных и горизонтальных скважин сплошным забоем в мягких и средних абразивных горных породах.

Долото 220,7 FD 368 MH – A80-01 предназначено для роторного способа бурения при комбинированном бурении гидравлическим винтовым забойным двигателем с нагрузкой на долото до 130 кН и частотой вращения до 300 мин^{-1} .

Отличительной особенностью конструкции такого долота является наличие дополнительного подрезного резца и усиление калибрующей части лопасти твердосплавными зубками PDC. Долото отработано в Сургутском УРБ-1 ОАО «Сургутнефтегаз» при бурении наклонных скважин на Федоровском месторождении (куст № 529). Интервал бурения по стволу – 729–2087 м (1358 м) пройден за 19,6 ч при средней механической скорости бурения 69,2 м/ч. Механическая скорость по интервалам бурения [2]:

– 729–881 м (Талицкая и Ганькинская свиты) – 135–165 м/ч;

– 881 – 1021 м (Березовская и Кузнецовские свиты) – 84,3–110 м/ч (при прохождении перемежающихся пород механическая скорость не снижалась);

– 1021–1850 м (Покуровская свита) – 74 м/ч (при разбуривании пропластков механическая скорость не снижалась);

– 1850–2087 м (Алымская и Вартовская свиты) – 39,2–41,6 м/ч.

В Восточной Сибири применение долот PDC затруднительно в силу того, что в данном регионе сложный и «неудобный» геологический разрез. Здесь широко распространены плотные доломиты и известняки, чередуются породы от IV до VIII категории твердости, в интервалах мягких и средних пород присутствуют труднобуримые пропластки. Основная же масса выпускаемых долот PDC предназначена для бурения пород не выше категории твердости, низкой и средней абразивности. Незначительная проходка, опережающий износ вооружения делали неэффективным с экономической точки зрения применение имеющихся PDC-долот. Повышение значимости региона и его активное освоение поставили задачу производителям долот выработать более эффективные продукты.

3. Результаты исследования и их анализ

Сотрудничество Центра разработки бурового инструмента ООО НПП «Буринтех» с ведущими мировыми производителями PDC-резцов позволило оснастить выпускаемые долота эксклюзивными резцами последнего поколения.

Были успешно применены новые конструкции PDC-долот, разработанные компанией в условиях карбонатных разрезов на месторождениях Сибири, Оренбуржья и Республики Коми.

Новые конструкции долот, предложенные для бурения карбонатных разрезов, по своим технико-экономическим показателям не только сравнялись, но и превзошли результаты традиционно применяемых трехшарошечных долот. В табл. 1 приведены примеры применения долот, предлагаемых ООО НПП «Буринтех». Есть все основания предполагать, что в ближайшее время применение PDC-технологий станет обычным делом для целого ряда регионов [2].

В любом случае основные конструктивные особенности долот – размер вооружения, профиль лопастей, материал корпуса и т.д. – зависят от типа разбуриваемых пород.

На основе анализа отработки долот можно прийти к следующим выводам.

1. Для более твердых пород нужно увеличивать запас вооружения, следовательно, увеличивать количество лопастей и уменьшать диаметр резцов. Малые резцы дают максимальный радиальный объем алмазов благодаря плотности их распределения.

2. Для менее твердых пород размер резцов необходимо увеличивать до 22,5 мм. Крупные резцы имеют больший объем алмазов, обусловленный их большим выступом.

3. Также может изменяться и длина калибрующей части в зависимости от назначения долота. Например, для бурения участка набора зенитного угла калибрующая часть должна быть укороченной, для зарезных долот она может вообще отсутствовать или являться режущей. Для участка стабилизации с целью повышения качества ствола и стабилизации работы долота длину калибрующей части также нужно повышать.

При изучении стойкости (ресурса работы за рейс) резцов PDC рассматривалась чувствительность долота к ударной нагрузке. Более вязкая твердосплавная основа алмазно-твердосплавных таблеток (стратапаксов) должна обеспечить определенную степень поддержки и смягчения ударных нагрузок.

При исследовании рассматривались матрицы из дисперсионно твердеющего однокарбидного ВК8, двухкарбидного Т5К10 и трехкарбидных ТТ7К12 и ТТ10К8Б сплавов. Наилучшие результаты показали матрицы из трехкарбидного сплава в составе карбид вольфрама, карбид титана и карбид тантала, присутствует также кобальт в количестве 12%. Меньшую чувствительность трехкарбидного сплава к ударным нагрузкам можно объяснить его высокой прочностью, упругостью и ударной вязкостью.

Таблица 1. Примеры применения долот, предлагаемых ООО НПП «Буринтех»

Регион	Описание пород	Категория твердость и пород	Тип долота	Проходка по скважине (интервал бурения), м	Средняя мех. скорость, м/ч
Республика Саха (Якутия)	Доломиты, известняки	V–VIII	БИТ 215,9 В 813 УЕН.	811 (475–1286)	7,5
Республика Коми	Глины с пропластками известняков, мергелей, алевролитов	IV–VI	БИТ 295,3 ВТ 616 У. 30	1024 (826–1850)	7,8
Республика Саха (Якутия)	Переслаивания аргиллитов, известняков, песчанников	IV–VII	БИТ 142,9 В 613 УН. 30	60 (2364–2424)	2,3

Большинство изготавливаемых долот PDC имеют только сравнительно короткую твердосплавную опору для удержания поликристаллического алмазного слоя. На наш взгляд, возникает необходимость обеспечить более существенную опору для PDC не только для удержания алмазного слоя, но и для присоединения резца к корпусу долота. Эта твердосплавная основа может быть выполнена в виде столбиков или цилиндров из карбидов T5K6 или BK8.

Конечно, на повышение стойкости резцов PDC и улучшение условий срезания слоев горной породы кроме повышенной упругости и ударной вязкости подложки алмазного слоя влияет еще много факторов. Например, отрицательный передний угол γ_p – угол между передней поверхностью резца и вертикальной отжимающей резец силой. Для трех карбидных сплавов TT10K8B и TT7K12 он должен быть не меньше 15° , иначе будут сколы.

На основе анализа работы резцов PDC при бурении выявлено, что при малых значениях переднего угла условия срезания слоев горной породы улучшались, затрачиваемый момент кручения буровой колонны и мощность уменьшались, механическая скорость бурения увеличивалась. Как показывали сравнительные испытания, малые углы увеличивают стабильность работы долота, уменьшают его вибрационную и ударную нагрузку. Количество случаев сколов у твердосплавных матриц при этом уменьшается [3].

Есть еще один немаловажный фактор – тип бурового раствора, который помогает улучшить условия резания-скалывания породы при бурении, позволяет сохранить коллекторские свойства продуктивных карбонатных коллекторов порово-трещинного типа и при этом повысить ресурс работы инструмента за счет снижения его температуры при работе.

При изучении влияния промывочной жидкости на вскрываемые карбонатные коллекторы нефти и газа необходимо уделять особое внимание составу твердой фазы, которая, как показал проведенный нами анализ, оказывает наибольшее воздействие на продуктивные пласты.

Значительное влияние на степень загрязнения приствольной зоны пласта оказывает и зона проникновения фильтрата. Одним из способов уменьшения радиуса зоны проникновения является формирование незначительной по мощности зоны кольматации, легко разрушаемой при освоении скважин.

При бурении в интервале глубин 1300–2000 м и средней пористости и проницаемости карбонатного коллектора хорошие результаты показал буровой раствор в составе хлористого калия, крахмального реагента «Аммибор», полиэкогеля, биополимера «Биосин» и технической воды при фильтрации 11–12 см³.

В процессе исследований по объему вынесенного шлама и изменению крутящего момента буровой колонны была определена минимальная подача раствора для долота типа PDC с поликристаллическими алмазными вставками.

Значение минимальной подачи Q_{min} , л/с, можно рассчитать по найденной эмпирической зависимости:

$$Q_{min} = K_n \cdot Dd^{1,5}, \quad (1)$$

где K_n – коэффициент минимальной подачи, равен 0,006; Dd – диаметр долота PDC.

Так, для долота 220,7 FD 368 MH – A80-01

$$Q_{min} = 0,006 \cdot 220,7^{1,5} = 19,7 \leftarrow \approx 20 \text{ л/с.}$$

Для долот БИТ 295,3 BT619 У. 30

$$Q_{min} = 0,006 \cdot 295,3^{1,5} = 30,5 \text{ л/с.}$$

Известно, что ударные нагрузки для долот PDC являются основным препятствием для их нормальной работы. К таким нагрузкам может привести высокая частота вращения буровой

колонны и возникновение вследствие этого чрезмерных вибраций. Сильные вибрации инструмента наблюдаются и по причине частого переслаивания пород.

Нами получена эмпирическая зависимость критической частоты вращения бурильной колонны от диаметров бурильных труб при любой глубине скважины.

Критическая частота вращения $n_{кр}$ определяется следующим образом:

$$n_{кр} = K_{кр} \cdot \sqrt{D_{нар}^2 + D_{вн}^2} : l_{тр}^2, \quad (2)$$

где $K_{кр}$ – коэффициент критической частоты вращения, равен 120; $D_{нар}$ – наружный диаметр бурильных труб, мм; $D_{вн}$ – внутренний диаметр бурильных труб, мм; $l_{тр}$ – длина бурильной трубы, м.

Так, для бурильной колонны диаметром трубы 127 мм

$$n_{кр} = 120 \cdot \sqrt{127^2 + 109^2} : 92 = 247 \text{ мин}^{-1}.$$

Для бурильной колонны диаметром труб 144 мм

$$n_{кр} = 120 \cdot \sqrt{144^2 + 126^2} : 92 = 283 \text{ мин}^{-1}.$$

Вообще, превышение критических частот вращения для долот типа PDC является риском. Следует избегать увеличения скорости вращения свыше 240–285 мин^{-1} для долот любых диаметров.

Хотя скважина ограничивает амплитуду колебаний колонны, удары ее о стенки скважины значительны, а долото формирует многоугольный забой [4].

Возникающие при этом вибрации при повышенных скоростях вращения приводят к сколам режущей части резцов, отслаиванию алмазных пластин и даже сломам режущих элементов из-за столкновения с твердыми включениями породы и трещинами, особенно если края их окремнены.

Рассчитаем частоту вращения n долота PDC диаметром $Dd = 295,3$ мм по известной формуле:

$$n = V_{лин} \cdot 60 \cdot 1000 : \pi \cdot Dd = 4 \cdot 60 \cdot 1000 : 3,14 \cdot 295,3 = 258,8 \text{ мин}^{-1},$$

где $V_{лин} = (2-5)$ м/с – рекомендуемая рядом зарубежных компаний линейная скорость алмазного резца [5].

Для долота меньшего размера линейная скорость принимается меньшей, так как она зависит от радиуса инструмента

$$Rd : V_{лин} = \omega \cdot Rd,$$

где ω – угловая скорость, с⁻¹.

Для долота диаметром $Dd = 220,7$ мм

$$n = 2,8 \cdot 60 \cdot 1000 : 3,14 \cdot 220,7 = 242,4 \text{ мин}^{-1}.$$

Полученные результаты расчета скоростей вращения согласуются с предложенной эмпирической формулой (2).

Рассчитаем механическую скорость $V_{мехPDC}$ за один оборот, приняв по рекомендации ВИТР за оптимальную величину углубки единичного резца $h_y = 0,10$ мм/об. [5] и рекомендуемую нами частоту вращения $n = 285$ мин⁻¹.

$$V_{мех} = h_y \cdot n = 0,10 \cdot 285 = 28,5 \text{ мм/мин} = 1,71 \text{ м/ч}.$$

Скорость невысокая. Ряд авторов применяли PDC со скважинными двигателями при скорости 500–600 мин⁻¹.

4. Обсуждение

Все же опыт применения долот PDC на месторождениях Якутии [1, 3] показал, что использовать такие скорости можно только в стабилизированных бурильных колоннах и только на некоторых участках, свободных от переслаивающихся пород различной крепости. Фактическая же скорость вращения колонны должна определяться исходя из соображений безопасности для инструмента, иначе его придется часто менять, затратив большое количество времени.

5. Заключение

Таким образом, в случае бурения карбонатных коллекторов, часто окремненных каверно-трещинными доломитами, что характерно для месторождений Якутии и Якутии, применяемые в настоящее время конструкции долот PDC показывают невысокую износостойкость и часто выходят из строя. Долота PDC могут превзойти традиционные шарошечные долота при применении и на сильно абразивных, и на твердых породах, но только если они будут работать в условиях пониженного тепловыделения от трения и с уменьшением вибрации долота.

В заключение можно сказать, что на сегодняшний день одним из основных ресурсов долот PDC для бурения абразивных пород VI категории твердости и выше является применение специальных износостойких резцов, обладающих большой ударной, абразивной и термомеханической стойкостью.

Еще резервом повышения эффективности бурения этими долотами являются переменные факторы, такие как конструкция корпуса долота, размещение, величина и ориентация режущих элементов резцов, а также нахождение оптимального по свойствам бурового раствора для резания-скалывания разных пород.

Тем не менее накопленный ресурс исследований еще недостаточен для комплексного решения назревшей проблемы.

В настоящее время единственно верным решением при бурении небольших интервалов трещинноватых и окремненных пород является ограничение параметров режима бурения до значений, которые бы обеспечивали эффективную обработку долот PDC.

Библиографический список

- [1] Сверкунов СА, Карпиков АВ *Исследование штыревых и алмазных долот на месторождениях нефтегазоносных площадей севера Красноярского края*(Геонаука-2012: сб. тр. Всерос. науч.-техн. конф. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. Вып. 12) С. 148–152.
- [2] Че ВВ, Заливин ВГ *Эффективность применения долот PDC на нефтяных месторождениях Западной и Во-сточной Сибири*(Проблемы освоения минеральной базы Якутии: сб. науч. тр. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012) С. 137–144.
- [3] Зайцев ВИ, Карпиков АВ, Че ВВ *Исследование применения долот PDC*(Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2014. № 5) С. 58–66.
- [4] Турыгин ЕЮ *Повышение эффективности процесса бурения глубоких скважин роторным способом посредством управления динамикой бурильной колонны* (автореф. ... канд. техн. наук: 25.00.15. Ухта, 2011) С. 17.
- [5] Нескромных ВВ, Пушмин ПС *Методика анализа ситуаций на забое скважины по углубке за один оборот алмазного породоразрушающего инструмента* (Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2012. № 1) С. 96–103.

Структурно-гидрогеологические условия минеральных водопроявлений юго-западного Забайкалья

Тугарина М.А., Трескина П.М., Распопин Е.В.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail tugarina_ma@mail.ru

Аннотация. На основе структурно-гидрогеологического анализа изучалась структурная локализация известных выходов разнообразных по температуре, химическому и газовому составу минеральных вод в юго-западном Забайкалье, а так же в системе гидрогеологических структур региона. Установлено, что подавляющее большинство минеральных водопроявлений прямо или опосредованно связано с тектоническими разрывными нарушениями. Водоносными являются разломные зоны 2-го порядка относительно древних структурообразующих швов. Отмечаются отличия в характере выходов минеральных подземных вод в областях кайнозойской и мезозойской активизации.

1. Введение

Использование структурно-гидрогеологического анализа при изучении пространственной локализации выходов разнообразных по температуре, химическому и газовому составу минеральных вод в пределах юго-западного Забайкалья позволяет рассматривать известные водопроявления не только с точки зрения их приуроченности в определенным гидрогеологическим структурам, но и в региональной системе этих структур.

2. Материалы, подходы и методы исследований

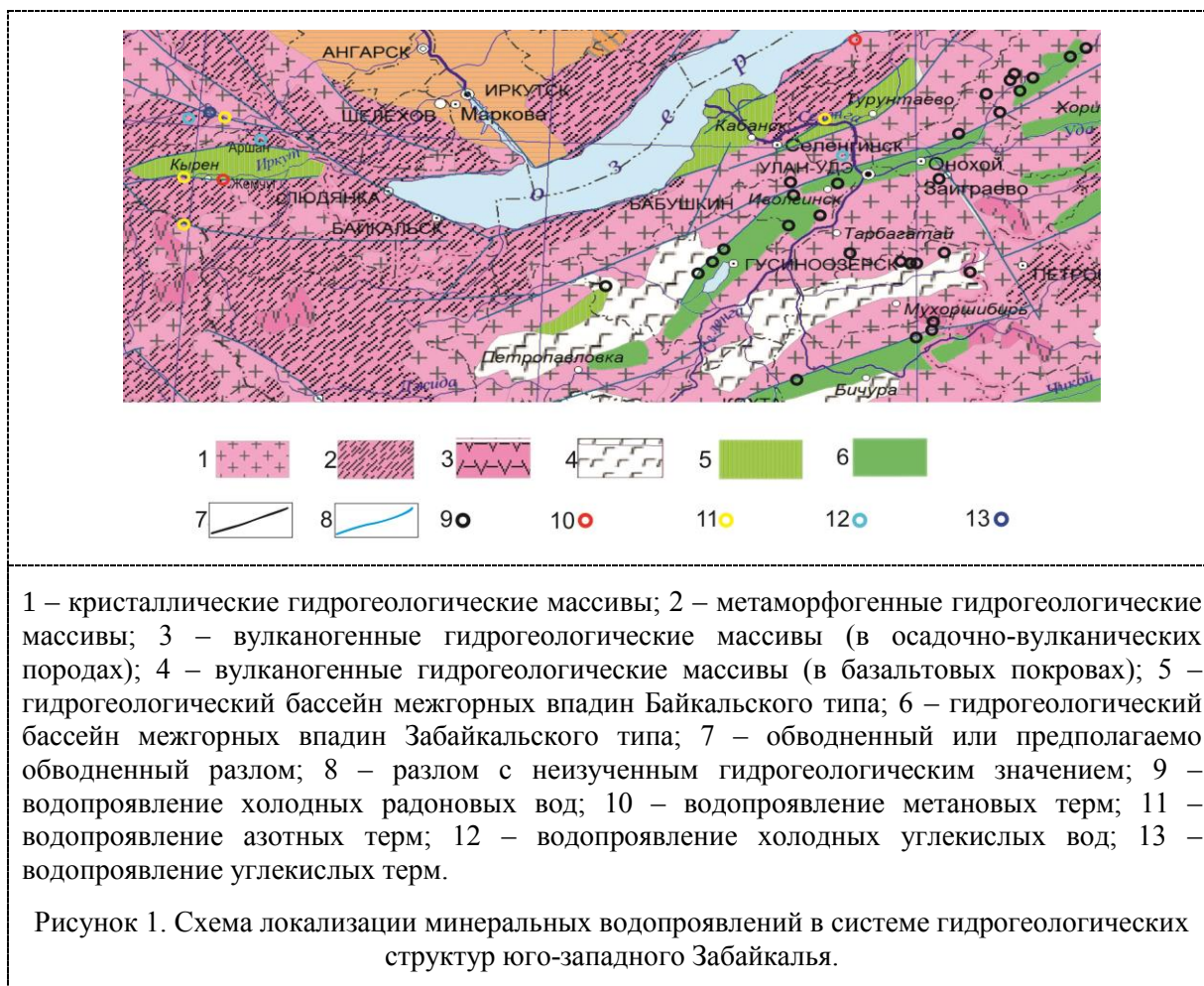
Участок исследований расположен на территории юго-западной части Саяно-Байкальского складчатого пояса и юго-западной части Забайкальской горно-складчатой области - двух крупных региональных структур, отличающихся по истории геологического развития. Последняя (мезозойская) тектоническая активизация в Забайкалье привела к обширной структурной перестройке территории – блоковым перемещениям и образованию крупных поднятий (массивов) и грабенообразных опусканий (впадин), которое сопровождалось проявлением вулканизма, образованием многочисленных и разнообразных месторождений полезных ископаемых.

Кайнозойская активизация в регионе, приведшая к образованию Байкальского рифта и существенным перемещениям блоков земной коры по серии крупных разломов, предопределила условия формирования коллекторских свойств горных пород.

Под гидрогеологической структурой понимается геологическое тело, в границах которого остаются непрерывными характер распределения подземных вод в горных породах, условия формирования их ресурсов и состава [11].

Выделение гидрогеологических структур основывается на принципах структурно-гидрогеологического анализа и систематизации гидрогеологических структур [10] с использованием геолого-структурного и тектонофизического подхода к оценке коллекторских свойств горных пород выделенных структур.

В пределах исследуемой территории выделяются три основных типа гидрогеологических структур – гидрогеологические массивы (орогенные кристаллические, метаморфогенные и вулканогенные), гидрогеологические бассейны (межгорные с различными условиями водообмена и характером структурных связей) и тектонические разрывные нарушения, имеющие различное гидрогеологическое значение (Рисунок 1).



Гидрогеологические массивы Байкальского региона это блоки земной коры, сформированные вдоль глубинных тектонических швов и поднятые выше базиса эрозии в виде современных орогенных сооружений. В границах массивов активно развиваются процессы выветривания, под влиянием которых происходит раскрытие внутрипородных трещин и разрушение горных пород. Влияние гипергенных процессов на формирование коллекторских свойств пород в зоне выветривания проявляется по-разному в зависимости от типа породы и степени ее метаморфической переработки.

Кристаллические гидрогеологические массивы, сложенные магматическими, а также древними высоко метаморфизованными (перекристаллизованными) породами отличаются относительно однородными структурно-механическими свойствами, а, следовательно, схожей по площади всего массива реакцией горных пород на влияние факторов выветривания.

Вместе с тем, в развитии открытых трещин в кристаллических массивах отмечаются некоторые особенности: в плане интенсивность трещиноватости (плотность трещин) возрастает вблизи зон тектонических нарушений, в разрезе региональная зона открытых трещин, мощность которой обычно не превышает первых десятков метров, затухает с глубиной и сменяется зоной отдельных локальных часто непроницаемых трещин. На участках тектонических нарушений глубина проникновения открытых трещин возрастает до 120-150 м вследствие наложения сети экзогенных трещин на тектонические.

Метаморфогенные гидрогеологические массивы сложены разновозрастными метаморфическими и литифицированными осадочными породами.

Сложный характер разнообразных по литологическому составу образований предопределил характер трещинных коллекторов в зоне выветривания и наличие фрагментов пластовых

образований с неоднородной проницаемостью в метаморфических и литифицированных осадочных породах. Коллекторские свойства таких массивов определяются различной степенью метаморфизации слагающих их пластов. Как результат, метаморфогенные массивы отличаются чередованием водоупорных толщ и проницаемых трещиноватых пластов. Происхождение трещин связано с тектоническими процессами – складкообразованием и разрывообразованием, а также с эпигенетическими преобразованиями пород.

Глубина открытых проницаемых трещин изменяется от 20 до 80 м. Фльтрационные параметры и водообильность определяются характером коры выветривания и литологией выветренных пород.

Вулканогенные гидрогеологические массивы в Байкальском регионе представлены в виде лавовых потоков и покровов, а также купольными формами в орогенных структурах и активизированных эпиплатформенных областях. Наиболее обширные по площади (в десятки и сотни, даже тысячи квадратных километров) вулканогенные массивы распространены в Забайкалье, Восточном Саяне.

В зоне выветривания развиты трещинные и поровые коллекторы в пластах переслаивающихся осадочно-вулканогенных образований – туфов, порфиритов, туфопесчаников, туфоконгломератов, кварцевых порфиров и пр. Многослойное строение вулканогенных массивов обусловило ярусное расположение водоносных пластов, разделенных водоупорами, резкую фльтрационную неоднородность и поэтому некоторое сходство с метаморфогенными гидрогеологическими массивами.

По химическому составу трещинно-грунтовые воды гидрогеологических массивов в основном гидрокарбонатные кальциево-магниевого, пресные и ультрапресные, нейтральные, редко слабощелочные.

Гидрогеологические бассейны – это опущенные ниже базиса эрозии площадные гидрогеологические структуры, представленные пластовыми коллекторами подземных вод, сформировавшимися в осадочном чехле. Определяющее значение в структуре, морфологии и геологическом строении гидрогеологических бассейнов принадлежит блоковым движениям в фундаменте и сопредельных массивах.

По структурным особенностям в исследуемом районе выделяются межгорные гидрогеологические бассейны, которые представляют грабенообразные структуры, образованные вдоль разломов в горно-складчатых областях и заполненные орогенными осадками. Блоковое строение фундамента депрессий и тектонические движения в процессе развития впадин обусловили сложную внутреннюю структуру межгорных бассейнов и невыдержанный характер осадконакопления. Гидрогеологические условия межгорных гидрогеологических бассейнов определяются ведущей ролью разрывных нарушений, отсутствием выдержанных водоносных горизонтов и специфическими условиями водообмена.

Бассейны байкальского типа расположены в молодых впадинах Байкальской рифтовой зоны, где накопление орогенных осадков, представленных рыхлообломочными отложениями, в некоторых случаях с участием вулканогенного и органического материала (Тункинский), происходило в кайнозой. Разнообразие бассейнов байкальского типа обусловлено местоположением в рифтовой зоне, а также условиями формирования и геологическим строением осадочной толщи.

Забайкальский тип межгорных гидрогеологических отличается блоковым внутренним строением, более длительной историей формирования и наличием в разрезе мощной толщи литифицированных осадочных и осадочно-вулканогенных образований. Водоносность слабопроницаемых мезозойских отложений обусловлена главным образом наличием системы водопроводящих тектонических зон сбросово-сдвигового характера, а также крутопадающих и послонных срывов.

Гидрогеологические структуры обводненных разломов широко распространены в исследуемом регионе. С ними связаны выходы подземных вод, отличающиеся по дебиту, величине напора, минерализации, химическому и газовому составу.

Выделение обводненных и проницаемых разломов в качестве особого типа гидрогеологических структур с трещинно-жильными коллекторами подземных вод базируется на тектонофизическом понимании последних как широких зон проявления разрывов 2-го порядка, генетически связанных с формированием главного сместителя (1-го порядка) [8]. К разломным зонам, характеризующимся специфическими условиями формирования состава и ресурсов подземных вод, отнесены молодые разрывные структуры 2-го и более высокого порядка, сформировавшиеся или активизировавшиеся в кайнозое.

Разнообразные по химическому и газовому составу и температуре водопоявления минеральных подземных вод юго-западного Забайкалья, описание которых представлено в многочисленных опубликованных работах [1,2,3,4,5 и др.], приурочены к различным гидрогеологическим структурам или их частям. В южном Прибайкалье и юго-западном Забайкалье известны выходы различных подземных минеральных вод: углекислых термальных (Аршан Тункинский, Шумак), углекислых холодных (Аршан Тункинский; источники Торпа, Левый и Правый Быче-Соруг в Саянах), метановых термальных (Жемчуг, скважины в дельте р. Селенги), азотных термальных (Питателевский, Горячинский и др.), радоновых (Халютинский, Загустайский и др.).

3. Результаты исследования и их анализ

Структурно-гидрогеологический анализ приуроченности минеральных водопоявлений к геологическим структурам показал, что большинство выходов связано прямо или косвенно с разрывными нарушениями в фундаменте впадин и горном обрамлении. Так, распространенные в фундаменте Тункинской впадины термальные воды (азотные и углекислые) и имеющие инфильтрационный генезис, связаны с разломами и узлами их пересечения.

В гидрогеохимическом отношении подземные воды осадочной толщи здесь в основном представлены содовыми с минерализацией 0,9-1,5 г/л, по газовому составу выделяются зоны азотных, метаново-азотных и метановых вод. С помощью имитационного моделирования [Павлов и др.] установлено, что ионно-солевой и газовый состав как азотных, так и метановых и углекислых терм формируется внутри системы «вода–порода» без привлечения дополнительного вещества из внешних источников [5]. Подземные воды, поднимаясь из разломов в фундаменте, претерпевают преобразования на различных глубинах в осадочном чехле впадины и тем самым обуславливают разнообразие химического и газового состава.

На Питателевском месторождении азотных термальных вод, расположенном в прибортовой части межгорной впадины (долина р. Селенги), на пересечении разломных зон северо-восточного и субширотного простираний сформировался гидродинамический купол, свидетельствующий и восходящем через толщу осадочных кайнозойских или мезо-кайнозойских отложений подтоке трещинно-жильных вод. О связи минеральных подземных вод с геолого-структурными особенностями участка свидетельствуют и результаты опытно-фильтрационных работ. Депрессионные воронки при откачках из различных скважин на площади месторождения по [Борисенко и др., 1969] отличаются вытянутыми формами в субмеридиональном и субширотном направлениях, при этом не распространяются в сторону ограничивающей с северо-востока непроницаемой разломной зоной северо-восточной ориентировки.

4. Обсуждение

Изучаемые минеральные водопоявления юго-западного Прибайкалья анализировались не только с точки зрения их приуроченности к гидрогеологическим структурам, в частности к разрывным нарушениям, но и с позиции их регионального положения – в зоне Байкальского

рифта (кайнозойской активизации) и Забайкальской горно-складчатой области (мезозойской активизации).

Отличия для районов с различной структурной обстановкой можно отметить по распределению концентраций радона в подземных водах [6,7]. Так, для юго-западного Прибайкалья фоновые значения содержания радона в воде не превышают 15 Бк/л, а для Забайкалья фон оценивается в значениях от 16 до 99 Бк/л. Следовательно, и аномальными для этих территорий являются разные значения. В южном Прибайкалье (в Байкальской рифтовой зоне) они представлены водопроявлениями с содержанием 16-99 Бк/л, а в западном Забайкалье – от 100 до 185 Бк/л и дополнительно источниками, с содержанием R_n более 185 Бк/л. Условная граница, разделяющая области с разными фоновыми значениями радона в подземных водах, смещена к юго-востоку от Байкальской впадины и простирается в северо-восточном направлении [9].

В Забайкалье области с повышенным содержанием радона в воде вытянуты в северо-восточном направлении, субпараллельно основным тектоническим структурам региона. Водопроявления с высокими значениями радона локализуются вблизи (не далее 5 км) от крупных разломных зон и приурочены к разрывным структурам второго порядка.

Аномальная радиоактивность изученных водопроявлений в этом районе отмечена в зонах влияния сбросовых нарушений и приуроченных главным образом к их висячим крыльям. Таким образом, аномальные концентрации радона в воде напрямую связаны со степенью тектонической нарушенности горных пород.

5. Заключение

Рассмотренные структурно-гидрогеологические условия выходов минеральных подземных вод в юго-западном Забайкалье могут быть использованы для постановки дальнейших детальных исследований при решении широкого ряда вопросов различными административными, научными и производственными организациями.

Библиографический список

- [1] Борисенко И М и Замана Л В 1978 *Минеральные воды Бурятской АССР* (Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во) 162 с.
- [2] *Гидрогеология СССР* Т. XXII (Бурятская АССР) ред. А И Ефимов 1970 (М.: Недра) 432 с.
- [3] Ломоносов И С, Кустов Ю И и Пиннекер Е В 1977 *Минеральные воды Прибайкалья* (Иркутск: Восточно-Сибирское книжное издательство) 220 с .
- [4] *Минеральные воды южной части Восточной Сибири* 1962 Т. 2 ред. Н А Власов, В Г Ткачук и Н И Толстихин (М.; Л.: Изд-во АН СССР) 200 с.
- [5] Павлов С Х, Чудненко К В, Голубев В А, Оргильянов А И, Бадминов П С и Крюкова И Г 2018 Геологические факторы и физико-химические процессы формирования подземных вод Тункинской впадины *Геодинамика и тектонофизика* 9, 1 221-248.
- [6] Семинский А К 2017 Главные факторы формирования эманационного поля Забайкалья: результаты радонометрического исследования подземных вод *Материалы V Международной конференции молодых ученых и специалистов памяти академика А.П.Карпинского* (г. Санкт-Петербург 23 февраля - 3 марта 2017). (Санкт-Петербург, ВСЕГЕИ) С. 641-643.
- [7] Семинский А К 2015 Систематизация источников подземных вод Прибайкалья и Забайкалья по содержанию радона: предварительные результаты *Строение литосферы и геодинамика* (Материалы XXVI Всероссийской молодежной конф. (г Иркутск, 20-25 апреля 2015). (Иркутск: Институт земной коры СО РАН) С. 164-166.
- [8] Семинский К Ж 2003 *Внутренняя структура континентальных разломных зон: тектонофизический аспект*. (Новосибирск: Изд-во СО РАН, Филиал «Гео») 243 с.

- [9] Семинский К Ж и Семинский А К 2016 Радон в подземных водах Прибайкалья и Забайкалья: пространственно-временные вариации *Геодинамика и тектонофизика* 7, 3 477-493.
- [10] Степанов В М 1989 *Введение в структурную гидрогеологию* (М.: Недра) 229 с.
- [11] Степанов В М 1980 *Гидрогеологические структуры Забайкалья* (М.: Недра) 176 с.

Влияние акриловых полимеров на свойства глинистых буровых растворов

Шакирова Э.В., Анисимов Н.В.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail averkina.l@yandex.ru

Аннотация. В процессе строительства скважины применяются десятки всевозможных видов промывочных жидкостей, а эффективность бурения определяется составом очистных агентов. Для придания раствору определенных технологических свойств производят обработку его различными химическими реагентами. С целью уменьшения расходов материалов и химических реагентов на приготовление и регулирования показателей растворов используют полимерные реагенты. В полимерглинистых растворах содержание глины может быть незначительным и составлять всего 5%. Так, например, при бурении в солевых пропластках применяют термостойкие глинистые буровые растворы, которые кроме основных ингредиентов таких, как вода, соль и нефть включают в себя полимерный реагент (крахмал, карбоксиметилцеллюлозу или акриловый полимер).

1. Введение

Вот уже более полутора столетий углеводороды обеспечивают мир бурным развитием. Нефть стала востребованной в тот момент, когда началась промышленная революция и последовавший за ней технический прогресс [8]. Во второй же половине XIX в. начался «керосиновый период» и обусловленный им далее нефтяной бум [12]. Сегодня около 90% добываемой нефти используется всюду, где не обойтись без энергии, света и тепла [13]. С самого начала нефть объединила человечество жить при ярком свете керосиновой лампы, затем стала основной составляющей при изготовлении топлива и других продуктов, то есть можно предположить, что именно нефть стала началом процесса глобализации мира [4].

Процесс образования в земных недрах углеводородов продолжается и по сей день, но является очень медленным, а человечество извлекает черное золото в миллионы раз быстрее темпов его образования [10]. Стоит отметить, что запасы, остающиеся в земных недрах нефти, равны запасам извлеченной на поверхность нефти [11]. Поэтому ту оставшуюся нефть не следует считать безвозвратно утерянной [14], а предлагается совершенствовать технологию ее добычи [2].

2. Материалы и методы

В лаборатории буровых растворов и крепления скважин при кафедре нефтегазового дела ИРНТУ были проведены исследования свойств глинистых буровых растворов, обработанных акриловыми полимерами. Все данные, использованные в работе, получены экспериментальным путем или с помощью обработки экспериментальных данных.

3. Результаты исследования и их анализ

Акриловый полимер, полиакриламид (ПАА) – общее название группы полимеров и сополимеров на основе акриламида и его производных. В буровых растворах ПАА применяется

для регулирования реологических и фильтрационных свойств, стабилизации глин, инкапсуляции выбуренной породы и укреплении стенок скважины.

Известно, что вид и свойства полимера определяют их роль в регулировании свойств буровых растворов. Например, негидролизированный ПАА используется в основном, в качестве флокулянта твердой фазы при промывке пресной водой. Гидролизированный ПАА применяется в качестве понизителя и регулятора реологических и фильтрационных свойств малоглинистых растворов [1].

По этой причине в начале изучались свойства водных растворов акриловых полимеров, применяющиеся для обработки буровых растворов [6].

Для тестирования были представлены следующие образцы акриловых полимеров: Poly-Mud Н и SpecFloc А 7950-20.

Физико-химические свойства реагентов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Физико-химические характеристики полимеров.

Характеристика	Описание полимеров	
	<i>Poly-Mud Н</i>	<i>SpecFloc А 7950-20</i>
Внешний вид	Порошок от белого до светло-желтого цвета	Белый порошок
Насыпная плотность (г/см ³)	0,5-0,8	≥ 0,60
Гранулометрический состав	Более 1250 мкм - не более 10% Менее 100 мкм - не более 2%	Более 1 мм - не более 4% Менее 0,1 мм - не более 2%
Массовая доля основного вещества (%)	-	≤ 0,025
Водородный показатель водного раствора (pH)	6-8	4-10

В соответствии с предоставленной информацией от производителей все полимерные химреагенты обладают разной массовой долей основного вещества, насыпной плотностью и вязкостью водного раствора [7].

Проведены тестирования по определению молекулярной массы образцов водных растворов полимеров вискозиметрическим методом [15] с помощью капиллярного вискозиметра ВПЖ-2 с диаметром капилляра 0,73 мм [3].

4. Обсуждение

Водные растворы полимеров приготавливались в следующих концентрациях 0,025, 0,03, 0,035, 0,04, 0,045, 0,05%. Для определения вязкости раствора полимера измеряли время истечения равных объемов раствора и растворителя (вода) через капилляр вискозиметра при постоянной температуре 20 °С. Для растворов каждой концентрации проводилось 3 измерения и определялись средние значения. По результатам замеров проводился расчет относительной удельной и приведенной вязкости. На основании полученных данных построена зависимость приведенной вязкости от концентрации раствора полимера.

Экстраполяцией полученных прямых к нулевой концентрации найдены значения характеристической вязкости $[\eta]$. Молекулярная масса определялась по формуле:

$$\lg M = (\lg[\eta] - \lg K)/\alpha,$$

где K – константа, для данного полимер-гемологического ряда, $K = 0,631 \cdot 10^4$;

α – величина, характеризующая форму молекулы, степень изгиба, $\alpha = 0,8$.

Результаты расчета приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты расчета.

Характеристика	<i>Poly-Mud H</i>	<i>SpecFloc A 7950-20</i>
Характеристическая вязкость, $[\eta]$	10,0	14,4
Молекулярная масса, M	3,16	4,98

Полимеры с различными молекулярными массами позволяют регулировать и изменять вязкостные свойства полимерных растворов в широких диапазонах [9].

Исследование реологических свойств полимерных растворов на водной основе проводилось на ротационном вискозиметре OFITE модель 900. Замеры течения жидкости выполнялись при скоростях сдвига от 1 до 600 об/мин. На рис. 1 и 2 представлены результаты реологических измерений полимерных растворов.

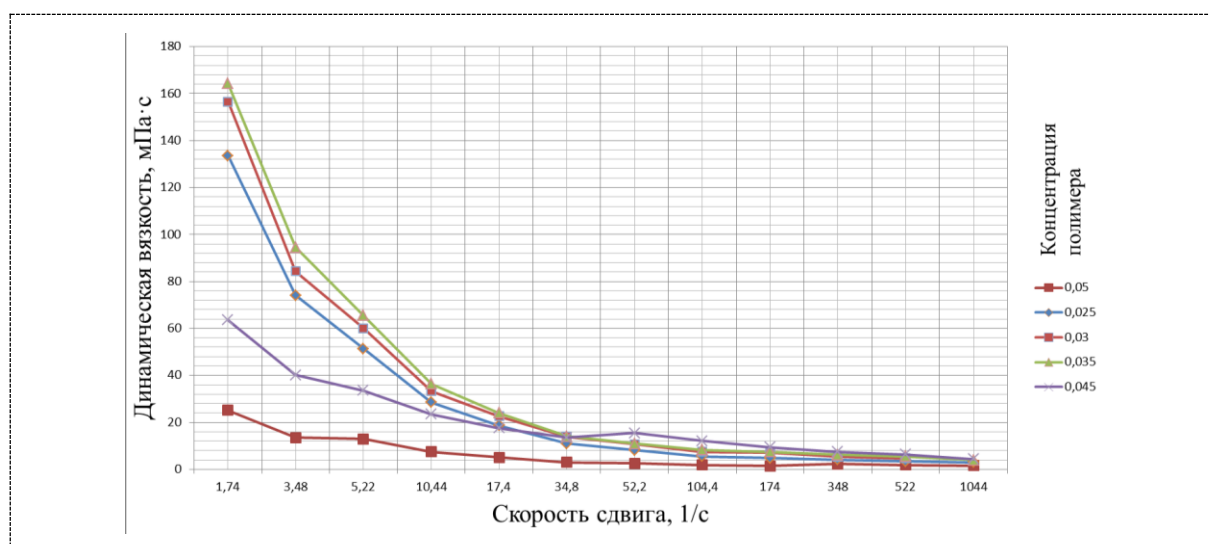


Рисунок 1. График зависимости динамической вязкости от скорости сдвига Poly-Mud H.

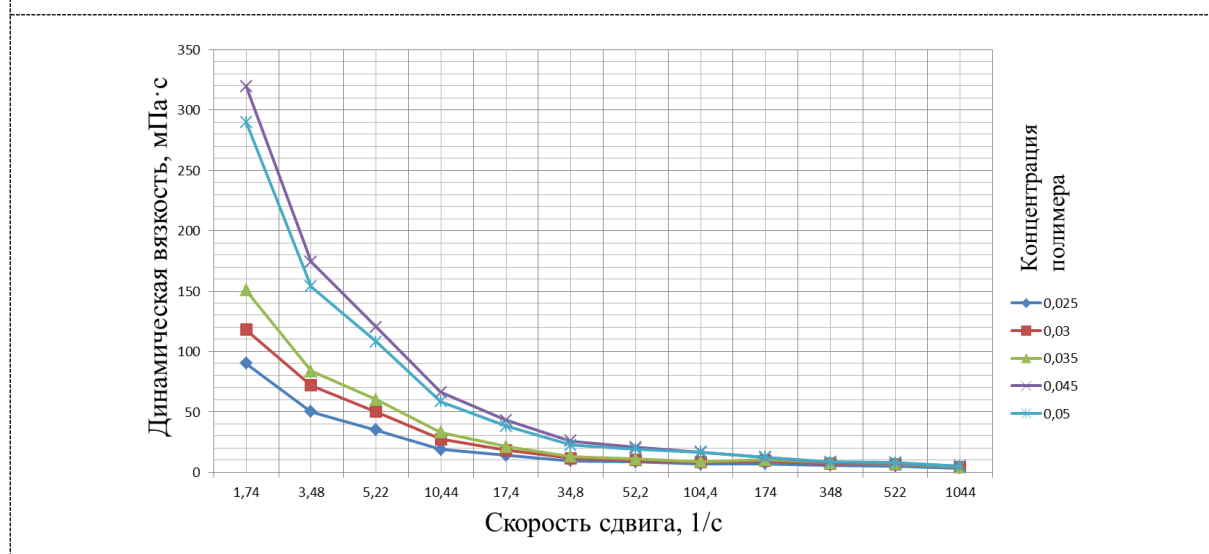


Рисунок 2. График зависимости динамической вязкости от скорости сдвига для SpecFloc A 7950-20.

Таблица 4. Реологические и фильтрационные свойства растворов.

Состав раствора	Концентрация химреagenta,		Показатели						
	%		ρ , г/см ³	ПВ, сПз	ДНС, Па	СНС _{10/10} , Па	Ф ₃₀ по API, см ³	Корка, мм	К _{лип}
	г/п	полимер							
Poly-Mud Н	6	0,789	1,02	25,0	72,0	16,8/21,6	11,5	1,0	0,59
SpecFloc А 7950-20	6	0,789	1,04	19,0	7,2	1,9/2,4	13,0	2,0	2,47

Установлено, что при малых концентрациях полиакриламидов Poly-Mud Н и SpecFloc А 7950-20 наблюдается флокуляция растворов, то есть глина выпадает в осадок. При концентрации полимеров 0,789% и 6% глинопорошка прослеживается улучшение реологических свойств растворов и уменьшение фильтрационных свойств.

Библиографический список

- [1] Лосев И.П., Федотова О.Я. Практикум по химии высокополимерных соединений. - М., Госхимиздат, 1962. - 228 с.
- [2] Я.А. Рязанов Энциклопедия по буровым растворам. – Оренбург: Изд-во «Летопись», 2005. – 664 с.
- [3] Осовская И.И., Антонова В.С. Вязкость растворов полимеров: учебное пособие. Изд-е 2-е, доп. / ВШТЭ СПбГУПТД. СПб., 2016.-62 с.
- [4] Махмудова М.М., Королева А.М., Шакирова Э.В., Ефименко Е.Л. Инвестиционная привлекательность Северного региона. *Известия высших учебных заведений. Социология. Экономика. Политика.* 2016. No 1 (48). С. 27- 32.
- [5] Ламбин А.И., Иванишин В.М., Сираев Р.У., Аверкина Е.В., Шакирова Э.В., Коротков А.В. Исследование влияния состава эмульсионных буровых растворов на их показатели. *Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений.* 2015. № 4 (53). С. 58–66.
- [6] Шакирова Э.В., Аверкина Е.В., Сабиров Т.Р. Влияние добавок на характеристики бурового раствора, применяемого при бурении скважин в Восточной Сибири. *Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений.* 2016. № 3 (56). С. 86–94.
- [7] Шакирова Э.В., Аверкина Е.В., Сабиров Т.Р., Перышкина К.О. Применение нефти в качестве смазочной добавки в буровом растворе (на примере Ярактинского нефтегазоконденсатного месторождения). *Нефтегазовое дело.* 2018. Т. 16. № 2. С. 12-19.
- [8] Gaisina L.M., Belonozhko M.L, Tkacheva N.A., Abdrakhmanov N. Kh, Grogulenko N.V. Principles and methods of synergy modeling of management system at oil and gas sector's enterprises. *Espacios*, 2017, Vol. 38 (N 33).
- [9] Аверкина Е.В., Шакирова Э.В., Фокин Ю.В. Исследование реагентов-пеногасителей в составе бурового раствора. *Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых.* 2017. Т. 40. № 3. С. 90-98.
- [10] Gaisina L.M., Barbakov O.M., Koltunova Yu.I., Shakirova E.V., Kostyleva E.G. Social management systems' modeling based on the synergetic approach: methods and fundamentals of implementation. *Academy of Strategic Management Journal*, 2017, Vol. 16, Special Issue1, pp. 83-95.

- [11] Gaisina L.M., Mikhailovskaya I.M., Khairullina N.G., Pilipenko L.M., Shakirova E.V. Features of the formation of the corporate identity of the staff. *Biosciences Biotechnology Research Asia*. 2015. T. 12. № 3. С. 2543-2555.
- [12] Хайруллин В.А., Зенцов В.Н., Шакирова Э.В. Оценка экономического эффекта от внедрения новых конструктивных решений в строительстве. *Известия высших учебных заведений. Социология. Экономика. Политика*. 2015. № 1 (44). С. 75-79.
- [13] Гайсина Л.М. Трансформация системы управления персоналом в условиях социальных изменений: нефтегазовый комплекс России. Уфа: Издательство "Восточная печать", 2014. - 224 с.
- [14] Хайруллин В.А., Шакирова Э.В. Оценка морального износа при эксплуатации зданий и сооружений предприятий нефтегазового комплекса. *Экономика и предпринимательство*. No12 - 3 (53 - 3). 2014. - С. 529 - 532.
- [15] Хайруллин В.А., Недосеко И.В., Шакирова Э.В., Суворова Н.В. Формирование методического подхода диагностики состояния инвестиционно-строительной сферы РФ. *Известия высших учебных заведений. Социология. Экономика. Политика*. 2015. No 2. С. 57-60.

Фотохимическое окисление тиоцианатов под воздействием квазисолнечного излучения

Батоева А.А., Сизых М.Р., Мункоева В.А.

Байкальский институт природопользования СО РАН, г.Улан-Удэ

E-mail abat@binm.ru

Аннотация. Исследованы кинетические закономерности окисления тиоцианатов при прямом фотолизе и в комбинированных железо-персульфатных окислительных системах с использованием квазисолнечного (симулированного) излучения ксеноновой лампы. Установлено влияние основных факторов (pH, температуры реакционной среды, природы катализатора, времени экспозиции) на эффективность процессов фотохимического окисления тиоцианатов. Степень конверсии и начальная скорость окисления тиоцианатов в рассматриваемых окислительных системах изменяется в ряду $\{УФ/ PS/Fe^{3+}\} > \{УФ/PS/Fe^{2+}\} > \{PS/Fe^{3+}\} > \{ PS/Fe^{2+}\} > \{ УФ/ PS/Fe^0\} > \{ PS/Fe^0\} >> \{УФ/PS\}$.

1. Введение

Предприятия по добыче и переработке золотосодержащих руд, безусловно, могут быть отнесены к сложным химическим производствам с высоким удельным потреблением, как воды, так и химических реагентов. В процессе цианистого выщелачивания золота и серебра из сульфидных руд и концентратов на золотоизвлекательных фабриках (ЗИФ) образуются техногенные воды сложного состава, представляющие особую опасность для окружающей среды [1]. Сточные и оборотные воды таких производств являются поликомпонентными и содержат в своем составе наряду с цианидами, тиоцианатами и другие высокотоксичные соединения - ионы цветных металлов, флотореагенты, флокулянты, тиосульфаты и др. В связи с этим, большое значение имеет последняя стадия технологического процесса переработки минерального сырья – обезвреживание и нейтрализация вредных веществ в отработанных технологических растворах перед сбросом или повторным использованием.

Среди методов окисления и разрушения токсичных цианистых соединений до сих пор в качестве окислителей широко применяются «экологически грязные» реагенты, например, соединения хлора (гипохлориты, хлорная известь, жидкий хлор и т.д.) [2]. Основными недостатками которых являются токсичность самого реагента, что представляет реальную опасность при хранении в складах, снижение активности окислителя со временем, а также необходимость строгого контроля pH во избежание образования токсичного газа – хлорциана. Жесткие требования экологического и экономического характера настоятельно диктуют необходимость создания новых малоотходных/безотходных и энергоэффективных технологий, дающих наибольший экологический эффект.

В настоящее время большое внимание исследователей сосредоточено на разработке новых комбинированных процессов окисления (AOPs – “advanced oxidation processes”), заключающихся в генерировании *in situ* различными способами высокореакционноспособных радикалов – преимущественно активных форм кислорода (АФК), которые способны индуцировать окисление и минерализацию растворенных в воде загрязнителей [3-4]. В мировой научной литературе наблюдается тенденция роста интереса исследователей к использованию персульфатов в AOPs для очистки природных и сточных вод, загрязненных почв [5]. На международном форуме EAAOP-4 (4 European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes, Athens – Greece, 21-24 October 2015 г.) предложено включить методы, базирующиеся на использовании, генерируемых *in situ* сульфатных анион-радикалов SR-AOPs (Sulfate Radical-based AOPs) в современную классификацию передовых комбинированных окислительных методов. Персульфат может непосредственно взаимодействовать с загрязнителями или являться прекурсором (предшественником) для образования вторичных более реакционноспособных окислителей - активных форм кислорода (кислородсодержащих радикалов - $SO_4^{\cdot-}$, $\cdot OH$) при ультрафиолетовом, термическом,

ультразвуковом воздействии и т.д. Также, в присутствии металлов переменной валентности (Me^{n+}), таких как Fe^{2+} , Fe^{3+} и Fe^0 персульфаты диспропорционируют с образованием сульфатных-анион радикалов (в Фентон-подобных окислительных системах – Fenton-like oxidative systems). Причем, такой катализатор как Fe^0 (ZVI- zero-valent iron) является более предпочтительным в силу своей эффективности, экологичности и универсальности [6]. Активация персульфата Fe^0 происходит за счет генерирования ионов Fe^{2+} из Fe^0 путем окисления Fe^0 в системе $S_2O_8^{2-}/Fe^0$. При этом, ионы Fe^{2+} поступают в персульфатную систему непрерывно, что способствует большей активации и выходу сульфатных радикалов чем разовая доза гомогенного катализатора Fe^{2+} .

Сульфатные анион-радикалы являются реальной альтернативой гидроксильным радикалам, так как они, обладая высоким окислительно-восстановительным потенциалом имеют меньшую чувствительность к pH, неселективную высокую реакционную способность к большинству загрязнителей окружающей среды, а источники их образования, соли персульфаты, обладают высокой растворимостью и стабильностью образующихся растворов при комнатной температуре.

Среди AOPs наиболее перспективными на наш взгляд являются комбинированные фотохимические методы. В настоящее время в мировой литературе накоплен достаточно обширный материал по использованию фотоактивированных AOPs методов для окислительной деструкции биорезистентных органических загрязнителей. В большинстве работ используются источники УФ излучения. Растет интерес исследователей к использованию полихроматического естественного солнечного излучения (Solar) для интенсификации окислительной деструкции стойких органических загрязнителей, инактивации патогенной микрофлоры [7-10]. С точки зрения энергоэффективности и экологичности процессов, данное направление исследований представляется весьма актуальным и для обезвреживания токсичных неорганических загрязнителей.

Наиболее устойчивыми и трудноокисляемыми соединениями, входящими в состав сточных вод золотоизвлекательных фабрик, являются тиоцианаты. Поэтому они выбраны в качестве объекта исследований.

Целью данной работы являлось изучение возможности использования метода комбинированного фотохимического окисления (Solar - SR-AOPs) для обезвреживания тиоцианатов в водных растворах.

2. Материалы и методы

Исследования проводили на модельных растворах тиоцианатов (SCN^-), приготовленных на дистиллированной воде ($\chi = 2$ мксм/см) с начальной концентрацией $[SCN^-] = 1.72$ ммоль/л. В экспериментах по изучению комбинированных фотохимических окислительных систем использовали персульфат калия ($K_2S_2O_8$), хлорид железа ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$), сульфат железа ($FeSO_4 \cdot 5H_2O$) марки “х.ч.”, железо металлическое (99%, Panreac).

Содержание тиоцианатов в растворе контролировали фотометрическим методом на фотометре КФК-3-01: экспресс-методом с азотнокислым железом [11]. Определение концентрации железа проводили стандартным фотометрическим методом с *o*-фенантролином. Величину pH контролировали на универсальном иономере pH-150 МИ.

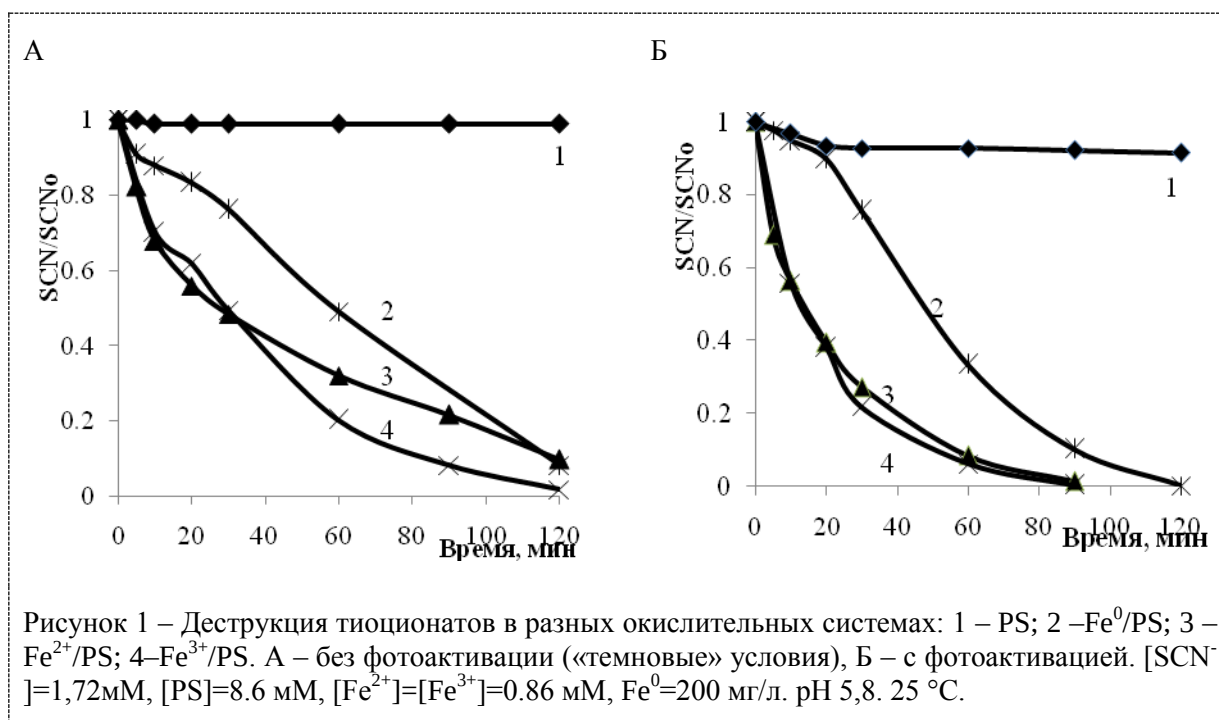
Исследования основных кинетических закономерностей окислительной деструкции тиоцианатов осуществляли в проточном режиме на лабораторной установке, детальное описание которой представлено в работе [12]. Объем обрабатываемого раствора составлял 200 мл, скорость потока 1.25 л/мин. В качестве источника оптического излучения использовали ксеноновую лампу HID 4300 KH («MaxLight», SouthKorea). Спектр излучения ксеноновой лампы очень широк в видимой области (300–800 нм) и близок к солнечному. Это позволяет проводить корректное моделирование режимов работы солнечного фотореактора в лабораторных условиях. Интенсивность излучения лампы в бактерицидных диапазонах, измеренная с

помощью УФ – радиометра «ТКА-ПКМ» на расстоянии 5 см составила 2870 мВт/м², 171 мВт/м² и 180 мВт/м² для UV-A (315-400 нм), UV-B (280-315 нм), UV-C (200-280 нм) диапазонов, соответственно.

3. Результаты исследования и их обсуждение

Роданиды устойчивы к излучению ксеноновой лампы. За 2 часа обработки их концентрация в растворе практически не изменилась. Так же они практически не взаимодействуют с персульфатами. Дополнительное облучение ксеноновой лампой раствора, содержащего персульфат, позволяет уменьшить концентрацию роданидов лишь на 9 %. Скорость взаимодействия роданидов с сульфатными анион радикалами достаточно высокая ($5.2 \cdot 10^9 \text{ M}^{-1} \text{ c}^{-1}$ [13]), однако их концентрация вероятно не велика. Колба ксеноновой лампы изготовлена из стекла, которое как известно практически не пропускает ультрафиолетовое излучение УФ-В и УФ-С диапазонов. При этом известно, что для фотоактивации персульфата наиболее целесообразно и эффективно использовать источники света, излучающих на длинах волн менее 300 нм [14].

Активация персульфата соединениями железа происходит более эффективно. При применении Fe^{3+} после 120 минут обработки в растворе роданидов не обнаружили. При использовании Fe^{2+} и Fe^0 окислительный процесс протекает медленнее. Дополнительное облучение ксеноновой лампой позволяет ускорить процесс окисления роданидов. Менее эффективно применение для активации Fe^0 . Вероятно, процесс окисления роданидов протекает через образование промежуточных железосодержащих комплексов. При использовании Fe^0 поступление железа в раствор происходит медленно, что отрицательно сказывается на эффективности всего процесса.



Полученные результаты позволили сделать вывод, что для успешной реализации окислительной деструкции роданидов персульфатом, оптимальным является комбинированная активация Fe^{3+} и излучением ксеноновой лампы (рис.1).

Одним из важных преимуществ персульфата перед пероксидом водорода является их меньшая чувствительность к изменению реакции среды. Экспериментально установлено, что данный параметр практически не оказывает влияние на кинетику окисления роданидов

персульфатом, активированным Fe^{3+} и излучением ксеноновой лампы (рис.2), в широком диапазоне pH (5.8 - 10).

При реализации Solar – процессов растворы, как правило, нагреваются до 40- 45 °С, поэтому важно изучить влияние температуры на кинетику окисления роданидов. Установлено, что повышение температуры реакции до 40 °С существенно ускоряет процесс окисления роданидов, время, необходимое для их полной деструкции сокращается с 90 минут до 10.

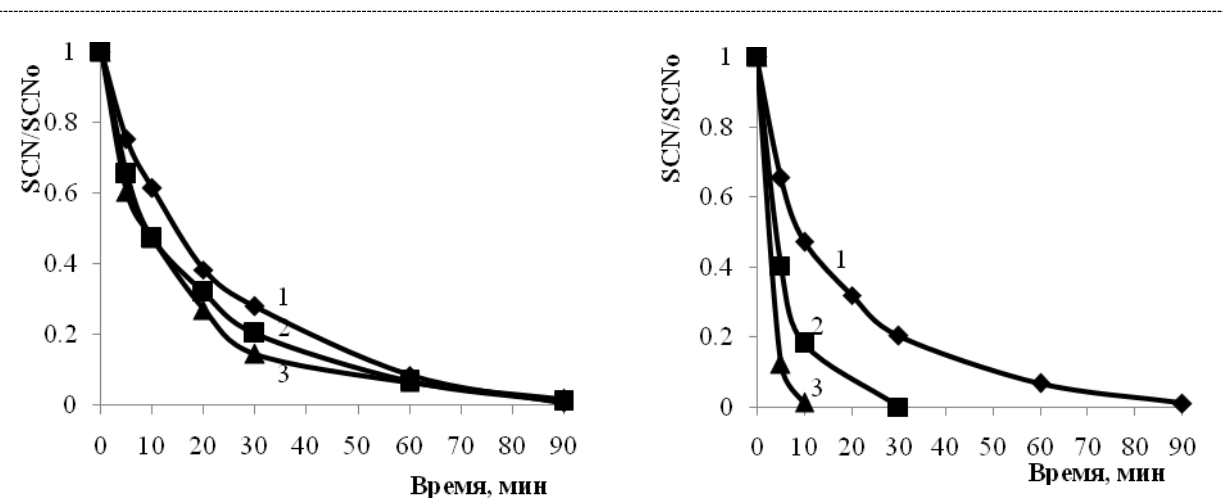


Рисунок 2 – Влияние реакции среды на кинетику окисления роданидов в системе $\{\text{Fe}^{3+}/\text{PS}/\text{УФ}\}$. $[\text{SCN}^-]=1,72\text{мМ}$, $[\text{PS}]=8.6\text{ мМ}$, $[\text{Fe}^{3+}]=0.86\text{ мМ}$, 25 °С. 1 – pH 10; 2 – pH 5.8; 3 – pH 7.0.

Рисунок 3 – Влияние температуры на кинетику окисления роданидов в системе $\{\text{Fe}^{3+}/\text{PS}/\text{УФ}\}$. $[\text{SCN}^-]=1,72\text{мМ}$, $[\text{PS}]=8.6\text{ мМ}$, $[\text{Fe}^{3+}]=0.86\text{ мМ}$, pH 5.8. 1 – 25°С; 2 – 30°С; 3 – 40°С.

3. Вывод

Таким образом, исследованы кинетические закономерности окисления тиоцианатов при прямом фотолизе и в комбинированных железо-персульфатных окислительных системах с использованием квазисолнечного (симулированного) излучения ксеноновой лампы. Установлено влияние основных факторов (pH, температуры реакционной среды, природы катализатора, времени экспозиции) на эффективность процессов фотохимического окисления тиоцианатов. Степень конверсии и начальная скорость окисления тиоцианатов в рассматриваемых окислительных системах изменяется в ряду $\{\text{УФ}/\text{PS}/\text{Fe}^{3+}\} > \{\text{УФ}/\text{PS}/\text{Fe}^{2+}\} > \{\text{PS}/\text{Fe}^{3+}\} > \{\text{PS}/\text{Fe}^{2+}\} > \{\text{УФ}/\text{PS}/\text{Fe}^0\} > \{\text{PS}/\text{Fe}^0\} >> \{\text{УФ}/\text{PS}\}$.

Изменение реакции среды обрабатываемого раствора в диапазоне 5,8-10 не оказывает существенного влияния на кинетику окисления тиоцианатов в системе $\{\text{Fe}^{3+}/\text{PS}/\text{УФ}\}$. Повышение температуры обрабатываемого раствора до 40 °С сокращает время, необходимое для полной деструкции роданидов, с 90 до 10 минут.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения солнечного излучения в присутствии генерируемых *insitu* экологически безопасных окислителей – активных форм кислорода, для обезвреживания сточных вод, содержащих тиоцианаты.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Бурятия в рамках научного проекта № РФФИ-РБ 18-48-030005.

Библиографический список

[1] Mudder T.I., Botz M.M. 2004. *The European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection*. 4, 1 62

- [2] Botz M.M., Mudder T.I., Accil A. 2005 *Cyanide treatment: physical, chemical and biological processes*. In: Adams M.D.(Ed.). *Advanced in Gold Ore Processing*. (Elsevier Ltd., Amsterdam) pp.672
- [3] O.M. Rodriguez-Narvaez et al. 2017 *Chemical Engineering Journal*.323, 9 361
- [4] Y. Yang et al. 2017 *Science of the Total Environment*.596-597, 10303.
- [5] L.W. Matzek & K.E. Carter. 2016 *Chemosphere*.151178
- [6] Oh S.-Y., Kim H.-W., Park J.-M. et al. 2009 *Journal of Hazardous Materials*.168346-351.
- [7] Malato S. et.al 2009 *Catalysis Today*. 147,1 1.
- [8] Tsydenova O., Batoev V., Batoeva A. 2015 *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 12. 9542-9561.
- [9].KhandarkhaevaM. S., AseevD. G., SizykhM. R., BatoevaA. A. 2016 *Russian journal of Physical Chemistry A*.90, 11 2177.
- [10]M. Khandarkhaeva, A. Batoeva, D. Aseev et al.. 2017. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 137, 3.35.
- [11]Lahti M., Vilpo J., Hovinen J. 1999 *J. Chem. Educ.*. 76, 9 1281.
- [12] Khandarkhaeva M.S., Batoeva A. A., Aseev, D. G., Sizykh M. R. 2015 *Russian Journal of Applied Chemistry*.88, 101605.
- [13] Neta P., Huie R.E. 1988 *J. Phys. Chem. Ref. Data*. 17, 3. 513.
- [14] Y.-J. Shih,W. N. Putra,Y.-H. Huang et al. 2012 Mineralization and deflourization of 2,2,3,3-tetrafluoro-1-propanol (TFP)by UV/persulfate oxidation and sequential adsorption, *Chemosphere*89. 1262.

Канцерогенная опасность лесных пожаров для атмосферы городов Иркутской области

Белых Л.И., Гармышев В.В.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail belariv2000@yandex.ru

Аннотация. Сопоставлены динамики содержания канцерогенного бенз(а)пирена в атмосферном воздухе городов и показателей лесных пожаров на территории Иркутской области за период 1987-2015 гг. Установлены положительные линейные зависимости между средними концентрациями бенз(а)пирена в атмосфере и интенсивностью пожаров. Показано, что точность корреляций выше для последних 10-15 лет, что может указывать на увеличение вклада природных пожаров в загрязнение атмосферы по сравнению с другими источниками.

1. Введение

Большинство городов Иркутской области характеризуются высоким уровнем загрязнения атмосферы вредными веществами, среди которых значительную долю составляет канцерогенный бенз(а)пирен (Б(а)П) [1, 2] – индикатор приоритетных стойких органических загрязнителей группы полициклических ароматических углеводородов (ПАУ). Данные соединения образуются в процессах неполного сжигания и пиролиза органических материалов, источниками которых являются предприятия различных отраслей промышленности. Наряду с техногенными источниками могут быть природные лесные пожары, оценки которых по

образованию канцерогенных ПАУ проведены в ряде зарубежных исследований [3–5]. На примере Иркутской области известны работы по оценке нагрузки вредных компонентов, включая Б(а)П, на атмосферу от лесных пожаров [6]. В то же время убедительные доказательства о вкладе лесных пожаров в загрязнении атмосферы городов отсутствуют.

Цель работы – исследование лесных пожаров как источника загрязнения атмосферы канцерогенным бенз(а)пиреном в городах Иркутской области.

2. Материалы и методы

В работе исследованы результаты мониторинга содержания Б(а)П в атмосфере 10 городов Иркутской области, которые различаются между собой наличием различных производств и характеризуются равномерным распределением по густонаселенной территории области. Рассмотрены два показателя оценки содержания вещества в атмосфере. Это – среднегодовая концентрация СБП (нг/м³) в долях ПДК (1 нг/м³) и стандартный индекс СИБП (нг/м³) в виде максимальной среднемесячной концентрации также в долях ПДК. Использовали данные, приведенные в Ежегодниках Росгидромета [7] за период времени наблюдений 1987–2015 гг. За аналогичный период времени проанализирована ежегодная статистика пожаров на территории Иркутской области согласно отчетности Центра Пожарной Статистики Международной ассоциации по двум показателям лесных пожаров: количество пожаров в год (N) и пройденная огнем площадь (S, тыс. га). Результаты обрабатывали с помощью метода корреляционного анализа, рассчитывая коэффициенты корреляции линейных зависимостей r_{xy} для уровней значимости α и числа степеней свободы f , равного $n - 2$, где n – число наблюдений.

3. Результаты исследования и их анализ

На территории Иркутской области расположены крупнейшие предприятия теплоэнергетики, переработки нефти, цветной металлургии, химической и нефтехимической и других отраслей промышленности, которые являются источниками выбросов канцерогенных ПАУ и Б(а)П в атмосферу. Дополнительный вклад в загрязнение воздушного бассейна вносят автотранспорт, большое количество мелких котельных, жилой сектор с печным отоплением. Мониторинг проводят по содержанию Б(а)П в атмосфере с 1987 года. В настоящее время это 29 пунктов наблюдения загрязнения в 16 городах, из которых для 10 наиболее загрязненных в таблице 1 приведены содержания СБП и СИБП в долях ПДК вещества в динамике с 5-летним интервалом.

Таблица 1 – Динамика содержания бенз(а)пирена в атмосферном воздухе городов Иркутской области.

Город	Год наблюдения					
	1990	1995	2000	2005	2010	2015
(основное производство)	среднегодовые (максимальные среднемесячные) концентрации бенз(а)пирена, доли ПДК (1 нг/м ³) [7]					
Ангарск (нефтехимическое)	4,2	3,9	2,0 (5,1)	4,0 (7,8)	2,6 (6,8)	1,2 (3,6)
Иркутск (теплоэнергетика)	9,6	7,7	1,4 (5,2)	3,0 (5,2)	4,2 (10)	1,5 (9,2)
Усолье-Сибирское (химическое)	2,5	4,3	2,6 (15,7)	2,7 (5,5)	2,6 (5,6)	3,8 (8,4)
Саянск (химическое)	0,7	0,2	0,7 (1,5)	2,0 (3,9)	1,5 (2,5)	2,0 (4,9)
Усть-Илимск (лесное)	0,7	0,7	1,7 (2,8)	2,7 (6,2)	1,9 (3,6)	0,5 (2,0)
Братск (алюминиевое)	11,1	6,2	2,5 (13,9)	2,9 (7,5)	5,1 (11,4)	6,7 (30,2)
Шелехов (алюминиевое)	12,4	12,9	2,2 (5,3)	2,8 (5,7)	2,8 (6,2)	3,3 (9,3)
Зима (аграрное)	13,1	8,2	2,2 (1,7)	3,5 (6,5)	3,7 (8,0)	6,6 (39,6)
Черемхово (угольное)	11,4	8,2	1,8 (4,4)	3,8 (7,5)	2,3 (4,1)	1,9 (3,8)
Байкальск (аграрное)	0,7	0,7	1,7 (2,8)	2,7 (6,2)	1,9 (3,6)	0,5 (2,0)

Анализ среднегодовых и максимальных содержаний Б(а)П в атмосфере показывает концентрации выше ПДК с вариацией от 1,2 до 13,1 и от 1,5 до 39,6 соответственно. По среднегодовым значениям СБП отмечается тенденция уменьшения степени загрязнения атмосферы канцерогеном за 25-летний период времени примерно в 2-4 раза. Максимальные значения показателя СИБП изменяются мало, о чем говорят, например, высокие и сопоставимые между собой загрязнения как в промышленном Братске, так в аграрном городе Зима. Общая тенденция уменьшения обусловлена спадом производства и появлением более «экологичных» технологий, например, в теплоэнергетике, производстве алюминия.

За исследуемый период отмечается сохранение высокого уровня лесных пожаров на территории области, что подтверждают их показатели, приведенные на рисунке 1.

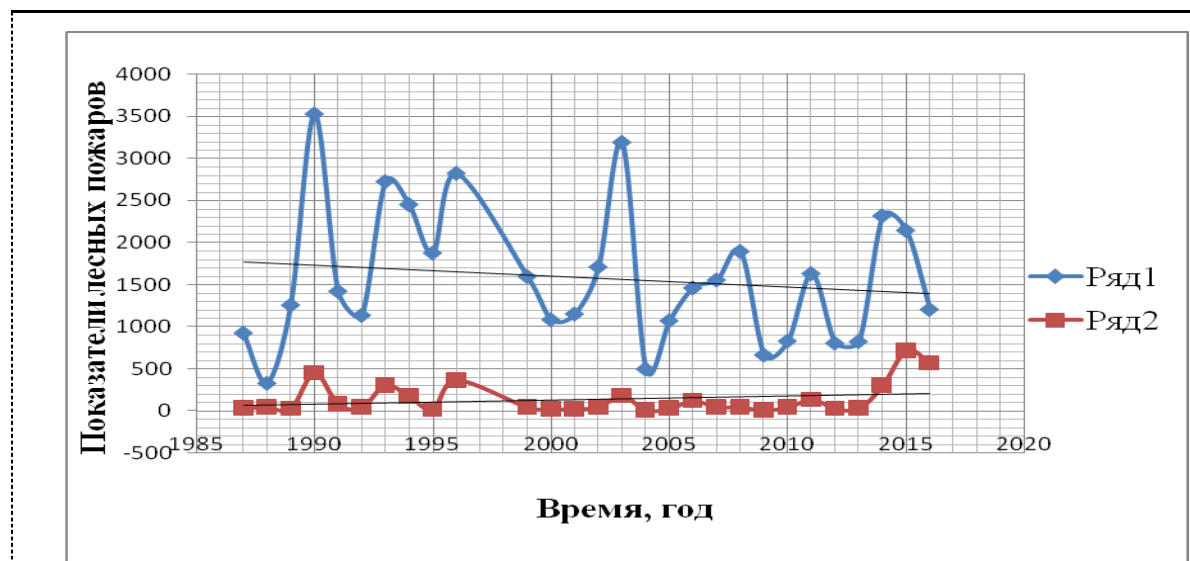


Рисунок 1. Динамика количества (ряд 1, N) и пройденной огнем площади (ряд 2, S, тыс.га) лесных пожаров на территории Иркутской области

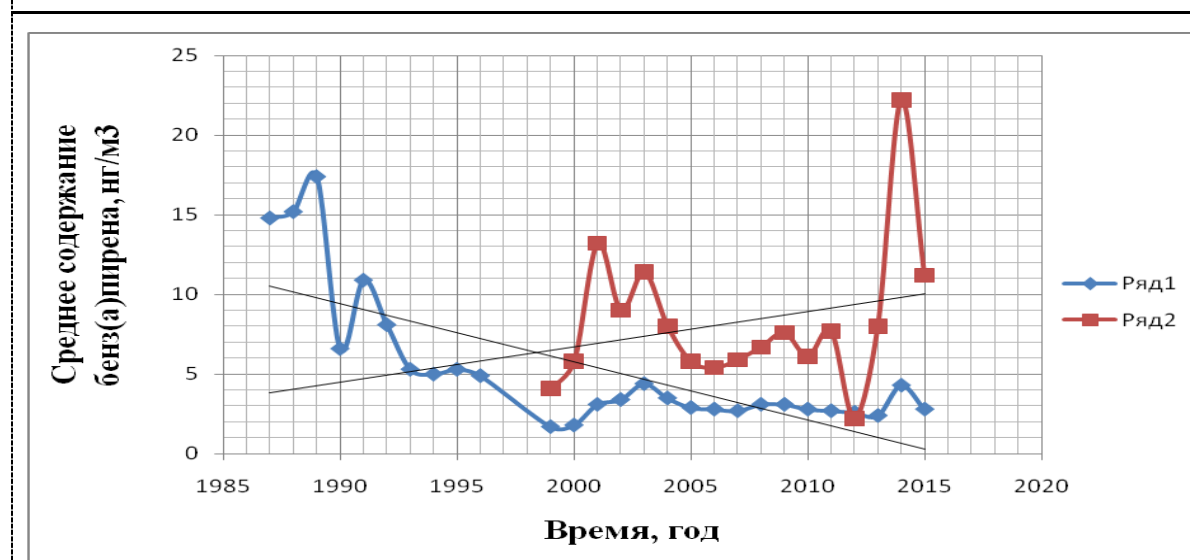


Рисунок 2. Динамика средних значений среднегодовых (ряд 1, $\bar{C}_{БП}$, нг/м³) и стандартных индексов (ряд 2, и $\bar{СИ}_{БП}$, нг/м³) содержания (доли ПДК) бенз(а)пирена в атмосферном воздухе 10 городов (см. табл. 1) Иркутской области

Следует отметить четкую цикличность пожаров, которые после 2000 года были в 2003, 2008 и 2014 годах. При этом между обоими показателями количеством пожаров N и их площадью S за период 2000–2014 гг. имеется положительная корреляция ($r_{xy}=0,754$, $\alpha=0,01$).

Довольно равномерный разброс пожаров по территории области предполагает такое же распределение выбросов Б(а)П, которое более точно можно выразить через средние значения $\overline{C}_{\text{БП}}$ и $\overline{СИ}_{\text{БП}}$, полученные из ежегодных результатов наблюдений для исследуемых 10 городов, и представленные на рисунке 2.

Из рисунков 1 и 2 видна синхронность между обоими показателями с четко выделяющимися максимумами в 2003 и 2014 годах по числу пожаров и содержанию Б(а)П в атмосфере. Зависимости средних содержаний Б(а)П в атмосфере городов области от интенсивности пожаров подтверждают также статистически значимые положительные линейные корреляции как для показателя количества лесных пожаров, так и для площади, пострадавшей во время пожара (таблица 2).

Таблица 2. Точность линейных зависимостей средних показателей ($\overline{C}_{\text{БП}}$, $\overline{СИ}_{\text{БП}}$) среднегодовых содержаний бенз(а)пирена в атмосфере для 10 городов Иркутской области от показателей лесных пожаров в различные периоды времени

Период наблюдений	Коэффициент корреляции, r_{xy} (α , f)	
	$\overline{C}_{\text{БП}} = f(N)$	$\overline{C}_{\text{БП}} = f(S)$
1987–2015 гг.	незначимо	незначимо
1987–1996, 1999 гг.	– 0,537 (0,10; 9)	незначимо
2000–2015 гг.	+ 0,594 (0,02; 14)	незначимо
2000–2014 гг.		+ 0,637 (0,02; 13)
2005–2014 гг.		+ 0,780 (0,01; 8)
	$\overline{СИ}_{\text{БП}} = f(N)$	$\overline{СИ}_{\text{БП}} = f(S)$
1999–2015 гг.	+ 0,466 (0,10; 15)	
2005–2015 гг.	+ 0,620 (0,05; 9)	
1999–2014 гг.		+ 0,735 (0,01; 14)
2005–2014 гг.		+ 0,865 (0,01; 8)

Примечание. α – уровень значимости; f – число степеней свободы, равное $n - 2$, где n – число наблюдений; N – количество лесных пожаров; S – пройденная огнем площадь, тыс. га; $\overline{C}_{\text{БП}}$ – средняя концентрация среднегодовых и $\overline{СИ}_{\text{БП}}$ – средний стандартный индекс (СИ) максимальных среднемесячных концентраций Б(а)П в 10 городах Иркутской области.

Анализ значений коэффициентов корреляции обнаруживает следующие особенности.

Во-первых, отсутствие связей для раннего периода наблюдений 1987–2000 годов и даже отрицательной корреляции, когда нельзя сделать вывод о влиянии пожаров на загрязнение атмосферы канцерогенными ПАУ.

Во-вторых, для периода после 2000 года положительная корреляция наблюдается. При этом точность ее возрастает в последние 10–15 лет. Подобная закономерность может быть обусловлена тем фактом, что на фоне уменьшения выбросов Б(а)П традиционными техногенными источниками более четко проявляется вклад пожаров в загрязнение атмосферы городов области. Степень точности можно оценить по значениям уровня значимости, уменьшение которого указывает на более тесные связи между показателями.

В-третьих, следует отметить, что полученные зависимости примерно в одинаковой степени отражают оба показателя как со стороны содержаний Б(а)П в атмосфере, так и со стороны показателей лесных пожаров.

4. Обсуждение

Проблема загрязнения атмосферы городов Иркутской области вредными веществами, среди которых приоритетное значение имеют канцерогенные, например, Б(а)П ставит перед необходимостью идентификации источников загрязнения. К настоящему времени более полная информация имеется относительно организованных стационарных источников крупных предприятий и производств. При этом за последние два десятилетия помимо спада производства появляются технологии с преобладанием тех, которые имеют лучшие экологические характеристики. Результатом является общая тенденция деканцерогенизации атмосферы в последние годы по сравнению с концом прошлого века. При этом все же еще сохраняются опасные уровни содержания Б(а)П в атмосфере, особенно по его максимальным значениям (см. табл. 1). Это диктует важность установления источников образования ПАУ. С учетом того, что они образуются в процессах горения лесных растительных материалов, необходимы оценивания лесных пожаров как источников выбросов этих веществ. Изучение динамики показателей $\overline{C}_{БП}$ и $\overline{C}_{ИБП}$ загрязнения атмосферы самых населенных городов Иркутской области канцерогенным Б(а)П выявила наибольшие значения в 2003, 2004 и 2014 годах, что соответствовало данным динамики интенсивности лесных пожаров. Между показателями содержаний Б(а)П и количеством пожаров, их площади горения найдены статистически значимые линейные положительные зависимости, точность которых по значениям коэффициентов корреляции увеличивается в последние годы наблюдений ($r_{xy}=0,500-0,740$, $\alpha=0,05-0,01$, $n=15-16$). Такой результат свидетельствует о влиянии и росте вклада лесных пожаров на фоне других источников выбросов канцерогенного Б(а)П.

5. Заключение

На основе результатов мониторинга лесных пожаров, содержания Б(а)П в атмосферном воздухе крупных промышленных и аграрных городов Иркутской области и полученных между ними зависимостей, в целом, природные лесные пожары можно рассматривать как источник загрязнения атмосферы. При этом актуальным представляется оценивание нагрузки канцерогенных веществ от выбросов продуктов горения, продолжение этих исследований уже на уровне локальных воздействий пожаров и распределения от них канцерогенных веществ в атмосфере городов и населенных пунктов.

Библиографический список

- [1] Государственный доклад 2017 *О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области за 2016 год*. Иркутск : Издательство Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН.
- [2] Ежегодник 2017 *Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2016 год*. С.-Пб.
- [3] Jenkins B, Jones A D, Turn S Q, Williams RB 1996 Emission factors for polycyclic aromatic hydrocarbons from biomass burning. *Environmental Science and Technology* 30 2462-2469.
- [4] Nakajima D, Nagame S, Kuramochi H et al. 2007 Polycyclic aromatic hydrocarbon generation behavior in the process of carbonization of wood. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 79 221-225.
- [5] Vergnoux A, Malleret L, Asia L et. al. 2011 Impact of forest fires on polycyclic aromatic hydrocarbons (ПАУ) level and distribution in soils. *Environmental Research*. 2011. 111. 193-198.
- [6] Тимофеева С С, Гармышев В В, Дубровин Д В 2018 Оценка вклада в загрязнение атмосферы техногенных и природных пожаров в Иркутской области. *Экология и промышленность России*. 22, 9. 67-71.
- [7] Ежегодники 1987-2015 *Состояние загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности Иркутского УГМС в 1987-2015 гг.* Иркутск : Иркутский центр по

гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с региональными функциями, Иркутский центр по мониторингу загрязнения окружающей среды.

Возможности вторичного использования строительных материалов в рамках программы реновации жилых домов

Волчатова И.В., Стаценко Ю.Ю.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail genesis@istu.edu

Аннотация. Статья посвящена обсуждению возможности вторичного использования строительных материалов в рамках программы реновации жилых домов. Показана целесообразность переработки строительных материалов в отличие от захоронения их на полигонах. Проведен сравнительный анализ цен на вторичные строительные материалы и их аналоги.

1. Введение

Необходимость модернизации жилого фонда, устаревающего со временем, неизбежна для всех современных городов. Термин «реновация», для гражданского строительства подразумевающий инновационный процесс изменения функционального назначения объектов реконструкции, в России в настоящее время ассоциируется, прежде всего, с Москвой. Это связано с принятием в 2017 г. Федерального закона [1] и Программы реновации жилищного фонда [2], среди решаемых задач которых – строение энергоэффективных домов с низкими эксплуатационными затратами, улучшение экологической обстановки, формирование новой структуры городской среды, наиболее приспособленной для комфортной жизнедеятельности людей. К текущему времени реорганизации жилого пространства подверглись города во многих странах мира – Японии, Чехии, Франции, Великобритании, Китае. Но наибольший опыт в этом плане накоплен в Германии. В восточной части Берлина проводилось комплексное переустройство спальных районов старой застройки, которое полностью изменило их внешний вид. Повысилось также качество жилой среды за счет утепления перекрытий, расширения оконных проемов, отдаления улиц, озеленения.

Обсуждение программы реновации жилья в Москве закономерно привело к мысли о необходимости распространения программы на всю страну, ведь в большинстве регионов жилой фонд находится в гораздо худшем состоянии. Так, в Иркутской области серьезную социально-экономическую проблему представляют дома серии 1-335. Основное строительство домов этой серии в СССР пришлось на начало 60-х годов прошлого века. Тогда властями была поставлена задача по обеспечению населения страны отдельным жильем.

Конструкции для строительства домов 335-й серии производились на заводах сборного железобетона из газозолобетона – разновидности ячеистого бетона, изготавливаемой из смеси портландцемента, молотой извести-кипелки, золы-уноса ТЭЦ, алюминиевой пудры и воды с добавлением поверхностно-активных веществ для регулирования процесса схватывания. В целом довольно прочный материал, хоть и уступающий в этом отношении кирпичу, газозолобетон в условиях Сибири показал свою недолговечность из-за попеременного замораживания и оттаивания. Способствовало разрушению строительного материала конструктивное исполнение домов 335-й серии с неполным каркасом, без колонн по наружным продольным стенам. Причина такого строительства в том, что здания были созданы в качестве временных сооружений со сроком эксплуатации всего 15 лет. Позже их планировалось разбирать и собирать заново в виде одно- и двухэтажных домов в мелких городах. В таком виде эти здания могли бы прослужить около 150 лет.

2. Материалы и методы

Для исследования использовали данные об имеющихся на сегодняшний день в Иркутской области жилых домах серии 1-335, возведенных в 60-70-е годы XX века. Это панельные здания с продольными несущими стенами, необлицованные. Отличительными чертами являются 4-х-створчатые большие окна на лестничных клетках и 4-х панельные торцевые стены с двумя окнами.

3. Результаты исследования и их анализ

Для Прибайкалья проблема износа жилого фонда представляет особую серьезность в связи с сейсмоактивностью региона. Для Иркутска сейсмическая угроза составляет 8 баллов, в то время как здания рассматриваемой серии проектировались с расчетом на 5-7 баллов. Различаются два конструктивных типа жилых домов серии 335 [3]:

1-й тип – с наружными несущими стенами из газозолобетона без пристенных колонн (годы постройки 1960-1965);

2-й тип – с наружными стенами из газозолобетона с пристенными колоннами (годы постройки 1965-1975).

В обоих типах домов наружные стены воспринимают сейсмические нагрузки в продольном направлении здания. Разница между двумя типами домов заключается в том, что в первом случае вертикальные нагрузки от прогонов и плит перекрытий передаются на ослабленные наружные стены из газозолобетона. Во втором – вертикальные нагрузки передаются на пристенные колонны из тяжелого бетона.

Сейчас количество жилых домов серии 1-335 в Иркутской области – 1,8 тыс. объектов, в том числе в Иркутске – 400, Ангарске – 500 [3]. Общая площадь составляет около 4,5 млн. м², число проживающих – 250 тыс. человек, или 10% населения области. Высота жилых домов в основном 5 этажей, также встречаются 4-х и 3-х этажные постройки. С точки зрения сейсмостойкости и прочности, наибольший риск разрушения существует для 5-этажных домов первого типа.

По поводу дальнейшей судьбы жилых домов серии 1-335 имеются три альтернативы [3]:

- сейсмоусиление зданий до 7 баллов (вариант 1);
- сохранение жилищного фонда без усиления (вариант 2);
- снос домов серии 1-335 полностью и строительство нового жилья, которое будет соответствовать действующим нормам (вариант 3).

Ученые Института земной коры СО РАН на примере г. Ангарска рассчитали уровень сейсмического риска для людей, проживающих в домах 335 серии, для каждого из альтернативных решений [4]. По мнению авторов, наилучшая стратегия (риск $1 \cdot 10^{-5}$, предпочтительность 50 %) – вариант 3, однако ее осуществление связано с существенными финансовыми расходами. Стоимость реализации варианта 3 в Иркутской области составит, по меньшей мере, три с половиной ее годовых бюджетов. Наихудшая стратегия – альтернатива 2 (риск $2 \cdot 10^{-4}$, уровень предпочтительности 15 %). Данный вариант не гарантирует жителям обеспечения безопасности в случае землетрясения. Вариант 1 (уровень предпочтительности 35 %, риск $2 \cdot 10^{-5}$), по мнению авторов, также вполне приемлем, как и вариант 3.

И все же для Иркутской области, где вероятность 7-балльного землетрясения до 2050 года приближается к единице (последнее 7–8-балльное землетрясение, Култукское, произошло в 2008 году), оптимальным будет вариант 3, по крайней мере, в отношении домов первого типа, построенных в период с 1960 по 1965 годы. Степень доступности реализации этой альтернативы, невозможной без привлечения средств федерального бюджета, возросла недавно в связи с внесением 19 сентября 2018 г. на рассмотрение в Госдуму законопроекта № 550294-7 «О реновации жилищного фонда в Российской Федерации». Если он будет поддержан, региональные власти смогут получить средства для осуществления программы, аналогичной

действующей в Москве. Но тогда перед властями встанет вопрос, куда же направить отходы, которые останутся после сноса домов?

Среди главных ориентиров программы реновации не последнее место занимает экологичность и защита окружающей среды. Вывоз демонтированных панелей и строительного мусора на полигоны не отвечает принципам рационального природопользования. Объем отходов при сносе одного 5-этажного здания составляет 3 тыс. м³ [5], демонтаж 1800 домов, соответственно, приведет к образованию свыше 5 млн. м³. В рамках одного только г. Иркутска объем строительных отходов при демонтаже 400 жилых домов составит 1,2 млн. м³. Так как проектируемая вместимость полигона для размещения твердых коммунальных отходов (ТКО) рассчитывается с учетом удельной обобщенной годовой нормы накопления ТКО на одного жителя, а срок разложения бетона составляет около 100 лет, то действующий на сегодняшний день полигон в пяти километрах от города вскоре заполнится. Не исключено, что часть строительных отходов попадет на другие, несанкционированные свалки, а это приведёт к захламлению и загрязнению окружающей среды, катастрофическому уничтожению природных экосистем в районе складирования отходов. Следовательно, самый разумный путь – утилизация отходов, образовавшихся в результате демонтажа зданий. Она не только позволит предотвратить негативные экологические последствия их размещения на полигонах, но и снизить убытки, как прямые, связанные с обслуживанием полигонов и ликвидацией несанкционированных свалок, так и косвенные от нерационального использования возможного вторичного сырья.

При сносе жилых зданий целые конструктивные элементы (плиты, панели, блоки) можно использовать вторично в строительстве, непригодные для использования элементы могут быть переработаны в щебень и песок, легко утилизировать металл и дерево, и лишь строительный мусор, как правило, вывозится в отвал [6]. В Иркутской области очень остро стоит проблема отходов производства и потребления в связи с отсутствием мусороперерабатывающего, мусороперегрузочного и мусоросортировочного комплексов и наличием на территории 948 несанкционированных мест размещения ТКО на площади более 1,4 тыс. га, объемом 12237 тыс. м³ [7]. Постройка завода по вторичной переработке отходов, особенно строительных в случае принятия закона о реновации в рамках всей России, позволила бы решить множество проблем. Давайте разбираться подробнее.

4. Обсуждение

В среднем, жилой дом 335 серии состоит из следующих материалов (соотношение будет меняться в зависимости от вида здания): 70-80 % бетон и железобетон, 15-25% – каменные стеновые материалы и кирпич, 9-7 % – отходы древесины, металлов (арматура, перегородочные профили, перила), пластика, стекла, гипса, 1 % – другие отходы. Все эти отходы являются недорогим сырьем для получения вторичных материалов, которые в дальнейшем могут быть использованы в строительстве.

Направления использования вторичных материалов, образующихся при разборке жилых домов, приведены в таблице 1.

Эти данные показывают широкий спектр использования получающихся из демонтируемых зданий вторичных материалов. Их себестоимость ниже, чем себестоимость соответствующих им строительных материалов. Для того чтобы разобраться, выгодно ли использовать получающиеся материалы с экономической точки зрения, рассмотрим ценовые предложения на вторичные ресурсы по Иркутску и сравним их с ценами на заменяемый материал.

Результаты анализа (таблица 2) налицо: цена на вторичные материалы на порядок ниже, чем на заменяемый ими материал, поэтому использование отходов позволит снизить стоимость строительной продукции в целом. Также не стоит забывать о предотвращаемом экологическом ущербе – переработка строительных отходов приводит к рациональному использованию природных ресурсов и существенно меньшему загрязнению окружающей среды. Последнее особенно важно для Иркутской области: из двадцати городов, включенных в Приоритетный

список городов с наибольшим уровнем загрязнения, пять (четверть от общего количества) находятся именно здесь [9].

Таблица 1. Возможности использования вторичных материалов, получаемых из демонтированных зданий.

Наименование отходов	Технологический процесс переработки отходов/наименование вторичного материала	Направление использования
Бой бетонных изделий, отходы бетона в кусковой форме	Производство вторичного щебня с разделением на фракции	В качестве заполнителя для бетонов, для строительства и отсыпки низкоскоростных щебеночно-гравийных дорог, фундаментов в индивидуальном строительстве, для ландшафтных работ и др.
Бой железобетонных изделий, отходы железобетона в кусковой форме		
Бой кирпича	Производство кирпичного щебня	Для производства крупнопористых бетонных блоков; фасадной керамики, облицовочных фасадных плиток, санитарно-строительных изделий [5]
Лом и отходы черных металлов	Черный металл	В автомобилестроении, жилищном строительстве
Стекланный бой	Дробленое стекло	В виде гранулированного пеностекла для получения плит, для производства стекла и керамики [8]
	Порошок стекольного боя	Получение тепло- и звукоизоляционного стекловолокна, теплоизоляционного материала – пеностекла (ячеистого стекла)
Отходы древесных строительных лесоматериалов	Кусковые отходы, щепа, опилки, стружка	Производство строительных материалов, в качестве топлива в натуральном и брикетированном виде

Обеспечивают демонтажные работы крупнопанельных зданий специальные машины и механизмы. Кроме грузоподъемных кранов используются различные грузозахватные приспособления, средства механизации, технологическая оснастка для временного закрепления конструктивных элементов [6]. Если не предполагается вторичное использование панелей и плит, сначала при помощи гидропресса или гидроразрывных устройств разрушают слишком крупные куски железобетона или части самого здания (Рисунок 1). Подготовленные фрагменты измельчают в дробильной установке до кусков размером около 20 см, затем смесь разделяют на металлический и бетонный компоненты. После дальнейшего измельчения бетонных кусков отделяют щебень от песка при помощи грохота. Все работы могут осуществляться либо на территории перерабатывающего предприятия с использованием стационарно установленных механизмов, либо мобильными дробильно-сортировочными комплексами. Технологические

линии по переработке крупногабаритных элементов строительных конструкций разработаны не только за рубежом, но и у нас в стране.

Таблица 2. Сравнительный анализ цен на материалы.

Наименование вторичного материала	Направление использования	Единица измерения	Средняя цена на рынке, руб.	Заменяемый материал	Средняя цена на рынке, руб.
Кирпичный щебень	Отсыпка неосновных дорог	м ³	377	Щебень 40-70, 20-40	900
Бетонный вторичный щебень	В дорожном строительстве. Как крупный заполнитель для бетона при строительстве малоэтажек	м ³	750	Щебень разных фракций	1100

5. Заключение

Таким образом, можно сделать вывод о том, что использование вторичных материалов, полученных в результате переработки отходов, образующихся при демонтаже зданий серии 1-335с в Иркутской области, целесообразнее, нежели их захоронение на полигонах. Это приводит к снижению антропогенной нагрузки на окружающую среду, рациональному использованию природных ресурсов, а также экономически более выгодно.



Рисунок 1. Механизмы для разрушения элементов зданий.

Библиографический список

[1] Федеральный закон от 1 июля 2017 года № 141-ФЗ "О внесении изменений в Закон Российской Федерации "О статусе столицы Российской Федерации" и отдельные законодательные акты Российской Федерации в части установления особенностей

регулирования отдельных правоотношений в целях реновации жилищного фонда в субъекте Российской Федерации - городе федерального значения Москве".

[2] Постановление Правительства Москвы от 1 августа 2017 г. № 497-ПП "О Программе реновации жилищного фонда в городе Москве".

[3] Павлова Т Ф и Бержинский Ю А 2017 Реконструкция первой панельной серии в Прибайкалье и реновация пятиэтажек в Москве. *Проект Байкал* 53 72-75.

[4] Бержинский Ю А, Ордынская А П и Бержинская Л П 2014 Оценка вариантов сейсмоусиления жилых домов серии 1-335с постройки 1960-70-х годов с помощью метода анализа иерархий. *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений* 2 53-58.

[5] Зимин Е В 2017 Эколого-экономическая целесообразность использования материалов вторичной переработки в сфере ЖКХ в рамках программы реновации. *Вестник университета* 7-8 22-27.

[6] Олейник П П 2010 *Организация строительного производства*. (Москва: Изд-во Ассоциации строительных вузов).

[7] Распоряжение Правительства Иркутской области от 22 февраля 2018 года № 139-рп «Об утверждении региональной программы Иркутской области "Обращение с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами" на 2018-2027 годы».

[8] Мухленов И П, Горштейн А Е, Тумаркина Е С и Кузичкин Н В 1991 *Основы химической технологии*. (Москва: Высшая школа).

[9] 2017 *Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2016 год*. (Москва: Росгидромет).

Синтез и строение серосодержащих полимеров на основе полимерных отходов промышленности для производства смазок для рельсов

Гозбенко В.Е.¹, Каргапольцев С.К.², Карлина А.И.³

Ангарский государственный технический университет, Россия¹

Иркутский государственный университет путей и сообщений, Россия²

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия³

E-mail: karlinat@mail.ru

Аннотация. Разработаны смазочные композиции для железнодорожных рельсов на основе отходов промышленного производства, содержащих серу. Доказана перспективности нескольких методов получения серосодержащих полимеров. Использование полисульфидов щелочных металлов позволяет получать соединения с высоким содержанием серы, что особенно важно для их использования в смазочных композициях.

1. Введение

Первые высокомолекулярные соединения, содержащие атомы серы в полимерной цепи, были получены еще в середине XIX века путем конденсации дихлорэтана с пентасульфидом калия [1]. Однако практическую ценность полимеры подобного типа приобрели только в 30-ых – 40-ых годах прошлого века, когда и было освоено их промышленное производство. В это время был существенно расширен как ассортимент используемых для поликонденсации

хлорсодержащих мономеров, так и ассортимент выпускаемых полимеров, которые были названы тиоколами. Помимо дихлорэтана, в качестве мономера были использованы бис (2-хлорэтил) формаль ($\text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$), 1,2-дихлорпропан и симметричный дихлоргидрин глицерина ($\text{ClCH}_2\text{CHONCH}_2\text{Cl}$) [2, 3, 4]. Дальнейшие исследования подобных полимеров проводились, в основном, в направлении улучшения эксплуатационных характеристик получаемых полимеров.

Во второй половине прошлого века бурное развитие получила химия полиариленсульфидов, после разработки их метода получения на основе высокотемпературной поликонденсации галогенбензолов с сульфидами или полисульфидами щелочных металлов [5]. Высокая термоокислительная стабильность и ряд других специфических свойств полимеров подобного типа предопределили широкие перспективы их использования в практике.

Другие типы серосодержащих полимеров пока не нашли широкого практического применения. В 1998 г. в монографии [6] представлен обзор по сероорганическим полимерам, в котором обобщено более трехсот работ, посвященных данной проблеме.

В данной статье представлен анализ данных по синтезу, строению и применению полисульфидных полимеров с точки зрения их использования в качестве компонентов смазочных композиций [7,8]. Кроме того, в нем впервые обобщены данные по синтезу полисульфидных полимеров в системе водный гидразин–щелочь.

2. Материалы и методы

3. Методом получения полимерных моносулфидов являются реакции полиприсоединения тиолов к ненасыщенным соединениям, которые представлены двумя схемами. Для синтеза использованы поликонденсационные методы.

4. Результаты исследования и их анализ

4.1. Основные пути синтеза полимеров, содержащих в цепи атомы серы

Сама сера и ее многие, неорганические и органические соединения способны вступать в реакции полимерообразования, чем обеспечивается большое разнообразие сероорганических полимеров [6].

Важнейшим примером внедрения серы в полимерную цепь путем образования мостиковых полисульфидных фрагментов является вулканизация натурального и многих синтетических каучуков [3, 9]. Хотя химизм этих процессов еще не выяснен до конца, тем не менее, многие промежуточные стадии этого сложного процесса установлены достаточно определенно [9]. В ходе вулканизации образуются пространственные структуры, в которых присутствуют циклические фрагменты, содержащие несколько атомов серы в цикле [9].

Сера способна вступать в сополимеризацию с непредельными (стирол, бутадиен, изопрен, хлорпрен) и циклическими мономерами (тираны, окись этилена) с образованием каучукоподобных продуктов, как правило, с широким молекулярно-массовым распределением [6]. Для стирола этот процесс описывается следующим образом: (Рисунок 1).

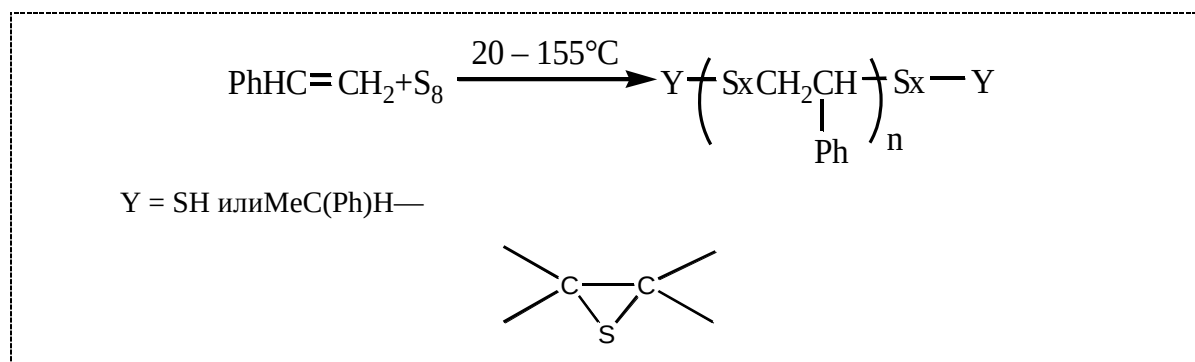


Рисунок 1. Сополимеризация серы со стиролом

Тираны способны полимеризоваться и сополимеризоваться с окисями олефинов с образованием олигомерных продуктов, перспективных для использования в качестве синтетических масел – аналогов полигликолей [10, 11]. Использование в этих процессах катализаторов (соли лития или кадмия) позволяет из пропиленсульфида получить полимеры с ди- и моносulfидными фрагментами с молекулярной массой до 270 тыс [12, 13].

Сульфид пропилена (метилтиран) полимеризуется гораздо легче, чем этиленсульфид [11]. Уже при нагревании пропиленсульфида с этиловым спиртом образуется смесь олигомерных продуктов: (Рисунок 2).

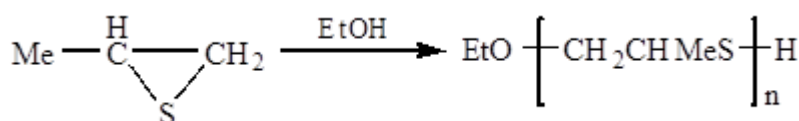


Рисунок 2. Смесь олигомерных продуктов

В присутствии комплексных соединений кадмия с оптически активными лигандами полимеризация рацемической смеси метилтирана происходит стереоспецифически с предпочтительным образованием R- или S- центров в зависимости от конфигурации лиганда [14].

Из других циклических сульфидов описана полимеризация ароматических производных, например, фенотиазина [15], протекающая с раскрытием гетероцикла: (Рисунок 3).

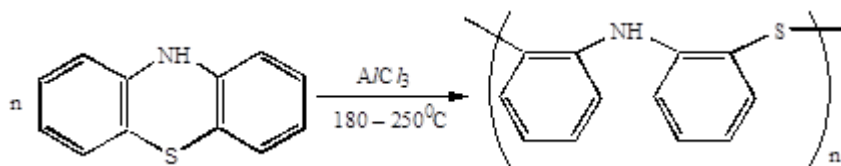


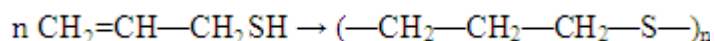
Рисунок 3. Полимеризация фенотиазина, протекающая с раскрытием гетероцикла

Получаемые при этом полимеры, растворимы в органических растворителях и весьма перспективны в качестве покрытий, защищающих от коррозии.

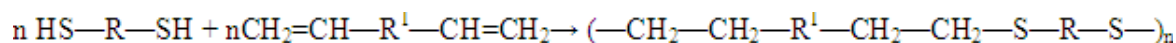
Важными мономерами для синтеза сероорганических полимеров являются тиокарбонильные соединения, содержащие группировку $>C=S$. Это обусловлено тем, что для серы, в отличие от кислорода, энергетически более выгодны одинарные связи с углеродом [16, 17]. Особенно к полимеризации склонны тиоальдегиды и тиокетоны, хотя при их превращениях очень часто образуются димеры или тримеры [18, 19]. Тиокарбонильные соединения, в которых $>C=S$ группа соединена с гетероатомом (тиоамиды, тиокарбоновые кислоты и др.) менее склонны к полимеризации. Описаны также некоторые примеры сополимеризации тиокарбонильных соединений с винильными мономерами [6].

Важным методом получения полимерных моносulfидов являются реакции полиприсоединения тиолов к ненасыщенным соединениям, которые можно представить двумя схемами [6]:

1. Гомополимеризация ненасыщенных тиолов, (например, аллилмеркаптана) в присутствии перекисей:

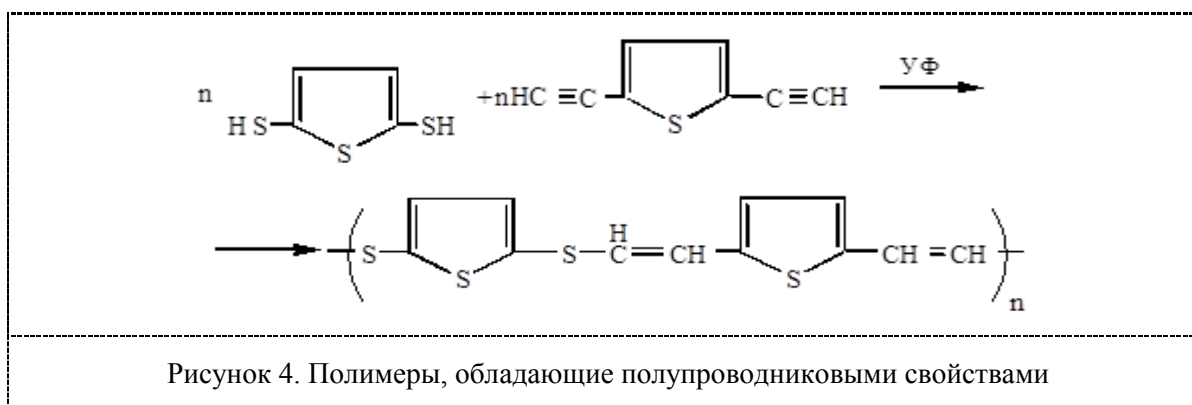


2. Сополимеризация дитиолов с диеновыми или диеновыми углеводородами:

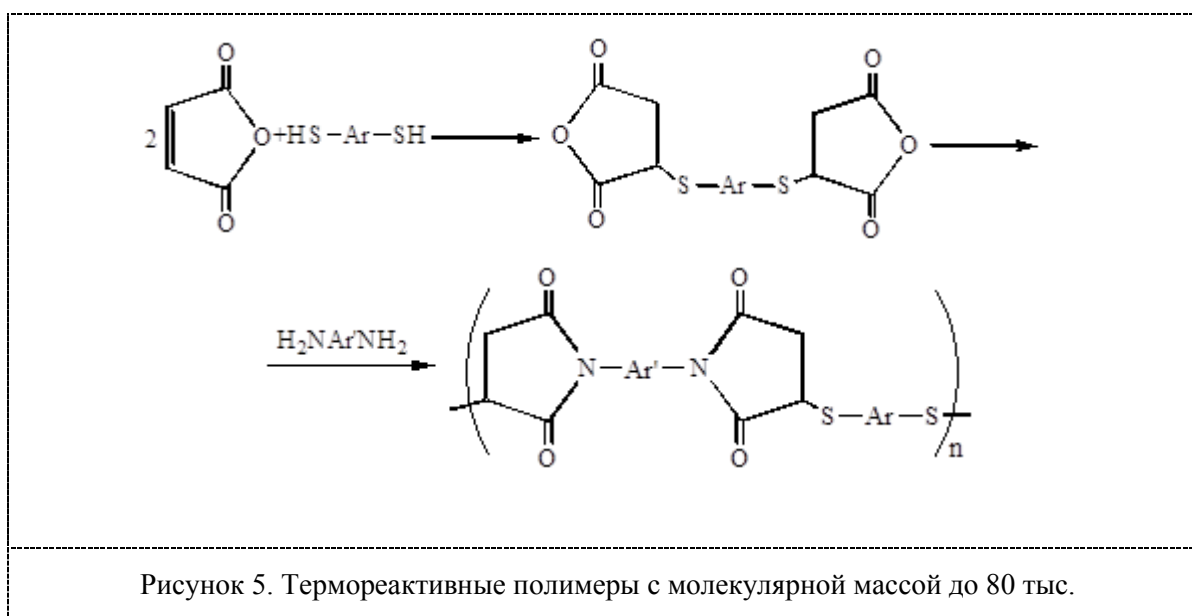


Обычно этот процесс легче идет с несопряженными диенами и осуществляется в растворе или эмульсии в присутствии свободнорадикальных инициаторов [20].

При использовании диацетиленовых соединений и ароматических или гетероароматических дитиолов данным методом могут быть получены полимеры, обладающие полупроводниковыми свойствами [21]: (Рисунок 4).



С использованием полиприсоединения дитиолов к малеиновому ангидриду с последующим взаимодействием продуктов с ароматическими диаминами получены термореактивные полимеры с молекулярной массой до 80 тыс. [22]: (Рисунок 5).



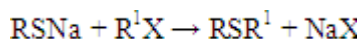
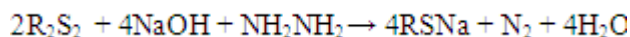
Другие примеры подобных реакций приведены в работе [6].

Однако можно отметить, что практически все приведенные выше методы синтеза сероорганических полимеров, базирующихся на реакциях полимеризации, используют достаточно труднодоступные мономеры – тиаальдегиды, тиокетоны, тираны, дитиолы и др. И, хотя выпуск некоторых получаемых полимеров освоен в полупромышленном или даже промышленном масштабах, тем не менее, для синтеза серосодержащих полимеров, особенно с

полисульфидными фрагментами большее распространение получили поликонденсационные методы. Они применяются как для синтеза тиоколов (на основе алифатических мономеров), так и для синтеза полиариленсульфидов.

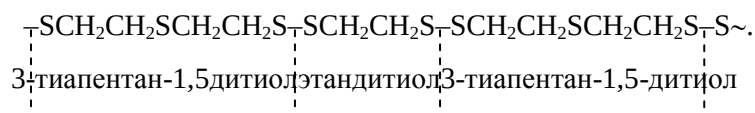
4.2. Синтез полисульфидных полимеров с использованием системы водный гидразин-щелочь

Система гидразингидрат-щелочь способна также восстанавливать связи S–S в полисульфидах, что позволило получить несимметрично замещенные органические сульфиды [23]:



Буквально в последние годы в реакции подобного типа были вовлечены полифункциональные электрофилы (ди- и тригалогенпроизводные алифатических углеводородов), что позволило получить полисульфидные полимеры. Основная направленность данных исследований связана с последующим восстановлением полученных полимеров системой гидразингидрат-щелочь.

Дихлорэтан реагирует с одинаковой скоростью со всеми типами анионов с образованием полимера, в котором достаточно ритмично чередуются ди- и моносulfидные фрагменты (при $x=2$):

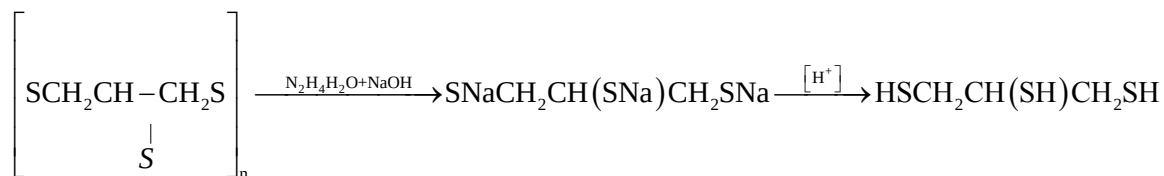


5. Обсуждение

Показанное на схеме восстановительное расщепление системой гидразингидрат-щелочь приводит к двум типам дитиолов, выход которых примерно одинаков.

3-Тиапентан-1,5-дитиол ($\text{HSCH}_2\text{CH}_2\text{SCH}_2\text{CH}_2\text{SH}$) получен независимо из бис(хлорэтил)сульфида, через промежуточное образование тиокола [24].

Аналогичным образом из 1,2,3-трихлорпропана получены тритиоглицерин (выход 59%) [25, 26, 27, 28]:



6. Заключение

Приведенный анализ данных позволяет сделать вывод о перспективности многих методов получения серосодержащих полимеров. Использование полисульфидов щелочных металлов позволяет получать соединения с высоким содержанием серы, что особенно важно для их использования в смазочных композициях. Поэтому перспективно применение методов синтеза серосодержащих полимеров с использованием полисульфидов и некоторых отходов производства.

7. Библиографический список

[1] Хувинк Р, Ставерман А 1966 *Химия и технология полимеров. Том II. Промышленное получение и свойства полимеров.* (М.-Л.: Химия) С. 1123.

- [2] Гармонова И В 1983. *Синтетический каучук* (Л.: Химия) С. 471 – 488.
- [3] Догадкин Б А, Донцов А А и Шершнева В А 1981 *Химия эластомеров*. М.: Химия. 374 с.
- [4] Кирпичников П А, Аверко-Антонович Л А и Аверко-Антонович Ю О 1970 *Химия и технология синтетического каучука* (Л.: Химия) С. 504 – 513.
- [5] Сергеев В А, Неделькин В И и Шитиков В К 1978. *Полиарилен-сульфиды. Успехи химии*. Т. 47. №11. С. 2065 – 95.
- [6] Неделькин В И 1999 *Сероорганические полимеры. Получение и свойства органических соединений серы* (Подред. Л.И. Беленького. – М.: Химия). С. 506 – 547.
- [7] Kargapoltsev S K, Khomenko A P, Gozbenko V E, Minaev N V and Karlina A I 2017 *Development of new lubricants for reducing the wear of the elements of the path and running parts of rolling stock*. International Journal of Applied Engineering Research. Т. 12. № 22. pp. 12362-68.
- [8] Gozbenko V E, Khomenko A P, Kargapoltsev S K, Minaev N V and Karlina A I 2017 *Creating of the alternative lubricants and practice of their use*. International Journal of Applied Engineering Research. Т. 12. № 22. pp.12369-72.
- [9]. Воронкова МГ 1979 *Реакции серы с органическими соединениями* (Новосибирск: Наука (Сибирское отделение)). 367 с.
- [10] Кламанн Д 1988 *Смазки и родственные продукты*. (М.: Химия). 487 с.
- [11] Фокин А В, Коломиец А Ф 1978 *Химия тиранов* (М.: Наука) 344 с.
- [12] Широкова Л А, Слепцова С А и Америк Ю Б 1990 *Фотолиз серо-содержащих полимеров* Высокомолек. соед. А. Т. 32. № 4. С. 855 – 859.
- [13] Широкова Л А и Америк Ю Б 1990 *Межцепные превращения и каталитическая деструкция полипропиленсульфида*. Высокомолек. соед. Б. Т. 32. № 11. С. 857 – 861.
- [14] Boncard V, Dumas P and Sigwalt P 1995 *Stereospecific polymerization of methylthiirane in homogeneous phase, 5. Study of the interconversion between active sites*. Macromol. Chem. Phys. 196, 4069 – 82.
- [15] Сергеев В. А., Неделькин В. И., Тимофеева Г. А. и др. 1987 Синтез, строение и электрофизические свойства поли(дифенилами-но) сульфида *Высокомолек. соед. А.* Т. 29. № 8. С. 1638 – 44.
- [16] Райс В. 1973 *Физическая органическая химия*. (М.: Мир.) 470 с.
- [17] Кери Ф., Сандберг Р. 1981 *Углубленный курс органической химии*. Кн. 2. (М.: Химия).. 456 с.
- [18] Усов В.А. и Воронков М.Г. 1999 *Тиоальдегиды и тиокетоны. Получение и свойства органических соединений серы* (Подред. Л.И. Беленького. – М.: Химия) С. 81 – 98.
- [19] Усов В.А. 1990 Тимохина Л.В, Воронков М.Г. Синтез и свойства тиоальдегидов *Успехи химии*. Т. 59. Вып. 4. С. 649 – 680.
- [20] Серенсон У. и Кемпбел Т. 1963 *Препаративные методы химии полимеров*. (М.: Изд. иностранной литературы). 376 с.
- [21] Kobayashi E., Y. Ishizuka, Y. Kouchaku and J. Furukawa. 1989 Addition polymerization of 2,5-thiophenedithiol to 2,5-diethynylthiophene and the microstructure of the resulting polymer *Kabunshi Ronbunshu*. V. 46. №4. P. 203 – 208.

- [22] Сергеев В.А., Неделькин В.И. и Арустамен С.С. 1986 Синтез полиарилена-мидосульфидов из малеинового ангидрида, ароматических дитиолов и диаминов *Высокомолек. соед.* Б.. Т. 28. № 3. С. 207 – 209.
- [23] Дерягина Э.Н., Корчевин Н.А. и Паперная Л.К. 1997 Новые пути синтеза несимметричных диорганисульфидов (ЖОХ). Т. 67. № 5. С. 866 – 869.
- [24] Корчевин Н.А., Руссавская Н.В., Алекминская О.В. и Дерягина Э.Н. 2002 Реакции бисэлектрофилов $(ClCH_2CH_2)Y$ с серой в основно-восстановительных системах (ЖОХ).. Т. 72. №2. С. 260 – 263.
- [25] Руссавская Н.В., Алекминская О.В., Дерягина Э.Н. и др. 2001 Новый метод синтеза тритиоглицерина (1,2,3-пропантритиола) (ЖОХ)..Т. 71. №11. С. 1871 – 1873.
- [26] Deryagina E.N., Levanova E.P., Grabelnykh V.A., Sukhomazova E.N., Russavskaya N.V. and Korchevin N.A 2005 Thiylation of polyelectrophiles with sulfur in hydrazine hydrate-amine systems. *Russian Journal of General Chemistry*. Т. 75. № 2. С. 194-199.
- [27] Rozentsveig I.B., Nikonova V.S., Levanova E.P. and Korchevin N.A. 2016 Dehydrochlorination of 2-chloroprop-2-en-1-yl sulfides *Russian Journal of Organic Chemistry* Vol. 52, No. 9, pp. 1376–78.
- [28] Levanova E. P., Vakhrina V. S., Grabel'nykh V. A., Rozentsveig I. B., Russavskaya N. V., Albanov A. I, Sanzheeva E. R. and Korchevin N. A 2015 Features of the synthesis of unsaturated sulfides proceeding from (2-chloroprop-2-en-1-yl) isothiuronium chloride *Russian Journal of Organic Chemistry*, Vol. 51, No. 2, pp. 175–180.

Экологические преимущества использования новых смазочных композиций на основе техногенного сырья

Гозбенко В.Е.¹, Каргапольцев С.К.², Карлина А.И.³

Ангарский государственный технический университет, Россия¹

Иркутский государственный университет путей и сообщений, Россия²

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия³

E-mail: karlinat@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены инновационные смазочные материалы на основе отходов промышленного производства. Предлагаемые в данной работе смазки на основе отработанного дизельного масла, низкомолекулярного полиэтилена, полисульфидных полимеров и нефтяного кокса предназначены для удешевления применяемых смазок без снижения их технологических характеристик. Подробно рассмотрен синтез полисульфидных полимеров из трихлорпропана. Определено, что эффективность предлагаемой смазки выше, чем от чистой отработки или отработанного дизельного масла с графитом.

8. Введение

В настоящее время к смазочным материалам предъявляются жесткие требования по экологии их применения [1]. Используемые на железных дорогах смазки, предотвращающие боковой износ рельсов и гребней колесных пар при прохождении криволинейных участков пути и снижающие энергозатраты, попадают непосредственно в окружающую среду и могут ухудшать экологическую обстановку вблизи железных дорог. Поэтому, наряду с технологическими и экономическими требованиями, такие смазки должны отвечать требованиям и экологии. К ним можно отнести следующие:

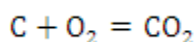
1. Смазочные композиции не должны содержать компоненты, которые являются токсичными для человека и животных.
2. Композиции не должны содержать летучие вещества, которые вызывают загрязнение атмосферы.
3. Компоненты композиций должны постепенно разлагаться в окружающей среде с образованием безвредных соединений.
4. Композиции не должны содержать вещества, которые легко вымываются атмосферными осадками и за счет этого могут попасть в прилегающие к железной дороге водоемы и нарушить в них экологическую обстановку.

К сожалению, некоторые рельсовые смазки, используемые на железных дорогах, готовятся на бензине А-76, который, испаряясь, оставляет на смазываемой поверхности полимерную пленку, играющую роль смазки. К этому типу относятся смазки РС-6, РС-6«В», РС-6«Ву», РАС-1 и др. Их вредное экологическое воздействие на атмосферу заключается в попадании большого количества летучих углеводородов в окружающий воздух.

Многие смазки, применяемые на зарубежных железных дорогах, содержат поверхностно-активные вещества (литиевые, кальциевые, алюминиевые соли высших карбоновых кислот, называемые мылами), которые легко вымываются из нанесенной смазки атмосферными осадками и попадают в близлежащие водоемы. Помимо ухудшения экологической обстановки вещества подобного типа провоцируют коррозионные процессы в металлических конструкциях вблизи узла трения колесо-рельс и, тем самым, увеличивают поступление тяжелых металлов в окружающую среду.

Некоторые смазки, применяемые на отечественных железных дорогах (особенно на Забайкальской), содержат в своем составе дисульфид молибдена – прекрасный антифрикционный материал, резко уменьшающий коэффициент трения. Это вещество нерастворимо в воде, однако под действием внешней среды оно превращается в соединения, содержащие растворимые формы молибдена. Соединения молибдена пагубно влияют на теплокровных животных и человека, а их воздействие на низшие организмы до конца еще не изучено. Поэтому применение смазок с дисульфидом молибдена может нанести непоправимый экологический ущерб.

С июля 1997 г. на ВСЖД вместо смазок РС-6«В» и РП-1 стала широко применяться отработка дизельного масла (в чистом виде или с добавлением графита) [2]. Смазка дала эффект снижения износа рельсов на участке Иркутск-Андриановская в 3 – 5 раз. Это смазка оказывает минимальное воздействие на окружающую среду, т.к. не содержит летучих и токсичных соединений. Углеводороды, входящие в состав отработанного дизельного масла относятся к экологически «мягким» соединениям, то есть они сравнительно легко разлагаются под действием света, кислорода воздуха и микроорганизмов с образованием безвредных веществ, в основном углекислого газа и воды. Мелкораздробленный графит постепенно окисляется до углекислого газа:



Однако смазки подобного типа трудно удерживаются на боковой поверхности рельса (особенно отработка в чистом виде) и содержат дорогой компонент-графит. По данным Новомосковского химического комбината стоимость мелкораздробленного графита достигает 20 тысяч долларов за тонну.

Поэтому предлагаемые в данной работе смазки на основе отработанного дизельного масла, низкомолекулярного полиэтилена, полисульфидных полимеров и нефтяного кокса

предназначены для удешевления применяемых смазок без снижения их технологических характеристик [3, 4]

Низкомолекулярный полиэтилен представляет собой отход производства полиэтилена. По химическому составу он состоит из углеводородов нормального строения со средней молекулярной массой 1500 ед. Углеводороды подобного строения нетоксичны и наиболее легко разлагаются под действием окружающей среды (особенно бактериями) [5].

Нефтяной кокс по химическому составу подобен графиту, то есть состоит в основном из углерода. Однако, имея более пористую структуру, состоящую из мелких кристаллитов, он гораздо легче окисляется в окружающей среде под действием света и кислорода.

9. Материалы и методы

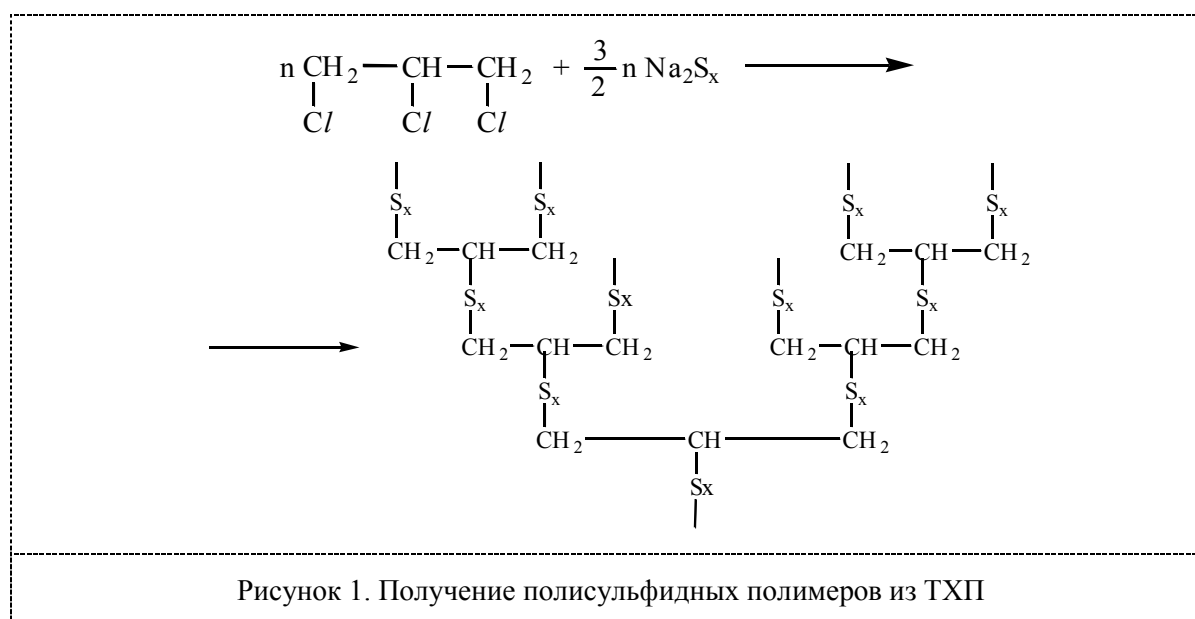
Материалами для исследований выступили отходы производства: отработанное дизельное масло, низкомолекулярный полиэтилен, полисульфидные полимеры и нефтяной кокс. Для синтеза использованы поликонденсационные методы.

10. Результаты исследования и их анализ

Серосодержащий полимер вводится в состав композиции в количестве 5 – 10% от общей массы композиции. Основная масса серы, содержащейся в этих полимерах, превращается в поверхностные сульфиды железа, которые и придают защитный эффект смазке. Неразложившаяся часть полимера подвергается воздействию микроорганизмов, содержащихся в окружающей среде. В присутствии других компонентов смазки такое разложение должно происходить быстрее, чем для полимера в чистом виде [6].

10.1. Полисульфидные полимеры из трихлорпропана.

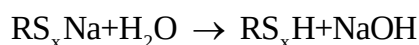
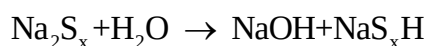
Обычно при использовании трифункциональных мономеров образуются сшитые полимеры. Это касается и полисульфидных полимеров, получаемых из 1,2,3-трихлорпропана (ТХП) [7]. Полимеры данного типа обладали плохими технологическими свойствами, поэтому они не нашли применения в практике. Описано только их частичное восстановительное расщепление по дисульфидным связям, приводящее к уменьшению молекулярной массы и некоторому улучшению эксплуатационных характеристик [8, 9]. Очевидно, пониженный интерес к подобным полимерам обусловлен исследованием их использования только в качестве герметиков.



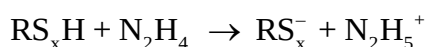
Учитывая возможность применения полисульфидных полимеров в совершенно иной сфере – в качестве компонентов смазочных композиций, где требуются как раз твердые полимеры, легко размалываемые в порошок, мы провели поликонденсацию ТХП с полисульфидом натрия в системе водный гидразин-щелочь. Ранее был получен полимер их ТХП по данному методу с использованием для генерирования полисульфида натрия соотношения $\text{NaOH}:\text{S} = 1:1,3$ ($\text{Na}_2\text{S}_{2,6}$) с целью дальнейшего синтеза из него тритиоглицерина [10]. Полимер получен с выходом 95%, однако в работе не даются никакие его физико-химические характеристики.

Мы систематически исследовали возможность получения полисульфидных полимеров из ТХП в системе водный гидразин-щелочь, в которой осуществлялось генерирование Na_2S_x с различной степени полисульфидности варьированием соотношения $\text{S}:\text{NaOH}$. Получение полимеров данного типа, называемых в литературе [см., например, 10] дендримерами, можно представить следующей схемой:

Остаточный хлор, содержание которого увеличивается при уменьшении полисульфидности раствора (x в Na_2S_x) и несколько уменьшается при увеличении количества взятого гидразина. Последний факт может быть обусловлен участием гидразина, как основания в процессах гидролиза полисульфидов натрия и образующихся тиолятов натрия в водном растворе:



Присутствие гидразина (достаточно сильного основания) смещает равновесие гидролиза влево, кроме того, он и сам может вступать в реакции кислотно-основного взаимодействия, например:



Поскольку анионы S_x^{2-} и RS_x^- более реакционноспособны в реакциях нуклеофильного замещения, чем частицы HS_x^- и RS_xH , то, по-видимому, это и определяет более высокую степень замещения хлора в опыте 6 по сравнению с опытом 5.

Увеличение содержания остаточного хлора при уменьшении полисульфидности раствора может определяться меньшей доступностью атомов углерода к нуклеофильной атаке в более сближенных пропановых фрагментах (естественно, что длина связей C-S-S короче, чем длина связей C-S-S-S-C и C-S-S-S-S-C и т.д.)

Полимеры с $x \geq 2$ при нагревании переходят в вязко-пластичное состояние. При охлаждении таких расплавов темно окрашенные полимеры обладают каучукоподобными свойствами.

11. Обсуждение

Возможность перехода этих полимеров в вязко пластичное состояние при нагревании может быть обусловлена разрывом связей S-S в их молекулах при воздействии температуры. Как уже указывалось, такие термические расщепления S-S связей могут приводить к образованию внутримолекулярных циклических фрагментов, что, в конечном итоге, уменьшает разветвленность полимера, который становится каучукоподобным при охлаждении.

Полимер, полученный из сульфида натрия ($x=1$) в жидкое состояние не переходит. Его потемнение наблюдается только при температурах выше 260°C , выше 330°C он полностью разлагается, не образуя ни в капилляре, ни на пластинке жидких продуктов или продуктов коксования.

В ИК спектрах полученных полимеров присутствуют полосы, характеризующие связи C-H , C-S , а для полимеров с $x > 2$ – связей S-S (460 см^{-1}).

12. Заключение

Таким образом, в системе водный гидразин-щелочь из ТХП образуются твердые, размалываемые в порошок полимеры. В размолотом состоянии они могут быть введены в смазочные композиции. Однако ТХП является достаточно дорогим мономером. Основным промышленным способом его получения является выделение из отходов производства хлористого аллила, выпускаемого для производства в основном эпихлоргидрина [11, 12, 13, 14]. На наш взгляд, для введения в смазочные композиции для железнодорожного транспорта необходимо использовать наиболее дешевые компоненты. Поэтому описана возможность получения полисульфидных полимеров с использованием непосредственно отходов производства.

Таким образом, эффективность предлагаемой смазки выше, чем от чистой отработки или отработанного дизельного масла с графитом.

Рассматривая экологические проблемы применения данных смазочных материалов, необходимо рассматривать их в целом, с учетом того, что они состоят в основном из отходов химических и нефтехимических производств. Их экологическое воздействие может быть во много раз больше, чем любых смазочных композиций для лубрикации рельсов.

13. Библиографический список

- [1] Евдокимов А Ю, Фукс И Г, Шабалина Т Н, Багдасаров Л Н 2000 *Смазочные материалы и проблемы экологии*. (М.: Нефтьгаз) 424 с.
- [2] Балановский А Е, Хаян С М 1997 *Проблемы износа пары трения колесо-рельс* (краткий анализ и предложения) (Иркутск. Плазмопротек) 57 с.
- [3] Kargapoltsev S K, Khomenko A P, Gozbenko V E, Minaev N V and Karlina A I 2017 *Development of new lubricants for reducing the wear of the elements of the path and running parts of rolling stock*. International Journal of Applied Engineering Research. Т. 12. № 22. pp. 12362-68.
- [4] Gozbenko V E, Khomenko A P, Kargapoltsev S K, Minaev N V and Karlina A I 2017 *Creating of the alternative lubricants and practice of their use*. International Journal of Applied Engineering Research. Т. 12. № 22. pp. 12369-72.
- [5] Родионов А И, Клушин В Н, Торочешников Н С 1989 *Техника защиты окружающей среды* (М.: Химия) 512 с.
- [6] Брык М Т 1989 *Деструкция наполненных полимеров* (М.: Химия) 192 с.
- [7] Кирпичников П А, Аверко-Антонович Л А, Аверко-Антонович Ю О 1970 *Химия и технология синтетического каучука* (Л.: Химия) С. 504 – 513.
- [8] Соболев В М, Бородина И В 1977 *Промышленные синтетические каучуки*. (М.: Химия) 392 с.
- [9] Голдинг Б 1963 *Химия и технология полимерных материалов*. (М.: Изд. Иностранной литературы) 666 с.
- [10] Руссавская Н В, Алекминская О В, Дерягина Э Н и др. 2001 *Новый метод синтеза тритиоглицерина (1,2,3-пропантретиола)* (ЖОХ). Т. 71. № 11. С. 1871 – 73.
- [11] Лебедев Н Н 1989 *Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза*. (М.: Химия) 480 с.
- [12] Deryagina E N, Levanova E P, Grabelnykh V A, Sukhomazova E N, Russavskaya N V, Korchevin N A 2005 *Thiylation of polyelectrophiles with sulfur in hydrazine hydrate-amine systems*. Russian Journal of General Chemistry. Т. 75. № 2. С. 194-199.

- [13] Rozentsveig I B, Nikonova V S, Levanova E P, Korchevin NA 2016 *Dehydrochlorination of 2-chloroprop-2-en-1-yl sulfides*. Russian Journal of Organic Chemistry Vol. 52, No. 9, pp. 1376–78.
- [14] Levanova E P, Vakhrina V S, Grabel'nykh V A, Rozentsveig I B, Russavskaya N V, Albanov A I, Sanzheeva E R, Korchevin N A 2015 *Features of the synthesis of unsaturated sulfides proceeding from (2-chloroprop-2-en-1-yl)isothiuronium chloride*. Russian Journal of Organic Chemistry, Vol. 51, No. 2, pp. 175–180.

Сравнительная оценка аварийных рисков предприятий по добыче полезных ископаемых Байкальского региона

Горленко Н.В., Мурзин М.А., Тимофеева С.С.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail hope1907@mail.ru, misha0009@mail.ru, timofeeva@istu.edu

Аннотация. Рассмотрена сравнительная оценка аварийных рисков предприятий по добыче полезных ископаемых Байкальского региона. Проведен анализ вероятностей возникновения основных аварийных ситуаций посредством дерева происшествий. Оценены последствия воздействия поражающих факторов чрезвычайных ситуаций. Предложены основные мероприятия по снижению уровней аварийных рисков.

1. Введение

Добыча полезных ископаемых – практически единственный доступный способ получения сырьевых ресурсов для обеспечения потребностей производственных отраслей и создания различных видов продукции для нужд человека. Не секрет, что вся экономическая мощь любой страны и ее положение на геополитической арене напрямую зависит от сырьевых вливаний, производимых горнодобывающей промышленностью.

Но, несмотря на уникальность и необходимость добычных работ, как, практически, при любой хозяйственной деятельности человека, происходит процесс негативного воздействия на окружающую среду в ходе выполнения данных видов работ. Конечно, степень воздействия во многом зависит от типа добываемого ископаемого, способа ведения горных работ и объемов извлекаемого сырья. Воздействие происходит на все геосферы земли, а именно водные объекты, земельные ресурсы, атмосферный воздух и биосферу, воздействие на которую можно подразделить в виде воздействия на окружающую природную среду – животный и растительные миры, а так же в виде воздействия на самого человека.

Хоть в ходе своего функционирования горнодобывающие предприятия и способны наносить значительный урон в течение всего срока эксплуатации месторождения полезных ископаемых и даже после его выработки, колоссальное же, неконтролируемое и самое устрашающее воздействие происходит в результате возникновения аварийной ситуации. И не зря в Федеральном законе «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 № 116-ФЗ существует отдельная категория опасных производственных объектов для объектов, осуществляющих проведение горных работ и работ по обогащению полезных ископаемых. Хотя вероятность возникновения аварийных ситуаций при реализации соответствующих мероприятий относительно низка, не стоит, несмотря на это, давать оптимистичный прогноз. Сами последствия чрезвычайной ситуации могут быть необратимы и несут катастрофический ущерб, как для человека и его жизни, так и для окружающей природной среды. Ущерб может быть разнообразен и в первую очередь зависит от вида техногенной чрезвычайной ситуации. Как раз для идентификации основных причин возникновения аварии, последующих последствий развития её по различным ситуациям, определения вероятностей наступления того или иного события и оценка возможного ущерба от их реализации с последующим установлением основных мер по предотвращению и минимизации последствий и существует процедура оценки аварийных рисков. Сама процедура в соответствии с Федеральным законом № 116-ФЗ от 21.07.1997 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» является обязательной при проведении работ по разработке декларации промышленной безопасности. В рамках данной работы нами и была проведена подобная процедура для горнодобывающих предприятий Байкальского региона.

2. Материалы и методы

Процедура оценки аварийного риска, как было отмечено ранее, состоит из трех этапов основных этапов:

- идентификация основных источников и причин риска, а так же возможных последствий от его реализации;
- оценка уровней отдельных составляющих риска и системы в целом;
- разработка мероприятий по снижению риска.

В нашей работе нами в качестве основной методики был выбран метод оценки аварийных рисков посредством построения дерева происшествий. Анализ с применением дерева происшествий является структурированным методом идентификации возможных причин нежелательного события или опасности. Данный метод позволяет отобрать и совместить все возможные причины в категории с последующим исследованием всех возможных гипотез. Однако применение этого метода позволяет идентифицировать фактические причины, т. е. установление причин происходит только по эмпирическим данным. Сама структура анализа представляется в виде графического построения диаграммы древовидной структуры. Подобный метод подразумевает выполнение анализа группой экспертов, имеющих соответствующие знания и опыт по рассматриваемой ситуации.

Процедура проведения анализа методом дерева происшествий состоит из следующих этапов:

- установление следствия, которое необходимо проанализировать, и размещение его сверху в соответствующем блоке диаграммы (головное событие);
- определение основных (главных) категорий причин и указание их в соответствующих блоках диаграммы. Обычно выделяют несколько категорий причин, такие как персонал, оборудование, рабочая среда, процессы и т. п.;
- указание возможных причин для каждой основной (главной) категории на ветвях и ответвлениях для описания взаимосвязей между ними;
- продолжение исследования путем итеративной постановки вопросов «почему?» или «что это вызвало?» для установления связей между причинами;
- анализ всех ветвей и ответвлений, направленный на проверку последовательности и полноты выявленных причин, и их отношения к основному следствию;
- идентификация наиболее вероятных причин данного следствия на основе согласованного мнения рабочей группы экспертов и доступных объективных свидетельствах.

Однако при применении данной диаграммы бывает затруднительно представить результат в количественном выражении и оценить вероятность главного события, поскольку причины в большей степени понимают как возможные факторы, которые могут вызвать рассматриваемое событие, а не отказы с известной вероятностью возникновения.

Оценку методом дерева происшествий обычно применяют для определения качественных оценок. Но допустимо посредством принятия статистических данных о частоте реализации той или иной причины, как и проведено в данной работе, оценить вероятность возникновения данных причин и негативного события в целом, что переводит данный метод на количественно-качественный уровень.

Выбор нами данного метода в качестве предпочтительного для оценки аварийного риска в данной работе был основан на следующих преимуществах:

- метод позволяет проанализировать все возможные причины и гипотезы негативного события;

- графическое отображение результатов в простой для понимания форме;
- выявление областей, в которых требуются дополнительные данные.

Но зная только вероятность реализации негативного события невозможно говорить о значении показателя риска без второй его составляющей – тяжести последствий реализации негативного события. Для этого нами были рассмотрены и определены все возможные последствия по каждой причине древовидной диаграммы. В зависимости от последствий реализации той или иной причины, были установлены подверженные негативному воздействию сферы, определены основные поражающие факторы и рассчитаны границы их воздействия, а так же оценен ущерб от их разрушительного и действия на основании официальных методик. Даная процедура позволит с уверенностью говорить о значении аварийного риска.

3. Результаты исследования и их анализ

В качестве объектов исследования нами выбраны горнодобывающие предприятия Байкальского региона, территории объединенной принадлежностью к объекту Всемирного наследия ЮНЕСКО – озеру Байкал. Одним из регионов объединённых подобным соседством является Иркутская область.

Иркутская область является не только регионом, граничащим с озером Байкал, с его уникальными флорой, фауной и крупнейшими запасами пресной воды, но и имеет крупные месторождения различных полезных ископаемых. Иркутская область представляет собой кладёз минерально-сырьевых ресурсов включающий месторождения более 60 видов полезных ископаемых, которых представлены в виде таких объектов, как золота, редких металлов, каменного и бурого углей, калийных солей, нефти, газа, ювелирно-поделочных камней и др. За 2017 г. на территории Иркутской области было выдано 91 лицензия на пользование недрами. Но чем больше горнодобывающих предприятий на территории нашего региона, тем выше шанс возникновения на любом из них чрезвычайной ситуации. В связи с этим и подтверждается необходимость тотального контроля аварийных рисков на каждом из них.

Первоначально стоит определиться, какие чрезвычайные ситуации характерны для выполнения добычных работ. В рамках данной работы была проведена оценка аварийных рисков только при выполнении добычных работ, без стадий первичной обработки сырья или вспомогательных работ. Исходя из принятых условий, рассмотрим вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера из существующей их классификации, которые могут произойти при добычных работах.

Аварии на коммунальных системах жизнеобеспечения, аварии с выбросом радиоактивных и биологических опасных веществ при выполнении работ по добыче полезных ископаемых на территории Иркутской области не характерны. Аварии на электроэнергетических системах, транспортные аварии не нанесут особо заметного урона и будут иметь локальный характер. Внезапное обрушение зданий, сооружений при соблюдении планов ремонтных работ и обслуживания вполне вероятно избежать. Гидродинамические аварии более характерны для предприятий, на территории которых в результате дренажных работ потребовалась установка подобных сооружений – на территории Иркутской области подобных сооружений, разрушение которых, приведёт к значимому урону, нет. Аварии с выбросом химически опасных веществ, вполне вероятны, но данный вид чрезвычайной ситуации характерен для стадии первичной обработки сырья и не на всех предприятиях. Аварии на очистных сооружениях ещё одна чрезвычайная ситуация нехарактерная для добычных работ – образование сточных вод при добычных работах имеет минимальное количество по сравнению с остальными стадиями технологического процесса. Наиболее опасны и вероятны аварийные ситуации, связанные с пожарами и взрывами, особенно если предприятие добывает горючие полезные ископаемые, или использует буровзрывной способ для отбойки горной массы.

В связи с этим из множества предприятий было отобрано два с целью проведения сравнительной оценки аварийных рисков. Первое – Филиал АО «ПНК» Ангасольский щебеночный завод, добывающий гранит буровзрывным способом, производственная мощность которого составляет около 800 тыс. т в год. Выбор данного предприятия основан на его территориальной близости к населенному пункту п. Ангасолка, всего 800 метров от границ зоны карьера. Второе же предприятие – ООО «Иркутская нефтяная компания», а в частности производственная площадка Ярактинского нефтегазоконденсатного месторождения, основная техногенная опасность для которой является возникновение пожара. Основная опасность при реализации событий с возникновением пожара на производственной площадке является последующее вероятное возгорание нефти и, в связи с территориальным расположением площадки в лесном массиве, перехода пламени на близстоящие деревья с последующим возникновением природного пожара. Поочередно анализируем аварийные риски на рассматриваемых объектах.

Как было отмечено ранее, добыча гранита на Ангасольском щебеночном заводе происходит посредством проведения буровзрывных работ. В связи с этим, наиболее слабым звеном по инициализации аварийной ситуации с взрывом является процесс монтирования взрывной сети на заряжаемом блоке. Основными причинами возникновения чрезвычайной ситуации на заряжаемом блоке являются: пожар, взрыв, диверсия, землетрясение. Пожар может быть вызван: прямым ударом молнии, несанкционированным применением открытого огня на заряжаемом блоке, сжиганием тары от взрывчатых материалов, курением, неисправностью транспортного средства или его системы искрогашения при движении по блоку, авариями электротехнических устройств. В результате пожара возможно возгорание ВМ с переходом горения во взрыв. Взрыв ВМ также может быть вызван: пожаром, в случаях когда горение больших количеств ВМ может перейти в детонацию, наездом транспортного средства на заряжаемый блок; прострелом ВМ пулей при пресечении проникновения на территорию заряжаемого блока посторонних лиц; нарушением правил обращения с ВМ со стороны руководителей и исполнителей. Детально причины возникновения неконтролируемого взрыва ВМ на заряжаемом блоке представлены на Рисунке 1.



По представленным в дереве происшествий причинам неконтролируемого взрыва взрывчатых материалов на заряжаемом блоке проведен анализ статистической информации с целью выявления вероятности их возникновения. Из полученных сведений был проведен

расчет вероятности неконтролируемой детонации на заряжаемом блоке. Вероятностям событий присвоены численные и буквенные значения, указанные в дереве происшествий. Из расчетов было установлено, что наибольшую роль в вероятность неконтролируемого взрыва на заряжаемом блоке влияет возникновение пожара на заряжаемом блоке.

Основными травмирующими факторами при чрезвычайных ситуациях, связанных с неконтролируемым взрывом являются: поражение осколками и обломками горной массы и разрушаемых материалов, а так же непосредственное воздействие на человека ударной воздушной волны и продуктов детонации зарядов ВВ. Нами был проведен расчет зон поражения от данных поражающих факторов взрыва на основании Приказа Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору № 605 от 16 декабря 2013 г. «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах» (с изменениями на 30 ноября 2017 года) и определения пробит-функций для импульса сжатия взрыва и избыточного давления.

По результатам расчета было установлено, что зона разрушения остекления от ударно-воздушной волны составит 11 683 м; зона средних разрушений зданий и сооружений от УВВ 2 300 м, а зона сильных разрушений – 1400 м. Для человека размер зоны летального исхода от действия УВВ составит 420 м, а по опасному разлету осколков породы и горной массы – 450 м. С учетом ранее отмеченного расстояния до п. Ангасолка, данные зоны действия поражающих факторов в большинстве своем приведут к разрушению зданий и сооружений. В зону опасную для людей, скорее всего, попадут только работники Ангасольского щебеночного завода.

На нефтедобывающей площадке Ярактинского месторождения совершенно иная аварийная ситуация. Наиболее опасными и сложными по технологии ликвидации являются аварии с открытыми фонтанами. Начавшаяся в виде проявлений аварийная ситуация может перейти в открытый фонтан с возгоранием, уничтожением скважины и гибелью людей. Аварии, переходящие в катастрофы, отрицательно сказываются на окружающей среде, деятельности близлежащих промышленных объектов. Особенно опасны выбросы и открытые фонтаны на нефтяных и газовых месторождениях с наличием сероводорода. Дерево происшествий возникновения аварийного фонтанирования газа из скважины приведено на Рисунке 2.

В качестве головного события используем аварийное фонтанирование газа из скважины. Это критическое событие характеризуется отказом ПВО и беспрепятственным движением газовой пачки к устью скважины с последующим выбросом нефтегазового флюида.



Формирование сценариев развития возможных аварий и определение вероятности реализации каждого сценария осуществляется в зависимости от вида иницилирующих событий, типа оборудования, на котором оно произошло, свойств опасных веществ и условий их содержания в оборудовании.

При реализации данной аварийной ситуации произойдет воздействие основных поражающих факторов пожара, таких как образование огненного шара из первичного облака газа, и последующее горение газа с возможным переходом на горение нефти с интенсивностью горения достаточной для поражения человека. По результатам оценки было установлено, что диаметр зоны горения составит 546 м, первичный же огненный шар будет иметь радиус 149 м, и временем существования около 11 с., интенсивностью теплового излучения достаточной для нанесения ожогов 2-й степени персоналу.

4. Обсуждение

По результатам оценки аварийных рисков были установлены значительные последствия их реализации. Соответственно, для снижения риска возникновения аварийных ситуаций предлагается предусмотреть следующие мероприятия:

- взрывперсоналу организовать проведение входного контроля качества взрывчатых материалов, отгружаемых на блок для заряжания массового взрыва;
- организовать изучение нормативных документов и информационных сообщений по взрывному делу взрывперсоналом и специалистами участка взрывных работ;
- организовать проведение инструктажа с водителями, грузчиками и охраной;
- организовать пересмотр «Плана ликвидации аварий в карьере» и провести ознакомление персонала с ним;
- организовать контроль за соблюдением персоналом, допущенным к производству взрывных работ, правил противопожарной безопасности при производстве работ;
- внедрить в разработанную систему управления охраной труда систему управления аварийными рисками.
- проведение мероприятий по обучению персонала, действиям при возникновении аварийной ситуации, а также, подготовка планов и инструкций по предотвращению аварийных ситуаций;
- барьер, снижающий вероятность возникновения источника зажигания или распространения пламени внутри технологической системы;
- проведение регулярного обслуживания, проверок и своевременной замены износившихся деталей и механизмов, согласно паспорту на данное оборудование.

Реализация подобных мероприятий позволит снизить вероятность и ущерб от реализации рассмотренных чрезвычайных ситуаций на данных предприятиях.

5. Заключение

Рассмотренная процедура оценки аварийных рисков позволит эффективно провести анализ отклонений критичных элементов возникновения чрезвычайных ситуаций. Применение многофакторного анализа риска с использованием методологии экспертных систем в виде построения древовидных диаграмм позволяет определить мероприятия по снижению риска АС и эффективность их внедрения на производственном объекте с учетом данных о технологическом процессе в условиях недостаточного объема и неопределенности исходной информации.

Библиографический список

- [1] Абдрахманов Н Х, Закирова З А, Залаяева Г Ф, Кускильддин Р А 2017 Системы оценки риска возникновения аварийных ситуаций на объектах нефтегазовой отрасли. *Нефтегазовое дело* 15, 1 226-230.
- [2] Спатарь Е В, Чемезов Е Н 2017 Методы оценки рисков в области техносферной безопасности *Актуальные вопросы технических наук: материалы IV Международной научной конференции* 57-60.
- [3] Рудаков М Л, Степанов И С 2015 Вопросы проведения анализа и оценки рисков возникновения аварий в организациях минерально-сырьевого комплекса *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)* 7 710-714.
- [4] Orr T J, Bellanca J L, Eiter B M 2018 The effect of hazard clustering and risk perception on hazard recognition *Advances in Intelligent Systems and Computing* 780 349-360.
- [5] Mishra, A K, Mallick, D K 2013 Analysis of blasting related accidents with emphasis on flyrock and its mitigation in surface mines *Proceedings of the 10th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting* 555-561.
- [6] Chandrasekaran, S, Kiran A 2015 Accident modelling and risk assessment of oil and gas industries *Advances in Structural Engineering: Materials* 3 2533-2543.

Оценка экологического ущерба от нефтешламов на земельные ресурсы в Иркутской области

Горленко Н.В., Тимофеева С.С.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail bgd@istu.edu

Аннотация. Проблема нефтешламов серьезно стоит в регионах нефтегазодобычи, так как они мигрируют и трансформируются при контакте с окружающей средой. В статье рассмотрим количество образующихся нефтешламов на месторождениях Иркутской области и способы утилизации на примере трех наиболее перспективных месторождений Восточной Сибири: Ярактинское, Марковское и Дулисьминское месторождения. Способы утилизации и обезвреживания нефтешламов данных месторождений, платы за образующиеся отходы бурения и проведена сравнительная оценка образующихся отходов.

1. Введение

Проблемы негативного влияния на окружающую среду при нефтегазодобыче берут начало с разведки месторождений. Негативное влияние происходит на всех этапах нефтегазодобычи и нефтегазопереработке, на всю окружающую среду. Вывод больших площадей земельных ресурсов из лесных фондов, извлеченная порода и сами участки месторождений становятся источником негативного воздействия. Как результат, огромные территории в нефтегазодобывающих регионах загрязнены нефтью.

Источниками существенного урона в виде загрязнения атмосферы, почвы, водных ресурсов являются шламовые амбары, которые представляют собой природоохранные сооружения, предназначенные для централизованного сбора, обезвреживания и захоронения токсичных промышленных отходов бурения нефтяных скважин. В период строительства данных сооружений происходит искоренение растительного покрова в виде деревьев, кустарников, происходит деградация надпочвенного покрова, осуществляется отчуждение плодородных земель. Так же, изъятие из пользования обширных территорий земель происходит в результате необходимости размещения самих шламовых амбаров с опасным буровым нефтешламом.

Емкость шламовых амбаров имеет зависимость в первую очередь от системы выполнения буровых работ, глубины залегания сырья и срока строительства скважины, систем водоснабжения и водоотведения, факторов естественной природной среды. Отходы бурения имеют следующую вариацию: пустая порода, использованные буровые рассолы, сточные воды бурения и их осадок, буровой шлам. [2]. Проведем анализ основного влияния на окружающую среду бурового нефтешлама.

Основное загрязнение окружающей среды происходит в результате воздействия на нее минеральных солей, использующихся химических реагентов и самих нефтепродуктов, которые как раз содержатся в буровых нефтешламах в следующих пропорциях – пустая порода (60–80 %), природное вещество (8–10 %), соли, в основном растворимые в воде (6 %), нефть, разнообразные химические включения.

Добыча нефти, включая газовый конденсат, в России за январь-декабрь 2017 снизилась на 0,3%, до 546 миллионов тонн, добыча газа выросла на 8,7%, до 604 миллиардов кубометров по сравнению с аналогичным периодом 2016 года. В Иркутской области извлекается: нефти – 17,8 млн т, газа – 7,5 трлн куб. м. Открыты крупные месторождения – Ярактинское, Дулисьминское, Марковское. Всего площадок нефтегазодобычи порядка 80, которые находятся в собственности различных предприятий. Разработка богатого углеводородного потенциала области, наносит значительный экологический ущерб окружающей среде и в том числе оз. Байкал.

Рассмотрим количество образующихся нефтешламов на месторождениях Иркутской области и способы утилизации на примере трех наиболее перспективных месторождений Восточной Сибири: Ярактинское, Марковское и Дулисьминское месторождения. Данные месторождения имеют схожую глубину залегания нефтяных горизонтов, что позволит дать адекватную оценку образования нефтяных шламов. Рассмотрим их более подробно.

Ярактинское нефтегазоконденсатное месторождение расположено в 140 км к северо-востоку от г. Усть-Кута, в северной части Усть-Кутского района и южной части Катангского района Иркутской области Российской Федерации. Месторождение было открыто в 1969 г., его разведка закончена в 1978 г. До 1992 года месторождение находилось в консервации и не разрабатывалось. Оператор – Иркутская нефтяная компания (ИНК), для которой Ярактинское месторождение является основным – здесь добывается примерно 80 % углеводородного сырья компании. В числе отходов бурения на 16 кустовых площадках Ярактинского месторождения будут образовываться следующие виды отходов: буровой шлам, отработанный буровой раствор. Нефтедержащие продукты освоения скважин и жидкие бытовые отходы от временного жилья буровиков учтены в объеме стоков.

Марковское нефтегазоконденсатное месторождение расположено вблизи села Марково, в 100 км к северо-востоку от г. Усть-Кута и в 60 км к Юго-Западу от города Киренска Иркутской области Российской Федерации. Запасы нефти 20 млн. тонн. Оператор – Иркутская нефтяная компания (ИНК). Буровой шлам на каждой из 8 кустовых площадках Марковского месторождения сбрасывается на специально оборудованные гидроизолированные площадки с последующей инертризацией и захоронением в гидроизолированных секционных шламовых амбарах.

Дулисьминское нефтегазоконденсатное месторождение – расположено в Катангском районе в 90 км к северо-западу от г. Киренска. Проектная мощность Дулисьминского месторождения – 400–450 тыс. тонн нефти в год. Лицензия на разработку месторождения принадлежит ЗАО «НК «Дулисьма». Отделившаяся во время очистки бурового раствора твердая фаза сбрасывается в шламовый амбар. В процессе бурения и освоения нефтедобывающей наклоннонаправленной скважины с горизонтальным окончанием ствола в продуктивных отложениях Ярактинского горизонта на Дулисьминском месторождении по традиционной технологии с применением проектных рецептур бурового раствора и 4-х ступенчатой системы его очистки будет образовываться следующее количество отходов бурения.

Для установления степени ущерба окружающей среде от размещения нефтешламовых отходов нами была проведена соответствующая оценка и выражен данный ущерб в денежном эквиваленте.

2. Материалы и методы

В качестве исходных оценочных материалов использовались значения по размещению отходов из проектов нормативов образования отходов и лимитов на их размещение и ежеквартальных отчетов по размещению отходов производства и потребления, а также исходя из статистических данных по контролю за деятельностью предприятий.

Для оценки ущерба природной среде от нефтешламов нами была использована законодательно разработанная и утвержденная процедура, описанная в документе «Методика исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды». Данная методика утверждена приказом № 238 Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 8 июля 2010 (с изменениями на 11 июля 2018 года)[1].

Процедура исчисления вреда почвам, как охраняемому элементу окружающей среды, выраженной как в стоимостной форме, производится согласно следующей формуле:

$$УЩ = УЩ_{\text{загр}} + УЩ_{\text{отх}} + УЩ_{\text{перекр}} + УЩ_{\text{сн}} + УЩ_{\text{уничт}},$$

где УЩ – общий размер ущерба, причиненного земельным ресурсам (руб.);

$УЩ_{\text{загр}}$ – величина ущерба в следствии контаминации почв, воздействие которого произошло при поступлении в почву загрязняющих веществ, приводящему к несоблюдению нормативов качества окружающей среды для почв, включая нормативы предельно (ориентировочно) допустимых концентраций загрязняющих веществ в почвах (руб.);

$УЩ_{\text{отх}}$ – размер ущерба в результате порчи почв при их использовании для размещения на ее поверхности отходов бытового и производственного характера (руб.);

$УЩ_{\text{перекр}}$ – размер ущерба в результате отчуждения земель под объекты строительства в виде зданий и сооружений различного назначения (руб.).

$УЩ_{\text{сн}}$ – размер ущерба в результате порчи почв при изъятии плодородного поверхностного слоя (руб.);

$УЩ_{\text{уничт}}$ – размер ущерба в результате деструкции плодородного слоя почвы (руб.).

Оценка ущерба в следствии контаминации почв, воздействие которого происходит при поступлении в почву загрязняющих веществ, приводящему к несоблюдению нормативов качества окружающей среды для почв, включая нормативы предельно (ориентировочно) допустимых концентраций загрязняющих веществ в почвах, выраженная в денежном эквиваленте производится по формуле:

$$УЩ_{\text{загр}} = СЗ \cdot S \cdot K_r \cdot K_{\text{исх}} \cdot T_x,$$

где $УЩ_{\text{загр}}$ – размер ущерба (руб.);

$СЗ$ – степень загрязнения зависящая от соотношений фактического содержания i -го загрязнителя в почве к предельно допустимому значению для почв;

S – площадь загрязненной территории (м^2);

K_r – коэффициент, учитывающий глубину загрязнения, порчи почв при перекрытии ее поверхности искусственными покрытиями и (или) объектами (в том числе линейными);

$K_{\text{исп}}$ – коэффициент, учитывающий категорию земель и вид разрешенного использования земельного участка;

T_x – размера тарифа за нанесение почвам вреда, как охраняемому элементу окружающей среды, в виде их загрязнения (руб./м²).

Оценка ущерба почве в результате использования для размещения на ее поверхности отходов бытового и производственного характера, выраженная в стоимостной форме, производится по формуле:

$$УЩ_{отх} = \sum (M_i \cdot T_{отх}) K_{исп},$$

где $УЩ_{отх}$ – величина ущерба (руб.);

M_i – масса отходов с одинаковым классом опасности (т);

n – сумма видов отходов, объединенных по классам опасности в рамках одной зоны, на которой установлено неразрешенное размещение отходов производства и потребления;

$K_{исп}$ – коэффициент, учитывающий категорию земель и вид разрешенного использования земельного участка;

$T_{отх}$ – размера тарифа за нанесение почвам вреда, как охраняемому элементу окружающей среды, в результате порчи почв при их захлавлении (руб./т).

Оценка ущерба почве в результате отчуждения земель под объекты строительства в виде зданий и сооружений различного назначения, выраженная в денежном эквиваленте, производится по формуле:

$$УЩ_{перекр} = S \cdot K_r \cdot K_{исп} \cdot T_x,$$

где $УЩ_{перекр}$ – размер ущерба (руб.);

S – площадь зоны деградации земель (м²);

K_r – коэффициент, учитывающий глубину загрязнения, порчи почв при перекрытии ее поверхности искусственными покрытиями и (или) объектами (в том числе линейными);

$K_{исп}$ – коэффициент, учитывающий категорию земель и вид разрешенного использования земельного участка;

T_x – размера тарифа за нанесение почвам вреда, как охраняемому элементу окружающей среды, в результате отчуждения земель под объекты строительства в виде зданий и сооружений различного назначения (руб./м²).

Оценка размера ущерба в результате порчи почв при изъятии плодородного поверхностного слоя, выраженная в денежном эквиваленте, производится по формуле:

$$УЩ_{сн} = S \cdot K_{исп} \cdot T_x,$$

где $УЩ_{сн}$ – размер ущерба (руб.);

S – площадь зоны изъятия плодородного слоя почвы (м²);

$K_{исп}$ – коэффициент, учитывающий категорию земель и вид разрешенного использования земельного участка;

T_x – размера тарифа за нанесение почвам вреда, как охраняемому элементу окружающей среды, при порче почв (руб./м²).

Оценка размера ущерба в результате разрушения плодородного слоя почвы, выраженная в денежном эквиваленте, производится по формуле

$$УЩ_{уничт} = 25 \cdot S \cdot K_{исп} \cdot T_x,$$

где $УЩ_{уничт}$ – величина ущерба (руб.);

S – площадь участка, на котором выявлена деструкция плодородного слоя почвы (m^2);

$K_{исп}$ – коэффициент, учитывающий категорию земель и вид разрешенного использования земельного участка;

T_x – размера тарифа за нанесение почвам вреда, как охраняемому элементу окружающей среды, при деструкции плодородного слоя почв (руб./ m^2) [1].

Расчет же стоимости захоронения отходов произведен в соответствии с Постановлением правительства Российской Федерации от 13 сентября 2016 года № 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициента».

Соответственно, при проведении оценки по данным методикам результатом была установлена стоимостная оценка ущерба от размещения нефтешламов.

3. Результаты исследования и их анализ

В Таблице 1 рассмотрим месторождения по основным показателям образования бурового шлама и отходам бурового раствора.

Таблица 1. Количество и платы за образовавшиеся отходы

Наименование показателя	Ярактинское месторождение	Марковское месторождение	Дулисьминское месторождение
Количество кустовых скважин	16	8	20
Состав отходов	Минеральные шламы (буровой шлам) Твердый. Состав: глина, горная порода, барит, нефтепродукты	Твердый. Состав: глина, горная порода, барит, нефтепродукты	Твердый. Состав: глина, горная порода, барит, нефтепродукты
Способ утилизации отходов	Захоронение в буровом амбаре на кустовых площадках	Захоронение в буровом амбаре на кустовых площадках	Захоронение в буровом амбаре на кустовых площадках
Класс опасности	4	4	4
Количество образовавшихся отходов, т/год	32767,77	16146,9	43953,28
Платы, руб.	21731585,064	10708624,08	29149815,296
Состав отходов	Минеральные шламы (осадок отработанного бурового раствора) Шлам. Состав: вода, нефтепродукты, углерод, барит, бетонит, карбонаты, сульфаты, хлориды, Ca, Na, Mg, K	Шлам. Состав: вода, нефтепродукты, углерод, барит, бетонит, карбонаты, сульфаты, хлориды, Ca, Na, Mg, K	Шлам. Состав: вода, нефтепродукты, углерод, барит, бетонит, карбонаты, сульфаты, хлориды, Ca, Na, Mg, K
Способ утилизации отходов	Захоронение в шламовом амбаре на кустовых площадках	Захоронение в шламовом амбаре на кустовых площадках	Захоронение в шламовом амбаре на кустовых площадках
Класс опасности	3	4	3
Количество образовавшихся отходов, т/год	2098,58	549,3	2100,13
Платы, руб.	2784815,66	364295,76	1392806,216
Суммарная итоговая плата, руб	24516400,724	11072919,84	30542621,512

Как мы видим из Таблицы 1, практически все компании используют комбинированные методы, что бы минимизировать воздействие. Благодаря использованию повторно бурового раствора на Марковском месторождении платы существенно уменьшаются. Не будем забывать, что платы так же обусловлены разным количеством пробуренных кустовых скважин. Для лучшей оценки плат за размещения бурового шлама рассчитаем плату за 1 кустовую скважину (Таблица 2).

Таблица 2. Платы за размещение бурового шлама одной кустовой скважины

Наименование показателя	Ярактинское месторождение	Марковское месторождение	Дулисьменское месторождение
Плата за размещение бурового шлама 1 кустовой скважины, руб	1 532 275,04	1 384 114,98	1 527 131,07

4. Обсуждение

Как видно из Таблицы 2 наименьшие платы за размещение отходов у Марковского месторождения, благодаря более экологическому буровому раствору его класс опасности ниже, что значительно уменьшает платы за размещение отходов. Нефтешламы содержат нефть, воду, твердые частицы различного диаметра, часто образуют стойкую нераслаивающуюся эмульсию, что усложняет процесс полной переработки. Как мы видим стандартные способы утилизации нефтешламов не способны полностью переработать нефтешламы. На данный момент существует несколько наиболее эффективных методов обработки нефтешламов: термический; биологический; химический; физический; и физико-химический метод [4]. Как правило компании используют комбинацию из нескольких этих методов. Комплексный подход к переработке нефтешламов достигается при помощи специально разработанного трехфазного декантера - трикантера. Триканер предназначен для непрерывной сепарации потока трехфазной смеси и разделяет нефтешламы на основные компоненты: нефть, воду и механические примеси всего за один этап.

5. Заключение

В статье были рассмотрены проблемы размещения и образования нефтешламов. Проанализирован состав породы изъятый при бурении нефтегазаносных скважин в Иркутской области. Оценен эколого-экономический ущерб при бурении Ярактинского месторождения, Марковского месторождения и Дулисьменского месторождения.

Библиографический список

- [1] Приказ Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды от 08.07.2010г. (с изменениями на 11 июля 2018 года) № 238
- [2] Пичугин Е А 2013 Оценка воздействия бурового шлама на окружающую природную среду *Молодой ученый* 9 122-123..
- [3] Badrul I 2015 Petroleum sludge, its treatment and disposal : a review *International Journal of Chemical Science* 13(4) 1584-1602.
- [4] Hou B, Xie SX, Chen M, Jin Y, Hao D, Wang RS. The Treatment of Refinery Heavy Oil Sludge. *Petroleum Science and Technology* [Internet]. 2013 Mar 1 [cited 2018 Oct 31];31(5):458–64. Available from: <https://doi.org/10.1080/10916466.2012.708083>

Применение тепловых методов для борьбы с образованием парафиновых отложений нефтегазоконденсатных месторождений

Домрачева В.А., Папешин И.М.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail ilyapapeshin@yandex.ru

Аннотация. Проблема образования парафиновых отложений при добыче нефти и газа существует многие десятилетия. Поэтому снижение парафинообразования, борьба с ним является актуальным. Цель работы: эффективное снижение парафинообразования на Ярактинском месторождении Иркутской нефтяной компании. Задачи: провести анализ основных методов борьбы с парафиновыми отложениями; анализ физико-химических свойств пластовых флюидов и текущего состояния разработки Ярактинского месторождения; предложить наиболее эффективный метод снижения парафинообразования. В работе предложена эффективная технология борьбы с парафиновыми отложениями нефтегазоконденсатных месторождений с использованием метода греющих кабельных линий, адаптированного для Ярактинского месторождения Иркутской нефтяной компании. Предложено решение проблемы рационального использования природных ресурсов и снижения негативного влияния на окружающую среду нефтегазовой промышленности.

1. Введение

Проблема образования парафиновых отложений при добыче нефти и газа существует на месторождениях по добыче нефти и газа с момента их разработки. Развитие методов и технологий борьбы с парафинообразованием имеет довольно длительную историю. Сегодня, как и много десятилетий тому назад, для борьбы с парафиновыми отложениями при добыче нефти и газа используются тепловые, физические, химические, механические и другие методы, а также применяют специальные покрытия. На отдельных месторождениях с низким содержанием механических примесей проводятся экспериментальные работы по применению вибрационных и магнитных методов.

Отложение парафинов приводит к снижению производительности скважин, увеличению износа оборудования, росту расходов на электроэнергию, к росту давления в выкидных линиях, к дополнительным финансовым затратам на ремонт и смену оборудования, увеличивает простой скважин и соответствующие потери в добыче углеводородов, а также косвенно влияет на режим работы пласта. Поэтому повышение эффективности борьбы с парафинообразованием является актуальной. Цель работы: эффективное снижение парафинообразования на Ярактинском месторождении Иркутской нефтяной компании. Задачи: провести анализ основных методов борьбы с парафиновыми отложениями; анализ физико-химических свойств пластовых флюидов и текущего состояния разработки Ярактинского месторождения; выбрать метод для снижения парафинообразования при разработке нефтегазоконденсатных месторождений.

2. Анализ основных методов борьбы с парафиновыми отложениями

В большинстве случаев на месторождениях Восточной Сибири применяют следующие методы для борьбы с парафиновыми отложениями: обработка горячей нефтью; использование механических скребков; специальные покрытия. Данные методы достаточно эффективны, но имеют ряд недостатков.

Недостатки метода при использовании механических скребков:

- необходимость остановки скважины при его использовании;

- предварительная подготовка поверхности труб;
- протирание нефтепроводящей трубы (НКТ);
- высокие риски застревания скребков, обрыва крепления скребков.

Недостатки специальных покрытий:

- НКТ с гладким защитным покрытием из лаков, стекла и эмали на внутренней стенке во время транспортировки, спуско-подъемные операции (СПО) и в скважинах подвергаются значительным ударным, растягивающим, сжимающим, изгибающим и другим нагрузкам;
- стеклянное покрытие ввиду его хрупкости, значительной толщины и отсутствия сцепления с металлом трубы ненадежно и часто разрушается в процессе СПО, что приводит к образованию стеклянных пробок в колонне НКТ и заклиниванию насосов.

Недостатки метода при обработке горячей нефтью:

- возможные трудности подъездных путей;
- потери нефти из-за простоев скважины;
- уменьшение дебита (объема добытого газа);
- остановка установки электроцентробежных насосов (УЭЦН).

Метод обработки горячей нефтью не всегда является эффективным. Например, для промывки одной скважины требуется нагреть до 100 °С и прокачать не менее 30 м³ нефти, которая затем сливается в шламовый резервуар и выпадает из объемов добычи.

Потери прибыли нефтегазодобывающих предприятий с каждой скважины осложненной парафинизацией при данном способе очистки скважин (обработка горячей нефтью) составляют порядка 10 млн. руб/год.

Анализ существующих методов борьбы с парафиновыми отложениями показал, что наиболее эффективным методом для нефтегазоконденсатных месторождений с падающей добычей является применение тепловых методов, а именно использование греющих кабельных линий (ГКЛ).

3. Результаты исследования и их анализ

Анализ физико-химических свойств пластовых флюидов и текущего состояния разработки на примере Ярактинского месторождения Иркутской нефтяной компании показал, что на данном месторождении есть склонность к выпадению парафиновых отложений. Это объясняется следующими факторами [4]:

- низкая пластовая температура (37 °С);
- большая разница между пластовым давлением 24,9 МПа и давлением насыщения (17,2-26,4 МПа);
- средняя плотность нефти (868 кг/м³);
- высокое массовое содержание парафина (4 %);
- высокое газосодержание (151 м³/т)

Основными методами борьбы с парафиновыми отложениями на Ярактинском месторождении являются механические и тепловые (обработка горячей нефтью) [4]. Используемые на Ярактинском нефтегазоконденсатном месторождении (ЯНГКМ) методы для борьбы с парафиновыми отложениями имеют определенные недостатки.

Альтернативным методом для ЯНГКМ является метод греющих кабельных линий, который был опробован в 2017 году на нескольких нефтяных скважинах и показал достаточно высокую эффективность.

Идея метода греющих кабельных линий заключается в подогревание нефти до температуры, исключающей возможность выпадения твердой фазы при любых дебитах (объема добытого газа) и остановках скважины [3].

Источниками тепла являются греющие кабели, смонтированные внутри или снаружи нефтепроводящей трубы (НКТ). Кроме удаления и предотвращения образовавшихся парафиновых отложений, метод греющих кабельных линий позволяет:

- исключить очистку НКТ механическими скребками;
- увеличить межремонтный период работы установки электроцентробежных насосов (УЭЦН);
- сократить потери нефти из-за простоев скважины при спуско-подъемах скребков и капитальный ремонт скважин (КРС);
- сократить время и потери нефти, затраченные на тепловые обработки скважины;
- стабилизировать работу пласта;
- исключить капитальный ремонт скважины;
- сократить расходы на техническое обслуживание скважин.

К достоинствам метода греющих кабельных линий также относятся:

- автоматизированность и саморегулируемость системы (нет необходимости ежедневного контроля работоспособности оборудования);
- прогреву подвергается не только колонна НКТ, но и устьевое оборудование, что имеет огромное значение при эксплуатации в зимний период;
- повышение работоспособности и увеличение срока службы УЭЦН, в том числе за счет снижения вязкости жидкости, подаваемой на поверхность;
- увеличение времени между ремонтами скважин (снижается объем ремонтных работ, уменьшается количество ремонтных бригад и спецтехники);
- увеличение дебита скважин (объем добытого газа), за счет прогрева движущегося потока флюида;
- греющие кабели могут использоваться как для вертикальных, так и для горизонтальных скважин [3].

К Недостаткам метода греющих кабельных линий относятся:

- неремонтопригодность кабеля при разрывах или сильных механических повреждениях брони;
- при расположении кабеля внутри НКТ подъем кабеля происходит вместе с НКТ;
- большие затраты электроэнергии.

Комплектация устройства прогрева скважины включает в себя основное и вспомогательное оборудование (рис. 1).

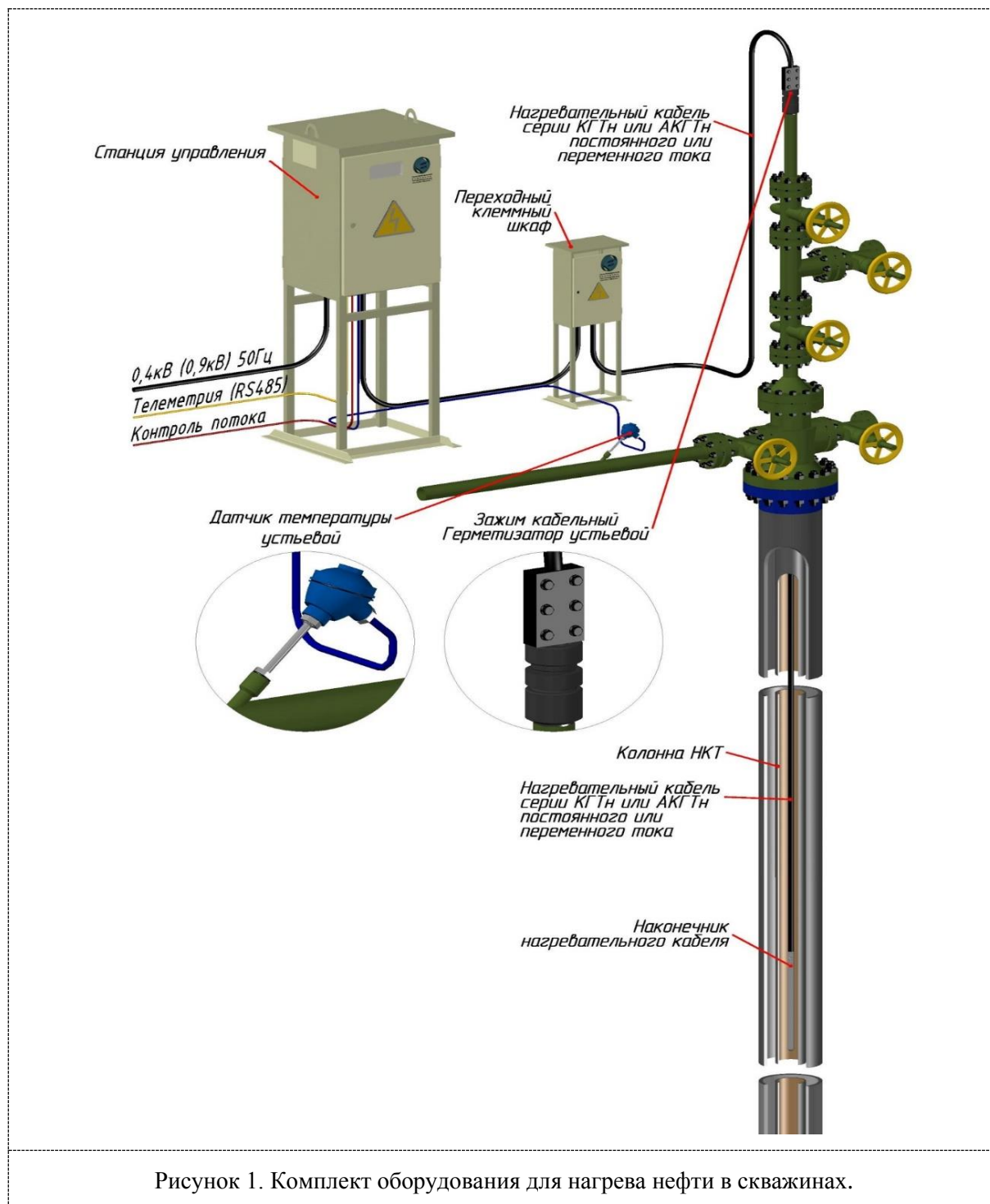
5. Заключение

Метод греющих кабельных линий является одним из самых экологичных методов борьбы с асфальтосмолопарафинистыми отложениями. Метод - экономически затратный, так как требует

большого количества электроэнергии. Поэтому вместо сжигания попутного нефтяного газа на факельных установках, газ можно использовать в качестве топлива для газогенераторов, которые будут вырабатывать электроэнергию, обеспечивая установку ГКЛ. Такая схема добычи и подготовки нефти будет выгодна как экономически, так и экологически [1].

Таким образом, предлагаемые мероприятия позволят снизить выбросы вредных веществ при сжигании газа на факелах, а также обеспечить установку ГКЛ электроэнергией.

С точки зрения обеспечения экологической безопасности использование метода греющих кабельных линий позволит предотвратить разливы нефти и нефтепродуктов, стабилизировать работу нефтегазоносного пласта, обеспечить рациональное извлечение углеводородов.



Библиографический список

- [1] Кирюшин П. А., Книжников А. Ю., Кочи К. В. и др. Попутный нефтяной газ в России: «Сжигать нельзя, Перерабатывать!» Аналитический доклад об экономических и экологических издержках сжигания попутного нефтяного газа в России. – М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2013.– 88 с.
- [2] Буренков А.Е. Разработка и исследование кабелей нагрева для нефтяных скважин. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук.: – М.: ВНИИ КП, 2003.
- [3] www.npk-asn.ru
- [4] Рапацкая Л.А., Буглов Н.А., Хао Дунхэн. Нефтегазоносные комплексы восточных регионов России и Китая: монография. – Иркутск: Изд-во ИрННТУ, 2013. – 360 с.

Модифицированные углеродные сорбенты для извлечения ртути из техногенного сырья

Домрачева В.А., Трусова В.В., Остапчук Д.Е.

Иркутский национальный исследовательский технический университет

E-mail domra@istu.edu

Аннотация. В настоящее время актуальной становится проблема загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами, поступление которых имеет как естественное, так и техногенное происхождение. Тяжелые металлы характеризуются высокой токсичностью и неспособностью к естественным процессам разложения. Одним из наиболее перспективных методов извлечения тяжелых металлов из производственных растворов, обеспечивающих полноту извлечения, является сорбционный с применением углеродных сорбентов. В настоящей работе изучена возможность применения в качестве сорбента для извлечения ртути модифицированного активного угля, полученного на основе бурых углей. В работе определена емкость модифицированного сорбента АБЗ по ртути с исходной концентрацией ионов в растворе 5-15 мг/дм³ в статических условиях. Построены изотермы сорбции исходного (АБЗ) и модифицированного (АБЗ-М) сорбентов. Максимальная емкость сорбента АБЗ-М составила 21,5 мг/г, что в 1,6 раза больше, чем у исходного сорбента АБЗ. Применение модифицированных углеродных сорбентов в технологии сорбционного извлечения тяжелых металлов из сточных вод и техногенных образований позволит достичь высокой степени очистки без применения дополнительных реагентов, загрязняющих окружающую среду.

1. Введение

В настоящее время Россия является одной из крупнейших стран мира, обладающих мощной минерально-сырьевой базой. Ежегодно горнодобывающей отраслью складывается до нескольких миллиардов кубометров отходов. Из накопленных на территории России отходов три четверти (более 12 млрд. т) приходится на горнодобывающие отрасли промышленности.

Территории, на которых сконцентрированы горнодобывающие предприятия, традиционно являются зонами экологического риска. Переработка отходов горнопромышленного производства приобрела первостепенное значение ключевого фактора для обеспечения экологической безопасности страны. Отходы горнодобывающей промышленности зачастую содержат большую долю полезного компонента. Во многих случаях переработка техногенного сырья будет экономически выгодна. Сегодня разработка месторождений техногенного сырья позволит покрывать потребность промышленных производств в металлической руде.

Для извлечения ртути из техногенного сырья используют два способа: восстановление ртути до элементарного состояния и выделения ее в чистом виде; осаждение, основанное на окислении ртути и выделении двухвалентной ртути.

Извлечение тяжелых металлов из техногенных образований и очистка производственных стоков до уровня ПДК (0,005 мг) возможна с использованием сорбционной технологии, которая обеспечивает вывод ценных компонентов в виде товарных продуктов или вторичного сырья и позволяет использовать очищенную воду в замкнутом цикле.

Перспективными сорбентами являются углеродные сорбенты, имеющие высокую удельную поверхность, развитую пористую структуру, активные функциональные группы. Сырьем для получения углеродных сорбентов, обладающих вышеперечисленными свойствами, могут быть древесина, торф, ископаемые угли, тяжелые отходы нефти, а также нетрадиционные материалы, такие как скорлупа различных видов орехов, фруктовые косточки и др. Получение углеродных сорбентов из ископаемых углей имеет большое практическое и экономическое значение [1,2, 3,4].

В данной статье рассмотрены возможности использования модифицированного углеродного сорбента АБЗ для извлечения ионов ртути из техногенного сырья. Данная тема актуальна на сегодняшний день, так как сорбционное извлечение ионов металлов из растворов является одним из наиболее экономически целесообразных методов концентрирования полезного компонента.

Целью работы является выявление возможностей использования модифицированных углеродных сорбентов для извлечения ртути из техногенного сырья. Задачи исследования: определить сорбционную емкость модифицированного сорбента АБЗ, сравнить полученные в ходе эксперимента характеристики, модифицированного АБЗ с исходным, сделать выводы по полученным результатам.

2. Материалы и методы

В данной работе в качестве исходного сырья для получения сорбента АБЗ (активированный бурый зернистый) использовали Азейский Мугунский бурый уголь Тулунского месторождения Иркутской области. Сорбент АБЗ был получен по классической технологии, которая включает карбонизацию и активацию угля [1].

В дальнейшем для повышения сорбционной активности сорбента АБЗ по отношению к ионам ртути была проведена его модификация по методу [5]. Модификация проводилась следующим образом: навеску активированного карбонизата, в данном случае АБЗ, в соотношении 1 грамм : 2 мл смешивали с дихлорэтаном и перемешивали в течение 1 часа. Затем дихлорэтан отфильтровывали, АБЗ обрабатывали олеумом при соотношении 1 : 7 в колбе с обратным холодильником при температуре 70°C в течение 5 часов. После обработки олеумом полученный сорбент промывали водой до нейтральной реакции и сушили в сушильном шкафу при температуре 30°C. Сравнительные физико-механические характеристики и показатели пористой структуры исходного (АБЗ) и полученного (АБЗ-М) сорбентов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение физико-механических свойств и показателей пористой структуры сорбентов.

Сорбент	Насыпная плотность, г/дм ³	Механическая прочность, %	Суммарная пористость по воде, см ³ /г	Активность	
				по йоду, %	по МГ, мг/г
АБЗ	420 [1]	68,0	0,59	55,0	12,1
АБЗ-М	470 [5]	62,1	0,65	45,0	12,8

Анализ таблицы 1 показал, что полученные сорбенты имеют пористую структуру, состоящую из микро-, мезо- и макропор, о чем свидетельствует суммарная пористость по водопоглощению и активность по йоду и метиленовому голубому.

Для исследования сорбционной активности модифицированного сорбента АБЗ-М использовали модельные растворы нитрата ртути (II) – $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ с концентрациями 5-15 мг/дм^3 . Навеску соли растворяли в 50 мл концентрированной азотной кислоты $\text{HNO}_3(\text{XЧ})$, доводили раствор до 1 л дистиллированной водой, с помощью буферного раствора устанавливали pH раствора = 3,5 - 4,5.

Сорбцию проводили в статических условиях. Навеску модифицированного угля добавляли в 100 мл исследуемого раствора и встряхивали в течение 2 часов. Концентрацию ртути в растворе определяли на атомно-эмиссионном спектрометре VistaICP–AES.

3. Результаты исследования и их анализ

При обработке олеумом активированного карбонизата АБЗ происходит закрепление сульфогрупп как на внешней поверхности сорбента, так и в глубине пор. Первичная обработка активированного карбонизата дихлорэтаном обеспечивает более легкое проникновение сульфоагента, в данном случае олеума, в глубину пор, тем самым усиливая окисление с образованием сульфогрупп. Наличие сульфогрупп в глубине пор обеспечивает увеличение сорбционной емкости сорбента по отношению к ионам ртути.

В данной работе представлены результаты исследования сорбции ионов ртути модифицированным сорбентом АБЗ в статических условиях.

4. Обсуждение

По полученным в ходе экспериментов данным были построены сравнительные изотермы сорбции исходного и полученного сорбентов (рисунок 1).

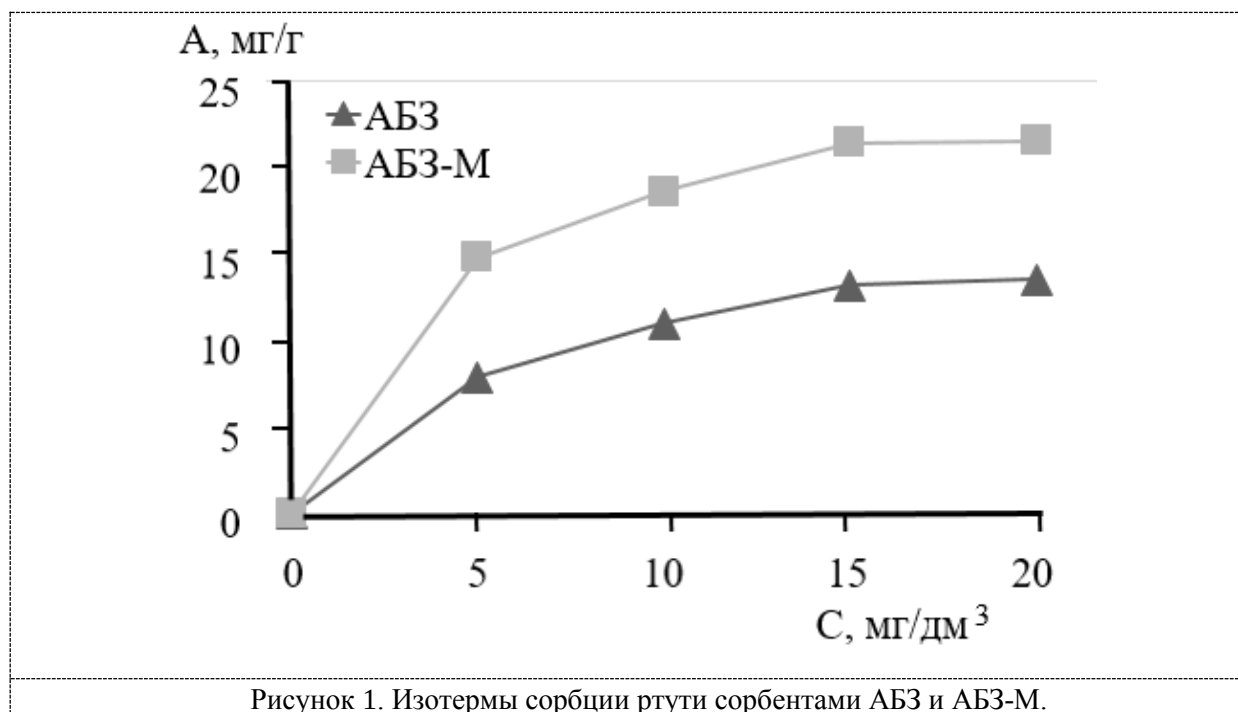


Рисунок 1. Изотермы сорбции ртути сорбентами АБЗ и АБЗ-М.

Полученные изотермы сорбции свидетельствуют о том, что сорбционная емкость по ртути модифицированного сорбента АБЗ-М выше, чем у исходного сорбента АБЗ. Что обусловлено образованием сульфогрупп на поверхности модифицированного сорбента и проявлением селективности модифицированного сорбента по отношению к ионам ртути. Максимальная

емкость сорбента АБЗ-М составила 21,5 мг/г, что в 1,6 раза больше, чем у исходного сорбента АБЗ.

5. Заключение

Исследования подтвердили возможность эффективного использования модифицированного сорбента АБЗ для извлечения ионов ртути из техногенного сырья. Использование сорбентов на основе бурых углей для извлечения полезного компонента из техногенного сырья позволит в некоторой мере решить проблему загрязнения окружающей природной среды ионами ртути, содержащейся в техногенных месторождениях.

Библиографический список

- [1] Домрачева В.А., Федотов К.В., Трусова В. В. 2017 *Сорбционная очистка сточных вод: монография* (Иркутск: ИРНИТУ). 165 с.
- [2] Домрачева В.А. *Извлечение металлов из сточных вод и техногенных образований: Монография.* – Иркутск: Изд-во ИргТУ, 2006. – 152 с.
- [3] Козлов А П, Зыков И Ю, Дудникова Ю Н, Цветков В Э, Фёдорова Н И и Исмагилов З Р 2018 *Переработка бурых углей в эффективные сорбенты для решения задач охраны окружающей среды и повышения качества жизни.* Вестник Кузбасского государственного технического университета. № 3 (127). С. 93-101
- [4] Федорова Н И, Гладкова О С и Патраков Ю Ф 2010 *Сорбционные материалы на основе бурых углей восточной Сибири.* Вестник Кузбасского государственного технического университета № 6 (82). С. 133-136
- [5] Патент РФ № 2012131961/05, 25.07.2012. Способ получения сорбента // Патент России № 2508248 С1 .2014. Бюл. № 6. / Домрачева В.А., Вещева Е.Н., Трусова В.В. [и др.].

Исследование сорбционной активности сорбентов на основе бурых углей Восточной Сибири и Монголии

Домрачева В.А.¹, Трусова В.В.¹, Шийрав Гандандорж²

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия¹

Монгольский национальный университет, Улан-Батор, Монголия²

E-mail: domra@istu.edu

Аннотация. Актуальность темы исследования заключается в нетрадиционном использовании ископаемых углей, направленном на получение из них углеродных сорбентов, назначение которых извлекать ценные компоненты либо загрязняющие вещества из сточных вод и техногенных образований. Проблемы рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды актуальны для нашей страны, а также Монголии. Запасы бурых углей составляют одну треть от всех запасов ископаемых углей в РФ и Монголии. Цель: исследование сорбционной активности сорбентов на основе бурых углей. Задачи исследования: получение по классической технологии, включающей карбонизацию и активацию, углеродных сорбентов; исследование их сорбционной активности с использованием методов определения сорбционной активности по йоду и метиленовому голубому, суммарной пористости по водопоглощению, а также других методов. Результаты исследования показали достаточно высокую сорбционную активность полученных сорбентов (суммарная пористость по водопоглощению, см³/г от 0,50 до 0,80, активность по йоду, % от 47,6 до

67,4, активность по МГ, мг/г от 11,3 до 16,1), следовательно, возможность их использования для извлечения ценных компонентов.

1. Введение

Ископаемые угли являются одним из главных источников получения тепловой энергии, а также представляют собой ценное сырье для химической переработки с целью получения необходимых для промышленности продуктов. Большая часть добываемого угля используется для энергетических целей, а наиболее ценные угли подвергаются термической переработке – полукоксуванию, коксованию, газификации и гидрогенизации.

Основная предпосылка использования ископаемых каменных углей для получения углеродных сорбентов – сравнительно легкое образование у них требуемой пористой структуры и наличие достаточной механической прочности. Бурые угли имеются практически во всех угольных бассейнах страны и составляют одну треть от всех запасов ископаемых углей. По степени метаморфизма бурые угли близки к длиннопламенным каменным углям. Следовательно, характеризуются первоначально развитой пористой структурой, высоким выходом летучих веществ, наличием гетероатомов в структуре, достаточной механической прочностью. Необходимо отметить наличие функциональных групп на поверхности угля, прежде всего карбоксильных и гидроксильных, которые увеличивают сорбционную способность сорбентов из бурых углей [1]. Доступность и невысокая стоимость бурых углей привлекают внимание исследователей, в том числе и в качестве сырья для получения углеродных сорбентов [2-8].

Актуальность темы исследования заключается в нетрадиционном использовании ископаемых углей, направленном на получение из них углеродных сорбентов, назначение которых извлекать ценные компоненты либо загрязняющие вещества из сточных вод и техногенных образований. Проблемы рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды актуальны для нашей страны, а также Монголии. Запасы бурых углей составляют одну треть от всех запасов ископаемых углей в РФ и Монголии.

Цель: исследование сорбционной активности сорбентов на основе бурых углей. Задачи исследования: получение по классической технологии, включающей карбонизацию и активацию, углеродных сорбентов; исследование их сорбционной активности с использованием методов определения сорбционной активности по йоду и метиленовому голубому, суммарной пористости по водопоглощению, а также других методов.

2. Материалы и методы исследования

Характеристики бурых углей Иркутского бассейна и Монголии приведены в таблице 1.

Таблица 1. Технический и элементный состав исходных бурых углей.

Угли, месторождение	Технический состав			Элементный состав, %				
	Влажность W^a , %	Зольность A^d , %	Выход летучих веществ V^{daf} , %	C^{daf}	H^{daf}	O^{daf}	N^{daf}	S^{daf}
Бурый уголь, Азейское	11,6	15,4	46,7	74,0	5,3	19,2	1,0	0,5
Окисленный бурый уголь, Баганур	9,15	12,68	43,97	67,7	6,07	24,8	0,30	0,36
Окисленный бурый уголь, Шивэ-Ово	8,62	15,08	43,05	72,7	3,43	21,29	0,70	0,73

(C, H, O, N, S)^{daf} – содержание элементов в сухой органической массе.

Определение физико-химических характеристик и показателей сорбционной активности исходных углей и сорбентов на их основе проводили по следующим методикам.

Определение фракционного состава проводили по ГОСТ 16187-70 «Сорбенты. Метод определения фракционного состава». Гранулированные и дробленые сорбенты разделяются на фракции по диаметру частиц 0,5–60 мм на вибрационном сите.

Определение массовой доли влаги проводили по ГОСТ 12597-67. Массовая доля воды ископаемых углей и их продуктов определяется по уменьшению массы продукта в сушильном шкафу до постоянной массы при температуре 105-110 °С.

Определение зольности проводили по ГОСТ 12596-67. Зольность углеродных материалов определяется по массовому содержанию навески зольного остатка при озолении образца в муфельной печи при 850 ± 25 °С. Тигли с образцам ставятся в холодную или нагретую до 300 °С муфельную печь, в течение 2-2,5 ч прокаливают навеску образца при 850 ± 25 °С.

Выход летучих веществ определяли по ГОСТ 6382-2001. Выход летучих веществ определяют как потерю массы навески горючих ископаемых материалов за вычетом влаги при нагревании без доступа воздуха при температуре 850 ± 25 °С, в течение 7 минут.

Насыпную плотность определяли по ГОСТ 16190-70 «Сорбенты. Метод определения насыпной плотности». Настоящий стандарт распространяется на гранулированные и дробленые сорбенты с размерами частиц от 0,05 до 10,00 мм и устанавливает метод определения насыпной плотности, необходимый для контроля качества производимой продукции. Метод заключается в определении массы сорбента, занимающей определенный объем при нормированном уплотнении.

Суммарную пористость определяли по ГОСТ 17219-71. Метод определения суммарного объема пор по воде основан на заполнении водой пор размером от 0,5 до 10^4 нм при кипячении навески угля в воде и удалении избытка воды с поверхности зерен путем отсасывания при определенных условиях. Метод предназначен для определения суммарного объема пор активного угля с размером частиц от 0,2 до 5 мм по воде.

Удельную поверхность определяли с использованием математического метода корреляции по йодному числу активного угля.

Предполагается, что при равновесной концентрации 0,02 н иод адсорбируется в виде монослоя. Поэтому существует зависимость между йодным числом активного угля и его удельной поверхностью, которую можно определить, например, по БЭТ.

Значение удельной поверхности активных углей с очень большой удельной поверхностью, определяемые по йодному числу, оказываются заниженными. Это объясняется тем, что иод адсорбируется в основном на поверхности пор с диаметрами значительно более 1 нм, а при большой удельной поверхности возрастает доля тонких пор, которые недоступны молекулам йода [9].

Сорбционную активность по йоду определяли по МРТУ 6-16-1003-67 [10]. В соответствии с этим методом под йодным числом угля понимают количество йода (в мг), которое может адсорбировать 1 г этого угля в порошкообразной форме из разбавленного водного раствора йода.

Сорбционную активность по метиленовому голубому определяли по ГОСТ 4453-74 (изменение 20.07.2010) для сухого образца массой 1 г, который встряхивали с 15%-ным раствором метиленового голубого.

Методом селективной нейтрализации (метод Боема) определяли количество функциональных групп на поверхности сорбентов [11].

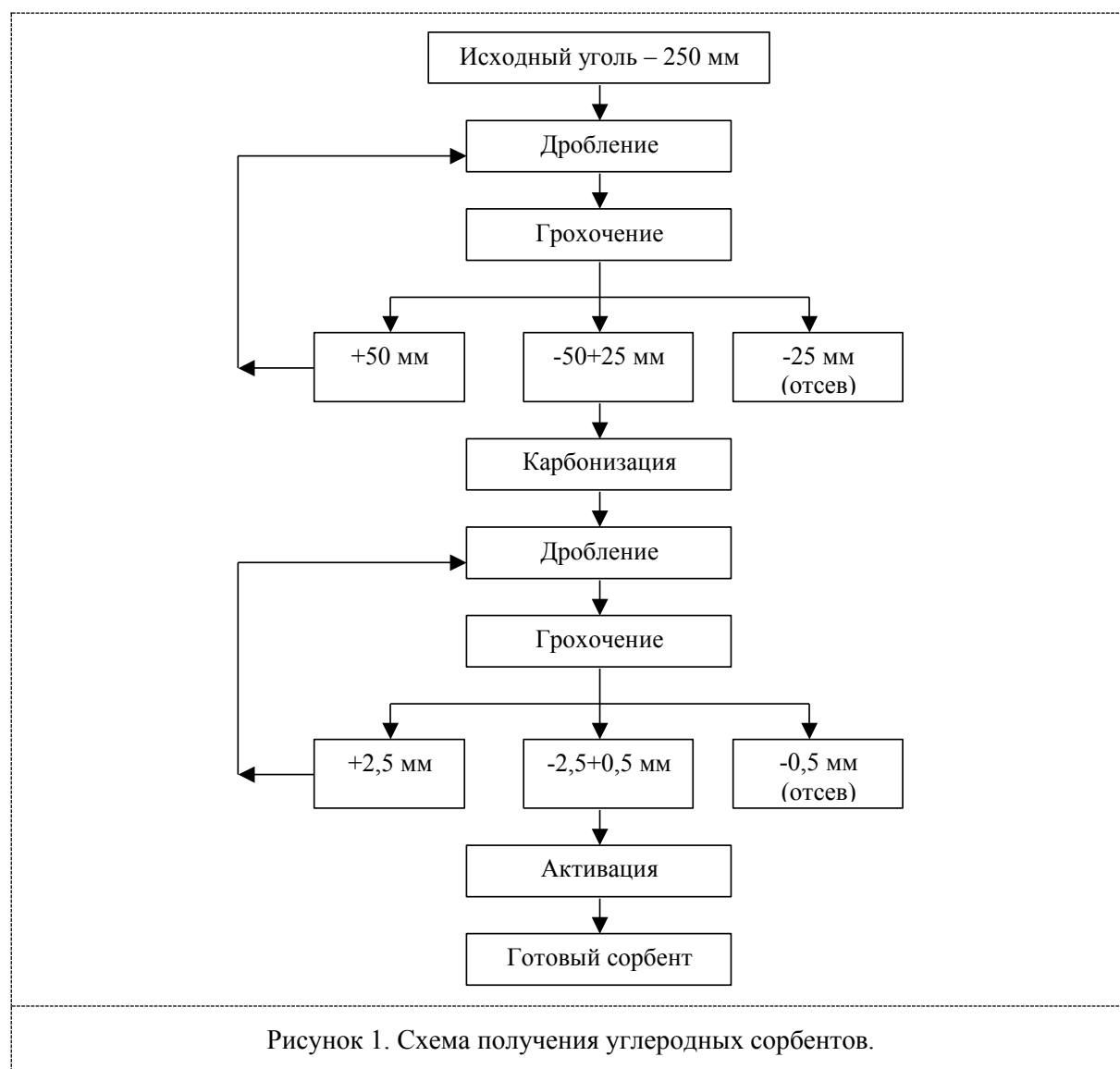
Методика определения функциональных групп: к навеске АУ 0,2 г добавляли 25 мл 0,1 н раствора NaOH, NaHCO₃ и 0,1 н Na₂CO₃ и выдерживали в течение 72 ч, периодически

встряхивая, затем отфильтровали. Фильтрат титровали раствором 0,1 н HCl pH – метрически. Для определения общего количества кислотных групп использовали раствор NaOH, общее количество карбоксильных групп определяли с помощью Na_2CO_3 , для определения количества сильных карбоксильных групп использовали раствор NaHCO_3 . Для оценки наличия на поверхности анионообменных центров использовали раствор HCl. Известно, что обычные фенольные группы, в отличие от карбоксильных, не взаимодействуют с содой, если определить емкость угля по иону натрия из растворов щелочи и соды, то разница в емкости должна показать количество фенольных групп.

3. Результаты исследования и их анализ

Углеродные сорбенты получены по классической технологии, включающей карбонизацию и активацию. Схема получения сорбентов приведена на рисунке 1.

Температурного интервал проведения процесса карбонизации был определен по дериватограммам исходных углей [12].



В процессе исследования определены оптимальные параметры карбонизации и активации.

Карбонизация - термообработка без доступа воздуха. Оптимальные параметры карбонизации:

- для угля месторождений Азейское и Баганур температура карбонизации – 800 °С;
- для угля месторождения Шивэ-Ово температура карбонизации – 900 °С.

Время выдержки угля при заданной температуре составляет 60 минут. Скорость подъема температуры – 10 °С/минуту.

Активация карбонизата проводилась водяным паром. Для Азейского угля – (4-5) г водяного пара на 1 г карбонизата. Для окисленных углей Монголии – (1,5 -2) г водяного пара на 1 г карбонизата. Варьировали температуру активации и время выдержки карбонизата. Оптимальные параметры активации:

- для карбонизата на основе Азейского угля температура активации 800-850 °С. Время активации составляет 1,5-2 часа;
- для карбонизатов на основе углей месторождения Баганур и Шивэ-Ово температура активации 800-820 °С. Время активации для карбонизата на основе баганурского угля составляет 1,5 часа, для карбонизата на основе угля месторождения Шивэ-Ово – 0,5 часа. Время активации карбонизата определяется степенью обгара. Степень обгара карбонизатов не превышала 30-40%.

У полученных углеродных сорбентов для подтверждения их сорбционной активности были определены сорбционные характеристики (показатели). Результаты исследований приведены в таблице 2.

Таблица 2. Сорбционные характеристики сорбентов на основе бурых углей.

Углеродный сорбент	Насыпная плотность, г/дм ³	Суммарная пористость по водопоглощению, см ³ /г	Удельная поверхность по БЭТ, м ² /г	Сорбционная активность	
				по йоду, %	по метиленовому голубому, мг/г
АБЗ ¹	540	0,50	698,0	55,0	12,1
АББ	500	0,70	589,5	47,6	11,7
АБШ	520	0,80	820,3	67,4	16,1
КАД-йодный	450	0,75	669,5	≥55,0	11,3

¹АБЗ-сорбент на основе бурых углей Иркутского бассейна; АББ- сорбент на основе окисленных бурых углей месторождения Баганур; АБШ- сорбент на основе окисленных бурых углей месторождения Шивэ-Ово; КАД-йодный – промышленный сорбент на основе каменных углей Кузбасса (был взят для сравнения).

Анализ таблицы 2 показал, что полученные сорбенты имеют пористую структуру, состоящую из микро-, мезо- и макропор, о чем свидетельствует суммарная пористость по водопоглощению и активность по йоду и метиленовому голубому.

Из литературных источников известно, что емкость сорбентов по металлам зависит не только от развитой пористой структуры, но и от наличия функциональных групп на поверхности сорбентов, которые активно участвуют в процессе сорбции [13]. Для определения функциональной поверхности сорбента АБЗ был использован метод получения ИК-спектров. Измерения проводились в спектральной области 200 – 4000 см⁻¹ на спектрометре «Specord Jn-75». При ИК-спектроскопическом измерении подтверждается полифункциональный характер поверхности углеродного сорбента и наличия на ней различных функциональных групп кислотного и основного характера: карбоксильных, гидроксильных, фенольных, хиноидных, лактонных [14].

Определение количества функциональных групп на поверхности сорбентов, полученных из окисленных бурых углей, проводили методом селективной нейтрализации (метод Боема) [11]. Результаты определения карбоксильных и фенольных групп на поверхности сорбентов приведены в таблице 3.

Таблица 3. Содержание функциональных групп углеродных сорбентов.

Сорбент	Карбоксильные группы, моль/г			Фенольные группы, моль/г
	Сильные	Слабые	Сумма	
АББ	27,90	27,45	55,35	5,27
АБШ	12,38	3,38	15,76	8,33

Из таблицы 3 видно, что количественное содержание как слабых, так и сильных карбоксильных групп у сорбента АББ практически в 3 раза больше, чем у сорбента АБШ, что может быть объяснено природой сорбентов. Причем, карбоксильные группы в процессе сорбции ионов металлов более активные, чем фенольные.

4. Обсуждение

В исследовании использовали углеродные сорбенты на основе бурых углей Азейского разреза Тулунского месторождения Иркутского бассейна и бурых углей Монголии (окисленные бурые угли монгольских месторождений Баганур и Шивэ-Ово).

Сорбционная активность сорбентов формируется изначально в процессе их получения. Процесс получения сорбентов направлен на развитие пористой структуры и полифункциональной поверхности сорбентов. Поэтому очень важно правильно выбрать оптимальные параметры карбонизации и активации для их получения. Дериватограммы исходного угля позволили правильно выбрать температуру карбонизации. Процесс активации формирует микро- мезопористую структуру сорбентов. Причем, чем выше температура и время активации, тем более мезопористый получается сорбент. Негативный фактор при активации – это степень обгара, которая значительно снижает прочность сорбентов.

Признанными международными стандартами являются показатели сорбционной активности сорбентов по йоду и метиленовому голубому. Данные, полученные в работе свидетельствуют о том, что полученные сорбенты на основе бурых углей Иркутского бассейна и месторождений Монголии являются микро-мезопористыми, что является положительным фактором при извлечении веществ из жидких растворов.

Важным фактором, обуславливающим избирательность сорбции, является химическая природа поверхности сорбента. Состав и концентрация поверхностных групп определяют ионообменные свойства пористых углеродных материалов и существенно влияют на адсорбцию полярных и других склонных к специфическому взаимодействию молекул [15]. В работе определен полифункциональный характер поверхности сорбентов с доминированием карбоксильных, фенольных, карбонильных и эфирных групп, что наряду с пористостью повышает сорбционную активность сорбентов.

5. Заключение

В качестве сырья для получения углеродных сорбентов использованы Азейские бурые угли Тулунского месторождения Иркутского угольного бассейна и окисленные бурые угли месторождений Монголии Баганур и Шивэ-Ово. Бурые угли являются хорошим материалом для получения УС с заданными свойствами.

Большой выход летучих веществ в процессе карбонизации позволяет получить развитую пористую структуру сорбентов в процессе активации с преобладанием микро- и мезопор, что подтверждено определением сорбционной активности сорбентов по йоду (корреляция с микропорами) и метиленовому голубому (корреляция с мезопорами). Наиболее эффективным с точки зрения развития мезопористой структуры является сорбент АБЗ на основе бурых углей Иркутского бассейна.

Наличие гетероатомов в исходном угле (С, О, Н, N) способствует образованию в процессе карбонизации и активации на поверхности сорбента различных функциональных групп (СО, СОН, СООН, ОН), благодаря чему полученные сорбенты смогут участвовать в ионообменных

процессах. Наиболее эффективным сорбентом с точки зрения полифункциональности поверхности является сорбент на основе окисленных бурых углей монгольских месторождений Баганур.

Проведенные исследования позволяют в перспективе использовать полученные сорбенты для извлечения ценных компонентов из техногенного сырья либо для очистки сточных вод как от металлов, так и от органических веществ. Исследования в данном направлении авторами будут продолжены.

Библиографический список

- [1] Леонов С Б, Елшин В В, Дударев В И, Рандин О И, Оздобихин Л М и Домрачева В.А. 2000 *Углеродные сорбенты на основе ископаемых углей*. (Иркутск.: ИРГТУ) 268 с
- [2] Будаева А Д, Золотов Е В 2012 *Состав и свойства сорбентов, полученных из окисленных бурых углей Гусиноозерского месторождения. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) № 2. С 122-125*
- [3] Козлов А П, Зыков И Ю, Дудникова Ю Н, Цветков В Э, Фёдорова Н И и Исмагилов З Р 2018 *Переработка бурых углей в эффективные сорбенты для решения задач охраны окружающей среды и повышения качества жизни. Вестник Кузбасского государственного технического университета. № 3 (127). С. 93-101*
- [4] Федорова Н И, Гладкова О С и Патраков Ю Ф 2010 Сорбционные материалы на основе бурых углей восточной Сибири. *Вестник Кузбасского государственного технического университета № 6 (82). С. 133-136*
- [5] Чеснокова Н В, Микова Н М, Иванов И П и Кузнецова Б Н 2014 Получение углеродных сорбентов химической модификацией ископаемых углей и растительной биомассы. *Journal of Siberian Federal University. Chemistry 1 (7). С.42-53*
- [6] Ворсина Е В, Москаленко Т В и Михеев В А 2015 Получение углеродных сорбентов химической модификацией бурого угля Харанорского месторождения. *Современные проблемы науки и образования. № 2-3*
- [7] Жеребцов С И, Малышенко Н В, Брюховецкая Л В, Лырщиков С Ю и Исмагилов З.Р. 2015 Сорбция катионов меди из водных растворов бурыми углями и гуминовыми кислотами. *Химия твердого топлива. № 5. С. 30-40*
- [8] Камбарова Г Б 2016 *Перспективы комплексного использования углей Кавакского бурогоугольного бассейна*. Наука вчера, сегодня, завтра (Сборник ст. по матер. XXXIX междунар. науч.-практ. Конф. Новосибирск: СибАК). С. 91-98
- [9] Кинле Х, Бадер Э 1984 *Активные угли и их промышленное применение*. (Л.: Химия). 216 с
- [10] Колышкин Д А, Михайлова К К 1972 *Активные угли. Свойства и методы испытаний*. Справочник (Л.: Химия). 56 с
- [11] Boehm H P In: Eley D D, editor, 1966 *Chemical identification of functional groups*. Advances in catalysis, V. 16, Academic Press: New York, p. 179.
- [12] Гандандорж Шийрав 2013 *Извлечение меди и молибдена сорбентами на основе окисленных углей из хвостов флотации на примере КОО «Предприятие Эрдэнэт»*. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Иркутск. 139 с
- [13] Домрачева В А и Вещева Е Н 2010 Модифицирование углеродных сорбентов для повышения эффективности извлечения тяжелых металлов из сточных вод и техногенных образований. *Вестник ИРГТУ. №4. С. 134-138*
- [14] Домрачева В А 2006 *Извлечение металлов из сточных вод и техногенных образований: Монография* (Иркутск: Издательство ИРГТУ). 152 с
- [15] Фенелонов А Д 1995 *Пористый углерод* (Новосибирск). 321 с

Закономерности внутренних течений водных прямолинейных потоков

Дружинина Т.Я., Гладких А.М., Конюхов В.Ю.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail: Nastenasaygladcih@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматриваются внутренние течения прямолинейных потоков, их классификация и параметры для понимания закономерности этих потоков, чтобы в последующем использовать эти знания в жизни.

1. Введение

В прямолинейных водных потоках создаются винтообразные внутренние течения. Четкой классификации внутренних течений пока не существует. Именно этот фактор не позволяет получить более надежные выводы для дальнейшего изучения. А. И. Лосиевский выделил четыре типа внутренних течений. Л. Д. Козыренко рассматривает структуру внутренних течений с учётом числа Рейнольдса и отношения ширины желоба к глубине потока [7-16].

2. Результаты исследования и их анализ

Делая оценку водного потока, с точки зрения чисел Рейнольдса и Фруда структура внутренних течений рассматривается более правильно, так как учитывается режим и состояние потока. Классификация внутренних течений представлена в табл. 1.

Таблица 1. К классификации внутренних течений.

Состояние	Режим			
	ламинарный	1 переходный	2 переходный	турбулентный
Спокойное, $Fr < 1$	1	2	3	4
Критическое, $Fr = 1$	5	6	7	8
Бурное, $Fr > 1$	9	10	11	12

При этом переходный режим поделён на два переходных.

$Re = 300 \div 1000$; 2 переходной $Re = 1000 \div 3400$. Условное деление объясняется тем, что в этих пределах чисел Рейнольдса законы движения жидкости не одинаковы. Именно для того, чтобы внутренняя структура водных потоков была более реальной переходный режим делится на два режима. А. И. Лосиевский, Л. Д. Козыренко, Е. М. Минский сделали акцент на классификации спокойных потоков (табл. 1, клетки 1÷4).

Условия опытов составлялись с таким расчётом, чтобы в клетках по горизонтали были постоянными числа Фруда, а числа Рейнольдса увеличивались соответственно режиму потока. Для водных потоков, которым соответствуют вертикальные клетки (например, 1, 5, 9), сохранялись числа Рейнольдса, а числа Фруда росли от величины менее единицы до величины большей единицы [2, 5, 17-21].

В опытах использовался стальной прямоугольный желоб шириною 85, высотой 50 мм, длиной 4000 мм. Рабочая поверхность его покрывалась эпоксидной смолой, имела гладкий вид и смачивалась водой. Перед пуском воды в желоб участок его в конце площадью около 100 см^2 покрывался акварельной тёмной краской. После пуска воды

краска смывалась и формировалась вблизи дна в виде полос. Последние были параллельны друг другу и желобу. Считалось, что причиной образования полос являлись внутренние течения, каждое из которых вымывало краску под собой, постепенно концентрируя её в местах контакта соседних внутренних течений [22-24]. Полоса от краски между расходящимися течениями на дне исчезала быстрее, чем полосы между сходящимися течениями. В связи с этим горизонтальный размер поперечного сечения внутренних течений $2a$ принимался по наиболее близким полосам краски. В некоторых опытах, когда уклон желоба и скорость водного потока были небольшими – применяли зерна марганцевокислого калия, которые делали более видимое окрашивание полос. Внешний вид полос фиксировали фотографиями, а расстояние между полосами измеряли с помощью линейки на самом желобе.

Таблица 2. Результаты исследований внутренних течений водных прямолинейных потоков.

Пара-метр	Состояние			Пара-метр	Состояние		
	бурное	критическое	спокойное		бурное	критическое	спокойное
Ламинарный режим				2-й переходной режим			
Fr	4.5	1.0	0.12	Fr	4.2	1.0	0.12
Re	180	183	180	Re	1800	1790	1820
H	0.09	0.15	0.3	H	0.43	0.69	1.4
V	20.0	12.2	6.0	V	42.0	26.0	13.0
a/b	2.2	1.9	2.0	a/b	0.91	0.72	0.86
2a	0.2	0.2-0.25	0.5-0.7	2a	0.2	0.25	0.5-0.6
S	0.014	0.031	0.16	S	0.035	0.073	0.33
1-й переходной режим				Турбулентный режим			
Fr	4.2	1.0	0.12	Fr	5.0	1.0	0.11
Re	600	670	630	Re	7000	6800	7500
H	0.22	0.37	0.7	H	1.0	1.7	3.5
V	30.0	18.0	9.0	V	70.0	40.0	20.0
a/b	0.91	0.72	0.86	a/b	1.0	0.71	0.86
2a	0.2	0.2-0.3	0.5-0.7	2a	0.2	0.25	0.5-0.7
S	0.035	0.073	0.33	S	0.035	0.073	0.33

Примечание. Глубина H в см; скорость V в см/сек; площадь поперечного сечения одного внутреннего течения S в см^2 ; a и b – горизонтальная и вертикальная полуоси поперечного сечения внутреннего течения в см.

Вертикальную полуось били размер $2b$ поперечного сечения внутреннего течения экспериментально не измеряли, а принимали из-за факторов, описанных ниже. Часть опытов проводилась с использованием тонких водных потоков, в которых глубина H была меньше горизонтального размера поперечного сечения внутренних течений $2a$ или равна ему [25].

При этом возможная форма их могла быть только в виде эллипса с горизонтальной большей осью или в виде окружности. А поэтому в этих случаях принималось, что движение внутренних течений однослойное и $2b=H$. Чтобы подтвердить однорядную структуру внутренних течений в водный поток опускали крупные кристаллы марганцевокислого калия. Это же подтверждается исследованиями Лосиевского, который величину $2b$ в водном прямолинейном потоке определял экспериментально. Выявление величины $2b$, когда $H > 2a$, описано ниже.

Результаты исследования представлены в табл. 2 (при больших числах Рейнольдса фотографии следов получились недостаточно чёткими по техническим причинам; отдельные искривления следов объясняются местной несмачиваемостью дна желоба).

Таблица 3. Параметры внутренних течений по данным А. И. Лосиевского (спокойное состояние).

Параметр		Значение параметров								Сред- нее	
Ламинарныйрежим											
Fr	0.090	0.03	0.01								
Re	208	75	192								
H	0.4	0.3	0.8								
V	6.0	3.0	3.0								
a/b	32.5	43	16.3								31
S	4.1	3.0	8.1								5.1
1-й переходнойрежим											
Fr	0.24	0.045	0.021	0.0065		0.003	0.0022				
Re	609	428	813	332		640	806				
H	0.6	0.8	1.7	1.4		3.0	4.0				
V	12.0	6.0	6.0	3.0		3.0	3.0				
a/b	21.7	16.3	7.6	9.3		4.3	3.3				10
S	6.1	8.1	17.3	14.3		30.5	40.7				19.7
2-й переходнойрежим											
Fr	0.14	0.070	0.041	0.014	0.01	0.012	0.008	0.005	0.00076		
Re	1037	2050	3200	1130	1420	1343	1840	2498	1686		
H	1.0	2.1	3.5	6.3	8.7	3.0	4.4	6.8	11.8		
V	12.0	12.0	12.0	3.0	3.0	6.0	6.0	6.0	3.0		
a/b	13	6.2	1.9	1.0	1.5	4.3	1.5	1.0	1.1	3.5	
S	10.2	21.4	17.0	32.0	88.0	30.5	22.1	34.6	119	41.6	
Турбулентныйрежим											
Fr	0.03		0.019		0.014		0.003				
Re	4120		5567		6660		3663				
H	5.0		7.6		10.3		12.8				
V	12.0		12.0		12.0		6.0				
a/b	1.3		0.95		1.3		1.0				1.1
S	25		38		104		132				74.7

В табл.3 представлены итоги работы Лосиевского. Из последней таблицы видно, что форма поперечного сечения внутренних течений зависит от режима водного потока. В среднем для спокойных ламинарных потоков отношение большой полуоси к малой равно 31. С увеличением числа Рейнольдса это отношение уменьшается последовательно до 10; 3,5 и 1,1. Эллиптическая форма поперечного сечения внутренних течений соответствует ламинарному и переходным режимам, а форма окружности - турбулентному спокойному потоку. При этом в его исследовании были использованы только «спокойные» потоки с однослойным движением внутренних течений ($2b = H$).

В результате обработки данных табл. 3 видно, что площадь поперечного сечения внутренних течений в «спокойных» потоках одновременно зависит от чисел Re и Fr,

$$S=0,017 \sqrt[3]{\left(\frac{Re}{Fr}\right)^2}$$

С увеличением чисел Фруда площадь поперечного сечения внутренних течений уменьшается, а с ростом числа Рейнольдса - увеличивается.

Направление вращения внутренних течений у дна желоба расходящееся для водных потоков с ламинарным и первым переходным режимом. Внутренние течения водных потоков со вторым переходным режимом характеризуются как сходящимися, так и расходящимися донными струями. Турбулентным потокам (по данным Лосиевского) соответствуют вторичные течения, сходящиеся у дна.

Ламинарные спокойные (близкие к критическим), критические и бурные потоки при $Re=const$ характеризуются постоянством отношения a/b , которое в данном случае равно примерно 2 и не зависит от числа Фруда.

Чем кинетичнее водный поток при постоянном значении числа Рейнольдса, тем меньше поперечное сечение внутренних течений. Потоки с первыми переходными режимами при $Fr>0,12$ характеризуются формой поперечного сечения внутренних течений в виде окружности. Эта форма сохраняется в диапазоне спокойных потоков ($Fr=0,12-1$), при критическом состоянии ($Fr=1$) и в случае бурных потоков ($Fr>1$).

Когда режим водного потока – 2-й переходный, то при числах Фруда, относительно близких к критическому (начиная с $Fr=0,12$), оценить соотношение a/b становится труднее. Ясно только одно, что при постоянном значении числа Фруда и изменении числа Рейнольдса величина $2a=const$ (доказано опытами автора, табл.2). Каково при этом значение $2b$ неизвестно. Предположим, что здесь отношение a/b является таким

$$2b \approx \frac{H}{2}$$

же, как и в 1-м переходном режиме; тогда получается, что и внутреннее течение наблюдаются только в нижней половине водного потока. Это маловероятно, скорее всего внутренними течениями охвачено всё поперечное сечение водного потока.

$$\frac{a}{b} \approx$$

Тогда $2b=H$ и каждое внутреннее течение имеет $\frac{a}{b} \approx 0,5$ и большая ось эллипса направлена от дна к поверхности потока. В этом случае естественно возникает сомнение в устойчивости таких внутренних течений при большом градиенте скорости по глубине. Поэтому такие внутренние течения должны делиться с сохранением величины $2a$.

Характерная форма поперечных сечений внутренних течений – эллиптическая (не учитывая водные потоки с малыми числами Фруда, $Fr<0,12$) для ламинарных потоков с любым состоянием. С ростом числа Рейнольдса (1-й переходный режим) внутренние течения по форме становятся ближе к окружности. Можно предположить, что эта форма сохраняется и для 2-го переходного режима. Тогда при $Re \approx 1800$ (табл.2) водные потоки должны двигаться в два слоя внутренних течений. То же самое относится и к водным потокам со 2-м переходным режимом, состоянием критическим и бурным.

Наиболее многочисленными потоками в природе и технике являются турбулентные потоки. При $Fr=0,01 \div 0,013$ и $Re = (1 \div 3) \cdot 10^6$, по данным опытов Е. М. Минского, отношение a/b колеблется в пределах $22 \div 40$. При значениях

$Fr = 0,003 \div 0,03$ и $Re = 3600 \div 4100$ (опыты Лосиевского) и при $Fr > 1$ и $Re \approx 7500$ (табл.2) отношение a/b равно примерно единице. Здесь сталкиваемся с многослойным движением внутренних течений. При заданных параметрах водного потока (табл.2), независимо от его состояния, количество слоёв внутренних течений будет порядка пяти. Найти один из размеров поперечного сечения внутренних течений $2a$ можно с помощью формулы:

$$2a = \frac{0,31}{\sqrt[3]{Fr}}$$

Величина $2a$ определяется только числом Fr и не зависит от числа Re .

Кинетическую энергию, можно рассчитывать по формуле:

$$E_k = \frac{m V^2}{2},$$

где m - масса внутреннего течения длиной 1 см ($\rho a b r$), ρ - плотность воды.

Если не учитывать постоянные величины, то $E_k \equiv a b V^2$. Результаты опытов (табл. 4) показывают, что значение $a b V^2$ сохраняется, несмотря на то, что меняются размер внутренних течений и скорость их движения. Кинетическая энергия внутренних течений является постоянной, при постоянном расходе воды и различных углах наклона желоба.

Таблица 4. Оценка кинетической энергии внутренних течений водного потока в желобе шириной 85 мм и длиной 2400 мм.

Угол наклона желоба	H, см	V, см/сек	a , см	b , см	l , см	bV^2
Расход водного потока 220 см ³ /сек						
0°10'	1.5	17.5	1.05	0.75	230	
1°45'	0.6	43.6	0.35	0.30	200	
5°40'	0.4	65.2	0.30	0.20	250	
Расход водного потока 400 см ³ /сек						
0°10'	2.8	16.7	1.4	1.4	550	
1°45'	1.0	46.0	0.50	0.50	530	
5°40'	0.6	78.6	0.30	0.30	550	

3. Заключение

Классификация внутренних течений представлена таблице 1. У каждого водного потока определенные параметры внутренних течений. Факты деления их с увеличением чисел Рейнольдса и объяснение природы их деления на основе минимального расхода энергии на движение, уменьшения размеров с ростом числа Фруда являются очень интересными и важными закономерностями внутренней структуры водных потоков. Результаты исследований подтверждаются теорией и практикой. Ими можно объяснить многие явления происходящие в природе и использовать в своих целях.

4. Библиографический список

- [1] Ястребов К Л, Байбородин Б А, Дружинина Т Я и Надршин В В 2010 *Теоретические основы перемещения, промывки и обогащения полезных ископаемых*. Монография (Иркутск: Иркутский государственный технический университет).
- [2] Дружинина Т Я, Немаров А А и Горовой В О 2017 *Исследование конструкций и производительности центробежных насосов и насосных станций для флотационного обогащения наноразмерных сред*. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. № 2 (54). С. 44-49.
- [3] Иванчик Н Н, Лебедев Н В и Кондратьев В В 2016 *Конусный ударный истирающий измельчитель материалов и применяемые механизмы*. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. № 3 (51). С. 44-48.
- [4] Дружинина Т Я, Немаров А А и Небогин С А 2016 *Основные типы конструкций отсадочных машин*. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. № 3 (51). С. 88-92.
- [5] Nemarov A, Lebedev N, Kondrat'ev V, Korniyakov M and Karlina A 2016 *Theoretical and experimental research of parameters of pneumatic aerators and elementary cycle flotation*. International Journal of Applied Engineering Research. T. 11. № 20. pp. 10222-10226.
- [6] Кондратьев В В, Немаров А А, Иванов Н А, Карлина А И и Иванчик Н Н 2015 *Теория и практика процессов флотационного обогащения наноразмерных сред*. Иркутский национальный исследовательский технический университет. Иркутск.
- [7] Ястребов К Л, Кондратьев В В, Иванов Н А, Дружинина Т Я и Карлина А И 2015 *Теория и практика прикладной гидроаэромеханики в обогащении полезных ископаемых и металлургии (г. Иркутск)*.
- [8] Kondratiev V V, Govorkov A S, Kolosov A D, Gorovoy V O and Karlina A I 2017 *The development of a test stand for developing technological operation flotation and separation of md2. The deposition of nanostructures md1 produce nanostructures with desired properties*. International Journal of Applied Engineering Research. T. 12. № 22. pp. 12373-12377.
- [9] Kondratiev V V, Nebogin S A, Sysoev I A, Gorovoy V O and Karlina A I 2017 *Description of the test stand for developing of technological operation of nano-dispersed dust preliminary coagulation*. International Journal of Applied Engineering Research. T. 12. № 22. pp. 12809-12813.
- [10] Немаров А А, Иванов Н А, Лебедев Н В, Кондратьев В В и Карлина А И 2016 *Устройство флотационного разделения смеси нано- и микроструктур*. Патент на изобретение RU 2638600 20.09.2016.
- [11] Немаров А А, Иванов Н А, Лебедев Н В, Кондратьев В В и Карлина А И *Способ сортировки породы (варианты)*. патент на изобретение RU 2617797 07.04.2016.
- [12] Кондратьев В В, Карлина А И, Иванчик Н Н, Николаев В Н и Иванов Н Н 2015 *Развитие и совершенствование математической модели динамики капель и газовых пузырьков в жидкости*. Наука, техника, инновации. С. 269-274.
- [13] Карлина А И 2015 *Изучение структуры внутренних течений и волнового движения водного и взвешенного потока*. Вестник Иркутского государственного технического университета. № 4 (99). С. 137-145.
- [14] Карлина А И 2015 *Изучение гидродинамики гравитационного обогащения полезных ископаемых*. Вестник Иркутского государственного технического университета. № 3 (98). С. 194-199.
- [15] Карлина А И 2015 *Совершенствование математических моделей гравитационного обогащения полезных ископаемых из результатов опыта отечественных и зарубежных*

исследований. Вестник Иркутского государственного технического университета. № 1 (96). С. 118-124.

[16] Карлина А И 2015 *Изучение механизма процесса гравитационного обогащения и совершенствование математических моделей процессов*. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 2 (97). С. 168-173.

[17] Карлина А И 2015 *Анализ современных и перспективных способов воздействия на природные и сточные воды*. Вестник Иркутского государственного технического университета. № 5 (100). С. 146-150.

[18] Карлина А И 2015 *Расчет производительности промывочных машин и устройств*. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. № 1 (45). С. 54-62.

[19] Карлина А И 2014 *Изучение и совершенствование математических моделей гравитационного обогащения полезных ископаемых*. Вестник Иркутского государственного технического университета. № 11 (94). С. 211-216.

[20] Kondratiev V V, Kolosov A D, Gorovoy V O, Nebogin S A, Elkin K S 2018 *Resource-saving technology of obtaining nanosilica*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Volume 411 conference proceedings. 2018. p. 012036.

[21] Kondratiev V V, Nebogin S A, Kolosov A D, Gorovoy V O, Nemarov A A 2018 *Capabilities of use of dry separation of microsilica to obtain target products*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Volume 411 conference proceedings. 2018. p. 012037.

[22] Ястребов К Л, Дружинина Т Я, Надршин В В и Карлина А И 2014 *Подготовка и очистка природных и сточных вод*. Монография (Иркутск: Иркутский государственный технический университет).

[23] Карлина А И 2014 *Исследование работы гидроэлеваторов и безнапорного самотечного транспорта*. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. № 4 (44). С. 62-69.

[24] Карлина А И 2014 *Применение процесса мокрого рудного самоизмельчения для дезинтеграции глины и песков металлоносных россыпей*. Вестник Иркутского государственного технического университета. № 10 (93). С. 189-195.

[25] Yastrebov K L, Dykusov G E and Karlina A I 2014 *Elaboration of technology and the way of reagent free complex preparation and purification of natural water & sewage*. Science and Education. pp. 392-401.

Феноменологический подход и построение математических моделей гравитационных и гравитационно-центробежных процессов обогащения руд и песков

Дружинина Т.Я., Гладких А.М., Конюхов В.Ю.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail: Nastenasaygladcih@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрен феноменологический подход и построение математических моделей гравитационных и гравитационно-центробежных процессов обогащения руд и песков. Полученные модели являются базой для создания гравитационно-центробежных аппаратов и устройств обогащения полезных ископаемых. Для проектирования и

управления процессами переработки горного сырья используют феноменологические модели процессов.

1. Введение

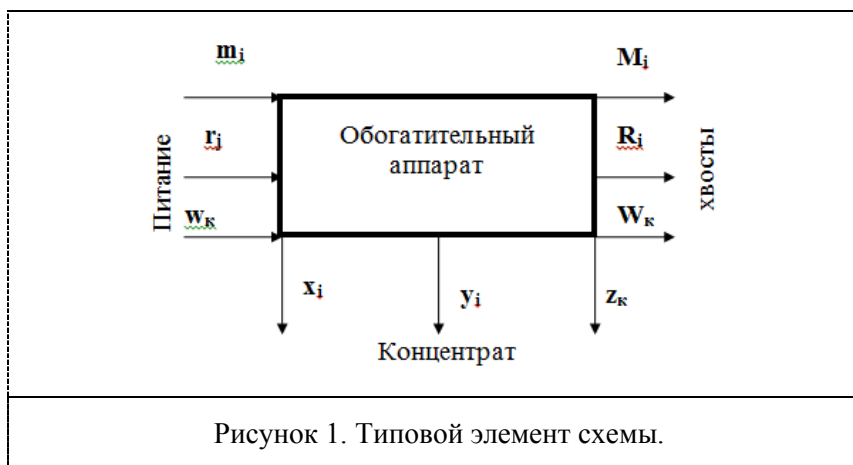
Расширено представление о расслоении зернистого слоя, а также механизм его расслоения расширено благодаря, анализу современных гипотез и моделей взвесенесущего потока. При этом физические условия разделения задаются входными параметрами процесса: характеристиками разделяемого материала, аппарата, технологического режима. Образуется цепочка: входные параметры - физические условия разделения - результаты разделения. Чтобы управлять каждым элементом процесса разделения и расслоения, улучшать методы управления, разрабатывать конструкцию аппаратов и устройств необходимо понимать связи между этими элементами. Для определения указанных связей важно иметь разработанную модель изучаемых и оптимизированных процессов. Понятие математической модели можно рассмотреть как зависимость между параметрами процесса, выведенная с помощью теории или экспериментов. Хотя математическая модель и не описывает все свойства процесса, который мы изучаем, но точность является достаточной. При описании любых процессов или явлений можно использовать большое количество моделей, которые отличаются точностью [1-10, 23]. Необходимо, чтобы модель подходила под определённую поставленную задачу, в конкретном случае: физические закономерности и каким образом воздействует конструкция оборудования, чтобы увеличивалась добыча полезных ископаемых с помощью технического и технологического управления процессами, а также не забывать про физические и математические ограничения. Математическая модель положительно влияет практически на все составляющие работы. Например, помогает: уменьшить план исследовательских работ, работать изменять конструктивные особенности оборудования в лучшую сторону и понимать для чего это делается, выбирать такой режим процесса, который подходит именно для этой ситуации и возможность управлять процессами, с помощью созданной системы.

2. Материалы и методы

3. Составляя модели, используют аналитический подход. Чтобы объяснить получаемые результаты с различных сторон, недостаточно только законов, необходимо понимать причину этих результатов. Закономерность оправдана в широком диапазоне изменения независимых переменных [11-18, 22].

4. Результаты исследования и их анализ

Выделим три монофазы (рис. 1): ценный минерал (m-mineral), пустая порода (r-rock) и вода (w-water). При наличии различных минеральных форм полезного минерала, породы и различных компонентов воды введём i- монофаз полезного минерала, j- породы, k - воды.



Выполним моделирование количественных потоков, а не их относительных содержаний. За основу возьмём модель идеального смешения: $dc/dt = (q/S) \cdot [C_{вх}(t) - C(t)]$, где q - объёмный

расход материала; C - концентрация вещества; t - время; S - объём аппарата или размер разгрузочного элемента [1, 13, 17-23]. Получим модель гравитационного процесса одного аппарата и отрицательного источника массы (выхода концентрата):

$$SdC/dt = q_{BX}C_{BX} - qC - S_{CK}.$$

В установившемся режиме:

$$q_{BX}C_{BX} - qC - S_{CK} = 0.$$

Среднее время пребывания пульпы в аппарате $\tau = S/q$, тогда $q_{BX}C_{BX}/q - C - \tau C_k = 0$ и $C = (q_{BX}C_{BX}/q)/(1 + \tau k)$. Извлечение в хвосты $\varepsilon_{XB} = Cq/(C_{BX} \cdot q_{BX}) = 1/(1 + \tau k)$, извлечение в концентрат $\varepsilon_K = 1 - \varepsilon_{XB} = 1/[1 + 1/(\tau k)]$. Управляя расходом смывной воды q_w , наклоном рабочей поверхности μ и расположением отсекающих продуктов обогащения q_B , влияем на $k = (q_{w1}, q_{w2}, \dots, q_{wn}, q_B, \mu)$. Подавая дополнительные продукты (циркуляция промпродуктов), изменяем q_{BX} , то есть $\tau = \tau(q_{BX1}, q_{BX2}, \dots)$.

Тогда $\varepsilon_{K-T} = [1 + 1/\tau(q_{w1}, q_{w2}, \dots, q_{wn}, q_B, \mu)]^{-1}$. При выполнении обогащения дисперсного сырья наблюдается: формирование свойств частиц при V_p - скорости расслоения по плотности отдельных монофаз; формирование потока монофаз (всера минералов); формирование потока концентрата; формирование потока пульпы в концентрат. Потенциально возможное количество монофаз в концентратном потоке:

$$m_i' = m_i(1 + V_{pi} \cdot Q/S)^{-1};$$

$$r_j' = r_j(1 + V_{pj} \cdot Q/S)^{-1};$$

$$\omega_k' = \omega_k(1 + V_{pk} \cdot Q/S)^{-1};$$

$$\omega_k' = \omega_k(1 + V_{pk} \cdot Q/S)^{-1}.$$

При этом объёмный поток пульпы:

$$Q = \sum_i \frac{m_i}{\rho_i} + \sum_j \frac{r_j}{\rho_j} + \sum_k \frac{w_k}{\rho_k},$$

где ρ - плотность монофазы.

Из-за чрезмерного турбулентного перемешивания взвешенного слоя минеральных частиц и попадания в конечный продукт нерасслоившийся материал продукт обогащения является засорённым.

Уравнение движения для каждого структурного элемента взвеси: $M(dV/dt) = F_r + P + F_m$, где: M - масса элемента; F_r , P , F_m - соответственно гидростатическая сила, сила давления и сила механических сопротивлений; W - объём элемента; ρ_3 - относительная плотность элемента; ρ_{cm} - локальная относительная плотность взвеси, окружающей элемент; g - ускорение силы тяжести; ζ - коэффициент сопротивления; ℓ - характерный размер элемента; $V_{от}$ - относительная скорость обтекания элемента жидкостью; ρ - плотность жидкости, при этом [1]:

- масса элемента взвеси

$$M = W(\rho_3 + 1) \cong l^3(\rho_3 + 1),$$

- гидростатическая сила

$$F_r = W(\rho_3 - \rho_{cm}) \cdot g$$

- сила давления потока

$$P = \zeta \ell^2 V_{от} \cdot \rho$$

- сила механических сопротивлений

$$F_m = f(m, d, K_\phi, \ell)$$

- коэффициент формы зерна или элемента $K_{\phi}=4,87(\pi d^3/6)^{2/3}S_3^{-1}$

здесь: S_3 - поверхность зерна неправильной формы; d - диаметр зерна; m - разрыхление взвеси. Коэффициент формы K_{ϕ} представляет собой отношение поверхности равновеликого шара (эквивалентного диаметру зерна d_3) к поверхности самого зерна неправильной формы. Если M_3 - масса зерна; ρ_r - плотность зерна, эквивалентный диаметр $d_3=1.24(M_3/\rho_r)^{1/3}$. Ниже приводятся усреднённые значения коэффициента формы K_{ϕ} :

- шарообразные зёрна 1,0
- округлые, окатанные частицы 0,8-0,9
- угловатые частицы 0,7-0,8
- пластинчатые частицы 0,6-0,7

После несложных преобразований получим:

$$dV/dt=[\rho_3-\rho_{cm})\ell^2V_{от}p+f(m,d,k_{\phi}\ell)]+[\ell^3(\rho_3+1)],$$

где числитель правой части есть сумма действующих сил.

Промывочные устройства не могут улавливать мелкое, тонкое и тонкодисперсное золото. Конструкции новых устройств - шлюзы с угловым профилем днища с непрерывным выводом концентрата помогут решить проблемы.

При промывке и обогащении песков россыпных месторождений до последнего времени интенсивно извлекались лишь крупные фракции и классы тяжелых ценных минералов и благородных металлов. Учитывая низкую эффективность промывки песков, съём уловленной тяжелой фракции и сполоск улавливающих поверхностей шлюзов глубокого и мелкого наполнения один реже два раза в сутки, имеем в наличии большие потери и снос (смыв) в отвалы тяжелой фракции минералов и зёрен благородных металлов. Но месторождения крупнозернистых полезных компонентов, золота и платины быстро отрабатываются, а технологии добычи мелко- и тонкозернистого ценного компонента, разработанной достаточно подробно, нет.

Крупномасштабные рудные месторождения, в частности, золота освоены лишь немногими предприятиями, а мелкомасштабные осваиваются исключительно медленно ввиду необходимости больших капитальных затрат. Не разрабатываются месторождения относительно бедных руд, отдельные мелкие рудопроявления, эпигенетические месторождения, глубоко погребённые вечно мёрзлые россыпи золота и платины. Большое количество золота остаётся в различных минерально-сырьевых отходах, из которых золото извлекать в данный момент невыгодно, либо отсутствует достаточно разработанная технология извлечения этого компонента. Остаются нетронутыми золоторудные месторождения, содержащие сульфидно-мышьяковистые руды, подступиться к которым можно только с новыми наукоёмкими, экологически чистыми технологиями. В России возможно развитие новой, нетрадиционной сырьевой базы производства золота. Она свою очередь требует создания соответствующей нетрадиционной технологии добычи и извлечения ценных полезных ископаемых. Прямое заимствование зарубежной практики, как показали уже реализованные попытки, невозможно в силу даже национальных традиций, уровня техники, состояния сырьевой базы и системы обеспечения.

Выше указанное настоятельно требует предпринять попытки создания и разработки технологий и оборудования следующего поколения.

5. Обсуждение

Использование для разрыхленного зернистого слоя одновременно нескольких видов возмущений, направленных взаимно перпендикулярно (гетерогенное псевдооживление) – один из эффективных способов улучшения разделения минеральных. Расслоение взвешенного слоя осуществляется в процессе его турбулентного перемешивания, которое может быть использовано для повышения качества, точности разделения и ускорения всего процесса обогащения горного сырья и дополнено воздействием центробежной силы, вызывающей дополнительные продольные и поперечные циркуляции, разрушающие агрегаты и пакеты минеральных частиц и снижающие степень солидарности осаждения [1, 24-25].

По аналогии с выше сказанным, для частиц твёрдого, движущихся в потоке взвеси в поле гравитационной и центробежной сил, можно составить уравнение движения:

$$M dV/dt = R_i = (1/\sin \alpha) (F_r + G \cos \alpha - P - C \sin \alpha) + F_m,$$

где R_i – равнодействующая всех сил, действующих на твёрдую частицу; ρ_r – плотность частиц твёрдой фазы; C_T – объёмная концентрация твёрдой фазы; V – скорость движения частицы; V_0 – гидравлическая крупность; M – масса частицы; D_i – диаметр, на округлости которого находится в данный момент dt времени твёрдая частица; α – угол между вектором силы тяжести G и касательной к траектории движения в точке нахождения в данный момент t времени частицы, при этом:

- гидравлическая сила $F_r = (\pi d^3/6)[(\rho_r/\rho) - (1/\rho) \cdot (\rho_r C_T + (1 - C_T)\rho)]$,
- сила давления потока $P = \zeta d^2 (V/V_0)^2 \rho$,
- центробежная сила $C = M \omega^2 R_i = (a/g)(\pi n/30)^2 D_i^2/2$,
- сила тяжести $G = Mg \cong g d^3 [(\rho_r/\rho) + 1]$.

После несложных преобразований получим:

$$dV/dt = R_i/[d^3(\rho_r/\rho + 1)] = [F_r + G \cos \alpha - P - C \sin \alpha + F_m \sin \alpha]/[d^3(\rho_r/\rho + 1) \sin \alpha]$$

6. Заключение

Данные математические модели позволяют более рационально подойти к решению технологических и конструкторских проблем по совершенствованию процесса и оборудования гравитационного и гравитационно-центробежного обогащения дисперсных твёрдых полезных ископаемых.

Библиографический список

- [1] Мельников В.В., Роговой А.Н., *Изучение применимости феноменологического подхода для построения математических моделей гравитационных и гравитационно - центробежных процессов обогащения руд и песков* // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2008. № 3 (35). С. 196-199.
- [2] Kondratiev V V, Govorkov A S, Kolosov A D, Gorovoy V O and Karlina A I 2017 *The development of a test stand for developing technological operation flotation and separation of md2. The deposition of nanostructures md1 produce nanostructures with desired properties*. International Journal of Applied Engineering Research. T. 12. № 22. pp. 12373-12377.

- [3] Kondratiev V V, Nebogin SA, Sysoev IA, Gorovoy VO and Karlina AI 2017 *Description of the test stand for developing of technological operation of nano-dispersed dust preliminary coagulation*. International Journal of Applied Engineering Research. Т. 12. № 22. pp. 12809-12813.
- [4] Немаров А А, Иванов Н А, Лебедев Н В, Кондратьев В В и Карлина А И 2016 *Устройство флотационного разделения смеси нано- и микроструктур*. Патент на изобретение RUS 2638600 20.09.2016.
- [5] Nemarov A, Lebedev N, Kondrat'ev V, Korniyakov M and Karlina A 2016 *A theoretical and experimental research of parameters of pneumatic aerators and elementary cycle flotation*. International Journal of Applied Engineering Research. Т. 11. № 20. pp. 10222-10226.
- [6] Кондратьев В В, Немаров А А, Иванов Н А, Карлина А И и Иванчик Н Н 2015 *Теория и практика процессов флотационного обогащения наноразмерных сред*. Иркутский национальный исследовательский технический университет. Иркутск.
- [7] Ястребов К Л, Кондратьев В В, Иванов Н А, Дружинина Т Я и Карлина А И 2015 *Теория и практика прикладной гидроаэромеханики в обогащении полезных ископаемых и металлургии* (г. Иркутск).
- [8] Кондратьев В В, Карлина А И, Иванчик Н Н, Николаев В Н и Иванов Н Н 2015 *Развитие и совершенствование математической модели динамики капель и газовых пузырьков в жидкости*. Наука, техника, инновации. С. 269-274.
- [9] Карлина А И 2015 *Изучение структуры внутренних течений и волнового движения водного и взвешенного потока*. Вестник Иркутского государственного технического университета. № 4 (99). С. 137-145.
- [10] Карлина А И 2015 *Изучение гидродинамики гравитационного обогащения полезных ископаемых*. Вестник Иркутского государственного технического университета. № 3 (98). С. 194-199.
- [11] Карлина А И 2015 *Совершенствование математических моделей гравитационного обогащения полезных ископаемых из результатов опыта отечественных и зарубежных исследований*. Вестник Иркутского государственного технического университета. № 1 (96). С. 118-124.
- [12] Карлина А И 2015 *Изучение механизма процесса гравитационного обогащения и совершенствование математических моделей процессов*. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 2 (97). С. 168-173.
- [13] Карлина А И 2015 *Анализ современных и перспективных способов воздействия на природные и сточные воды*. Вестник Иркутского государственного технического университета. № 5 (100). С. 146-150.
- [14] Карлина А И 2015 *Расчет производительности промывочных машин и устройств*. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. № 1 (45). С. 54-62.
- [15] Карлина А И 2014 *Изучение и совершенствование математических моделей гравитационного обогащения полезных ископаемых*. Вестник Иркутского государственного технического университета. № 11 (94). С. 211-216.
- [16] Ястребов К Л, Дружинина Т Я, Надршин В В и Карлина А И 2014 *Подготовка и очистка природных и сточных вод*. Монография (Иркутск: Иркутский государственный технический университет).
- [17] Карлина А И 2014 *Применение процесса мокрого рудного самоизмельчения для дезинтеграции глины и песков металлоносных россыпей*. Вестник Иркутского государственного технического университета. № 10 (93). С. 189-195.

- [18] Yastrebov K L, Dykusov G E and Karlina A I 2014 *Elaboration of technology and the way of reagent free complex preparation and purification of natural water & sewage*. Science and Education. pp. 392-401.
- [19] Карлина А И 2014 *Исследование работы гидроэлеваторов и безнапорного самотечного транспорта*. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. № 4 (44). С. 62-69.
- [20] Дружинина Т Я, Немаров А А и Горовой В О 2017 *Исследование конструкций и производительности центробежных насосов и насосных станций для флотационного обогащения наноразмерных сред*. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. № 2 (54). С. 44-49.
- [21] Иванчик Н Н, Лебедев Н В и Кондратьев ВВ 2016 *Конусный ударный истирающий измельчитель материалов и применяемые механизмы*. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. № 3 (51). С. 44-48.
- [22] Дружинина ТЯ, Немаров АА и Небогин СА 2016 *Основные типы конструкций отсадочных машин*. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. [№ 3 \(51\)](#). С. 88-92.
- [23] Ястребов К Л, Байбородин Б А, Дружинина Т Я и Надршин В В 2010 *Теоретические основы перемещения, промывки и обогащения полезных ископаемых*. Монография (Иркутск:Иркутский государственный технический университет).
- [24] Kondratiev VV, Kolosov AD, Gorovoy VO, Nebogin SA, Elkin KS 2018 *Resource-saving technology of obtaining nanosilica*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Volume 411 conference proceedings. 2018. p. 012036.
- [25] Kondratiev V V, Nebogin S A, Kolosov A D, Gorovoy V O, Nemarov A A 2018 *Capabilities of use of dry separation of microsilica to obtain target products*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Volume 411 conference proceedings. 2018. p. 012037.

Элиминирование нитратов в микробных топливных элементах

Жданова Г.О.¹, Стом Д.И.^{1,2,3}, Азаренко Е.В.¹

Иркутский государственный университет, Россия¹

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия²

Байкальский музей Иркутского научного центра, Россия³

Аннотация. В работе обсуждается возможность удаления нитрат-ионов в катодных процессах биотопливных элементов. Показано повышение эффективности работы БТЭ на основе штамма *Micrococcus luteus* (1-и), выделенного из активного ила очистных сооружений Ангарского нефтехимического комбината (Россия, г. Ангарск), при замене кислорода (наиболее типичного акцептора электронов в технологии БТЭ) на нитрат. Так, мощность БТЭ с кислородным катодом в 97-часовом эксперименте достигала 113 ± 49 мкВт, в то время как с нитратным – в 4 раза больше (450 ± 19 мкВт). Генерирование электричества сопровождалось восстановлением нитрата в катодите БТЭ.

1. Введение

Широкое использование в горнодобывающей промышленности нитрата аммония и азотной кислоты обуславливает риск загрязнения близлежащих водных объектов нитратами [1]. Удаление этих ионов из сточных вод является серьезной проблемой в системах биологической очистки, не только промышленных, но и хозяйственно-бытовых и

сельскохозяйственных сточных вод. При применении классических методов биологической очистки при выходе с очистных сооружений нередко фиксируется повышенное содержание нитратной формы азота [2]. В связи с этим поиск путей эффективного удаления нитратов из сточных вод является важной экологической задачей. В последние годы в условиях истощения природных энергоносителей активное развитие получила альтернативная энергетика [3, 4]. Одним из направлений в этой области исследований является технология биологических топливных элементов (БТЭ). Перспективы этого подхода значительные [5-9]. Он решает одновременно две важнейшие проблемы – экологическую (необходимость переработки отходов, очистки сточных вод, удаления загрязнителей из различных сред) и энергетическую, поскольку позволяет получать электрическую энергию в процессах биоокисления различных соединений. Микроорганизмы-биоагенты, окисляя различные компоненты сточных вод и отходов, обеспечивают поступление высвобождающихся в ходе этого электронов на анодный электрод. При замыкании его с катодом происходит переход электронов с анода на катод [10]. Для успешной работы БТЭ в католите должно обеспечиваться эффективное снятие электронов с электрода на конечный акцептор. Из-за высокого окислительно-восстановительного потенциала и относительной легкости получения кислорода является на практике наиболее часто применяемым электронным акцептором для катодной реакции. Исследования катодов, в которых кислород используется в качестве электронного акцептора, вызвали повышенный интерес из-за их устойчивой высокой производительности электроэнергии по сравнению с химическим катодом [11]. Тем не менее, большинство исследований показывают, что подача кислорода в катодное отделение является энергоемким процессом, что экономически нецелесообразно [11]. В таком случае БТЭ потребляют объемы энергии, сопоставимые с производимыми.

Поэтому существует заинтересованность в альтернативных акцепторах электронов [12]. Ими могут также выступать ионы металлов переменной валентности, перхлорат, персульфат, азокрасители, хлорфенолы, нитробензол и пр. [11, 13]. Использование альтернативных акцепторов электронов может не только увеличить выработку электроэнергии и снизить эксплуатационные расходы, но и расширяет сферу применения БТЭ. Так как окислительно-восстановительные потенциалы нитрата и кислорода очень близки друг к другу, нитрат может быть использован в качестве акцептора электронов в катодном отделении [11]. Целью данной работы явился анализ эффективности работы БТЭ на основе штамма *Micrococcus luteus* (1-и), выделенного из активного ила очистных сооружений Ангарского нефтехимического комбината (РФ, г. Ангарск), при использовании в качестве катодного акцептора электронов нитрата.

2. Материалы и методы исследования

Конструкция используемых в работе БТЭ подробно описана в [14]. Электродами служила углеродную ткань «Урал Т-22Р А» (ОАО «СветлогорскХимволокно» Республика Беларусь). Размер электрода составлял 16 × 4 см. В качестве анодного биоагента использовали штамм *Micrococcus luteus* (1-и), выделенный из активного ила очистных сооружений Ангарского нефтехимического комбината (Россия, г. Ангарск). Основной рабочей средой в БТЭ являлась стерильная модельная сточная вода [14]. Стерилизацию проводили автоклавированием при 1 атм в течение 45 мин. Перед началом работы обе камеры БТЭ стерилизовали 3%-ным раствором перекиси водорода в течение 20 мин. После этого каждый отсек БТЭ промывали стерильной водой, чтобы удалить остатки H_2O_2 , и помещали под ультрафиолет на 15 мин. Далее с соблюдением всех правил асептики заполняли камеры БТЭ модельной сточной водой полностью до самого верха, чтобы выместить воздух из камеры. В экспериментах с использованием кислорода в качестве акцептора электронов, катодную камеру заполняли так, чтобы уровень воды был на 2-3 см ниже верхнего уровня отсека – для возможности аэрирования католита. Через специальные отверстия в верхней части БТЭ помещали электроды из углеродной ткани, которые фиксировали резиновыми пробками, плотно прилегающими к оргстеклу. В анодную камеру исследуемых БТЭ при помощи стерильного шприца через специальную резиновую заглушку в боковой части камеры вносили суспензию *M. luteus* (1-и) и субстрат (пептон 0,5 г/л). Содержимое катодной камеры БТЭ продували аргоном в течение 10 мин для вытеснения кислорода, после чего шприцем вносили нитрат-ионы в виде соли KNO_3 с

концентрацией 0,1 г/л. В катодах, в которых в качестве акцептора электронов выступал кислород, осуществляли искусственную продувку компрессором «DezzieD-044» (КНР). Концентрацию нитрат-ионов в католите исследуемых БТЭ измеряли фотометрическим методом с салициловой кислотой в соответствии с ПНД Ф 16.1:2.2.2:3.67-10. Отбор проб католита для анализа осуществляли также при помощи стерильного шприца без нарушения стерильности и анаэробных условий в католите [15, 16]. Измерение генерируемого напряжения проводили непрерывно в автоматическом режиме. Потенциал регистрировали при помощи системы, сконструированной на основе микропроцессорной платы "ArduinoMega 2560" (микроконтроллер ATmega 2560). Она позволяла одновременно считывать данные с 16 БТЭ каждые 5 мин эксперимента. Силу тока регистрировали при помощи мультиметра «DT-266» (КНР). Измеряя напряжение и силу тока в экспериментах, рассчитывали мощность БТЭ (мкВт): $P = U \times I$. Статистическая обработка экспериментальных данных была проведена с использованием пакета программ MicrosoftOffice. Выводы сделаны при вероятности безошибочного прогноза $P > 0,95$.

3. Результаты и обсуждения

Эксперименты показали более высокую эффективность работы БТЭ с NO_3^{2-} в качестве акцептора электронов по сравнению с БТЭ на основе кислородного катода. Так, БТЭ, содержащий в катодном пространстве в качестве акцептора электронов кислород, в течение 97 часов генерировал напряжение до 193 ± 12 мВ. При этом сила тока возрастала до 782 ± 17 мкА. В то же время в БТЭ с катодом, содержащим нитрат в качестве акцептора электронов, за аналогичный промежуток времени наблюдали более высокий прирост электрических показателей БТЭ – напряжения до 402 ± 30 мВ, силы тока – 1140 ± 44 мкА (Рисунок 1).

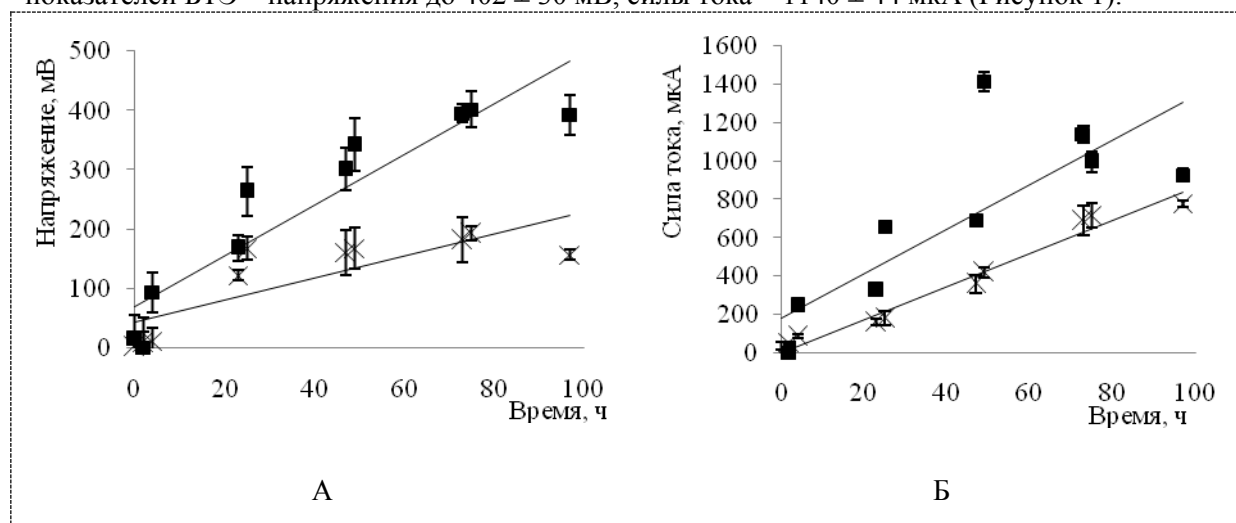
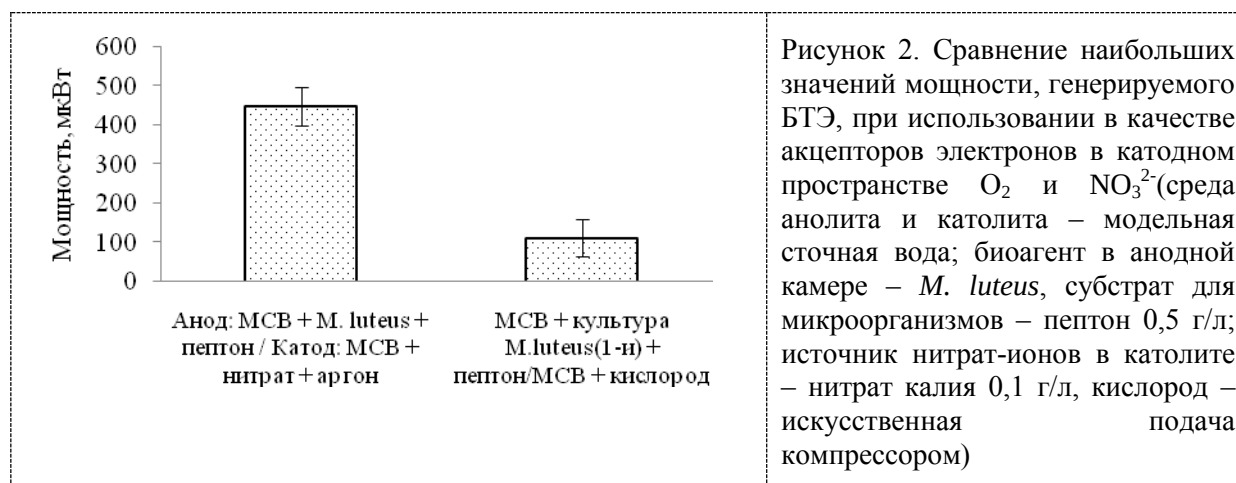


Рисунок 1. Динамика напряжения (А) и силы тока (Б), генерируемого в БТЭ при использовании в качестве акцепторов электронов в катодном пространстве O_2 и NO_3^{2-} (среда анолита и католита – модельная сточная вода; биоагент в анодной камере – *M. luteus*, субстрат для микроорганизмов – пептон 0,5 г/л; источник нитрат-ионов в католите – нитрат калия 0,1 г/л, кислород – искусственная подача компрессором). ■ – акцептор электронов в катод – нитрат; × – акцептор электронов в катод – кислород

Производили расчет максимальной мощности исследуемых БТЭ. Полученные данные наглядно демонстрируют повышение мощностных характеристик БТЭ с нитратным катодом по сравнению с кислородным. Так, при использовании в качестве акцептора электронов в катод БТЭ кислорода генерируемая мощность достигала 113 ± 49 мкВт, в то время как замена кислорода на нитрат приводила к увеличению исследуемого показателя в 4 раза (450 ± 19 мкВт) (Рисунок 2).



Таким образом, замена кислорода в катодном пространстве БТЭ на нитрат приводила к повышению электрических показателей БТЭ.

Параллельно изучали динамику концентрации нитрат-ионов в катодном пространстве исследуемых БТЭ. В результате было показано снижение содержания нитрата в катоде БТЭ на $55 \pm 0,36$ % от исходного за 97 часов эксперимента. Это свидетельствовало об использовании нитрата в качестве акцептора электронов в катодном пространстве БТЭ (Таблица 1).

Таблица 1. Динамика концентрации нитрат-ионов в катодном пространстве БТЭ в ходе их работы (среда анолита и католита – модельная сточная вода, субстрат в аноде – пептон 0,5 г/л, биоагент в аноде – *M. luteus*, акцептор электронов в катоде – нитрат калия 0,1 г/л)

Время, ч	Концентрация нитрат-ионов в катодном пространстве БТЭ, мг/дм ³
0	$2,89 \pm 0,07$
24	$1,62 \pm 0,04$
97	$1,31 \pm 0,02$

Чтобы исключить возможность искажения получаемых результатов при анализе динамики содержания нитратов в катоде БТЭ в экспериментах, изучали проницаемость ионообменной мембраны МФ-4СК для ионов NO_3^{2-} . Для этого в одну из камер БТЭ, содержащих дистиллированную воду, добавляли нитрат-ионы в виде соли KNO_3 , в концентрации 0,1 г/л. В течение 72 ч в обеих камерах исследуемого БТЭ определяли концентрацию нитрат-ионов. На основании проведенного эксперимента было показано, что ионообменная мембрана марки МФ-4СК практически не проницаема для нитрат-ионов. Так, количество нитрат-ионов, диффундировавших через мембрану БТЭ за 72 ч эксперимента, составило лишь $1,04 \pm 0,05$ %.

Заключение

Таким образом, наряду с окислением микроорганизмами широкого круга компонентов сточных вод в анолите БТЭ и генерированием ими электрического тока, в католите БТЭ может происходить элиминирование ионов NO_3^{2-} . На этот процесс затрачиваются электроны, поступающие на катод БТЭ из анодной камеры при замыкании цепи. Использование нитратов в качестве акцептора электронов на катоде БТЭ может снизить эксплуатационные расходы, поскольку подача кислорода в катодное отделение является энергоемким процессом. Следовательно, введение нитрата в католит приводит к его элиминированию и существенно повышает генерирование электричества. Поэтому использование нитратных катодов в БТЭ представляется перспективным подходом, который может быть успешно применен в системах биологической очистки сточных вод.

Благодарности и поддержка

Авторы признательны компании ОАО «СветлогорскХимволокно» (Республика Беларусь) за присланные образцы углеродной ткани, М С Красавцевой и А К Онищенко за участие в проведении экспериментов, Е Ю Коноваловой за выделенный и предоставленный штамм *M. luteus* 1-и. Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (проект RFMEFI58317X0060 «Биоремедиация и биоконверсия отходов с помощью комплекса фотосинтетических организмов и гетеротрофов в аэробных и анаэробных условиях с генерированием биоэнергии»).

Библиографический список

- [1] Jermakka J, Wendling L, Sohlberg E, Heinonen H and Vikman M 2014 Potential Technologies for the Removal and Recovery of Nitrogen Compounds from Mine and Quarry Waters in Subarctic Conditions. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* DOI: 10.1080/10643389.2014.900238.
- [2] Tyagi S, Rawtani D, Khatri N and Tharmavaram M 2018 Strategies for Nitrate removal from aqueous environment using Nanotechnology: A Review. *Journal of Water Process Engineering* 21 84-95.
- [3] Shiqiang Zou and Zhen He 2018 Efficiently “pumping out” value-added resources from wastewater by bioelectrochemical systems: A review from energy perspectives *Water Research* 131 62-73.
- [4] Konovalova E Yu, Stom D I, Zhdanova G O, Yuriev D A, Li Y, Barbora L and Goswami P 2018 The Microorganisms Used For Working In Microbial Fuel Cells *AIP Conference Proceedings* 1952 020017 doi: 10.1063/1.5031979
- [5] Bandodkar A J 2017 Review – Wearable Biofuel Cells: Past, Present and Future *Journal of The Electrochemical Society* 164 (3) H3007-H3014
- [6] Gamella M, Koushanpour A and Katz E 2018 Biofuel cells – Activation of micro- and macro-electronic devices *Bioelectrochemistry* 119 33-42
- [7] Xu Q, Zhang F, Xu L, Leung P, Yang Ch and Li H 2017 The applications and prospect of fuel cells in medical field: A review *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 67 574-580.
- [8] Rudenko R R, Vasilevich E E, Zhdanova G O, Chizhick K I, Topchii I A and Stom D I 2018 The use of urban sewage sludge as a substrate in a microbial fuel cell *International Journal of Engineering & Technology* 7 (2.23) 277-280.
- [9] Stom D I, Gruznych O V, Zhdanova G O, Timofeeva S S, Kashevsky A V, Saksonov M N, Balayan A E 2017 Phytotechnological purification of water and bioenergy utilization of plant biomass *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 52 012029 doi:10.1088/1755-1315/52/1/012029
- [10] Santoro C, Arbizzani C, Erable B and Ieropoulos I 2017 Microbial fuel cells: From fundamentals to applications. A review *Journal of Power Sources* 356 225-244.
- [11] Ucar D, Zhang Y and Angelidak I 2017 An overview of electron acceptors in microbial fuel cells *Frontiers in microbiology* 8 643
- [12] Huang L et al. 2011 Electron transfer mechanisms, new applications, and performance of biocathode microbial fuel cells *Bioresource Technology* 102 316-323.
- [13] He C-S, Mu Z-X, Yang H-Y, Wang Y-Z, Mu Y and Yu H-Q 2015 Electron acceptors for energy generation in microbial fuel cells fed with wastewaters: A mini-review *Chemosphere* 140 12-17.
- [14] Stom D I, Zhdanova G O and Kashevskii A V 2017 New designs of biofuel cells and testing of their work *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 262 012219. DOI: 10.1088/1757-899X/262/1/012219

[15] Борохоев Н Д, Жданова Г О, Толстой В М, Ржечицкий А Э Биоэлектрoхимический элемент. Патент РФ на полезную модель № 168093 от 05.07.2016.

[16] Лашин А Ф, Борохоев Н Д, Красавцева М С, Стом Д И, Жданова Г О, Толстой М Ю Биоэлектрoхимический элемент. Патент РФ на полезную модель № 170868 от 26.12.2016.

Исследование сорбционно-диффузионного механизма миграции токсикантов из накопленных мышьяковистых отходов горно-перерабатывающей промышленности по почвенному профилю

Качор О.Л., Богданов А.В.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail olgakachor@gmail.com

Аннотация. В связи со сложившейся сложной ситуацией в стране, касающейся накопленного экологического ущерба от мышьяковистых отходов горно-перерабатывающей промышленности, стоит острая необходимость в разработке концепции ликвидации социально-экологических последствий этого негативного воздействия. В статье представлены исследования сорбционных свойств грунтов, залегающих на территории МО «г. Свирск», подверженного длительному загрязнению мышьяковистыми отходами. В ходе экспериментов были установлены сорбционные емкости грунтов разной глубины залегания. Выявлено, что грунт, мощностью от 2 до 9 м на различных участках МО «г. Свирск», является значимым геологическим затвором от проникновения мышьяка и тяжелых металлов в нижележащие водоносные горизонты. Предложено направление ремедиации земель, загрязненных мышьяком и тяжелыми металлами с использованием разработанного в ИРНИТУ органоминерального комплекса, который, взаимодействуя с токсикантами, приводит к увеличению их подвижности, с переходом из твердой почвенной среды в жидкую фазу и дальнейшей их миграции в форме органических комплексов и мелкодисперсных взвесей, в виде трудно растворимых солей по почвенному профилю, адсорбируясь на глиняном затворе.

1. Введение

В рамках Федеральной целевой программы «Национальная система химической и биологической безопасности Российской Федерации (2009-2014)», а также областной программы «Защита окружающей среды в Иркутской области» на 2006-2015 годы, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ» в 2015 году были завершены работы по ликвидации накопленного экологического ущерба - мышьяковистых отходов промплощадки бывшего Ангарского мышьяковистого завода (АМЗ) по переработке арсенопиритных руд МО «г. Свирск» Иркутской области, который в период с 1934 по 1949 гг. осуществлял выпуск триоксида мышьяка для нужд военной промышленности [1].

Основная часть продукции мышьяковых заводов, начиная с 30-х годов и до 1989 г., когда Советский Союз отказался от производства боевых отравляющих веществ, была востребована оборонной промышленностью - мышьяк был необходим для выпуска люизита, адамсита и дифенилхлорарсина. По прошествии почти 80 лет с момента начала масштабной разработки мышьяковистых месторождений и открытия заводов по выпуску мышьяка промплощадки этих производств остаются нерекультивированными и представляют огромную опасность для населения и объектов окружающей среды. Тотальному контролю подлежат только места хранения боевых отравляющих веществ на основе мышьяка. На настоящий момент острую проблему загрязнения мышьяком и тяжелыми металлами всего природно-техногенного

комплекса все еще испытывают следующие территории, на которых производились разработки и выпуск этого продукта: Свирск (завод по производству мышьяка), Вершино-Дарасунский (завод по производству мышьяка, золоторудное месторождение) Запокровский (мышьяковистое месторождение), Карабаш (медеплавильный комбинат), Пласт (обжиговой завод по производству чистого мышьяка), Ревда (медеплавильный завод). На всех этих территориях накоплен огромный экологический ущерб, что сказывается не только на объектах окружающей среды, но и на состоянии здоровья местного населения, смертность которого превышает средние показатели по соответствующим регионам страны [2].

Общее количество мышьяковистых огарков, хранившееся на промплощадки АМЗ МО «г. Свирск» площадью 13 га на момент начала работ по ликвидации техногенного очага загрязнения, составило 156,9 тыс. т с содержанием около 1 % мышьяка. Рядом с отвалами на промплощадке располагались останки технологического оборудования и производственных цехов, общий объемом 6,6 тыс. м³ содержание мышьяка в которых составляло 150 т. Третьим источником мышьяковистого загрязнения промплощадки АМЗ являлся зараженный почвогрунт - 48 тыс. т. Ликвидации очага мышьяковистого загрязнения - промплощадки АМЗ – была произведена в 2015 году посредством обезвреживания и захоронении всех отходов в отработанных горных выработках (карьер Северный 5), находящихся в 20 км от МО «город Свирск», а территория бывшей промплощадки АМЗ была рекультивирована.

Итогом столь опасного более чем 70-летнего соседства с мышьяковистыми отходами стало угнетенное состояние объектов окружающей среды с превышением нормативов содержания мышьяка и тяжелых металлов в грунте в десятки и сотни раз по всей территории МО «г. Свирск» и прилегающих дачных садоводств общей площадью 25 км², загрязнение мышьяком сельскохозяйственных продуктов, присутствие мышьяка в донных отложениях в 20 км ниже по течению реки Ангары от источника негативного воздействия. Также сильно пострадало и местное население МО «г. Свирск», где установлены самые высокие удельные показатели смертности по Иркутской области — 20% [3], что коррелирует с данными проведенных нами исследований по содержанию мышьяка в биосубстратах волос и ногтей детского населения. Установлено, что уровень мышьяка в волосах и ногтях практически у всех обследованных детей превышает допустимые референтные значения в 4,7 раз, а максимально в 27 и 36 раз соответственно.

В связи со сложившейся ситуацией масштабного негативного влияния накопленного экологического ущерба от мышьяксодержащих отходов горно-перерабатывающей промышленности на социально-экологическую ситуацию многих населенных пунктов РФ на примере АМЗ МО «г. Свирск» нами была разработана концепция ликвидации мышьяковистых источников загрязнения. Она включает в себя мониторинг природно-техногенного комплекса, подверженного длительному воздействию накопленных мышьяксодержащих отходов горно-перерабатывающей промышленности с разработкой математической модели, описывающей природу, ореолы и риски биогеохимической миграции токсикантов в объекты окружающей среды и по трофической цепочке «почва-растение-человек», разработку рекуперативной технологии обезвреживания источников морфологически различных токсичных отходов с извлечением ценных компонентов и вовлечением химически активных веществ в процесс нейтрализации токсикантов с последующей ликвидацией накопленного социально-экологического ущерба.

В рамках разработки концепции был изучен сорбционно-диффузионный механизм и сорбционные свойства грунтов территории МО «г. Свирск» для уточнения механизма ремедиации почв, загрязненных мышьяком.

2. Методы исследования

Все анализы проводились в аккредитованной лаборатории экологического мониторинга природных и техногенных сред ФГБОУ ВО «ИРНИТУ» №РОСС RU.0001.518897. Для получения результатов исследования были использованы следующие аттестованные методики:

ПНД Ф 14.1:2.4.135-98 Методика выполнения измерений массовой концентрации элементов в пробах питьевой, природных, сточных вод и атмосферных осадках методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой; ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98 Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой; ПНД Ф 16.1:2.3:3.50-08 Методика выполнения измерений массовых долей подвижных форм металлов в почвах, отходах, компостах, кеках, осадках сточных вод атомно-эмиссионным методом с атомизацией в индуктивно-связанной аргоновой плазме.

3. Результаты исследования и их анализ

Территория бывшей промплощадки АМЗ как и сам МО «г. Свирск» расположены на поверхности II-III надпойменных террас р. Ангары. Это аллювиальные отложения, залегающие с резким стратиграфическим несогласием на карбонатных породах ангарской и литвинцевской свит нижнекембрийского возраста. Разрез литвинцевской свиты сложен доломитами, известняками. В верхней части разреза отмечаются 2-3 прослоя гипса и ангидрита. Ангарская свита сложена доломитами серыми, светло-серыми, тонко- и мелкозернистыми, средне- и тонкоплитчатыми, реже массивными. В отложениях "карбонатного кембрия" картируются многочисленные разрывные тектонические нарушения. Геологическими исследованиями территории МО «г. Свирск» установлена мощность глиняного слоя, которая колеблется от 2 до 9 м. Этот слой имеет малую водопроницаемость, что и сыграло роль барьера для проникновения токсичных элементов с бывшей промплощадки АМЗ на глубину до проведения работ по ее ликвидации. Под суглинками залегают супеси светло-серого цвета с линзами песков мелкозернистых глинистых коричневых, иногда зеленовато-серых. С появлением в разрезе песков связано поступление в колонковые скважины грунтовых вод - это водоносные отложения. Кровля водоносного горизонта совпадает с кровлей песчаных отложений. Мощность слоя колеблется от 0 до 6,5 м. Под песками залегают песчано-гравийные отложения, которые на 50-60% состоят из мелкой гальки экзотических пород и на 40-50% из светло-серого разнозернистого аркозового песка. Слой сильно обводнен [4].

С целью установления степени миграции и механизма поступления водорастворимых подвижных форм мышьяка в разные типы почв нами были проведены соответствующие исследования их сорбционных характеристик. Сорбционная емкость почвы - это свойство грунта удерживать в себе питательные вещества, воду, и, в том числе, токсичные соединения, например, мышьяковистые. Сорбционная емкость почвы обуславливается присутствием в ней глинистых минералов. Это объясняется тем, что они имеют развитую удельную поверхность в связи со своей слоистой и пористой структурой.

Для проведения исследований нами были подобраны типы почв, которые присущи территории МО «г. Свирск». Для удобства представления разобьем существующие на территории грунты на 4 типа. К ним относятся: тип грунтов 1 - грунты (0-44 см) имеющие темно-серую окраску, свежие, уплотненные, средний суглинок, включения – корни растений; тип грунтов 2 - грунты горизонта 44-80 см представлены бурой почвой с желтоватым оттенком, свежая, очень плотная, тяжелый суглинок – глина; тип грунтов 3 - грунты горизонта 80-390 см желто-белесый, свежий, очень плотный, тяжелый суглинок – глина, карбонатная пропитка; тип грунтов 4 - супеси (ниже 390 см) плотные с включением редкой гальки. В качестве источника токсиканта использовался отход АМЗ - триоксид мышьяка из бункера цеха рафинации АМЗ. Соотношение грунт:рабочий раствор составило 1:10. Исходная концентрация мышьяка в приготовленном фильтрате составила 3000 мг/дм³. Из нее готовили рабочие растворы с концентрацией мышьяка 2500, 2000, 1500, 1000, 500, 100 и 50 мг/дм³. Суспензии взбалтывали 1 ч, затем оставляли на сутки. Суспензии фильтровали, в фильтрате определяли количество мышьяка по стандартной методике спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (рисунок 1).

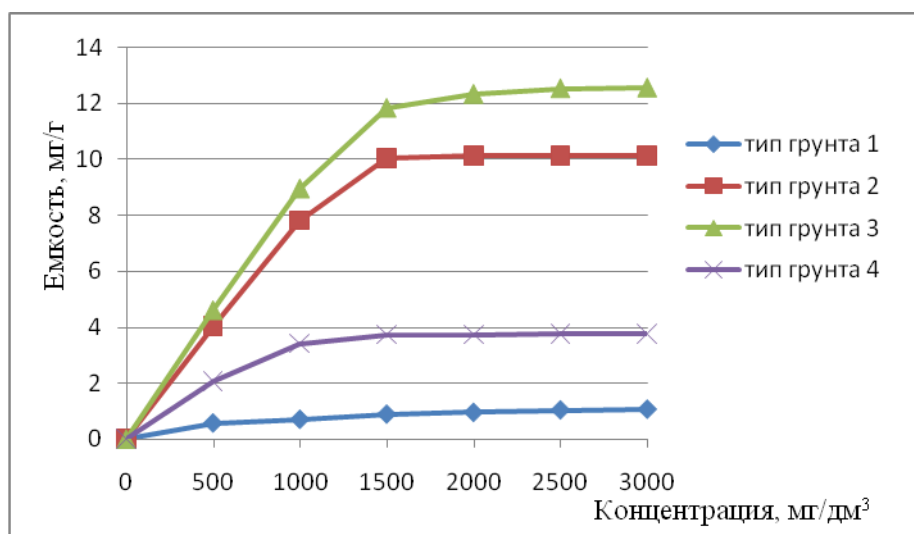


Рисунок 1. Изотерма сорбции мышьяка на разных типах грунтов в статическом режиме.

Как видно из рисунка 1, наибольшим сродством к соединениям мышьяка обладают глинистые типы почвы (тип грунта 3) горизонта 80-390 см. Статическая объемная емкость сорбента составила 12,5 мг/г. По своей сорбционной способности близким оказались грунты горизонта 44-80 см, их сорбционная емкость чуть ниже – порядка 10 мг/г. Наименьшей сорбционной емкостью обладает поверхностный слой почвы (0-44 см) – тип грунта 1.

Было изучено влияние изменения температурного режима на протекание процесса сорбции (рисунок 2).

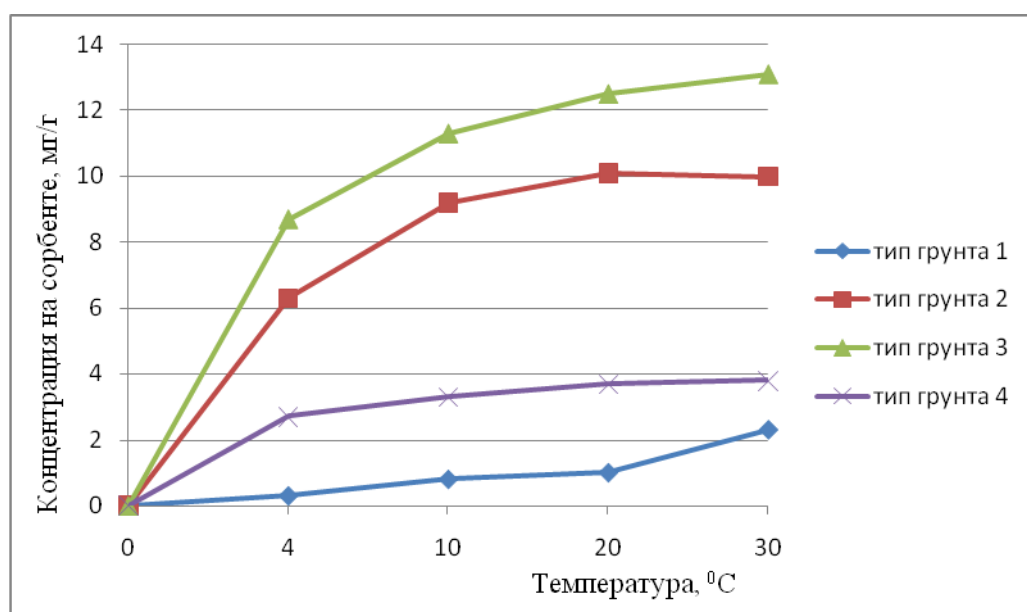


Рисунок 2. Изобара процесса сорбции для разных типов грунтов в статическом режиме.

Как видно из графиков кривые выраженный максимум при температурах 20-30 °С. Применяя уравнение Аррениуса $K = K_0 \cdot e^{-E/R \cdot T}$ и изобару сорбции (рисунок 2) в координатах $\ln C/f(1/t)$ по тангенсу угла наклона прямой была определена энергия активации физической сорбции в интервале температур 4 - 30 °С. Рассчитанная энергия активации для четырех типов грунтов соответственно составила: 6,2; 26,9; 38,2; 11,4 кДж/моль. Данные значения энергий активации присущи для образования физических типов связей, что относится к природе физической адсорбции.

4. Обсуждение

В ходе экспериментальных исследований установлено, что наибольшей сорбционной емкостью по отношению к мышьяку обладают грунты типа 3 - грунты горизонта 80-390 см желто-белесый, свежий, очень плотный, тяжелый суглинок – глина, карбонатная пропитка, а также грунты типа 2 - грунты горизонта 44-80 см представлены бурой почвой с желтоватым оттенком, свежая, очень плотная, тяжелый суглинок – глина. В связи с тем, что мощность глиняного слоя на всей территории МО «г. Свирск», как было сказано ранее, достигает от 2 до 9 м, то он является мощным геологическим затвором от проникновения загрязняющих веществ в нижележащие водоносные горизонты.

Из полученных нами ранее данных количественного химического анализа следует, что максимальные валовые концентрации в поверхностном слое почвы по территории МО «г. Свирск» превышают нормативы по мышьяку в 9 раз, по меди в 2,7 раза, по цинку в 14,8 раза, а по свинцу в 10 раз. Средняя концентрация миграционных форм (максимально доступных для растений) в почвах сельскохозяйственных и селитебных зон составляет около 10% от валового содержания. Это говорит о том, что за 5 лет после ликвидации источника загрязнения миграционные формы под действием атмосферных осадков перешли в нижележащие почвенные горизонты и сорбировались глиняным затвором, начинающимся с глубины от 0,4-0,7 м. На основании полученных данных содержания мышьяка и тяжелых металлов в различных горизонтах почвенного профиля была построена их графическая зависимость (рисунок 3).

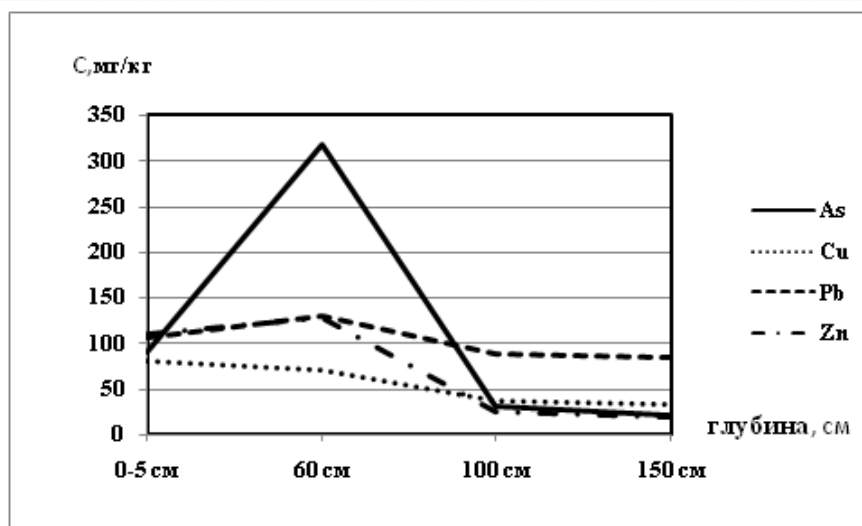


Рисунок 3. График распределения валовых содержаний загрязняющих веществ по глубине почвенного профиля.

Из графика (рисунок 3) видно, что максимальное содержание загрязняющих веществ сконцентрировано на глубине 0,4-0,7 м, доступной для корневой системы растений. Начиная с глубины 1 м, существенного изменения концентраций мышьяка и тяжелых металлов не наблюдается. Это свидетельствует о минимальном дополнительном поступлении

загрязняющих веществ в этот почвенный горизонт за счет высокой сорбционной способности вышележащего глиняного затвора на глубине 0,6-1 м и их выход на фоновое содержание элементов в почве [5].

5. Заключение

Полученные результаты легли в основу разработки технологии ремедиации земель, загрязненных мышьяком и тяжелыми металлами. При ремедиации будет использоваться разработанный в ИРНТУ органоминеральный комплекс [6], который, взаимодействуя с токсикантами, приводит к увеличению их подвижности, с переходом из твердой почвенной среды в жидкую фазу и дальнейшей их миграции в форме органических комплексов и мелкодисперсных взвесей, в виде трудно растворимых солей по почвенному профилю, адсорбируясь на глиняном затворе, обладающем наибольшим сродством к мышьяку. В большей степени этот глиняный затвор представлен грунтом типа 3 - грунты горизонта 80-390 см желтого-белесый, свежий, очень плотный, тяжелый суглинок – глина, карбонатная пропитка, обладающего сорбционной емкостью 12,5 мг/г, энергией активации 38,2 кДж/моль.

Библиографический список

- [1] Богданов А В, Качор О Л, Федотов К В, Чайка Н В 2014 Ликвидация последствий деятельности мышьякового производства горно-перерабатывающей промышленности *Экология и промышленность России* №5. С. 31-35
- [2] Петров И М, Вольфсон И Ф, Петрова А И 2014 Выбросы мышьяка металлургическими заводами России и их влияние на состояние окружающей среды и здоровье населения *Экологический вестник России* №12, с. 44-49
- [3] Коваль П.В., Черняго Б.П. и др. 2010 *Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Иркутской области в 2009 году* Иркутск, 585 с.
- [4] Богданов А В, Федотов К В, Качор О Л 2014 *Разработка научных и практических основ рекуперативной технологии экобетонирования мышьяксодержащих отходов горно-перерабатывающей промышленности (монография)* Издательство ИрГТУ
- [5] Гребенщикова В И, Лустенберг Э Е, Китаев Н А 2008 *Геохимия окружающей среды Прибайкалья. Байкальский геоэкологический полигон* Новосибирск: Изд-во Гео, 235 с.
- [6] Богданов А В, Качор О Л, Чайка Н В 2015 *Патент 2546903 Российская Федерация, МПК C05G1/00 (2006.01). Препарат для рекультивации земель, загрязненных мышьяком, и состав препарата для рекультивации земель, загрязненных мышьяком (варианты)* опубликовано: 10.04.2015.

Эколого-экономический ущерб от образования пылевых отходов кремниевого производства

Леонова М.С., Тимофеева С.С.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail: leonova@istu.edu

Аннотация. Представлены результаты исследований пылевых отходов кремниевого производства. Оценена ожидаемая эффективность, в результате расчета которой, снижение платы за размещение техногенного сырья 4 класса опасности на ЗАО «Кремний» при использования в составе шихты пыли газоочистки может составить 743772,17 руб./год. Обоснована необходимость использования методики окомкования шихтовых материалов на основе техногенного сырья.

1. Введение

Металлургическая отрасль играет важную роль в Российской экономике, поэтому усовершенствование технологических процессов получения металлов и расширение сырьевой базы за счет вовлечения новых месторождений и отходов производства обратно в технологический процесс является необходимой стадией процесса улучшения ситуации, складывающейся на мировом рынке [1].

Спрос на кремний крайне высок как со стороны полупроводниковой промышленности, так и производителей солнечных батарей [2, 3]. Многие эксперты считают сложившуюся ситуацию критической, поскольку существующие поставщики при полной загруженности не в силах удовлетворить растущие потребности. Особенностью рынка кремния является то, что возможностью его производства обладают лишь несколько стран в мире, а соответствующие технологии не продаются [4,5].

В России существует два основных производителя металлургического кремния: ЗАО «Кремний» и ООО «СУАЛ–Кремний–Урал» [6]. Оба предприятия входят в ОК «РУСАЛ».

В промышленном масштабе металлургический кремний получают высокотемпературным восстановлением кремнезема содержание SiO_2 в котором должно составлять не менее 98% углеродом, а именно нефтекоксом, который изготавливается на АО «АНХК» согласно ГОСТ 22898–78, каменным углем (ГОСТ 22898–78), древесным углем марок А и Б соответствующим ГОСТ 25543 – 88 [4,7,8].

Известно, что карботермический процесс получения кремния сопровождается образованием большого количества техногенных отходов в виде кварцевой мелочи, мелочи древесного, каменного углей и нефтекокса, мелкофракционного отсева кремния, рафинировочных шлаков. Значительную часть составляет пыль циклонов и шламы мокрой газоочистки (на 1 т кремния приходится от 280 до 900 кг пылевых отходов) [4,9], что оказывает негативное воздействие как на окружающую среду вблизи действующих предприятий, так и на здоровье человека, в особенности на дыхательные органы [5].

2. Материалы и методы

В исследовании применены техногенные материалы в виде пыли газоочистки производства ЗАО «Кремний». Данный техногенный материал является следствием пылеуноса из горна электропечи трех видов продуктов:

1. Дисперсные продуктов химического реагирования в шихте (типа Si и SiO_2), полученных по реакции диспропорционирования: SiO_2 – продукта окисления паров Si и SiO; CaO – результата окисления паров кальция; Al_2O_3 – продукта диспропорционирования и окисления Al_2O , AlO [4,9].

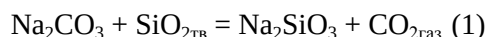
2. Мелкофракционных частиц шихты из колошникового слоя, образованных после контрольного грохочения и отделения мелочи. В последствии измельчения при дозировании, транспортировке и погрузке шихты в руднотермическую печь [10].

3. Продуктов измельчения сырьевых компонентов шихты в горне кварцита и особенно углеродистых материалов в ходе восстановления и разукрупнения реагирующих частиц при осадке и опиковке шихты [4].

До настоящего времени лишь частично решены вопросы эффективного извлечения пыли из газов, сортировки данного материала по каким-то полезным признакам, ее хранения, утилизации и реализации как товарного продукта, не говоря о разработке мероприятий по снижению ее выхода в ходе процесса, поэтому она направляется на шламохранилище [7].

На первой стадии производится сухая очистка газов в камерах или циклонах, где оседает более крупная фракция, составляющая до 20% от общей массы пыли. На второй стадии

установлены трубы Вентури, где пыль более тонкой фракции поглощается водным раствором кальцинированной соды по реакции (1)



и в виде шлама направляется гидротранспортером на шламовое поле [9].

Пыль из труб Вентури содержит основную массу утерянного с возгонами кремния и является наиболее тонкодисперсным продуктом. Данный материал имеет в своем составе свыше 80% двуокиси кремния, который из-за больших трудозатрат, необходимых на переработку шлама, складывается и безвозвратно теряется с отходами производства [11]. Более того, само улавливание тонких частиц пыли с помощью содовых растворов требует значительного расхода реагентов, непрерывного расширения шламовых полей, что в конечном итоге, представляет угрозу окружающей среды (за счет образования щелочных аэрозолей и щелочных дренажей) [12,13].

Исследования состава техногенных пылевых материалов ЗАО «Кремний», проведенные с помощью электронного микроскопа JEOL JIB-Z4500, оснащенного энергодисперсионным детектором X-max 80 мм² фирмы OXFORD INSTRUMENTS, показали, что SiO₂ в шламе представлен в виде шариков и сфер (рисунок 1) [4,13].

Согласно производственным данным пыль ЗАО «Кремний» представлена в среднем на 86% двуокисью кремния, таблица 1 (результаты РФА, выполненного с помощью прибора ARL-9900 (США) и химического гравиметрического анализа); также были проведены исследования методом сканирующей микроскопии [3,14,15].

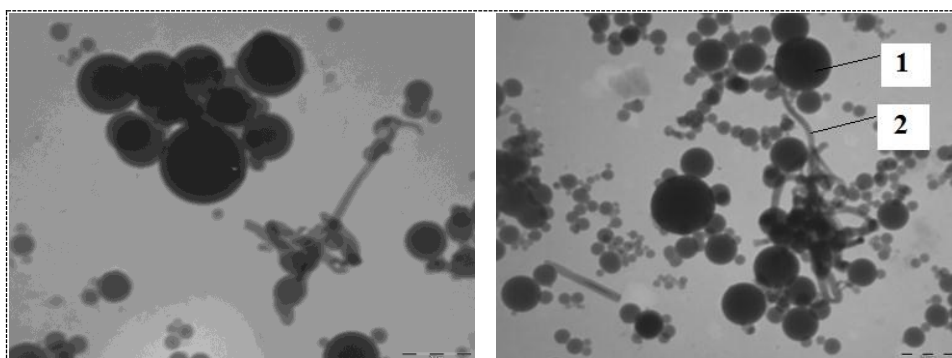


Рисунок 1. Электронное изображение частицы мелкофракционного техногенного сырья ЗАО «Кремний»: (1 – сфероидизированные частицы SiO₂; 2 – включения углерода)

Таблица 1. Химический состав пыли газоочистки ЗАО «Кремний».

Наименование компонентов											
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	C _{св.}	Na ₂ O	SO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	TiO ₂	SiC
Содержание, % мас.											
86,3	0,37	0,30	1,4	1,20	5,8	0,07	0,14	0,12	0,28	0,02	4,15

Как видно из данных таблицы 1, пыль газоочистки РТП может рассматриваться в качестве рудной составляющей шихты как дополнительной к основному сырью, поскольку в основном она представлена сфероидизированными частицами SiO₂ [14,16].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что пылевые техногенные материалы кремниевого производства, улавливаемые системой газоочистки, целесообразно использовать

повторно в качестве добавки к основному сырью для выплавки кремния, что позволит утилизировать техногенные отходы и улучшить экологическую обстановку в зоне промышленного производства [17].

Однако загрузка в руднотермическую печь пылевых отходов из-за их мелкодисперсной структуры невозможна, следовательно данное техногенное сырье необходимо предварительно окомковывать [4].

3. Результаты исследования и их анализ

Окомкование является одной из актуальных задач в подготовке шихты к металлургическому переделу [18]. Полная или частичная замена традиционной кусковой шихты на окомкованную с использованием техногенных материалов решила бы проблему для предприятий, которым необходимо не только уменьшить экологическую нагрузку на окружающую среду и улучшить условия труда, но и позволить обеспечить предприятие дополнительными ресурсами [19,20].

Таким образом можно проследить снижение платы за размещение техногенных материалов, принадлежащих к 4 классу опасности на ЗАО «Кремний» после внедрения предлагаемой методики окомкования.

По данным предприятия объемы образующихся мелкофракционных материалов приведены в таблице 2 [4].

Таблица 2. Ежегодный объем образования пылевидных материалов ЗАО «Кремний» и содержание кремнезема в них (по данным за 2017 год)

Наименование материала	Объем образования, т	Содержание кремнезема в техногенном сырье, %
Пыль газоочистки	2062,56	85,41 %
Шлам газоочистки	30961,3	95,86 %
Итого:	33023,86	≈ 90,635

Предположим, что часть стандартной шихты на 10% заменяется на окомкованную, 5,66% из которой составляет пыль и шлам газоочистки, взятых в соотношении 1:1; следовательно, образование пылевидных материалов сократится на эту же цифру [4]. Соответственно:

$$1) 33023,86 \cdot 5,66\% / 100\% = 1869,15 \text{ (т);}$$

2) $33023,86 - 1869,15 = 31154,71$ т/год – предполагаемый ежегодный объем образующихся техногенных материалов кремниевого производства после внедрения предлагаемых нами технических решений.

Снижение экологических платежей за негативное воздействие, оказанное на окружающую среду вследствие размещения кремнеземсодержащих материалов кремниевого производства на шламовых полях, рассчитано с учетом снижения их объемов за счет использования окомкованной шихты в технологическом процессе получения кремния [4].

Расчет снижения экологических платежей произведен по формуле (1) [21]:

$$\Pi = V \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot Q, \text{ руб./год,} \quad (1)$$

где Π – плата за размещение техногенных материалов на шламовых полях,

V – предполагаемый ежегодный объем образующегося кремнеземсодержащего техногенного сырья, размещающегося на шламовых полях, т/год;

k_1 – дополнительный коэффициент для территорий и объектов, находящихся под особой охраной – 2;

k_2 – понижающий коэффициент, равный 0,3, при размещении отходов на специализированных полигонах, оборудованных в соответствии с установленными требованиями и расположенных в пределах промышленной зоны источника негативного воздействия;

Q – плата за размещение 1 т техногенных материалов с учетом их класса опасности, руб.

Поскольку пыль и шлам газоочистки имеют 4 класс опасности, а плата за размещение 1 т материалов данного вида составляет 663,2 руб. [21], тогда снижение экологических платежей $\Delta\P$ (руб./год) рассчитывается следующим образом:

$\Pi_1 = 33023,86 \cdot 2 \cdot 0,3 \cdot 663,2 = 13140854,3712$ руб./год (среднегодовая плата за размещение отходов 4 класса опасности до внедрения предлагаемых технологических решений);

$\Pi_2 = 31154,71 \cdot 2 \cdot 0,3 \cdot 663,2 = 12397082,2032$ руб./год (среднегодовая плата за размещение отходов 4 класса опасности после внедрения предлагаемых технологических решений).

Соответственно, $\Delta\P = 13140854,3712 - 12397082,2032 = 743772,17$ руб./год [4].

Полное исключение экологических платежей за размещение кремнеземсодержащих техногенных материалов на шламовых полях возможно лишь в том случае, если пыль газоочистки и шлам, образующиеся в процессе получения кремния, будут использоваться сторонними потребителями. Например, в строительной отрасли в качестве добавки к цементирующим материалам или как сырье для изготовления кирпичей, бетонных блоков и другой продукции, используемой в строительстве [4,22-24].

5. Заключение

При производстве кремния в руднотермических печах образуется значительное количество пылевых выбросов оказывая негативное воздействие как на окружающую среду, так и на организм человека вызывая целый ряд заболеваний органов дыхания.

Данный вид техногенных материалов содержит 86% компонента SiO_2 , что позволяет считать пыль газоочистки в качестве дополнительного источника сырья. Однако перед использованием в карботермическом процессе данный материал необходимо окомковывать из-за его мелкофракционной структуры.

Предложенная методика окомкования техногенного сырья на основе пыли кремниевого производства позволяет не только улучшить условия труда и понизить экологическую нагрузку за счет вовлечения пылевых отходов в технологический процесс производства кремния, но и снизить плату за размещение данного вида отходов на территории предприятия.

Снижение платы за размещение техногенных материалов 4 класса опасности на ЗАО «Кремний» после внедрения предлагаемых технологических решений по получению кремния составит 743772,17 рублей/год.

Библиографический список

- [1] Сизяков В М, Власов А А и Бажин В Ю 2016 Стратегические задачи металлургического комплекса России. *Цветные металлы* № 1. С. 32-38.
- [2] Goldschmidt J C, Peters M 2008 Efficiency enhancement of fluorescent concentrators with photonic structures and material combinations Event: 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (Valencia, Spain).
- [3] Немчинова Н В, Леонова М С и Тимофеев А К 2016 Изучение методом термодинамического моделирования процесса получения металлургического кремния при

использовании окомкованной шихты. *Вестник Иркутского государственного технического университета* № 7 (114). С. 162-171.

[4] Леонова М С 2017 Разработка технологии подготовки шихты из техногенного сырья для производства кремния : дис... канд. техн. наук: 05.16.02. Иркутск: 202 с.

[5] Ёлкин К С 2014 Производство металлического кремния в России – состояние и перспективы. *Цветные металлы и минералы* (Сборник докл. 6-го междунар. конгресса (Красноярск) С. 180-182

[6] Супоненко А Н 2016 Новые направления применения кремния в промышленности. *Цветные металлы и минералы* (Сборник докл. 6-го междунар. конгресса (Красноярск) С. 130-132.

[7] Катков О М 1994 Причины потерь кремния при выплавке кварцита в дуговой электропечи. *Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия.* № 4. С. 3-5.

[8] Мизин В Г, Серов Г В 1976 Углеродистые восстановители для ферросплавов (М: Металлургия).

[9] Ватин Н И, Стрелец К И 2003 Очистка воздуха при помощи аппаратов типа циклон СПб.: Химия С. 19-22.

[10] Немчинова Н.В, Яковлева А А и Леонова М С 2013 Распределение примесей при рудно-термической выплавке кремния. *Вестник Иркутского государственного технического университета.* №12 (83). С. 230-236.

[11] Черняховский Л В, Баранов АН, Киселев А И и Шишкин Г А 2000 Использование отходов кремниевых, алюминиевых и химических производств при выплавке кремния и ферросилиция. Тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. молодых специалистов и ученых алюминиевой, магниевой и электродной промышленности (Санкт-Петербург) С. 79.

[12] Немчинова Н В, Минеева Т С и Никаноров А В 2013 Проблемы экологической безопасности алюминиевого и кремниевого производств. *Современные проблемы науки и образования.* № 3. URL: <http://www.science-education.ru/109-9611> (10.12.2016).

[13] Kondrat'ev V V, Nemchinova N V, Ivanov N A, Ershov V A and Sysoev I A 2013 New production solutions processing silicon and aluminum production waste. *Metallurgist* 5,6 455-459.

[14] Немчинова Н В, Леонова М С и Тютрин А А Экспериментальные работы по плавке окомкованной шихты в производстве кремния. *Вестник Иркутского государственного технического университета.* № 1 (120). С. 209-217.

[15] Hesse K, Freiheit H C 2008 Challenges of Solar Silicon Production. Silicon for the Chemical and Solar Industry IX (Proc. of the Intern. Scientific Conf. (Oslo (Norway) 61-67.

[16] Леонова М С 2015 Возврат в процесс пыли кремниевого производства. Молодой ученый. №7. С. 1068-1071. — URL <https://moluch.ru/archive/87/16984/> (дата обращения: 02.11.2018).

[17] Немчинова Н В 1998 Подготовка шихты для получения кремния высокой чистоты карботермическим способом : дис... канд. техн. наук : 05.16.03. Иркутск: 151 с.

[18] Лотош В Е 2009 Безобжиговое окускование тонкодисперсных материалов и мелочи полезных ископаемых. (Екатеринбург : Филантроп).

[19] Зельберг Б И, Черных А Е и Ёлкин К С 1994 Шихта для электротермического получения кремния (Челябинск: Металл).

[20] Kloytz V E, Nemtchinova N V and Chernyahovsky L V 1998 The application of agglomeration and briquetting during silicon smelting to improve its quality 4th-Conference on Environment and mineral Processing (Ostrava (Czech Republic) 113-118.

- [21] Постановление Правительства РФ от 13 сентября 2016 г. № 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах» URL: <http://www.consultant.ru/document/> (23.10.2018).
- [22] Жданов А В, Жучков В И, Дашевский В Я и Леонтьев Л И 2014 Проблемы образования и утилизации отходов ферросплавного производства. Metallurg. № 12. С. 36-41.
- [23] Константинов В М, Челидзе Ю Б 2014 Экологические основы природопользования. Учебник для студ. учреждений сред. проф. образования. 15-е изд., стер. М.: Академия. 240 с.
- [24] Пивоваров Ю П, Королик В В и Подунова Л Г 2014 Экология и гигиена человека: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования.

Подходы к технологии переработки буровых шламов в сырье для производства строительных материалов

Рупосов В.Л., Алексеенко В.В, Машович А.Я.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

Е-mail ruposov@istu.edu

Аннотация. Рассмотрены технологии переработки буровых шламов и получение конечных промышленных продуктов. При бурении глубоких скважин для добычи нефти и газа образуются отходы бурения в виде шламов, которые являются опасными для окружающей среды. Целью исследования стал анализ существующих технологий позволяющих переводить отходы бурения в промышленный продукт в виде строительных материалов, которые можно использовать для строительства и дорожных работ на месторождениях.

1. Введение

На нефтегазовых месторождениях при бурении глубоких скважин буровые шламы складываются в специальный амбар. Особенностью данных отходов бурения является содержания в них токсичных продуктов и нефтепродуктов.

Такое свойство как токсичность приводит к тому, что буровые шламы могут, оказывают комплексное негативное воздействие, как на человека, так и на окружающую среду [1]. Наиболее опасные воздействия связаны с человеком, компонентами биосферы и экосистемы. Опасность воздействия шламовых отходов связано с загрязнением воды и влиянием на живых организмов находящихся в ближайших водоемах. Так же отрицательное влияние происходит на местные почвы и растительные покровы, что связано с изменением структуры почвы и как следствие со снижением продуктивности сельскохозяйственных земель.

Шламовых амбаров на современных месторождений создаются с учетом устранения попадания загрязненной воды в почву за счет гидроизоляции дна амбара, что приводит к их высокой обводненности (см. рис. 1). Другой особенностью являются увеличивающиеся размеры амбаров, что связано с кустовым бурением наклонных скважин, при этом используются меньшее количество шламовых амбаров, но с большим объемом материала.



Рисунок 1 – Способ хранения буровых шламов в амбаре

Цель данного исследования было проанализировать технологии и подходы к утилизации бурового шлама с целью получения промышленного продукта предназначенного для осуществления строительных и дорожных работ логистически связанных с обрабатываемыми месторождениями нефти и газа, что привело бы к снижению экологической нагрузки на данную территорию. Получение промышленных продуктов позволяет снизить количество отходов связанных с разведкой нефтяных и газовых месторождений и их эксплуатацией.

Основные задачи исследования

- определить технологии отделения загрязняющих органических соединений (нефть, ГСМ, полимерные соединения и т.д.) или технологию создания строительных материалов с обезвреживанием опасных отходов.
- технологии разделение жидкой и твердой части отходов.
- стандартизация химического и дисперсионного состава материалов и промышленного продукта.
- создание алгоритмов разработки рекомендаций по использованию и хранению промышленных продуктов.
- анализ методов доочистки технической воды дикорастущими растениями, водорослями и микроорганизмами характерных для данного вида местности.

В литературе [8] классически выделяют несколько способов утилизации или обезвреживания буровых отходов. Термические методы, основанные на сжигание буровых шламов в открытых шламовых амбарах или в термических печах различной производительностью и мощностью. Физические, реализуются захоронением в специальных могильниках, разделение в установках с центрифугой, фильтрование буровых отходов вакуумом и давлением. Химические методы связаны с экстрагированием отходов различными растворителями, отверждение с применением гипса, цемента, суглинков и других, как органических, так и неорганических добавок, а физико-химические связаны с применением сорбирующих реагентов и добавок,

которые изменяют физико-химические свойства, класс опасности и других характеристик буровых отходов. К биологическим методам относятся технологии добавления в отходы бурения микробиологических препаратов и организмов, в целях их дальнейшего разложения в почве [8].

2. Материалы и методы

В исследовании применены результаты анализа проб буровых шламов с различных месторождений. Был проанализирован состав отходов нефтедобычи ОАО "Когалымнефтегаз" и параметры материалов хранящихся в шламовых амбарах ООО «Иркутская нефтяная компания».

3. Результаты исследования и их анализ

У нефтегазовых компаний существует проблема утилизации отходов от бурения скважин. На месторождениях Восточной Сибири и Якутии скопилось миллионы тонн отходов бурения в шламовых амбарах. Класс опасности данных материалов от 3 до 5 класса, что приводит к ежегодному увеличению платы за загрязнения территории, что связано с ростом штрафов и экологических платежей. Их переработка осложнена климатическими, экологическими, географическими и экономическими условиях расположения месторождений.

Основным подходом к решению этой проблемы является использования установок разделения материалов во время прохождения скважин и отдельная утилизация опасных и безопасных продуктов бурения. При этом данная технология не может быть использована для утилизации амбаров с материалами бурения. Это связано с большой обводненностью отходов и их стратификацией в результат долгого нахождения в шламовом амбаре.

Определение технологий, использование которых позволит утилизировать ранее накопленных отходы бурения, является весьма актуальной задачей, имеющей высокую экономическую эффективность [2].

Предлагаемые технологии утилизации:

- механическое разделение (флотация);
- использование сорбентов;
- очистка с использованием биотехнологии;
- получение аглопоритового щебня.

Основа технологии:

Производится разделение отходов на жидкую и твердую часть. Твердая часть подлежит усреднению химического и гранулометрического состава, после чего складывается в качестве промпродукта (вторичного сырья) для дальнейшего использования при строительстве дорог, промышленных и гражданских объектов логистически связанных с разрабатываемым нефтяным месторождением. Полученный промпродукт будет иметь паспорт, содержащий его характеристики и рекомендации по его дальнейшему использованию. Жидкая часть, представляющая собой техническую воду, собирается в искусственном водоеме, где проходит доочистку с помощью аквакультур (преимущественно дикорастущих растений, водорослей, микроорганизмов характерных для данной местности). Планируется применять не только общие рекомендации, но и

учитывать особенности каждого нефтяного месторождения, осуществлять авторское сопровождение разработки.

Наиболее дешевый метод утилизации, при наличии бесплатного горючего, заключается в получении аглопоритового щебня. Сырьё для аглопоритового щебня может содержать любой минеральный материал плюс некоторое количество глины. Обоснование получения аглопоритового щебня.

1. Буровой шлам изначально содержит большое количество воды, и поэтому он не подходит не для каких технологических операций. Глина, которая в большом количестве находится вблизи амбаров, позволит связать избыточную воду и превратит шлам в удобоукладываемый продукт. Плюс имеется, у нефтяников и дорожников, грунтосмесительная техника.

2. Получаемую тестоподобную смесь шлама и глины можно обжигать в специальных печах, где топливом будет попутный газ. Печи для производства аглопоритового щебня производятся промышленностью. При обжиге утилизируется любая органика содержащаяся в шламе.

3. Аглопоритовый щебень может иметь широкий диапазон плотности, прочности и водостойкости в зависимости от содержания глины. Можно делать более лёгкий щебень для теплоизоляционного бетона для жилищного строительства, можно делать более прочный и тяжёлый щебень для дорожного строительства. Если, в крайнем случае, щебень не будет востребован строителями его можно будет использовать как материал для засыпки амбаров. При наличии потребителя можно делать более дорогой щебень под заказ, при отсутствии – дешёвый материал для засыпки амбаров.

4. При таком производстве никаких больших перевозок материалов: всё берётся на месте и утилизируется вблизи. Любые перевозки в условиях бездорожья сразу делают практически любую продукцию слишком дорогой.

Предлагаемая технология позволяет получать очень важный продукт для данной территории – это аглопоритовый щебень, который можно использовать для отсыпки дорог. Данные промышленные продукты, получаемые из буровых шламов, можно использовать в строительных работах в непосредственной близости от месторождений.

4. Обсуждение

Вопрос переработки буровых шламов является весьма актуальной задачей, как сказано выше, это связано с большими экологическими платежами нефтяных компаний и загрязнением окружающей среды, особенно на северных территориях. Поэтому различные авторы предлагают множество решений данной проблемы. Наиболее часто встречаемым решением является использование буровых шламов в сельском хозяйстве. Добавление данного материала в почву позволяет повысить минерализацию почвы, повышает необходимые химические вещества для увеличения урожайности сельскохозяйственных культур [3]. Буровые шламы в определенном виде можно использовать для рекультивации земель после их использования в технологических целях, шламы позволяют ускорить восстановление растительного слоя и повысить скорость создания растительного покрова [4]. Данный способ позволяет использовать буровой шлам на территории месторождений, но объем потребления такого материала не высокий. Экологи предлагают проводить переработку буровых шламов с использованием фильтрующих оболочек [1], материал на выходе является обезвоженным и уплотненным.

Использование в качестве строительного материала компонентов бурового шлама рассматривалась несколькими исследователями [5, 6, 7, 8, 9 и 10]. Наиболее распространенным является предложение использовать переработанного или утилизированного бурового шлама в качестве компонента при производстве портландцемента [5, 6, 8, 9].

Использование буровых шламов для получения строительного материала, который в дальнейшем может быть использован для отсыпки местных дорог, кустовых обваловок встречается в работе Соколова Н.Д. и Русак С.Н. [8]. Так они выделяют метод отверждение (солидификацию) буровых шламов с дальнейшим захоронением под слоем минерализованного грунта или применением в хозяйствующей отрасли. Глинообразная отвердевшая смесь служит как строительный материал или, после измельчения, как удобрение. Для отверждения шламов их обрабатывают активирующими компонентами. В качестве отвердителей используют материалы-крепители, такие как полимерные добавки, карбамидные смолы, гипс, цемент, жидкое стекло и др. Для ускорения сроков схватывания его содержание увеличивают или вводят полиэлектrolиты (поваренная соль, хлористый кальций, кальцинированная сода) [8]. Недостатком данного подхода для нефтегазовых месторождений Восточной Сибири является дороговизна доставки необходимых добавок для отверждения шламов.

5. Заключение

Рассмотрев состав буровых шламов находящихся в амбарах на месторождениях нефти и газа было выявлено, что данные материалы могут быть основой для промышленных продуктов. При возможности использования попутного газа можно получать очень ценный продукт для данной территории – аглопоритовый щебень. Данный щебень можно использовать в качестве строительных материалов для отсыпки местных дорог. В целом предлагаемые технологии позволят перевести отходы от бурения в строительные материалы.

Библиографический список

- [1] Васильев А.В., Тупицына О.В. Экологическое воздействие буровых шламов и подходы к их переработке / Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 5. С. 308-313.
- [2] Пискунова С.В., Матуш Д.И. Разработка математической модели оценки конкурентного преимущества, направлений реализации и возможностей развития способа утилизации буровых шламов месторождений углеводородов районов крайнего Севера в сопоставлении с известными аналогами / В сборнике: наука и инновации в ххi веке: актуальные вопросы, открытия и достижения сборник статей V Международной научно-практической конференции: в 2 частях. 2017. С. 65-70.
- [3] Халиуллина З.М., Петров А.М., Синяшин К.О., Ахметзянова Р.Р. Буровые шламы альтернативный источник повышения урожайности сельскохозяйственных культур / В сборнике: Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы Труды II международной научно-практической конференции. Научное издание. Посвящается памяти д.т.н., профессора Волкова Игоря Евгеньевича. 2017. С. 158-167.
- [4] Пичугин Е.А. Буровой шлам как компонент рекультивационных материалов / Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 4. С. 16-19.

- [5] Рахматуллин Д.В. Использование утилизированного бурового шлама в качестве компонента портландцемента / В сборнике: Инновационные решения в строительстве скважин Материалы Всероссийской научно-технической конференции. Уфимский государственный нефтяной технический университет; Волго-Камское отделение Российской Академии естественных наук (РАЕН). 2011. С. 93-94.
- [6] Ягафарова Г.Г., Матвеев Ю.Г., Агзамов Ф.А., Рахматуллин В.Р., Рахматуллин Д.В. Применение утилизированного бурового шлама в качестве добавки к портландцементу / Нефтегазовое дело. 2011. Т. 9. № 4. С. 37-39.
- [7] Багаутдинова И.А. Научное и правовое обоснование новых технологий утилизации отходов бурения / Газовая промышленность. 2013. № S (688). С. 59-61.
- [8] Соколов Н.Д., Русак С.Н. Экологическая оценка новой технологии по утилизации отходов бурения / Студенческий. 2017. № 7-2 (7). С. 88-93.
- [9] Рахматуллин Д.В. Разработка комплексного метода утилизации буровых шламов / диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Тюменский государственный нефтегазовый университет. Уфа, 2011
- [10] Техника и технология утилизации нефтяных отходов. Монография / Н. С. Минигазинов [и др.]; Акад. наук Респ. Башкортостан, ГУП НИИ безопасности жизнедеятельности. Уфа, 2010.

Техногенные риски угледобывающих предприятий

Тимофеева С.С., Мурзин М.А.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail: timofeeva@istu.edu, misha0009@mail.ru

Аннотация. Рассмотрена сравнительная оценка техногенных рисков угледобывающих предприятий Иркутской области. Проведена оценка составляющих техногенного риска – профессиональных, по трем различным методикам, и экологических рисков, с учетом индекса загрязнения атмосферы и удельных показателей эколого-экономического ущерба окружающей среде. Выявлено высокорисковое предприятие и предложены мероприятия по устранению основных составляющих техногенного риска.

1. Введение

Активное научное и промышленное развитие, интенсификация производственных процессов и освоение новых территорий нашей страны – все это привело к увеличению потребности в минерально-сырьевых ресурсах, а это в свою очередь только утвердило незаменимость и необходимость горнодобывающего комплекса. Но увеличение мощностей добычи и первичной обработки полезных ископаемых, а также разработка новых, ранее разведанных месторождений в купе, в большинстве случаев, с наплевательским отношением большинства недропользователей к рациональному использованию недр или условиям производственной среды, приводит к возрастанию вероятностей негативных событий, или же – техногенным рискам.

Техногенные риски же представляют собой совокупность рисков, связанных с хозяйственной деятельностью человека. В широком же смысле, техногенные риски подразумевают все негативные воздействия от производственной деятельности, вызывающие

неблагоприятные последствия, как для окружающей среды, так и для самого человека или же представляют собой совокупность экологических, профессиональных и аварийных рисков.

И действительно, не секрет, что практически любая производственная деятельность человека всегда связана с вредом первостепенно окружающей среде. Особенно это характерно для горнодобывающей промышленности. Подготовка к освоению месторождения, выполнение подготовительных и добычных работ – всё это наносит непоправимый ущерб природной среде. Катастрофичность такого воздействия не в последнюю очередь связана с участием всех сфер окружающей среды, будь то земельные ресурсы, воды, атмосферный воздух или животный и растительный миры.

На загрязненность атмосферного воздуха в горнодобывающих регионах значительное воздействие оказывает разработка месторождений. Выбросы в атмосферу в основной массе включают себя выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания карьерной техники, аэрозолей добываемого сырья и вмещающих пород. Плачевным является знание того, что из всего количества образующихся вредных веществ 2/5 не проходит какую-либо обработку, осаждаясь на значительные пространства.

Широко известно, что открытый способ добычи полезных ископаемых не оказывает прямого воздействия на водные ресурсы. Однако негативное воздействие всё же существует. В процессе разработки месторождения происходит осушение природных водоемов, загрязнение подземных вод буровыми растворами; размывание отвальных образований атмосферными осадками, с последующим загрязнением подземных вод, осаждение пыли и токсичных газов на зеркало природных водоемов.

Тотальное воздействие на земную поверхность при разработке месторождений происходит в результате нарушения земной поверхности при добычных работах, отчуждение земель под отвальные образования, строительство зданий, сооружений, инженерных коммуникаций и дорог. По окончании разработки месторождений конечно обязательной является процедура рекультивации земель, но пока месторождение разрабатывается – нарушенные земли являются источником загрязнения и водных ресурсов, посредством смыва вредных веществ с поверхности земли в поверхностные и подземные, и атмосферы, посредством пыления отвалов и уступов карьера.

Развитие растительности находится в зависимости от погодных условий территории, геоботанической зоны, рельефа, почв, обводненности, освещенности и иных факторов. Видовое разнообразие и размеры популяций животных непосредственно связаны с характером растительности на рассматриваемой области, кормовой базой, положением водотоков и водоемов, рельефом территории и фактором беспокойства. В итоге этого единого воздействия на рассмотренные элементы биосферы существенно ухудшаются условия произрастания растений и обитания животных. Воздействие на атмосферу, водные ресурсы и литосферу пагубно сказывается на животном и растительном мире, вызывая угнетение и вымирание природной среды.

Но не стоит забывать, что сам человек по своей сущности – биологический организм. И все основные вредные производственные факторы сказываются первоначально на нем самом. Технологические процессы добычи полезных ископаемых сопровождаются значительными выделениями пыли, наличием шума и вибрации. Персонал горнодобывающих предприятий подвергается воздействию неблагоприятных факторов производственной среды, которые могут привести к развитию профессиональных заболеваний и представляют для работающих профессиональные риски. Условия труда на горнодобывающих предприятиях характеризуются комбинированным сочетанным действием факторов производственной среды и могут усугубляться условиями окружающей среды. Все эти факторы в конечном итоге могут привести к развитию и осложнению профессиональных заболеваний работающих.

Результаты множества многолетних работ, связанных с изучением условий труда работников предприятий по добычи полезных ископаемых, единогласно утверждают о наличии

целого комплекса многофакторных негативных воздействий на персонал, приводящие в дальнейшем к значительным отрицательным последствиям для человека. Основными факторами для горной промышленности являются факторы производственной среды, такие как аэрозоли фиброгенного действия, загазованность, производственный шум, вибрации общего и локального вида, излучения различного характера, неблагоприятный микроклимат и др., уровни и концентрации которых практически на всех профессиях, занятых выполнением работ непосредственно связанных с технологическим процессом, не соответствуют нормативным требованиям.

В иерархии профзаболеваемости в горнодобывающей промышленности первенствующие позиции принадлежат болезням органов дыхания, виброблезни, нейросенсорной тугоухости, заболеваниям нервной системы и опорно-двигательного аппарата. Следует отметить, что в последние годы изменилась процентная составляющая групп профзаболеваний: уменьшилось количества лиц с вновь установленными патологиями вибрационного характера, но увеличилось доля болезней от физического характера.

Все перечисленные виды воздействия имеют постоянный и контролируемый характер. Но, в случае возникновения чрезвычайных событий наносимый урон и вред кардинально увеличивается. Чрезвычайные ситуации являются неожиданными стихийными бедствиями, которые наносят значительный ущерб экологии и вызывают гибель людей, а также приводят к массовой гибели растений и животных, что в значительной степени увеличивает как экологические, так и по профессиональным рискам

Из всего вышеперечисленного и установлена необходимость в проведение оценки техногенных рисков. И это же является и основной целью данной работы, а именно проведение оценки техногенных рисков горнодобывающих предприятий.

2. Материалы и методы

Как было установлено ранее, техногенные риски включаются в себя экологические и профессиональные риски. Каждый из данных видов риска имеет множество различных методов и способов оценки. Рассмотрим обоснование выбора методики оценки каждого из рисков более подробное.

Профессиональный риск – это вероятность причинения вреда здоровью в результате воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов при исполнении работником обязанностей по трудовому договору или в иных случаях, установленных Трудовым кодексом РФ, другими федеральными законами. Выбор методики оценки профессиональных рисков производился посредством анализа огромного спектра методик, рекомендуемых и созданных в настоящее время для оценки профессиональных рисков, в виде ГОСТы серии «Менеджмент риска» и руководящих документов, методик применяемых на предприятиях и рассмотренные в иной научной литературе. Свой выбор же мы остановили на следующих методиках: метод балльной оценки; метод анкетирования; метод оценки уровня индивидуального профессионального риска (ИПР).

Выбор методик расчета профессиональных рисков обусловлен следующими соображениями:

1. Методика балльной оценки использует результаты инструментальных замеров фактических параметров производственной среды и сравнение их с гигиеническими нормативами. То есть это объективная оценка условий труда и соответственно рисков.
2. Метод анкетирования основан на субъективном восприятии риска непосредственно участниками производственного процесса.
3. Оценка уровня индивидуального риска учитывает возраст и индивидуальные особенности состояние здоровья работающих.

Применение нескольких различных по своему способу оценки методик позволяет рассчитать профессиональные риски объективно, что позволит судить с точки комплексной

оценки. Выбранные нами методики достаточно просты, информативны для применения в системе управления профессиональными рисками. На исследуемых предприятиях изучались штатное расписание горных цехов и иная локальная нормативная документация, проведена работа по выявлению источников и последствий воздействия вредностей и опасностей, выполнены замеры факторов производственной среды, выявлены наиболее вредные производственные факторы. Измерения производственной среды проводились на оборудовании Восточно-Сибирского центра коллективного пользования «Техносферная безопасность». По результатам оценки, был произведен расчет профессиональных рисков для основных профессий рассматриваемых предприятий по трем методикам.

Сравнительная оценка экологических рисков горных предприятий была проведена нами с использованием ряда показателей, которые были основаны на статистических данных, посредством оценки индекса загрязнения атмосферы эколого-экономической оценки ущерба окружающей природной среде.

ИЗА – комплексный индекс загрязнения атмосферы, учитывающий несколько примесей. Комплексный ИЗА рассчитывается по специальной формуле, которая учитывает среднегодовую концентрацию загрязняющего вещества, его среднесуточную предельно допустимую концентрацию и коэффициент, который зависит от степени вредности загрязняющего вещества(1):

$$\text{ИЗА} = \sum_{j=1}^m \left(\frac{C_j}{\text{ПДК}_j} \right)^{P_i} \quad (1)$$

где C_i – фактическая среднегодовая концентрация i -го вещества в атмосферном воздухе и его ПДК $_{сг}$; показатель P_i ; m – число определяемых веществ.

Из всего многообразия веществ, поступающих в атмосферу, выбраны химические вещества от одинаковых технологических процессов, а именно буро-взрывных (оксиды азота, серы углерода), экскавации, транспортирования, погрузочно-разгрузочных работах на складах добытого полезного ископаемого (пылевые выделения, углеводороды, в том числе бенз(а)пирен). Эти источники неорганизованных выбросов рассредоточены на значительных по площади территориях.

Оценка ущерба от деятельности предприятия по разработке месторождений была проведена нами посредством эколого-экономической оценки ущерба окружающей природной среде, которая была посчитана нами в виде из экономической оценки воздействия на земельные, ресурсы и атмосферный воздух.

3. Результаты исследования и их анализ

В качестве объектов исследования нами выбраны угольные предприятия Иркутского региона. Выбор именно предприятий по добыче угля был основан на значимости данного природного ресурса как для страны в целом, так и в частности для нашего региона.

На территории Иркутской области расположены три крупных угольных бассейна – Иркутский, Канско-Ачинский и Тунгусский, общие разведанные запасы которых составляют 13,5 млрд т. Добыча в основном производится в пределах Иркутского угольного бассейна включающего четыре основных месторождения: Черемховское, Азейское и Мугунское, но относительно не давно начались вестись работы по разработке Тунгусского бассейна на Жеронском месторождении. Годовой уровень добычи угля за 2017 г. составил 12,2 млн т. Добычные работы в Иркутской области осуществляет 5 предприятий по 12 объектам. Основной объем добычи осуществляет ООО «Компания «ВостСибУголь» – 11,4 млн т. В качестве объекта исследования нами было взяты подразделения дочерние предприятия ООО «Компания «ВостСибУголь», а именно филиал «Разрез «Черемховский», филиал «Разрез «Азейский» и ООО «Трайлинг».

Филиал «Разрез «Черемховский» является структурным подразделением ООО «Компания «Востсибуголь». Годовая добыча каменного угля на разрезе составляет более 3 млн т. Филиал «Разрез «Азейский» тоже является структурным подразделением ООО «Компания «Востсибуголь», но добывает уже бурый уголь с годовым объемом добычи 2,9 млн т. Предприятие ООО «Трайлинг» является дочерним предприятием ООО «Компания «Востсибуголь» и производит разработку Жеронского месторождения на участке Вереинский, с годовой мощностью добычных работ 1,5 млн т.

Оценка профессиональных рисков производилась, как было рассмотрено ранее, по трём методикам для основных профессий рассматриваемых предприятий. Результаты расчета были обобщены и сведены в единый комплексный показатель, в виде удельных рисков в пересчете на тысячу тонн добываемого угля, которые представлены на Рисунке 1. В результате оценки было установлено, что наибольшие удельные профессиональные риски характерны для ООО «Трайлинг». Данное предприятие, по сравнению с другими из рассматриваемых, относительно с небольшое и не обеспечивает эффективную защиту персонала от негативных воздействий производственных факторов.



По результатам оценки индекса загрязнения атмосферы, главенство с небольшим перевесом опять же заняло ООО «Трайлинг». Это обусловлено в первую очередь высоким уровнем запыленности атмосферы при ведении технологических операций.

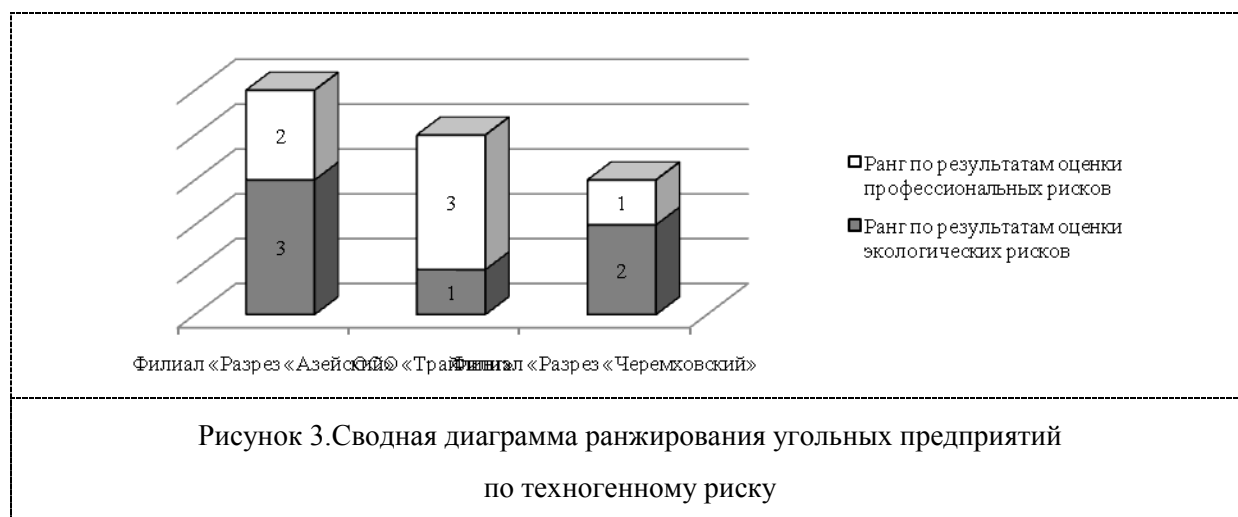
Оценка величины экологического ущерба от загрязнения атмосферного воздуха стационарными и передвижными источниками выбросов проведена на основе показателей удельного ущерба, представляющих собой стоимостные оценки ущерба от выброса единицы приведенной массы загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух. По результатам расчета было установлено, что суммарный годовой экономический ущерб атмосферному воздуху при функционировании рассматриваемых угольных предприятий составляет 3265,08 тыс. рублей.

При извлечении полезных ископаемых происходит нарушение почвенного покрова и образование твердых отходов. Суммарный эколого-экономический ущерб земельным ресурсам от деятельности данных предприятий составит 14,23 млрд рублей.

Результаты оценки экологических рисков представлены на Рисунке 2. По результатам оценки экологических рисков высокорисковым предприятием было определено филиал «Разрез «Азейский».



По совокупности профессиональных и экологических рисков был произведено присвоение рангов рассматриваемым предприятиям. По итогам обобщения результатов оценки рисков, нами установлено, что филиал «Разрез «Азейский» имеет наиболее весомый показатель техногенного риска (см. Рисунок 3).



4. Обсуждение

По результатам оценки техногенных рисков были установлены значительные вероятности их реализации и масштабы воздействия. Контролирующим организациям и руководству предприятия, имеющее высокий техногенный риск, следует обратить внимание на последствия

сохранения подобной негативной тенденции. В качестве меры снижения профессиональных рисков, предприятию необходимо решать вопросы управления рисками по следующим направлениям: техническое усовершенствование средств механизации, технологическое и организационное усовершенствование процесса добычи полезных ископаемых, модернизация производства и улучшение условий труда.

Для снижения же экологических рисков на предприятии предлагается предусмотреть провести работу в следующем ключе: организовать проведение мониторинга за состоянием окружающей среды, для оценки состояния окружающей среды и выявления ее негативных изменений; организовать рекультивацию земель, нарушенных горными работами, в соответствии с лицензионными условиями, по завершении отработанных запасов; предусмотреть организацию складирования вскрышных и вмещающих пород в отвалы, для дальнейшей эффективной рекультивации земель.

Реализация подобных мероприятий позволит снизить вероятность и ущерб от реализации рассмотренных чрезвычайных ситуаций на данных предприятиях.

5. Заключение

Если говорить о проблеме техногенных опасностей в нашей стране, то необходимо сказать, что комплексную оценку риска следует осуществлять только на основе нормативных методик. И даже несмотря на то, что получаемые комплексную оценку риска относят к значениям абсолютным, их сущность больше связана с относительным смыслом, так как получены эти риски благодаря методической базе. К сожалению, в России уделяется очень мало внимания данному вопросу, а если даже и уделяется, то вопрос полноты оценки техногенных рисков не рассматривается вовсе. За рубежом же комплексной оценке рисков посвящено уже более тысячи различных исследовательских и теоретических работ. И даже несмотря на то, что данная проблематика была затронута еще в 1975 году, в нашей стране полное решение этого вопроса еще не получено. Осуществление работ в области анализа и оценки риска продолжает развиваться. Однако без необходимого внимания добиться весомых результатов вряд ли удастся.

Библиографический список

- [11] Уманец В Н, Бугаева ГГ, Когут А В 2014 Методы оценки экологического риска для управления экологической безопасностью при производстве открытых горных работ *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)* 8 73-81.
- [12] Колесникова ЛА 2017 Анализ состояния окружающей среды в регионах с горнодобывающими предприятиями *Уголь* 4 (1093) 68-69.
- [13] Ниметулаева Г Ш 2016 О методах оценки профессионального и экологического риска в области охраны труда *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)* 5 75-93.
- [14] Zhang L 2013 Ecological Risk Assessment of Yulin Coal Mining Area: Based on the PETAR Method *Advanced Materials Research* 726-731 1115-1120.
- [15] Tworek P, Tchorzewski S, Valouch P 2018 Risk Management in Coal-Mines – Methodical Proposal for Polish and Czech Hard Coal Mining Industry *Acta Montanistica Slovaca* 23 72-80.
- [16] Ishtiaq M, Jehan N, Khan S A 2018 Potential harmful elements in coal dust and human health risk assessment near the mining areas in Cherat, Pakistan *Environmental Science and Pollution Research* 25(15) 14666-14673.

Исследование характеристик слюд для производства нагревательных элементов

Федорова С.В.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail fsta65@yandex.ru

Аннотация. В связи с комплексным освоением природных ресурсов несомненный интерес представляет использование слюды флогопит и флогопитов отходов для создания электронагревательных элементов.

1. Введение

Слюда относится к материалам, обладающим высокой термической стойкостью. Но под действием высокой температуры слюда вследствие выделения входящей в ее состав воды постепенно теряет блеск и прозрачность, сильно вспучивается (расслаивается) и становится механически непрочной. В связи с этими изменениями снижаются и электрические свойства слюды. У мусковита различных месторождений термические свойства изменяются незначительно, флогопиты уже могут сильно различаться в этом отношении. Поэтому в тех случаях, когда флогопит используется в качестве электроизоляционного материала в приборах, работающих при весьма высокой температуре, необходимо применять такого типа слюду, термическая стойкость которой отвечает условиям эксплуатации.

2. Материалы и методы

Наиболее полное использование в электроизоляционной промышленности находит мусковит: он выдерживает нагрев до 600 °С. Флогопит является гигроскопичной слюдой: по своей природе он более мягок и труднее расщепляется на тонкие слои по сравнению с мусковитом, но более термостоек и выдерживает нагрев до 800 °С [1].

3. Результаты исследования и их анализ

Термостойкость кристаллов флогопита на 200–300 выше, чем мусковита [2]. Это объясняется тем, что и флогопит, и мусковит до температуры 400 °С выделяют примерно равное количество газов. При повышении температуры на 100 °С наблюдается резкое увеличение газовыделения у мусковита, главным образом, за счет выхода воды. Для флогопита газовыделение практически остается на уровне прогрева при 400 °С [3]. Дегидроксидацию флогопита [4] связывают с удалением структурной воды. Для него область дегидроксидации составляет от 800 до 1000 °С. Учитывая структурные особенности кристаллов слюды, ее слоистость, предполагается, что образовавшаяся вода будет концентрироваться в межслоевой промежутке, обуславливая диффузионное сопротивление удаленной воды из межпакетной зоны. Для образцов Арьябиловского флогопита в интервале 700 - 900 °С протекает два процесса удаления воды (вода удаляется по двум механизмам). В интервале от 700 до 800 °С происходит удаление воды в диффузионном режиме. При 800 °С практически завершается процесс удаления межслоевой воды, а выше 800 °С начинается процесс дегидроксидации - удаление химически связанной воды. У флогопитов Каталах и Ковдор процесс дегидроксидации начинается в тот период, когда выделение межслоевой воды еще не завершено, тогда как у образцов Арьябиловского флогопита, процесс удаления межслоевой воды четко разграничен. При изучении природного флогопита [4] было выяснено, что у него потеря массы воды происходит в три этапа: выход адсорбированной воды – 40–220, межслоевой воды – 220–900, далее конституционной воды - 960 и выше. Слюда, отличающаяся повышенным содержанием фтора, является более термостойкой. Явление резкого увеличения газовыделения при повышенных температурах у кристаллов мусковита обусловлено дегидратацией некоторой части октаэдров структурного мотива, вследствие чего кристалл растрескивается, создавая благоприятные условия для выхода газов, главным образом воды, в работе [5] рассматриваются рентгеновские

исследования флогопитов. Они показали, что общим для всех является наличие серии отражений, соответствующих высоте слоя d_{001} равной примерно 20 Å. В эту серию хорошо вписываются обычные для флогопита отражения с $d_{001} = 10$ Å. Рентгенограмма, содержащая только отражения с названными d_{001} получена лишь от Ковдорского флогопита. На рентгенограммах всех остальных флогопитов, а именно Алданского и Слюдянского месторождений, присутствуют от одной до нескольких серий отражений с различными d_{001} . Выявлено, что количественное отношение фаз – примесей является индивидуальной характеристикой каждого образца. Флогопиты Ковдорские и Слюдянские характеризуются наличием фазы с d_{001} равным 14 Å. Кроме этой фазы присутствуют в незначительных, количествах фазы с d_{001} , равным примерно 11 и 13 Å. Соотношение интенсивности самых сильных отражений каждой серии может служить мерой сравнительной оценки содержания фаз в образце. Так наибольшее количество фаз с d_{001} , равным 14 Å, содержится в Ковдорском флогопите. Рентгенограммы Алданских флогопитов более разнообразны. Наряду с целочисленными сериями отражения переслоенных структур с d_{001} равными 16 Å (9 + 7), 24 Å (10 + 4) в основном, присутствуют отражения с d_{001} равные примерно 7,5 Å. Также известны работы по исследованию слюды при ее облучении интенсивным электромагнитным излучением [6]. Были изучены структурные изменения монокристаллов флогопита Ковдорского месторождения при нагревании в интервале температур от 27 до 977°C и воздействие ИК-лазерного излучения на слюду мусковит.

4. Обсуждение

Результаты терморентгенографических исследований флогопитов показали, что до температуры 527 °C существенных изменений на дифракционной картине не наблюдается, но при более высокой температуре они легко фиксируются. Примечательным является различный характер изменения величины d_{001} и B_{0012} в следующих друг за другом циклах нагрев - охлаждение. Зависимость $d_{001}=f(T)$ является практически линейной и при втором нагреве точно воспроизводит аналогичную зависимость первого нагрева в перекрывающемся интервале температур и продолжает ее ход при более высоких температурах $KTP_{d_{001}}=16 \cdot 10^6 \text{ K}^{-1}$. При температуре 727°C во флогопите образуется новая кристаллическая фаза, сохраняющаяся после охлаждения и последующих циклов нагрев - охлаждение во всем температурном интервале и отличающаяся от исходных меньших значений d_{001} и более высоким значением $KTP_{d_{001}}=18,7 \cdot 10^6 \text{ K}^{-1}$. При температуре > 527 °C наблюдается рост полуширины отражения исходной фазы, свидетельствующей о процессе расслоения образца, т.е. уменьшения размеров ОКР в направлении, перпендикулярном плоскости спайности. У вновь возникшей фазы эта характеристика имеет наибольшее значение при температуре возникновения фазы, а затем уменьшается до 877°C. При нагревании, по мере увеличения содержания новой фазы в образце происходит увеличение интенсивности соответствующего отражения. В результате фазового перехода образуется структура, имеющая меньший объем элементарной ячейки по сравнению с исходным кристаллом. Основной вклад в изменение объема вносит параметр "C". Таким образом, у флогопитов установлен высокотемпературный разовый переход. В результате образуется кристаллическая фаза, характеризующаяся меньшими значениями базального параметра и объема элементарной ячейки, устойчивая в широком температурном интервале. Уменьшение параметров является главным отличием фазового перехода во, флогопитах от перестройки структуры мусковита при нагревании. У мусковитов, в результате процесса дегидроксидации, образуется фаза, имеющая большие, по сравнению с исходной структурой, значения "C" и "V". Для оценки характера изменений, происходящих в структуре мусковита под действием ИК-лазерного излучения, были проведены параллельные исследования образцов, подвергнутых прогреву при фиксированных температурах и воздействию ИК-лазерного излучения различной мощности. Изучена область частот, примыкающая к частоте лазерного излучения (943 см^{-1}). Поглощение на $\nu=943 \text{ см}^{-1}$ может быть обусловлено в слюде длинноволновым крылом полосы, поглощения Si-O-Si ($\max \nu = 1000 \text{ см}^{-1}$), Si-O-Al ($\max \nu 920 - 960 \text{ см}^{-1}$) и поглощением деформационных колебаний Al-O-H с ($\max \nu = 925 \text{ см}^{-1}$). Для оценки вклада каждого из указанных колебаний исследовались спектры пластин и порошков

мусковита после прогрева в течение часа при температурах 497°C, 847°C, 997°C на воздухе и в аргоне.

При прогреве до 497°C спектры не изменяются. Это объясняется тем, что при данной температуре изменений в слюде не происходит. После прогрева до 847°C уменьшается интенсивность валентных колебаний гидроксильных групп (область 3620, 3640) см, плечо в области 943 см⁻¹ становится менее выраженным. В температурном интервале от 847 до 997°C поглощение в области валентных колебаний 0 - Н полностью исчезает. Таким образом, на основании полученных результатов можно утверждать, что под действием лазерного излучения в слюде происходит резонансное возбуждение преимущественно деформационных колебаний Al-O-H, а также в малой степени колебаний связи Si-O-Al, Si-O-(Me⁺). Лазерное облучение мусковита при малых мощностях P = 2-3,5 Вт и времени облучения порядка нескольких минут не вносит никаких изменений в слюду. А при более высокой мощности – P = 3,5-6 Вт возникают изменения, зависящие от длительности излучения. Происходит уменьшение прозрачности слюды, выявление вспучивания и трещин. Структурные изменения изучали с помощью рентгеноструктурного анализа. Удалось установить, что при малых временах облучения (1-5) с в мусковите, наряду с основной фазой, появляется новая фаза с несколько большими межплоскостными расстояниями. С увеличением времени облучения наблюдается уменьшение высоты максимума межслоевого катиона и увеличение полуширины максимума. Механизмы структурных превращений мусковита при лазерном облучении и термическом воздействии совпадают с процессами, происходящими в слюде при обычном нагревании. На начальных этапах облучения происходит выход гидроксильных групп из октаэдрической сетки, что приводит к развороту тетраэдров и гофрировке сетки их внешних оснований. В кристалле образуются трещины, и он мутнеет. При дальнейшем облучении происходит вынос межслоевого катиона, и появляются области с сильно искаженной внутренней сеткой, гофрировка оснований тетраэдров возрастает так, что параметр "C" растет. В течение некоторого времени эта разрушенная фаза соседствует с деформированной исходной. Затем концентрация последней уменьшается, структура кристалла теряет устойчивость, и он разрушается.

5. Заключение

Результаты терморентгенографических исследований флогопитов показали, что до температуры 527°C существенных изменений на дифракционной картине не наблюдается, но при более высокой температуре они легко фиксируются. Примечательным является различный характер изменения величины d₀₀₁ и В 0012 в следующих друг за другом циклах нагрев - охлаждение. Зависимость d₀₀₁=f(T) является практически линейной и при втором нагреве точно воспроизводит аналогичную зависимость первого нагрева в перекрывающемся интервале температур и продолжает ее ход при более высоких температурах КТР d₀₀₁=16 10⁶ K⁻¹. При температуре 727°C во флогопите образуется новая кристаллическая фаза, сохраняющаяся после охлаждения и последующих циклов нагрев - охлаждение во всем температурном интервале и отличающаяся от исходных меньших значений d₀₀₁ и более высоким значением КТР d₀₀₁=18,7-10⁶ K⁻¹. При температуре > 527 °C наблюдается рост полуширины отражения исходной фазы, свидетельствующей о процессе расслоения образца, т.е. уменьшения размеров ОКР в направлении, перпендикулярном плоскости спайности. У вновь возникшей фазы эта характеристика имеет наибольшее значение при температуре возникновения фазы, а затем уменьшается до 877°C. При нагревании, по мере увеличения содержания новой фазы в образце происходит увеличение интенсивности соответствующего отражения. В результате фазового перехода образуется структура, имеющая меньший объем элементарной ячейки по сравнению с исходным кристаллом. Основной вклад в изменение объема вносит параметр "C". Таким образом, у флогопитов установлен высокотемпературный разовый переход. В результате образуется кристаллическая фаза, характеризующаяся меньшими значениями базального параметра и объема элементарной ячейки, устойчивая в широком температурном интервале. Уменьшение параметров является главным отличием фазового перехода во, флогопитах от перестройки структуры мусковита при нагревании. У мусковитов, в результате процесса

дегидроксилации, образуется фаза, имеющая большие, по сравнению с исходной структурой, значения "С" и "V". Для оценки характера изменений, происходящих в структуре мусковита под действием ИК-лазерного излучения, были проведены параллельные исследования образцов, подвергнутых прогреву при фиксированных температурах и воздействию ИК-лазерного излучения различной мощности. Изучена область частот, примыкающая к частоте лазерного излучения (943 см^{-1}). Поглощение на $\nu = 943\text{ см}^{-1}$ может быть обусловлено в слюде длинноволновым крылом полосы, поглощения Si-O-Si ($\max \nu = 1000\text{ см}^{-1}$), Si-O-Al ($\max \nu 920 - 960\text{ см}^{-1}$) и поглощением деформационных колебаний Al-O-H с ($\max \nu = 925\text{ см}^{-1}$). Для оценки вклада каждого из указанных колебаний исследовались спектры пластин и порошков мусковита после прогрева в течение часа при температурах 497°C , 847°C , 997°C на воздухе и в аргоне. При прогреве до 497°C спектры не изменяются. Это объясняется тем, что при данной температуре изменений в слюде не происходит. После прогрева до 847°C уменьшается интенсивность валентных колебаний гидроксильных групп (область $3620, 3640$) см, плечо в области 943 см^{-1} становится менее выраженным. В температурном интервале от 847 до 997°C поглощение в области валентных колебаний O - H полностью исчезает. Таким образом, на основании полученных результатов можно утверждать, что под действием лазерного излучения в слюде происходит резонансное возбуждение преимущественно деформационных колебаний Al-O-H, а также в малой степени колебаний связи Si-O- Al, Si-O-(Me⁺)

Библиографический список

- [1] Федорова С.В. Оптимизация технологических процессов и разработка теории производства электронагревателей на основе обогащенных слюд промышленных отходов стекла. Кандидатская диссертация. (Иркутск, 1996)
- [2] Тюрин Н.Г., Шишелова Т.И., Леонова Н.В., Обухова А.Г. Коэффициент диффузии воды при дегидроксилации флогопита. (ВИНИТИ. - Иркутск, 1985) - С. 2-7.
- [3] Шишелова Т.И., Леонова Н.В., Новгородцева Т.И. Использование природного фторфлогопита для изготовления нагревостойких бумаг (Изв. ВУЗов. Неорганические материалы, 1990) №5. - С.1117-1119.
- [4] Кузнецова Г.А., Кринари Г.А., Лиопо В.А. Особенности кристаллического фазового состава природных флогопитов. (ВИНИТИ.-Иркутск, 1989) - 30.
- [5] Лиопо В.А., Мецик М.С, Кузнецова Г.А., Война В.В., Ковалевская Т.И., Калихман В.М. Структурные изменения в кристаллах слюд при лазерном облучении. (Известия вузов. Физика. - Томск, 1990). - С.21.
- [6] А.с. 47728 СССР. Способ изготовления микалекса / Н.И. Демидов /. - Оpubл.31.07.86; МКЛ2Н01В 19/00.
- [7] А.с. 50549 СССР. Способ изготовления микалекса / Н. П. Богородицкий, Н.Д. Фридберг. - Оpubл.28.02.87 МКЛ2 НОЙВ,19/00.
- [8] Шишелова Т.И., Чиликанова Л.В., Байбородин Б.А. Рентгенографическое исследование слюд и композиционных материалов на их основе // Тезисы доклада пятого семинара по дифракционным методам исследования структур «Диффузионное рассеяние рентгеновских лучей в реальных кристаллах. - Иркутск, 1981. - С.31.
- [9] Gavrilin G., IndustriaVsora 1969, 16, №6., С.381-387.
- [10] Volpe V.L., Filrath R.M, Pasr Y.A ,Y. Amer Ceram Soc, 1959,V.42,№2, p.102-106.
- [11] Oel H Y., Ber Duet., Keram. Gessellschath , 1961, Bd38, №6, S.258-267.

Технологические аспекты переработки магнийсиликатных ОТХОДОВ

Худякова Л.И.¹, Тимофеева С.С.²

Байкальский институт природопользования СО РАН, Россия¹

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия²

E-mail: lkhud@binm.bscnet.ru

Аннотация. Магнийсиликатные отходы горнодобывающей промышленности имеют большие объемы и, практически, нигде не используются. Показано, что их можно применять в качестве минеральной добавки в производстве портландцемента. Изучено влияние количества добавки троктолита и величины удельной поверхности на механические показатели цементов. Определены рецептурно-технологические параметры получения цементов с минеральной добавкой. Установлено, что введение троктолита в количестве 25% при величине удельной поверхности 450 кг/м² приводит к улучшению прочностных показателей цементных композиций. Использование магнийсиликатных отходов при производстве цемента позволит снизить экологические нагрузки цементного производства на окружающую среду за счет уменьшения потребления используемых природных сырьевых ресурсов, электроэнергии, сокращения выбросов углекислого газа и пыли. Это также будет способствовать решению экологических проблем горнодобывающих предприятий.

1. Введение

В мире находится огромное количество отходов горного производства, в числе которых вскрышные и вмещающие породы, образующиеся при разработке месторождений полезных ископаемых. Они представлены, в большей степени, силикатными породами, включающими в свой состав немалое количество магнийсиликатных пород. Многие из них используются в строительной отрасли.

Наибольшее применение нашли базальты, которые, в основном, используются для получения минерального волокна [1-6]. Данными породами можно заменить гранитный щебень и кварцевый песок, являющиеся традиционными заполнителями при приготовлении бетонной смеси [7, 8]. А для получения фибробетонов [9-12], пенофибробетонов [13, 14] и фиброцементных плит [15] в цемент добавляют базальтовое волокно, что повышает их качество. Кроме того, использование базальтов в виде добавки в цементы позволяет не только улучшить их физико-механические и эксплуатационные показатели [16-20], но и уменьшить долю входящих в сырьевую смесь природных ресурсов. Также, для повышения прочности и долговечности в вяжущие композиции можно вводить серпентинит [21, 22].

Помимо указанных пород, в отвалах вскрыши находятся магнийсиликатные породы в виде троктолитов, которые не используются, а остаются в отвалах, оказывая негативное влияние на качество окружающей среды. Поэтому, вовлечение их в производство новых видов продукции является актуальной проблемой для геоэкологической безопасности планеты.

Целью настоящей работы является разработка технологических основ использования магнийсиликатных отходов горнодобывающей промышленности в производстве смешанных цементов.

2. Материалы и методы

В процессе выполнения исследований применялись следующие сырьевые материалы: портландцементный клинкер Тимлюйского цементного завода и неорганическая минеральная добавка. В качестве добавки использовали магнийсиликатные отходы горнодобывающей промышленности, представителем которых являлись вскрышные и вмещающие породы

Северо-Байкальской рудной зоны в виде троктолитов следующего химического состава, мас. %: SiO_2 – 40.6; Al_2O_3 – 12.0; MgO – 28.6; CaO – 5.6; $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})$ – 10.6; $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ – 0.1.

В работе использовали метод механоактивации. Помол сырьевых материалов выполнялся в стержневом вибрационном измельчителе марки 75Т-ДрМ с их максимальной загрузкой в количестве 0.5 кг.

Определение физико-механических показателей полученных материалов проводилось в соответствии с требованиями ГОСТ 310.1-76 «Цементы. Методы испытаний. Общие положения», ГОСТ 310.2-76 «Цементы. Методы определения тонкости помола», ГОСТ 310.3-76 «Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема», ГОСТ 310.4-76 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии».

3. Результаты исследования и их анализ

Огромное количество отходов горного производства, скопившихся на территории России, требует скорейшего решения вопросов их сокращения посредством вовлечения в технологический цикл получения новых видов продукции. Одно из перспективных направлений – производство строительных материалов, в частности, цемента.

Как известно, цементное производство является дорогостоящим и опасным для окружающей среды процессом. Оно потребляет большой объем природных сырьевых материалов, расходует значительное количество электроэнергии и выделяет в атмосферу огромное количество углекислого газа и пыли. Снижения данных показателей можно добиться, используя в качестве минеральной добавки магнийсиликатные отходы в виде троктолитов. Троктолитовая добавка является потенциально активной и может использоваться при получении цемента.

Основными технологическими параметрами производства цемента является величина удельной поверхности [23] и количество вводимой добавки. Для установления зависимости физико-механических показателей цемента от технологических параметров их получения из теста нормальной густоты готовились образцы – кубы с размером ребра 2 см. Образцы выдерживали в течение 3, 7, 14 и 28 суток в ванне с гидравлическим затвором, затем испытывали по ГОСТ 310.4-76. Результаты, полученные после твердения цемента с добавкой троктолита в течение 28 суток в нормально-влажностных условиях, представлены в таблице 1.

Как видно из табличных данных, величина удельной поверхности оказывает влияние на механические свойства цемента. Наибольшие прочностные показатели имеют цементы с добавкой троктолита, измельченные до величины удельной поверхности $450 \text{ м}^2/\text{кг}$. Гидратация более тонко измельченного материала не приводит к повышению прочности образцов. По-видимому, появляются сверхтонкие фракции, способствующие агрегатированию частиц и влияющие на гидратационную активность цемента.

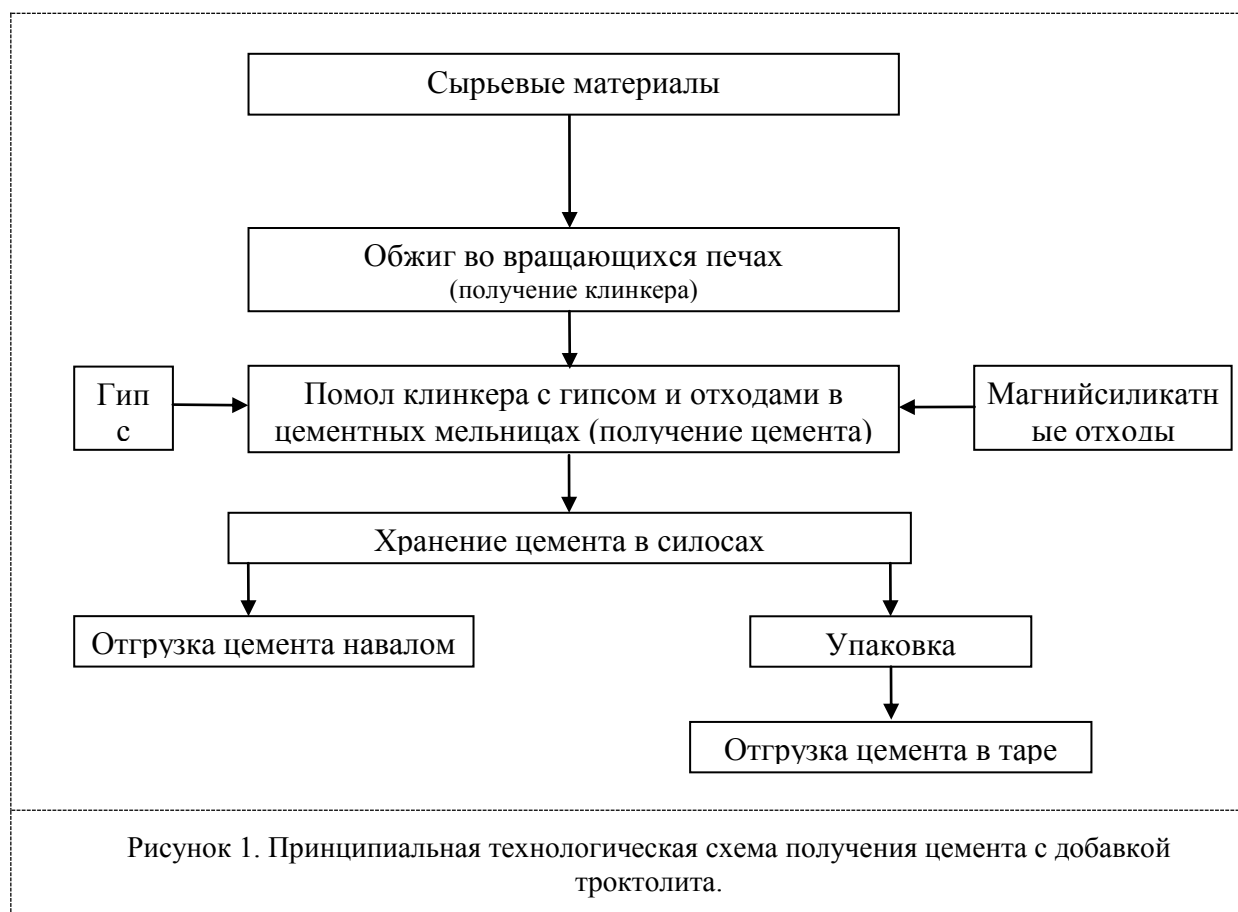
Таблица 1. Влияние технологических параметров на прочность цемента.

Количество добавки троктолита	Предел прочности при сжатии, МПа при величине удельной поверхности			
	280 $\text{м}^2/\text{кг}$	340 $\text{м}^2/\text{кг}$	450 $\text{м}^2/\text{кг}$	560 $\text{м}^2/\text{кг}$
0	52.2	56.6	64.2	57.5
5	52.7	57.8	65.3	58.1
10	53.1	59.6	66.1	59.5
15	53.4	64.2	66.9	60.8
20	53.8	66.8	67.6	62.0
25	57.5	67.4	69.8	63.8
30	53.5	62.3	66.8	60.5
35	52.2	59.8	62.1	58.7
40	50.0	56.9	60.5	55.1

Количество добавки магнийсиликатных отходов также влияет на предел прочности при сжатии цементных образцов, который выше чем у контрольного образца портландцемента. Увеличение добавки троктолита до 25% способствует нарастанию прочности материала, после чего данный показатель снижается.

Анализируя время твердения образцов, можно сделать вывод, что основной набор прочности цементов происходит в первые четырнадцать суток (более 50%), достигая максимального значения к двадцати восьми суткам, не изменяя, в дальнейшем, своих значений.

Полученные в ходе выполнения исследований рецептурно-технологические параметры послужили основой для разработки технологических решений получения цемента с минеральной добавкой троктолита. Принципиальная технологическая схема представлена на рисунке 1.



Производство цемента с минеральными добавками исключает введение троктолитов в сырьевую смесь для обжига, что положительно сказывается на себестоимости цементов и экологической составляющей их получения.

4. Обсуждение

Как известно, вид минеральной добавки, ее количество и величина удельной поверхности оказывают непосредственное влияние на гидратационную активность портландцемента. Используемые в качестве добавки магнийсиликатные отходы (троктолиты) содержат в своем составе около 30% оксида магния, 10% оксидов железа и состоят из минералов группы оливина, а также лабрадора, анортита и альбита. В исходном состоянии они малоактивны и негативно влияют на гидратацию цемента. Для их активирования применили метод механоактивации.

Механическая активация позволяет изменять размер частиц сырьевых материалов, приводя к нарушению структуры, и их распределение в измельчаемой массе. Образуется новая поверхность центрами активности, в результате чего повышается химическая активность тонкоизмельченного материала. Данный процесс также зависит и от объема минеральной добавки.

Количество добавляемого троктолита регулирует общее содержание SiO_2 , входящее в состав новообразований цемента и влияющее на накопление низкоосновного геля CSH, переходящего в CSH(1). Кроме того, увеличение процентного содержания добавки приводит к уменьшению количества $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в цементном камне за счет химического взаимодействия его с минералами троктолита и возникновения новообразований.

Добавка троктолита в количестве 25% к портландцементному клинкеру на стадии помола позволяет интенсифицировать процесс гидратации измельченного до величины удельной поверхности $450 \text{ м}^2/\text{кг}$ портландцемента. В результате образуются гидросиликаты кальция, магния, железа, а также их смешанные разновидности с волокнистой, ленточной и цепочечной структурами. Их вид и количество определяет прочность полученных композиций.

3. Заключение

Таким образом, магниесиликатные отходы горнодобывающей промышленности в виде троктолитов можно использовать как минеральную добавку при производстве портландцемента. При этом, качество его будет зависеть от рецептурно-технологических параметров получения. Наиболее оптимальными условиями являются: количество добавки троктолита 25%, величина удельной поверхности – $450 \text{ м}^2/\text{кг}$, когда механические показатели цемента будут максимальны.

Добавка магниесиликатных отходов позволит заменить соответствующее количество портландцементного клинкера на стадии помола цемента, что позволит существенно снизить негативное влияние цементного производства на окружающую природную среду за счет снижения потребления природных сырьевых ресурсов и электроэнергии, выбросов пыли и углекислого газа. А утилизация отходов горного производства позволит решить экологические проблемы при освоении месторождений полезных ископаемых.

Библиографический список

- [1] Ходакова Н Н, Углова Т К, Фирсов В В и Татаринцева О С 2013 Минеральное сырье Кавказа для производства базальтовых волокон *Ползуновский вестник* 1 138-142
- [2] Khudyakova L I, Buyantuev S L and Voiloshnikov O V 2013 Mineral fiber obtained using low-temperature plasma. *Glass and Ceramics* 70(7-8) 297-299
- [3] Kumbhar V P 2014 An overview: basalt rock fibers – new construction material. *Acta Engineering International* 2(1) 11-18
- [4] Kunal S 2012 A short review on basalt fiber. *International Journal of Textile Science* 1(4) 19-28
- [5] Siddiqui R, Naseer S and Uddin B 2015 Basalt: unconventional uses of a conventional rock. *International Journal of Science and Engineering* 3 Special Number ICRAESM 116-123
- [6] De Fazio P 2011 Basalt fibra: from earth an ancient material for innovative and modern application. *Energia, Ambiente e Innovazione* 3 89-96
- [7] Curbanov R M, Hadgishalapov G N and Hegev T A 2013 Research of heat-resistant concrete on the basis of basalt filler for concreting of metal designs. *Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences* 4 (31) 61-65
- [8] Нгуен Вьет Кыонг и Чумаков Л Д 2009 Комплексное использование базальтовых заполнителей в бетоне. *Вестник МГСУ* 1163-167

- [9] Kasper E A and Bochkareva O S 2015 Fine grained concrete dispersed-reinforced by basalt fiber. *Systems. Methods. Technologies* 1(25) 135-138
- [10] Бабаев В Б, Строкова В В и Нелюбова В В 2012 Базальтовое волокно как компонент для микроармирования цементных композитов *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова* 4 58-61
- [11] Borhan T M 2013 Thermal and mechanical properties of basalt fibre reinforced concrete. *International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering* 7(4) 334-337
- [12] High C, Seliem H M, El-Safty A and Rizkalla S H 2015 Use of basalt fibers for concrete structures. *Construction and Building Materials* 96 37-46
- [13] Bozylev V V and Dragel A A 2013 To the question of the strength indicators of products from non-autoclaved foamed concrete increasing. *Vestnik of Polotsk State University. Part F. Constructions. Applied Sciences*. 16 77-83
- [14] Zhukov A D and Rudnitskaya V A 2012 Foam concrete reinforcement by basalt fibres. *Vestnik MGSU* 6 83-87
- [15] Фадеева Т А 2015 Современные отделочные бетоны, получаемые методом фильтрационного прессования. *Science Time* 12(24) С. 788-791
- [16] Andrade F R D, Pecchio M, Bendoraitis D P, Montanheiro T J and Kihara Y 2010 Basalt mine-tailings as raw-materials for Portland clinker *Cerâmica* 56 39-43
- [17] El-Didamony H, Helmy I M, Osman R M and Habboud A M 2015 Basalt as pozzolana and filler in ordinary portland cement *American Journal of Engineering and Applied Sciences* 8(2): 263.274 doi: 10.3844/ajeassp.2015. 263. 274
- [18] Mendes T M, Guerra L and Morales G 2016 Basalt waste added to portland cement *Maringá* 38(4) 431-436 doi: 10.4025/actascitechnol.v38i4.27290
- [19] Eroshkina N A and Korovkin M O 2015 Properties of geopolymer binders based on disperse waste of basalt extraction and processing *PGUAS Bulletin: Construction, Science and Education* 1 25-28
- [20] Dobiszewska M and Beycioğlu A 2017 Investigating the influence of waste basalt powder on selected properties of cement paste and mortar *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 245 022027 doi:10.1088/1757-899X/245/2/022027
- [21] Lazarevich E V, Nikitenko N E, Gilevich A A and Orlov A A 2017 Development of nonfired materials by serpentine *Architecture, Urbanism and Design* 12 15-19
- [22] Lee J-K and Soh J-S 2016 Performance of magnesia cement using $MgCO_3$ and serpentine *Journal of the Korean Ceramic Society* 53(1) 116-121 doi: 10.4191/kcers.2016.53.1.116
- [23] Khudyakova L I, Voiloshnikov O V and Kotova I Yu 2015 Influence of mechanical activation on the process of formation and properties of composite astringents *Building Materials* 3 37-41

Технология использования слюды для декорирования ювелирных изделий

Анисимова А.А., Гершкевич Д.А., Кургуз Л.С.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

Аннотация: Изучены свойства слюд, в частности их реакция на нагревание. Проведены эксперименты с различными видами слюды и выявлены особенности разных образцов. Разработана технология использования слюды как материала для изготовления вставок и в качестве покрытия металлической поверхности.

1 Введение

На территории Иркутской области в г. Слюдянка расположено крупное месторождение слюды. В данный момент месторождение не разрабатывается, однако его отвалы содержат много некондиционного для крупного производства сырья. Целью данной работы является поиск путей рационального использования некондиционного материала в ювелирном деле. Задачи: выявление особенностей слюд, эксперименты по нагреванию при разных температурах, разработка технологий использования слюды как вставки и декоративного покрытия.

2 Необходимые материалы

Слюды: биотит, флогопит и мусковит.

Для проведения экспериментов с нагреванием слюд, требовалась муфельная печь, бензиновая горелка, пинцет, огнеупор. Для изготовления вставок и покрытий: эпоксидная смола, суперклей, тиски, металлическая пластина, пластилиновая форма.

3 Свойства слюд

Слюды относятся к группе минералов-алюмосиликатов, имеющих слоистую структуру. Это один из наиболее распространённых породообразующих минералов интрузивных, метаморфических и осадочных горных пород, а также важное полезное ископаемое [1].

Основные свойства слюд: весьма совершенная спайность, благодаря слоистой структуре слюды легко расслаиваются на тончайшие пластины, в них слюда довольно хорошо просвечивает. Тонкие пластинки обладают достаточной прочностью и гибкостью, а также упругостью. Твёрдость слюды по минералогической шкале составляет – 2,5-3, небольшая плотность (рис. 1).



Рисунок 1. Структура слюд.

Различают несколько видов слюд в зависимости от химического состава: биотит, флогопит, мусковит, лепидолит. Чаще всего встречается мусковит, для него характерны бесцветные или беловатые пластинки, при наличии примесей она может быть с желтоватым и зеленоватым оттенком. Остальные виды слюд отличаются по химическому составу, за счёт чего их цвет может быть желтоватым, коричневатым - флогопит, черным – биотит, розовым, лиловым - лепидолит [2].

4 Технология изготовления вставок

Технологический процесс создания вставок из слюд начинается с отбора наиболее подходящего сырья. Взяты три образца разных слюд мусковит, биотит, флогопит. Требования к образцам: хорошая целостность, ровность поверхности, плотность прилегания слоев (рис. 2).

Все образцы обжигались ручной газовой горелкой при температуре 1000-1300 градусов. Подобный обжиг придает верхним слоям определённый окрас, мусковит серебристый, флогопит серебристо-золотистый цвет, биотит практически не окрашивается. Подобное изменение цвета и разница цвета обусловлена содержанием разных примесей. В связи с проявлением свойств слюды (устойчивость к резким температурам) изменение окраски проходит только на самом верхнем слое, который после обжига легко снимается. Исходя из этого данный способ обжига не совсем подходит для получения нужного эффекта (рис. 3).



Рисунок 2. Исходный образец слюды.



Рисунок 3. Результат обжига горелкой.

Для следующего обжига были выбраны только два образца мусковит и флогопит так как они показали наиболее интересное изменение цвета. Данные два образца были помещены в муфельную печь и обжигались при температуре 900-1000 градусов в течение 30-40 минут. В результате этого оба образца изменили окрас полностью во всех слоях, но в связи с тем, что температура была высокой слюда вздыбилась и частично расслоилась (рис. 4). По причине того, что мусковит сильнее отреагировал на высокие температуры чем флогопит. Для выявления оптимальной температуры отобраны еще несколько образцов флогопита. В результате проведенных экспериментов выявлен оптимальный диапазон температур. При запекании, от 700 до

800 градусов проявляется изменение окраски, а также расслоение проходит не так значительно, как при 1000 градусах.

Для укрепления и дальнейшего удобства обработки полученный образец из флогопита был залит бесцветным клеем на основе эпоксидной смолы. Образцы из мусковита в связи с тем, что при запекании сильно расслоились были так же залиты эпоксидной смолой, разбавленной уайтспиритом примерно 1/10 для придания большей текучести чтобы, клей мог попасть между всеми слоями. После, образцы из мусковита были оставлены на час для пропитывания клеем. Спустя 1 час образцы были извлечены из емкостей с эпоксидной смолой и зажаты под пресс для возвращения им изначальной толщины и плотности прилегания слоев друг к другу. В таком состоянии образцы были оставлены на сутки до полного затвердевания. После этого получение заготовки полностью готовы для дальнейшей формовки, шлифовке и полировке. Твердость образцов в ходе данных манипуляций не изменилась.

В результате проведенных экспериментов была выработана технология изготовления вставок из слюд и получен наиболее удачный образец из флогопита (рис. 5).



Рисунок 4. Результат обжига при 1000°.



Рисунок 5. Образец вставки из флогопита.

5 Технология изготовления покрытий

Технология создания текстурированного покрытия на поверхности металла основана на закреплении предварительно термически обработанного тончайшего слоя слюды, создающего необходимый декоративный эффект.

Тонкие пластинки слюды докрасна обжечь газовой горелкой, температурный режим 900-1300°C. Мусковит при обжиге приобретает белый цвет с металлическим блеском иногда матовым. Его поверхность становится чешуйчатая, тонкие слои очень хрупкие. Флогопит также светлеет до белого оттенка, но его структура после обжига ненамного отличается от первоначальной, а биотит приобретает слегка металлический блеск и не расслаивается (рис. 6а, б). Охлаждается слюда очень быстро.



Далее на подготовленную поверхность металла или же иного материала, накладывается тонкий слой клея «Момент». Прикладывается кусок обожжённой с одной стороны слюды, выжидается время склеивания верхнего слоя слюды с поверхностью металла и остаток слюды удаляется для получения тончайшего слоя на металле.

Затем необходимо зачистить поверхность. После приклейки слюды она изначально шероховатая. Неровность придают тонкие не полностью приклеенные мелкие чешуйки слюды, они легко счищаются трением пальца. После зачистки на поверхности местами может просвечивать металл, поэтому операцию приклейки до ровного наложения необходимо продолжать снова и снова. Слой слюды на поверхности металла получается тонкий менее 1 мм (рис. 7).



Рисунок 7. Толщина слюдяного покрытия менее 1 мм.

Порядок операций с наложением разных слюд одинаков, однако требует некоторого опыта, для получения желаемого результата. Таким образом, для придания желтоватого цвета покрытия необходимо наложить на уже приклеенный слой флогопита по той же технологии добавить более тёмную слюду (биотит). Именно из-за того, что он ровнее и плотнее мусковита слой получается очень тонкий и ровный. Покрытие флогопитом отличается от покрытия мусковитом более ровным и гладким эффектом наложения. На рисунке 8 представлен браслет с использованием данной технологии. Покрытие из флогопита.



Рисунок 8. Браслет с покрытием из слюды.

Необходимо отметить важность соблюдения техники безопасности при использовании данной технологии. При работе со слюдой мелкие частички могут попасть в дыхательные пути, что может привести к раздражению слизистых оболочек, поэтому необходимо использовать маску или респиратор.

Библиографический список:

- [1] Булах А.Г. Общая минералогия Академия, Москва, 2008 г. 416 с.
- [2] Слюда. [Электронный ресурс]: Fine sell URL:finesell.ru/prirodiye-kamni/studa.html/

Анатомические особенности организмов в создании дизайна 3D моделей ювелирных изделий

Анисимова Т.В., Шпынева Е.М.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail a.t.v.999@mail.ru

Аннотация. Исследовались методы и способы создания 3-D моделей на основе стилизации анатомических особенностей биологических организмов в ювелирные изделия. Представлены варианты результатов стилизации в области построения изображений и чтения чертежей. Обоснована необходимость использования 3-D моделирования, пришедшее на смену старым 2-D методам.

В процессе обучения и работы в различных направлениях дизайна, природные объекты, имеющие свое строение и особенности, стилизуются и видоизменяются. Действительно, человек на протяжении сотен лет использует их в своем творчестве, обращая внимание на специфику и морфологию организмов. Образы насекомых, птиц, животных и людей прослеживаются, начиная с палеолита, Древнего Египта, через ар деко, ар нуво и до наших дней [2].

Стилистическим направлением современности, которое уделяет особое внимание строению организмов, является бионика, виженари арт и фантастический реализм. Бионика –

направление дизайна, характеризующееся гармоничным объединением биологии и техники. Одним из условий такого сосуществования является то, что техника и дизайн создается по подобию живых организмов, обитающих в природе [3]. Фантастический реализм – направление в живописи австрийского искусства второй половины XX века. Художественные тенденции близкие сюрреализму и сознательно противопоставляющее себя абстрактному искусству [4].

Виженари арт (англ. Visionaryart – визионерское искусство) – художественный стиль, творческий процесс в измененном состоянии сознания, медитативном созерцании или трансе, спонтанное изображение увиденного [5].

Современный мир находится в постоянном движении и развитии. Изменению подвергается всё, начиная от проектирования и разработки дизайна ювелирных изделий и заканчивая методами строительства космических станций. Все это требует навыков, способов и знаний в области построения изображений и чтения чертежей. На данный момент огромную актуальность имеет 3-D моделирование, пришедшее на смену старым 2-D методам [1]. Проектная деятельность дизайнера связана с применением не только традиционных, но и современных технологий, соответствующих требованиям нынешнего рынка. Ювелирное искусство и дизайн изделий не является исключением [2].

Существуют определенные преимущества 3-D моделирования, над стандартным способом изготовления. Прерогативой работы на программном обеспечении является: более наглядное представление изделия, быстрое воссоздание чертежей и макетов, отсутствие нужды в физической модели, функциональность и возможность использования на различных устройствах, автоматизированный расчет свойств изделия, подбор материалов, гибкость изменения модели, корректировка и возврат действий, обозначение слабых и сильных сторон проекта [1].

Использование 3-D печати и ЧПУ станков при изготовлении позволяет экономить время, моделируя текстуры, фактуры и мелкие детали на этапе разработки. Существуют способы изготовления фантазийных форм, очень сложных в исполнении при использовании стандартных ручных технологий. К плюсам относится и быстрое создание мастер-модели, возможность применения в изготовлении любых материалов [2].

Изучая историю и работая в различных направлениях дизайна, можно проследить, как природные объекты, стилизуются и видоизменяются. Разрабатывая проект, экспериментируя с формами, линиями, пятнами, штрихами и тенями, создается концепция будущего изделия.

Дизайн серии ювелирных изделий с использованием анатомических особенностей организмов

В результате работы над созданием уникального дизайн проекта ювелирного изделия был отобран класс паукообразных организмов для рассмотрения и изучения их особенностей. Выявленные и изученные анатомические особенности легли в основу стилизации образов изделий и предметов быта.

Разработка дизайн проекта любого назначения начинается со стилизации и изучения объекта. Разбираются и отрисовываются натурные зарисовки, производится формообразование из геометрических форм и силуэтов, гиперболизируются особенности и характерные черты, объединяются, вырезаются и перемещаются относительно друг друга, части рассматриваемого предмета. Практически любой художественный прием может быть использован в эскизных поисках.

В дальнейшем наиболее понравившийся эскиз детализируется, еще раз формоизменяется и прорабатывается. В процессе создания изделия были проанализированы особенности нескольких анатомических видов организмов и выведены общие формы и закономерности. Так как тема бионики остается актуальной в любое время, было принято решение разработать ряд ювелирных изделий, с использованием анатомических особенностей организмов. Одно из ряда изделий – изготовить. Одним из первых для изучения был выбран ряд высших раков, а именно,

байкальский гаммарус. Его характерными чертами являются сегменты спинного панциря, и грудные ноги (плеоподы). Эскизные поиски осуществлялись в программах 3-D и 2-D графики, а именно ZbrushR8, Keyshot, Rhinoceros, Illustrator, и Phtoshop. Симбиоз таких организмов как паук и скорпион, в процессе разработок привели к нестандартному решению, как визуальной, так и технологической части. Один из фрагментов рисунков был выбран в качестве прообраза для создания 3D моделей комплекта ювелирных изделий.

Модели разработаны в программах ZBrush R8 и Rhinoceros. Материалы и освещение подобраны в приложении KeyShot, обрабатывались и верстались демонстрационные планшеты в графическом редакторе Adobe Photoshop. Полученные образы изделий в стиле бионика, необходимо было вписать в гармоническую пропорциональную сетку-схему, построенную по принципу золотого сечения. После анализа аналогов изделий в стиле бионика от современных дизайнеров, составлялся схематический чертеж основного изделия, его 3-D модель-эскиз, а также 3-D модели серии ювелирных изделий, выполненных в этой тематике. Схема золотого сечения выявила гармоничное композиционное решение. Данный этап удобнее проводить в графическом редакторе Coral Draw или Adobe Illustrator. В результате выполненных геометрических построений, можно сделать вывод, что композиция изделий является гармоничной. Схемы золотого сечения, нанесенные на эскизы, демонстрируют пропорциональность разработки.

Следующим этапом в создании изделия является просчет себестоимости материалов и их количества. Далее готовую модель воплощаем в материале.

Основные операции, инструменты, приспособления и специальные техники при изготовлении изделий

В ходе проведенной работы, были использованы подготовительные, основные и финишные ювелирные техники. Подготовительные – 3D-печать и подготовка к литью. Основные – вакуумное литье и пайка. Финишные – первичная обработка и доводка. Также декоративная пескоструйная обработка металла и гальваническое покрытие (родирование).

Подготовительные операции.

3D печать – это технологический процесс, с помощью которого можно получить детали и модели любой сложности. Технология стереолитографической лазерной 3-D-печати является одной из самых распространенных в ювелирном производстве и соответствующей по качеству и цене изготовления. Позволяет создавать модели из выжигаемых полимеров (Form Labs Castable). Печать совершается на принтере Form Labs Form2.

Основные операции изготовления.

Литье – это технологический процесс, включающий в себя плавку и заливку металла в опоку. Непосредственный процесс литья состоит из следующих этапов:

1. Прокалка опоки в муфельной печи. Режим прокалки изменяется в зависимости от объема опоки, формомассы и материала заготовки.
2. Подготовка металла для литья, расчет необходимой массы, плавка металла.
3. Центробежное вакуумное литье (Вакуумная литейно-плавильная установка ЛПУ-300).
4. Очистка моделей от излишков гипса, отсоединение от литниковой системы Пайка ювелирных изделий – получение неподвижных соединений двух и более деталей с помощью легкоплавких металлических сплавов.

Финишные операции

Отбел – помещение изделия в кислоту, для снятия окисленного поверхностного слоя металла и очистки поверхности. Отбел (CAVALLIN).

Ультразвуковая чистка – один из способов очистки металла ультразвуковыми колебаниями в жидком мыльном растворе.

Галтование модели – процесс механической обработки поверхности металла в разных абразивных материалах. Галтование в барабанной реверсной галтовке КТ-250 Х-1.

Доводка – это шлифовка и обработка изделия посредством бормашины, различных насадок.

Пескоструйная обработка изделий выполняется пескоструйной установкой PS-A на две фракции. Часть изделия, поверхность которой должна остаться глянцевой, покрывается защитной эмалью. После обработки эмаль растворяется ацетоном.

Родирование — нанесение на поверхность изделия тонкого слоя родия (толщиной 0,1–25 мкм), для повышения отражательной способности и коррозионной стойкости металла.

Бионика активно проявляется в современном мире, присутствует в ювелирных изделиях, мультипликации, создании фильмов, моушн-дизайна и арт объектов современного искусства. Его приемы и особенности на протяжении веков остаются востребованными. Стилизация анатомических особенностей организмов имеет безграничный потенциал. Богатство мира природы дает возможность в неограниченном количестве создавать уникальные изделия.

В результате проделанной работы изучены композиционные особенности изделий стилистического направления бионика и созданы предметы ювелирного искусства по разработанным эскизам на представленную тему. Также рассмотрены работы дизайнеров в бионическом стиле, выявлены основы композиционного решения, описаны методы и способы создания 3D моделей ювелирных изделий для печати на 3-D принтере. Описана современная компьютерная технология выполнения ювелирных изделий в процессе моделирования сложных силуэтных пластических форм. Рассматриваются этапы создания ювелирного украшения на примере стилизации образов биологических организмов. Выбран оптимальный путь проектирования высококачественных и технически сложных изделий ювелирного дизайна и предметов ДПИ посредством компьютерных технологий.

Библиографический список

- [1] Землянов Г С, Ермолаева В В. 2015. 3D-моделирование Молодой ученый. 11 186-189. — URL <https://moluch.ru/archive/91/18642/>
- [2] Шпынева Е.М. Анисимова Т.В 2018 Анатомические особенности организмов в дизайне ювелирных украшений. Сборник научных трудов Проблемы освоения минеральной базы восточной Сибири 18(95)-99.
- [3] Лобацкая Р М, Князев А Д. 2011. Кольцо Прометея. Ювелирные коллекции Иркутска. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, –304 с.: илл.
- [4] История ювелирного искусства. История геммологии 2003. Министерство образования РФ. Иркутский государственный технический университет. – 10-11 с.
- [5] Заева Н А, Безденежных А Г. 2017. Проектирование современных ювелирных изделий с подготовкой конструкторско-технологической документации. Проектирование современных ювелирных изделий с подготовкой конструкторско-технологической документации. Из-во: Кострома: Изд-во Костром. гос. ун-та. 181 с.

Необычная мозаика

Буйволова М.А.¹, Грузных Л.Ю.², Лукьяненко С.Г.²

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия¹

МБОУ г. Иркутска МБОУ СОШ №77, Россия²

E-mail: buyvolova78@mail.ru larisa-lar.306@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрены техники исполнения и виды мозаичных работ. Описан технологический процесс изготовления необычных мозаики из ниток мозаик-аппликаций из камня и термомозаики. Представлена техника разного вида набора мозаики из пряжи и дано название им «набор бархатом» и «набор гладью». Проведен эксперимент по выполнению термомозаики из полипропиленовых нитей. Все работы, представленные в статье, авторские.

1. Введение

*Творящий бедности не знает.
Далекий от мирских щедрот,
Добычею богатств не занят, –
Он из души их достает.*
Л. Болеславский

В большой семье Лукьяненко есть хорошая традиция, на дни рождения и разные праздники дарить родственникам и близким подарки, сделанные своими руками. Чаще всего это рисунки и аппликации. И чтоб работы с каждым разом не повторялись, были интересными и оригинальными, ребята нашли новые техники и материалы для своих творческих подарков, взяв за основу мозаичную технику и аппликацию. Например, с чего все началось? С новогодней открытки, которую нарисовали и украсили снежинками и цветными шарами, выполнив таким образом аппликацию (рис. 1).



С аппликацией пробовать стали все, что можно найти дома: очистки от карандашей, пряжу, камни, крупу и т.п. и то что получилось можно посмотреть на рисунке 2.



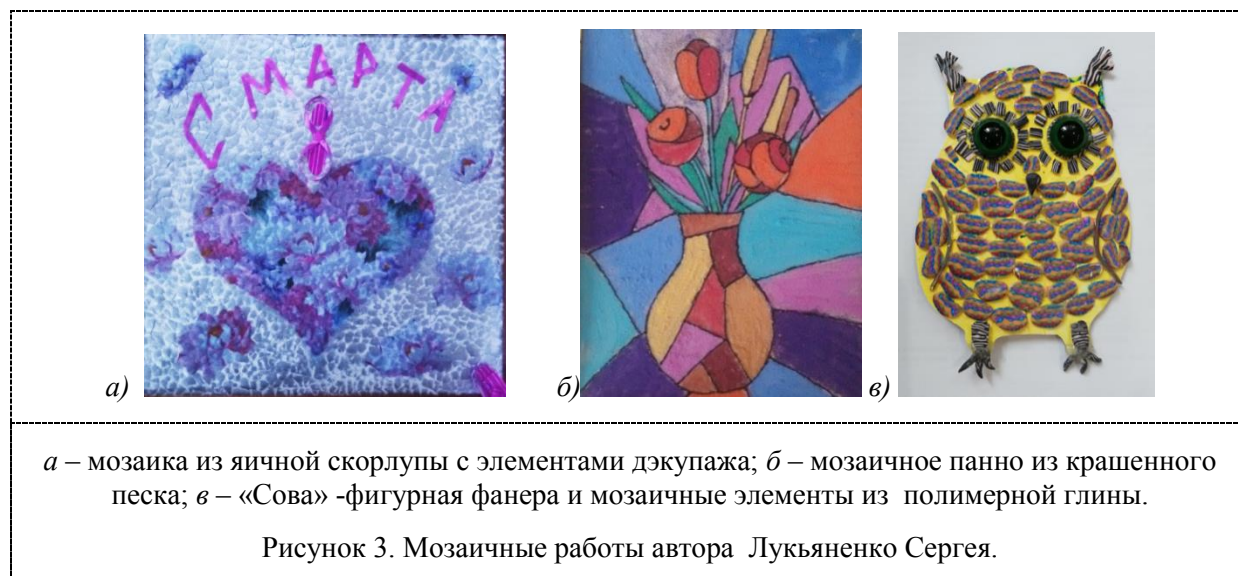
В отличие от аппликации, где отдельными элементами не заполняется все пространство, а лишь создается декор, рисуется или выделяется акцент в работе, мозаичные изделия покрыты полностью кусочками материала и заполняют все пространство. Мозаика намного сложнее аппликации по технике исполнения. В античные времена мозаику выкладывали из гальки, кусочков колотых камней, а также в ход шли и кусочки обожжённой глины - терракота. Первые художники, шумеры и ацтеки, украшали свою мебель, инструменты и жилища, используя цветные камни (лазурит, бирюзу и т.д.), ракушки, золото. Позднее в качестве материала стала широко применяться смальта.

По техникам исполнения и художественным особенностям выделяют следующие разновидности мозаик: римская, флорентийская и русская. Римская - самая древняя – выкладывание небольших размеров кусочков материала на основание с применением клея, который является фоном, так как элементы могут располагаться на некотором расстоянии друг от друга.

Флорентийская мозаика зародилась во Флоренции к концу 16 века. Работа набирается из цветных камней различной формы так, что художественное изображение воспринимается как нарисованная картина, причем в отличие от римской, границы между элементами мозаики, швы, не должны быть видны.

В конце XVIII века уральскими мастерами была освоена новая техника мозаики - русская, которая собиралась как флорентийская, но только из одного вида камня, например малахита. Мозаику собирают на ровных и выпуклых, объемных поверхностях. Изделия выглядят как будто сделаны из целого камня [1].

Сегодня доступны новые материалы, с которыми легче работать и которые намного дешевле. Мозаика стала скорее креативным видом искусства, а не просто декоративно-прикладным. Она также экологически продумана, что проявляется в том, что она повторно использует те предметы, которые могли бы быть уничтожены (песок, оставшийся с набора детского творчества, яичная скорлупа, битая посуда и др.) [2]. Практически каждый человек, у которого есть немного воображения и креативности, может создать красивую и долговечную работу (рис. 3).



2. Необычная мозаика из цветной пряжи

Мозаику из пряжи можно выполнить сплошной линией, т.е. рисовать разными нитями как цветными карандашами и заполнять ими постепенно, приклеивая их плотно друг к другу. Это совсем не просто, надо много терпения и особенно аккуратности при рисовании нитями, чтоб каждый виток повторял форму. Лучше начинать клеить нити от середины к периферии или, наоборот, от краев к середине. Например, в работе «Рыба» на рисунке 4, а хвост лучше клеить от черного контура к середине, а вот голову рыбы лучше начать с середины – с глаза. Такой набор мозаики из цветной пряжи очень похож на вышивку гладью эту технику набора необычной мозаики можно назвать – «набор гладью».



Рисовать нитками можно и как краской, посыпая отрезки нитей 2-5 мм на клей, как будто мы рисуем картину по номерам. Эта техника проще, но здесь больше времени уходит на подготовку, нарезку нитей. На картон переносят эскиз рисунка и поэтапно, нанося на область одного цвета клей и посыпая поверх обрезками пряжи (рис. 4, б). Эта работа очень рельефная, объемная и бархатистая как ковер, поэтому технику этого набора назовем «бархат».

Материалы, необходимые для выполнения работ:

Лучше брать толстую пряжу, с ней легче и быстрее работать; обычный клей ПВА; ножницы, плотный картон. Эскиз рисунка переводится на картон. В качестве вспомогательного инструмента используют зубочистку, с ее помощью придавливаем нить к клею, и поправляем ее строго по форме, как она должна правильно лечь, или придать нити нужную кривизну.

Третья работа «Бабр» выполнялась на конкурс, посвященный юбилею Иркутской области (рис. 5). Выполняли ее очень долго, почти 5 дней. В этой работе совмещены две техники, набор «гладю» центральная фигура и основной фон, и набор «бархатом» выполнена листва деревьев.



Рисунок 5. Картина «Бабр» выполнена двумя техниками набора нитью: «гладю» и «бархатом» 2015



Рисунок 6. «Байкал», минеральная краска, галтованный кварц, нефрит, галька и крошка горных пород, 2017.

3. Аппликация картины камнем

Такая техника является несложной и недолгой по времени исполнения. Например, в работе «Черная лошадка» (рис. 2, в) фон нарисован витражными красками на стекле, а центральный, основной элемент выложен галтованными камнями – кварцем разных цветов. Эту работу выполнил Лукьяненко Дима, в 2015 году. Сохранились этапы изготовления данной работы на фотографиях, представленных на рисунке 7. Камни приклеивались при помощи бесцветного клея марки «Момент».



а – нахождение места лошадки на картине; б - выделение витражным контуром различных цветовых зон; в – заполнение картины.

Рисунок 7. Выполнение витража на стекле.

Похожую работу «Байкал» выполнили тоже на конкурс минеральными красками. Цветной минерал истирался в порошок, который мы смешивали водой и с клеем ПВА [3]. Обработанные минералы использовали для изображения солнца (сердолик), дерева (нефрит – листья, сердолик – ствол и ветки), нерпы (агат) и рыбки (белый кварц – кахалонг). А горы, скалы и песок из крошки горных пород, которые расколоть не просто (мрамор – белый, черный – долерит, коричневый – гранит) (рис. 6).

Применение камней в качестве аппликации по готовым картинам делает работы очень яркими, выразительными и живыми.

4. Эксперимент тепловой мозаики

А что будет, если полипропиленовые нити использовать как наполнитель и сделать «пластиковую» мозаику? Эта идея пришла в голову, когда мы выполняли необычную мозаику из пряжи в технике «бархат». Но так как нити эти неподатливые и плохо клеятся, решили их расплавить!

Чтоб разграничить цветные области, которые могут переплестись, из алюминиевой проволоки скрутили небольшую улитку. В качестве основания под работу выбрали стекло и приклеили улитку при помощи термоклей (рис. 8, а). Подготовили палитру, нарезав для удобства нити, и стали заполнять пространство (рис 8, б и 8, в). Для крепкого склеивания основы и ниток решили добавить термоклей, подумав, что клей вместе с нитями хорошо растекется по поверхности стекла.



Набранную мозаику отправили в разогретый до 200°C духовой шкаф и наблюдали через стекло, как происходит процесс превращения...Через 6 минут все встало бархатистой шапкой. Клей под нитками расплавился и потек, а нитки хорошо прогрелись, схватились между собой, но еще не расплавились. Через 8-9 минут нити потемнели и расплавились, но, к сожалению, не растеклись равномерно по всей поверхности. Работа получилась не очень яркой, и мы решили еще раз нанести нити и повторить процесс плавления (рис. 8, г).

Выполняя этот эксперимент, мы сделали выводы по наблюдениям: при нагревании полипропилен не растёкся равномерно, а собрался в комок, то есть у этого материала, как и у

всех пластических масс, есть такое свойство, как поверхностное натяжение. Зато мы получили эффект 3Д на поверхности необычной мозаики. И два часа любопытства.

«Открытия делаются тогда, когда все думают, что этого быть не может, а один человек этого не знает». (А. Эйнштейн).

Выводы:

1. Описанные выше техники «необычных мозаик» намного упрощают настоящий сложный мозаичный процесс, хотя ничем не хуже получаются изделия, а даже более яркие, выразительные и оригинальные.

2. Возможности мозаики, а особенно необычной, безграничны.

Библиографический список

[1] Воронцова Н. В., Буйволова М. А., Учебное пособие: «Технология огранки ювелирных камней», Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007 г. С 28-30.

[2] Р.А. Джейкобсон «Мозаика для начинающих». - Ростов-на-Дону: Феникс, 2005 г.

[3] Буйволова М.А., Лукьяненко Д.Г. 2017 Минеральный пигмент в художественных красках, Материалы всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Геонауки 2017», С 87-92.

Имитация цветных камней Прибайкалья

Буйволова М.А.¹, Козлова Е.А.², Лукьяненко Д.Г.²

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия¹

МБОУ г. Иркутска СОШ №77, Россия²

E-mail: buyvolova78@mail.ru, kozlovaelena00@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены такие понятия как «камни - имитации», цветные камни, самоцветы; виды огранок ювелирных камней. Обозначены основные месторождения цветных камней Иркутской области. Описаны технологические процессы изготовления кабошонов из синтетических материалов. Даны и представлены способы декорирования кабошонов для имитации цветных камней.

1. Введение

Человека всегда привлекали красивые камни. Красивые камни всегда радовали и продолжают радовать человеческий глаз, а различные изделия из них, можно увидеть в крупных краеведческих, художественных музеях г. Иркутска и в минералогическом музее ИРНИТУ им. А.В. Сидорова.

У всех людей возникает большая тяга к прекрасному и красивому, но не все могут себе позволить положить в свою шкатулку или украсить себя настоящим драгоценным камнем. В конце XIX века на рынке ювелирных изделий появились искусственно выращенные камни – синтетические и камни имитации. Некоторые синтетические камни по химическому составу и внешнему виду схожи с природными камнями, тогда их называют так же, как природный камень с приставкой «синтетический» например синтетический рубин или синтетический гранат. Но есть камни, которые отличаются по химическому составу, но очень похожи на природные камни, например фианит похож на алмаз, но пока его аналога по химическому составу не нашли в природе. Очень часто фианитом имитируют алмаз, т.е. выдают за ограненный алмаз - бриллиант. Имитировать природные камни можно любым материалом,

которое имеет внешнее сходство с имитируемым камнем [1]. Очень часто более дешёвые ювелирные камни используют как имитации более дорогих камней такого же цвета (например, синий турмалин выдают за сапфир) или имитацию выполняют искусственными камнями и цветным стеклом. Таким способом имитируют в основном драгоценные и редкие камни, с целью создания ювелирного изделия более низкой стоимости. Наше исследование изготовления имитаций камней кабошонов, похожих на ювелирные камни из искусственных материалов различными способами!

2. Теоретическая часть

К ювелирным камням относятся все камни, применяемые в ювелирном деле, минералы и горные породы, находящие применение в качестве ювелирного, камнерезного и отделочного сырья. В ограночном (камнерезном) производстве ювелирные камни делятся по твердости: на мягкие (меньше 5 по шкале Мооса) и твердые (свыше 6 по шкале Мооса) и по прозрачности на самоцветы и цветные камни, так называемые цветники. Это деление влияет на выбор оборудования и инструмента для обработки, а также на способ обработки и вид огранки [2].

Самоцветы (ограночные камни) - прозрачные минералы, окрашенные или бесцветные, идущие в фасетную огранку.

Цветные камни (цветники) - просвечивающие, полупрозрачные и непрозрачные камни, применяются для изготовления гладкой огранки кабошон и художественных декоративных поделок.

Между самоцветами и цветными камнями нельзя провести строгой границы, так как в группах самоцветных камней могут быть цветные родственники (рис. 1). Примером может служить группа кварца, в которой есть и ярковыраженные самоцветы (аметист, цитрин и др.), и ярковыраженные цветники (сердолик, агат и др.).



В Иркутской области имеются богатейшие и разнообразные запасы драгоценных, поделочных и декоративных камней, которые могут широко использоваться в народном хозяйстве. Богатейшие месторождения цветных камней и самоцветов имеются в Слюдянском районе (здесь встречается амазонит, апатит, гиалофан, глауколит, диопсид, кальцит, лавровит, лазурит, паргасит, скаполит, смарагдит, тремолит, флогопит, фторапатит).

Чтобы раскрыть красоту камней, которые в своем натуральном природном состоянии не всегда выглядят привлекательно, люди стали применять различные виды огранок. Для цветных камней подходит огранка кабошон (см. рис. 1, б), а для прозрачных самоцветов - фасетная огранка (см. рис. 1, а). Правильно выбранная форма огранки подчеркнет красоту минерала и усилит его сияние.

Кабошон - самый древний способ огранки (кабошон от латинского слова «сабо» - голова), придание камню округлой формы. Такая огранка хорошо подходит как для прозрачных, так и непрозрачных камней. Она выявляет декоративные качества камня, такие как: цвет камня, рисунок, который зависит от текстуры и структуры; степень просвечиваемости (прозрачный,

полупрозрачный, просвечивающий и непрозрачный) и оптические эффекты (астеризм, переливчатость, кошачий глаз и др.) [2].

3. Практическая часть

А нельзя ли симитировать в домашних условиях то, что создала природа? Выбор пал на изготовление кабошенов - имитаций цветных камней Прибайкалья. Для эксперимента были выбраны наиболее яркие, красивые и дорогие минералы: лазурит, чароит, лунный и солнечный нефрит и амазонит.

3.1. Материалы для изготовления кабошенов

В качестве материала для изготовления кабошенов в домашних условиях выбрали синтетические материалы: термоклей этиленвинилацетатный, эпоксидную смолу и готовые кабошоны из стекла, приобретённые в магазине.

А для декорирования кабошенов, подкраски и создания оптических эффектов, следующие материалы: лак бесцветный и цветной для ногтей, белая акриловая краска, витражная краска, минеральный (порошок) пигмент, чернила цветных ручек (синяя, зеленая, красная) блестки, фольга для маникюра, диск CD (его блестящий слой) и распечатанные картинки минералов.

3.2. Изготовление кабошенов из силикатного клея

Технологический процесс изготовления таких кабошенов проходит в два этапа:

1 этап – изготовление формы кабошенов: клеевым пистолетом выдавливают расплавленный клей на поверхность бумаги или пакета, смазанного маслом создавая нужную форму (круг, овал, прямоугольник) или заполняют клеем уже готовую форму (рис. 2, а и 2, б). Если клей плохо нагрелся и растекался наплывами, то форма и поверхность кабошена получатся неровными. Этот дефект можно устранить нагрев повторно клей до расплавления например на плите в металлической емкости (рис. 2, в).



а – исходный материал; б – придаем произвольную форму; в- повторное нагревание клея на плите для выравнивания поверхности кабошена

Рисунок 2. Изготовление форм кабошена.

2 этап - декорирование поверхности кабошенов можно выполнить разными способами: разукрашивание поверхности кабошена красками (рис. 3); декупаж любой картинкой (рис. 4, а); украшение поверхности дополнительными элементами (блестки, различные наклейки, маникюрная фольга) (рис. 4, б и 4, в); подкрашивание клея в момент его расплавления (чернила от ручки и витражные краски) (рис. 4, г и 4, д).



Рисунок 3. Этапы разукрашивания поверхности кабошонов акриловой белой краской и чернилами от шариковой ручки (имитируем лазурит).



а)

б)

в)

г)

д)

а – чароит; б – лунный камень; в – солнечный камень; г – нефрит; д – амазонит

Рисунок 4. Кабошоны имитации из термокля декорированные различными способами.

3.3. «Облагораживание» стеклянных кабошонов

Технологический процесс состоит только из одного этапа и заключается в операциях декорирования (рис. 5).



а)

б)

в)

г)

д)

е)

а – лазурит; б - чароит; в – лунный камень; г – солнечный камень; д – нефрит; е – амазонит.

Рисунок 5. Стеклянные кабошоны имитации.

Для имитации лазурита (рис. 5, а) и амазонита (рис. 5, е), тыльная сторона кабошонов разрисовывалась синими и зелеными чернилами шариковой ручки и акриловой белой краской; при имитации чароита (рис. 5, б) и нефрита (рис. 5, д) применялась витражная краска; а для имитации полевых шпатов лак и дополнительные декоративные элементы – фольга от CD диска для лунного камня (рис. 5, в) и золотистые блестки для солнечного камня (рис. 5, г).

3.4. Изготовление кабошонов из эпоксидной смолы

Процесс изготовления кабошонов из эпоксидной смолы, очень увлекательный и интересный, но долгий и сложный. Для его осуществления необходимо дополнительные материалы – молды, формы куда заливают смолу. Средства индивидуальной защиты: перчатки, спец одежда и работа должна проводиться в хорошо проветриваемом помещении, а лучше на свежем воздухе.

Технология изготовления кабошонов объединяет два процесса в один: изготовление формы кабошона и одновременное декорирование кабошона в форме. Происходит подкраска всего кабошона. Для изготовления кабошона необходимо выполнить ряд операций: 1 –подготовить смолу (смешать смолу с отвердителем в пропорции 4:1); 2 – подготовить краситель и материалы для декорирования смолы (основным красителем для смолы является минеральный пигмент, который был получен также из прибайкальских минералов); 3 – подготовить формы для заливки смолы; 4 – залить смолу в форму; 5 – подкрасить смолу и 6 – выполнить декорирование.

Декорирование выполнялось различными способами и технологиями: для получения имитации лазурита применялась чернила и белая акриловая краска (рис. 6, а); для чароита использовалась чистая бесцветная смола, а на дно металлической формы был положен рисунок минерала (рис. 6, б); для получения лунного камня применялась фольга от CD диска и белая акриловая краска (рис. 6, в); лунный камень смола подкрашивалась минеральным пигментом (гематит) [3], и с верха посыпались блестки (рис. 6, г); для изготовления яблочно-зеленого нефрита в смолу добавил минеральный пигмент из малахита [3] (рис. 6, д); амазонит подкрашивался витражной краской (рис. 6, е).



а – лазурит; б – чароит; в – лунный камень; г – солнечный камень; д – нефрит; е – амазонит.

Рисунок 6. Кабошоны имитации цветных камней из эпоксидной смолы.

4. Выводы

Сводная таблица результатов выполненных экспериментов по изготовлению имитаций цветных камней Прибайкалья приведена в приложении А. Все рассмотренные синтетические материалы и использованные технологии можно легко применять для имитации цветных камней. Каждый из вида синтетический материал имеет свои преимущества:

1. Кабошоны выполнение из клея просты в изготовлении и имеют минимальные затраты. По сравнению с камнями – легкие. Повысить твердость кабошонов можно, покрыв их поверхность бесцветным гель лаком или эпоксидной смолой. Таким способом можно легко изготовить большое количество «облицовочных» кабошонов имитаций.

2. Кабошоны из стекла имеют красивую выпуклую форму, а после декорирования приобретают интересный и загадочный вид, нельзя сказать, что это просто стекляшка.

3. Кабошоны, выполненные из эпоксидной смолы яркие, твердые по сравнению с клеевыми и более натуральные по сравнению со стеклянными, так как прокрашены на всю глубину.

4. Кабошоны из клея и смолы можно изготавливать сразу в готовые металлические формы или уже готовые изделия.

5. Приложение А

Сводная таблица результата экспериментов по имитации Прибайкальских цветных камней.

Пример природного цветного камня	Кабошоны из клея	Стеклянные кабошоны	Кабошоны из эпоксидной смолы
 Лазурит			
 Чароит			
 Лунный камень			
 Солнечный камень			
 Нефрит			
 Амазонит			

Библиографический список

- [1] Рид П. *Геммология*. 2003 (Пер. с англ). (М.: Мир: ООО «Издательство АСТ») С.197-198.
- [2] Воронцова Н В, Буйволова М А 2007 *Технология огранки ювелирных камней: (Учебное пособие)*. (Иркутск: Изд-во ИрГТУ), С. 4-11, 20-27.
- [3] Буйволова М.А., Лукьяненко Д.Г. 2017 Минеральный пигмент в художественных красках, *Материалы всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Геонауки 2017»*, С 87-92.

Нетрадиционные способы символизма в ювелирном дизайне

Войтюк А.А.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail alena_vojtuk@mail.ru

Аннотация. В исследовании была собрана информация о символизме в ювелирном дизайне конца XX – начала XXI вв. Было выявлено, что символизм в ювелирном дизайне можно разделить на традиционный и нетрадиционный. В статье представлены способы традиционного и нетрадиционного видов символизма в ювелирном дизайне, а также представлена разработка технологии визуализации аудиофайла в дизайн текстуры ювелирных изделий, которая относится к нетрадиционному символизму при помощи зашифрованного послания.

1. Введение

Ювелирное искусство – один из древнейших и широко распространённых видов декоративно-прикладного искусства. В начале XX века с развитием промышленности создаются новые технологии, которые внедряют в ювелирное производство. Благодаря новым тенденциям в художественной среде и развитию технологий, ювелирное производство подразделяется на ювелирное искусство и ювелирный дизайн.

Будучи теснейшим образом связанными с меняющимися условиями исторического быта (например, со спецификой стилей одежды), изделия ювелирного искусства играли роль своеобразных знаков, выявляющих социальный статус их владельца, а также имели (в функции амулетов) магический смысл.

В основном для ювелирного украшения внешние качества, такие как материалы, блеск, композиция, являются первостепенными, поскольку эстетические переживания и оценка изделия происходит посредством зрения. Однако существуют ювелирные украшения, несущие в себе зашифрованный смысл (символизм), для которых важнее их «внутреннее» содержание.

Символизм – это изображение действительных явлений, мыслей, чувств и отвлеченных понятий в символах, т. е. в чувственных образах, условно принимаемых за то, что хотят ими выразить.

В ювелирном искусстве можно выделить 2 вида символизма – традиционный и нетрадиционный. К традиционному можно отнести статусные ювелирные украшения или украшения с ювелирными вставками, орнаментами или знаками, которые в различных культурах наделены символизмом, который формировался еще с древних времен. Это могут быть обручальные кольца, которые символизируют вечность, амулеты с самоцветами или государственные регалии, которые обозначают символ власти.

Формирование нетрадиционного символизма ювелирных украшений европейской цивилизации можно выделить в кон. XVIII - XIX вв. Особо популярны такие украшения были в

эпоху правления королевы Виктории, когда в ювелирных украшениях использовали волосы или зубы любимых людей или создавали украшения-акrostихи.

Благодаря развитию и внедрению компьютерных технологий в ювелирный дизайн, а также синтезу различных видов науки рубеже XX-XXI вв. произошел расцвет нетрадиционного символизма в ювелирном дизайне.

Ювелирные украшения с нетрадиционным символизмом все больше набирают свою популярность, так как выгодно отличаются на фоне массовой продукции на ювелирном рынке. Такие украшения дают возможность наделять предметы дизайна зашифрованным смыслом, понятным лишь одному владельцу, что придает аксиологический смысл украшениям.

Целью исследования является выявление разнообразия приемов, используемых современными дизайнерами при изготовлении ювелирных украшений с зашифрованным смыслом, созданными как традиционными методами, так и новыми технологиями, а также разработка технологии декорирования ювелирных изделий при помощи визуализации аудиофайла.

2. Методы исследования

В исследовании были использованы методы системного, сравнительного, формального и структурного (семиотико-герменевтического) анализов.

3. Сбор и анализ информации

О традиционных методах символики, используемых в современных ювелирных изделиях с зашифрованным смыслом, написано много. По сути все исследователи, занимающиеся изучением ДПИ разных периодов развития цивилизации, начиная с древности, не обходили этот вопрос.

Проанализировав изученные материалы можно выявить, что к традиционным методам символизма, используемых в ювелирном дизайне кон. XX – нач. XXI вв. можно отнести:

1. Ювелирные украшения, как символ статуса человека;
2. Символику металлов, ювелирных камней и органических материалов;
3. Символику изображений флоры и фауны;
4. Символику геометрических фигур.

И наоборот, о символике ювелирных украшений с зашифрованным нетрадиционным способом смыслом написано мало.

Одним из немногих исследователей, занимающийся изучением ювелирного искусства и его символизма, является кандидат искусствоведения, автор более 100 публикаций в области ДПИ Г. Н. Габриэль. [1]

Со второй половины XVIII в. в моду входят украшения из волос, так называемые постижерные украшения. Локоны хранили в медальонах или кольцах, также волосы являлись формообразующим материалом для браслетов или нагрудных украшений.

Сейчас украшения с использованием волос или зубов любимых людей также остаются популярными. Например, современный австралийский дизайнер Полли ван дер Глас создает украшения – ожерелья, кольца, серьги, броши – используя в дизайне человеческие зубы или волосы.

К концу XIX века в Наполеоновской Франции придумали ювелирные украшения с зашифрованными посланиями – это украшения-акrostихи. Акrostих – это послание, в котором начальные буквы каждого камня образуют какое-либо слово или фразу.

Идея составлять слова из драгоценных камней родилась в ювелирном доме Mellerio dits Meller. Некоторые из самых известных украшений-акrostих этой эпохи были созданы

знаменитым ювелирным домом Chaumet по заказу Наполеона для своей первой и второй супруги – императрицы Жозефины и императрицы Марии-Луизы. Немногим позже сентиментальные викторианцы позаимствовали эту идею. [2]

Ювелирный дом Chaumet, до сих пор изготавливает ювелирные украшения в этой технике, создав коллекцию ABC. С помощью компьютерных технологий Дом Chaumet создал собственный алфавит под руководством Джессики Маккормак, используя названия 26 драгоценных камней, что соответствует количеству букв латинского алфавита. Из первых букв названий камней и римских цифр, которые можно помещать между камнями, складывается любое имя и даты. С 2005 года кроме браслетов-акrostихов, появились подобные ожерелья, колье, броши, серьги. [2]

В нашем обществе сложилось мнение, что ювелирные украшения должны притягивать наш взгляд своим внешним видом. Но Австралийская студия дизайна Metalab и художник Cinnamon Lee опровергают это мнение. С внешней стороны кольца имеют невзрачный вид, но с внутренней стороны они украшены интересной отделкой или орнаментом. Только человек обладающим таким необычным кольцом, будет знать о его тайне, и может удивить других людей, просто сняв кольцо. Внешняя сторона изготовлена из золота или серебра, а основная ювелирная работа отображена на внутренней стороне. Для создания такой уникальной коллекции создатели использовали драгоценные металлы совместно с цифровой обработкой поверхностей. [2]

В похожем направлении работает корейский дизайнер Jungyun Yoon. В 2009 году она запустила коллекцию «Inner massage» или «внутреннее послание». Внутри шинки кольца располагается объемная надпись или символ, которые в процессе носки кольца оставляют отпечаток на пальце владельца.

Еще одним типом нетрадиционного символизма является использование букв или слов. Так выпускник кафедры геммологии ИРНИТУ Темников Дмитрий использует букву как формообразующий элемент. Он использует модуль в основе построения букв кириллического шрифта для создания сложных плоских и объемно-пространственных форм. Помимо использования буквенного модуля, он разработал альтернативные варианты индивидуального дизайна изделия на основе слова или фразы. [3]

Очень популярной тенденцией последних лет становится изготовление украшений с отпечатками пальцев, это стало возможно, благодаря развитию 3D-моделирования в ювелирном дизайне.

Некоторые современные дизайнеры изготавливают украшения со шрифтом Брайля, а дизайнер Люк Джеррам разработал обручальное кольцо-проектор. Вместо ювелирной вставки в кольцо встроена небольшая линза, под которой расположен слот с фотографией, которую можно периодически менять. Достаточно выставить такое кольцо на свет, и луч солнца, пройдя сквозь линзу, передаст изображение фотографии на стену или любую другую поверхность.

Благодаря синтезу различных видов науки и развитием компьютерных систем, предметы ювелирного дизайна объединяют с компонентами «носимой электроники». Самыми первыми украшениями этой тенденции стали наручные часы. Также очень популярны такие предметы, как наушники, MP3-плееры, флэш-накопители, кольца-напоминания, кольца с функцией оплаты и т.д.

Как правильно отмечает Кавазоглы В. Р. «...нужно, отметить, что большинство описанных выше аналогов по сути представляют собой продукты индустриального, а не ювелирного дизайна, поскольку выполнены не по ювелирной технологии, а, следовательно, не являются в полной мере ювелирными украшениями». [4]

Проанализировав изученный материал можно выявить, что к нетрадиционным методам символизма, используемых в ювелирном дизайне кон. XX – нач. XXI вв. можно отнести:

- 1) Постижерные украшения, украшения из зубов или отпечатки пальцев, т.е. физически связанные с человеческим организмом;
- 2) Украшения с зашифрованным посланием: акrostихи, украшение с использованием букв или слов. В эту же категорию можно отнести украшения со шрифтом Брайля;
- 3) Украшения с внутренним орнаментом;
- 4) Украшение со скрытым изображением (кольцо-проектор);
- 5) Украшения с компонентами «носимой электроники» (кольцо-напоминание).

4. Обсуждение

Данное исследование было направлено на разработку нового нетрадиционного способа символизма в ювелирном дизайне, который относится к украшениям с зашифрованным смыслом. Этот способ заключается в разработке технологии создания текстуры на основе визуализации аудиозаписи в дизайн текстуры ювелирного украшения, которая позволит сохранять и доступно воспроизводить зашифрованную в текстуре аудиозапись. Аудиозаписью может являться как фрагмент музыкального произведения, так и запись голосового послания.

Эта текстура может являться как формообразующей основой, так и дополнительным способом декорирования ювелирных украшений.

В ходе экспериментов, было выявлено, что для визуализации аудиофайла можно использовать 2 способа.

Первым способом является использование MIDI-файла музыкального произведения. На основе MIDI-файла можно построить объемную текстуру в программах для 3D моделирования, которую можно использования для создания объемных текстур в ювелирном дизайне. [5]

Преимуществами данной технологии являются:

- 1) Возможность выбора любого фрагмента произведения;
- 2) Возможность собрать библиотеки текстур. Изготовление изделий с использованием готовой текстуры становится в разы быстрее.

Недостатками технологии являются:

- 1) Сложность создания текстур с высокой вероятностью ошибки;
- 2) Невозможность использования голосовой записи для создания текстуры;
- 3) Невозможность обратного воспроизведения.

Учитывая все достоинства и недостатки первой технологии, была разработана новая технология визуализации аудиофайла в дизайн текстуры ювелирных изделий.

В новой разработке для создания текстуры использовалась спектрограмма аудиофайла. При создании текстуры украшения может использоваться спектрограмма аудиофайла. Для нанесения спектрограммы на поверхность металла и возможности ее обратного преобразования необходима высокая точность рисунка. Поэтому, в ходе ряда экспериментов, самой оптимальной технологией для создания необходимой текстуры была выбрана лазерная гравировка. [6]

Полученную текстуру возможно считать при помощи планшетного устройства или смартфона на базе операционной системы iOS и Android, с предустановленным программным обеспечением Phonoparerg. Лучшее считывание спектрограммы происходит с матовой или сатиновой поверхности металла в условиях уличного освещения, без попадания прямых солнечных лучей на поверхность металла.

5. Заключение

Таким образом при большом разнообразии индивидуализации украшений, был создан новый способ нетрадиционного символизма в ювелирном дизайне, который заключается в создании текстуры визуализированного аудиофайла и его обратного воспроизведения при помощи смартфона.

При этом данная технология может быть выполнена при помощи ювелирных техник и ювелирных материалов, что отвечает требованиям ювелирного дизайна.

Библиографический список

- [1] Габриэль Г Н 2014 викторианская эпоха и ее отражение в ювелирном искусстве *Вестник СПбГУКИ* 2 (19) 107 – 13.
- [2] Войтюк А А 2018 аксиологический смысл ювелирных украшений как теоретическая основа использования цифровой аудиозаписи в ювелирном дизайне *Дизайн. Материалы. Технология* 1(49) 51–5.
- [3] Темников Д С, Лобацкая Р М и Анисимова Т В 2012 буква как формообразующий элемент *Дизайн. Теория и практика* 9 14–28.
- [4] Кавазоглы В Р 2010 футуропроектирование ювелирных изделий. интеграция нанотехнологий и микроэлектроники *Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции*. 15 № 3. 70-81.
- [5] Войтюк А А 2017 визуализация цифровой аудиозаписи в дизайн текстуры ювелирных изделий и сувенирной продукции *Сборник XIII Международной научно-практической конференция «Новые идеи в науках о Земле* 190-91.
- [6] Войтюк А А и Лобацкая Р М 2018 современное декорирование ювелирных изделий с применением лазерной гравировки на примере использования визуализации цифровой аудиозаписи *Дизайн. Материалы. Технология* 2(50) 76–80

Ювелирная сталь в современных изделиях

Дружкова А.Н., Иванова Г.Н.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail galu@istu.edu

Аннотация: В статье представлены результаты использования ювелирной стали в изготовлении изделий. Представлена технология изготовления изделий в период ученичества и по восковым моделям.

1. Ювелирная сталь

Металлы играют решающую роль в создании современных ювелирных изделий, влияя на их внешний вид, долговечность и стоимость. В связи с изменением вкусов и тенденций стиля, украшения из нержавеющей стали становятся все более популярными в последние годы. Сталь, которая используется в промышленности, нашла свой путь к моде, где из неё делают всё, от ожерелья до маленьких кулонов.

1.1. Состав ювелирной стали

Нержавеющая сталь представляет собой металл, который применяют в различных отраслях. Из этого вида стали создаётся кухонная посуда, столовые приборы, оборудование, арт-деко скульптуры, а также часы и ювелирные изделия. Нержавеющая сталь представляет собой металл серебристо-белого цвета с зеркальной полировкой, который сохраняет свой блеск на протяжении очень длительного времени. Благодаря высокой устойчивости, украшения из стали великолепно подходят для повседневной носки. Сегодня из нержавеющей стали ювелирные изделия являются фаворитами, как мужчин, так и у женщин, предпочитающих оригинальные и современные экспериментальные изделия [1].

1.2.Преимущества украшений ювелирной стали

Украшения из ювелирной стали обладают безукоризненным качеством и массой других положительных особенностей:

- благодаря свойствам металла, можно реализовать свои самые неординарные идеи;
- изделия часто выпускаются коллекциями. Это поможет легко подобрать наборы подходящее под любой наряд;
- некоторые украшения инкрустированы кристаллами Сваровски с различными эффектами свечения, что делает их еще более привлекательными;
- украшения из медицинской (ювелирной) стали не чернеют и не ржавеют.

1.3.История появления ювелирной стали

Впервые мир узнал о нержавеющей стали 1913 году. Тогда изобретатель Гарри Брерли из научно-исследовательской лаборатории Brown & Firth получил металл невосприимчивый к появлению пятен или коррозии.

Правда некоторые историки утверждают, что первым все же был другой учёный – французский ученый и изобретатель Леон Джиллет. И было это событие почти на десять лет ранее, чем это сделал Г. Брерли

2. Процесс изготовления изделия

Для изготовления кольца выбрана не традиционная технология, доступная для пробных изделий в домашних условиях.

Для создания кольца взята гайка из нержавеющей стали (рис. 1).



Рисунок 1. Гайка из нержавеющей стали.



Рисунок 2. Форма кольца.

С внутренней стороны резьбу убрали круглым напильником, довели до нужного размера (рис. 2). Затем с помощью плоского напильника обработаны грани заготовки в форме кольца. С помощью наждачной бумаги разной зернистости убраны крупные и мелкие царапины, оставшиеся от напильников (рис. 3).



Рисунок 3. Этапы обработки.

Кусочком войлока и пасты гои отполировано получившееся кольцо (рис. 4).



Рисунок 4. Готовое изделие.

3. Технология изготовления изделий с помощью литья

Ювелирный дизайн, давно перестал быть спонтанным творением мастера, который вручную и в процессе создания, решал проблему внешнего вида украшения. Сегодня путь от идеи до воплощения ее в драгоценных украшениях стал гораздо длительнее и совершеннее. Вначале образ, созданный ювелирным дизайнером, обретает жизнь в восковой модели (рис. 5).

Восковая модель - это самый главный этап производства ювелирного украшения, ведь только восковая модель способна реально продемонстрировать образ, созданный дизайнером. Процесс изготовления ювелирного изделия очень долг и кропотлив [2].

Одним из важнейших этапов изготовления уже придуманного и изложенного на бумаге изделия является восковая модель украшения. Техника создания восковки изначально использовалась в стоматологии, но ювелиры, оценив ее преимущества, очень скоро взяли данную технику на вооружение. Смысл такой техники заключается в создании восковой модели как образца для производства ювелирных изделий. Не стоит удивляться тому, что ювелирное украшение создают сначала в образе зеленоватого воска, на самом деле благодаря именно этой технологии были созданы самые изящные и стильные творения ювелиров.



Рисунок 5. Ювелирный воск для моделирования.

Дизайнер создает украшение на бумажном листе, а потом переносит его в объемный вариант из воска. Модельер, создающий восковую копию, словно создает новый шедевр. Работа с воском очень кропотлива, занимает много времени и называется ручной. Именно в процессе воскового создания ювелирного украшения выясняются и учитываются все возможности, проблемы и особенности производства данного изделия. Работа модельера, создающего восковую копию изделия, заключается в создании модели готовой для литья и при этом, если есть необходимость в добавлении к ней деталей, которые не могут быть изготовлены сразу из цельного блока.

Именно по восковке создается точная копия украшения из драгоценного металла. После чего украшение, отлитое из металла, проходит тщательную обработку руками ювелиров. Создание восковки является этапом превращения идеи в ювелирное изделие способное к множественному тиражированию, но восковка незаменима также при создании эксклюзивных украшений, ведь создать столь дорогой шедевр как украшение из различных металлов непросто.

Использование ювелирной стали по восковым моделям модно и не дорого.

Метод создания восковых моделей на сегодняшний день является самым распространенным и предпочитаемым в среде ювелиров всего мира.

Библиографический список:

- [1] Лукашев К.И. Редкие металлы и их использование в промышленности. – Минск: Изд-во Акад. наук БССР, 1956. – С. 143. – 179 с.
- [2] Воронцова Н.В., Буйволова М.А. Технология изготовления ювелирных изделий: учеб. пособие: в 2 ч. – Иркутск Изд-во ИрГТУ, 2013. – Ч.2.-208 с.С118-121

Стилизация объектов природного ландшафта в дизайне ювелирных изделий

Дьяченко О.П., Анисимова Т.В.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail olga.dyachenko.2017@gmail.com

Аннотация: В статье представлены эскизы ювелирных изделий, разработанных с помощью стилизации объекта природного ландшафта– представителя семейства лишайников -лобарии широчайшей.

Многие известные ювелиры в поиске вдохновения обращались к предметам флоры и фауны. Разнообразные объекты живой и не живой природы служили основой для разработки новых узоров, росписей и орнаментов. Однако каждый художник хочет привнести в своё изделие не только эстетическую сторону, но и осмыслить изделие с философской точки зрения. Ведь только тогда украшение можно будет считать произведением ювелирного искусства.

В данной работе предметом стилизации был выбран лишайник – лобарияширочайшая (рис. 1), который занесён в красную книгу России и является природным эндемиком Кавказа.



Рисунок 1. Лобария широчайшая.

Лобария широчайшая имеет розетковидное крупнолопастное слоевище, обладает морщинистой структурой, а также матовой поверхностью, именно эти особенности были взяты для стилизации данного природного объекта и воплощение его в материальную форму [2].

Одним из важнейших этапов в разработке ювелирного изделия является этап создания эскиза. В него входят несколько этапов: изучение особенностей данного изделия, выбор формы, стилизация формы с учетом эргономики.

Стилизация – это способ художественного преобразования реальных форм природного и предметного мира с целью изменения его эстетического функционального значения в художественном изображении. Также, в искусстве, намеренная и подчеркнутая имитация характерных особенностей стиля или исторической эпохи [1].

После изучения объекта -лишайника были выделены особенности, которые можно выгодно подчеркнуть при создании ювелирного изделия. Было разработано несколько эскизов, первый- наброски от руки, второй- был создан в векторной программе CorelDRAW при помощи инструмента «трассировка», а также инструментов «свободная форма» и «фонтанная заливка» (рис. 2). На конечном этапе создания к объекту была добавлена тень.

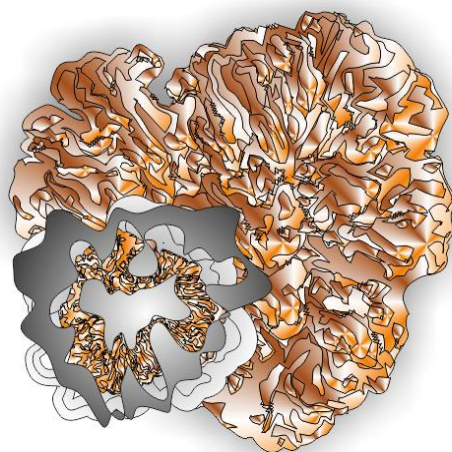


Рисунок 2. Брошь «Лобария 1».

Первый эскиз, был разработан вручную. Выполнен на бумаге белого цвета с помощью акварели и акварельных карандашей (рис. 3).



Рисунок 3. Брошь «Лобария 2».

Данные эскизы имеют схожее формообразование и цветовую гамму. Предположительно изделия будут выполнены из тонкого листа латуни, декорированного различными чеканами. Также будут апробированы способы сжатия металла по предполагаемой форме.

Так как «Лобария широчайшая» занесена в красную книгу и находится на грани исчезновения из-за вырубки лесов, в которых она произрастает. Тщательное выполнение работы и новые способы декорирования металла в изделия будут привлекать внимание к проблеме возможности полного исчезновения данного природного объекта.

Заключение

Уникальный растительно-животный мир Кавказа привлекает все больше внимания и требует заняться проблемой сохранения объектов природного наследия нашей страны. Каждое растение или животное необходимо беречь, вне зависимости от того находится оно в красной книге или нет. Необходимо обратить на данную проблему внимание с помощью произведений ювелирного искусства.

Библиографический список:

[1] Основы композиции: Учеб.пособие/О.Л. Голубева, - М: Издательский дом «Искусство», - 2004, -120 с.

[2] Красная книга [Электронный ресурс]:<https://cicon.ru/lobariya-shirochajshaya.html> (дата обращения 11.10.2018)

Исследовательская часть геммологической экспертизы нефрита

Дьяченко О.П., Иванова Г.Н.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail galu@istu.edu

Аннотация: В статье представлены результаты исследований материала, представленного на таможне, описана методика их выполнения.

1. Объекты исследований и материалы

Перед выполнением исследовательской части геммологической экспертизы необходимо по правилам таможенной службы выполнить следующие этапы:

1. Проверка целостности упаковки объекта и информационной этикетки, а также пломбы (если имеется).
2. Фото запечатанного объекта и информационной этикетки рядом с криминалистической линейкой.
3. Вскрытие упаковки, изъятие образцов.
4. Сортировка образцов по группам (если имеется несколько разных) и присвоение порядкового номера.
5. Фото образца(ов) рядом с криминалистической линейкой
6. Фото информационной этикетки рядом с криминалистической линейкой
7. Детальный внешний осмотр объекта исследования и сравнение информации с информационной этикеткой.
8. Идентификационное исследование объекта и ответы на вопросы, поставленные на разрешение таможенного эксперта.
9. Выполнение товароведческой части таможенной экспертизы.
10. Установка рыночной стоимости объекта исследования на данной территории.
11. Упаковка объекта исследования, прикрепление информационной этикетки, опломбирование упаковки.
12. Фото упаковки, информационной этикетки и пломбы рядом с криминалистической линейкой.
13. Вставка фото в документы.

2. Вопрос, поставленный на разрешение таможенного эксперта:

Идентифицировать представленный товар в таможенных целях

Для экспертных работ представлен материал нефрит необработанный, массой 254,99 г. (рис. 1).



В решении о назначении таможенной экспертизы видоизменение, частичное или полное уничтожение, разрушение материалов, документов, проб и образцов исследования разрешено.

При вскрытии упаковки (картонной коробки), из неё извлечен образец минерального образования салатного цвета в количестве 1 штука, весом 254, 99 г.

Взвешивание произведено на весах лабораторных электронных марки MWP 3000H CAS.

Фотосъемка объектов таможенной экспертизы проводилась на цифровую камеру «Panasonic LUMIX DMC-FS62.

Количество и описание товара, соответствует количеству, указанному в решении о назначении таможенной экспертизы.

3. Исследование

3.1. Примененное оборудование:

1. Весы лабораторные электронные марки MWP 3000H.
2. Лупа «triplet» десятикратного увеличения.
3. Геммологический набор (рефрактометр с иммерсионной жидкостью, полярископ, спектроскоп, дихроскоп, фильтр Челси, источник света, источник УФ- излучения).
4. Микроскоп бинокулярный МБС-1, 56 кратного увеличения.
5. Набор карандашей твердости по шкале «Мооса».
6. Цифровая камера «Panasonic LUMIX DMC-FS62.

3.2. Идентификационное исследование

Исследовательская часть таможенной экспертизы проводилась с применением Методических рекомендаций по алгоритму исследования минерального сырья/ И.С. Рязанцев – Издание 2-е, актуализированное – М.: ЦЭКТУ ФТС России, 2017. – 15 с., включенных в реестр методик, методических рекомендаций и пособий, используемых в ЦЭКТУ при производстве экспертиз и исследований, приказом ЦЭКТУ от 10.02.2017 № 55.

Исследование образца минерального образования произведено на основании определения диагностических физических и оптических свойств.

Минералогические характеристики объектов исследования установлены по следующим диагностическим признакам: относительная твердость, излом, блеск, прозрачность, цвет, характер люминесценции.

Определение цвета, блеска, прозрачности, произведены визуально при смешанном освещении. Цвет черты, цвет/тон/оттенок определены на поверхности. Относительная твердость минерального образования определялась по шкале Мооса с использованием карандашей твердости. Наличие и характер люминесценции в ультрафиолетовых лучах определялись с помощью источника УФ - излучения, входящего в состав геммологического набора (инвентарный № 1013400176).

Основные диагностические характеристики объекта исследования указаны в таблице 1.

Таблица 1 Диагностические характеристики образца.

Признаки	Характеристики исследуемых образцов минерального образования	Характеристики для сравнения минеральных образований по литературным данным
Цвет	Белый с салатным оттенком	Белый, бурый, разнообразные оттенки зеленого, желтого, желтовато-зеленого, серовато-коричневого, голубого, черного.
Цвет черты	Белый	Белый
Излом	Неровный, занозистый, скол острый	Неровный полураковистый, занозистый, скол острый
Микроструктура	Спутанно-волокнистая	Спутанно-волокнистая
Текстура	Плотная, массивная, скрытокристаллическая	Плотная, массивная, скрытокристаллическая
Относительная твердость по Моосу	6–6,5	5,5–6,5
Блеск	Жирный	Стекланный или жирный
Прозрачность	Просвечивающий в тонких сколах	Просвечивающий в тонких сколах
Цвет люминесценции	Инертен	Инертен
Включения	Отсутствуют	Включения минералов и гидрооксида марганца

В ходе проведенного исследования было установлено, что представленный образец является необработанным белым нефритом - минералом из подкласса ленточных силикатов, микроволокнистой разновидности амфиболов изоморфного ряда тремолит – актинолит.

Учитывая внешний вид объекта исследования и результаты идентификационных исследований, представленный на таможенную экспертизу объект идентифицирован как сырье полудрагоценных камней – нефрит необработанный.

В Федеральном законе от «26» марта 1998 года № 41-ФЗ «О драгоценных металлах и драгоценных камнях» нефрит не поименован.

Заключение

Учитывая внешний вид объекта исследования и результаты идентификационных исследований, представленный на таможенную экспертизу объект идентифицирован как сырье ювелирных камней – нефрит необработанный.

Библиографический список

[1] Солодова Ю.П., Андрейченко Э.Д., Гранадчикова Б.Г. Определитель ювелирных и поделочных камней. Справочник. М.: Недра. 1985.

[2] Шуман В. Драгоценные и полудрагоценные камни. М.: ЗАО «БММ». 2006.

[3] Интернет - источники: <http://www.gia.edu>, <http://www.gemselect.com>, <http://www.mindat.org>, www.redkiekamni.ru, www.kamenstone.ru.

Создание образа парюры в стиле неоготики, представленного визуальной когнитивной информационной динамической системой (ВКИДС) «Эсмеральда» по мотивам литературного творчества Виктора Гюго

Жуков В.Л.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Россия

E-mail vl_zhukov@mail.ru

Аннотация. При разработке образов объектов дизайна с универсальными свойствами, в ретро- художественных стилях, таких как неоготика, используются инновационные решения в области технологии художественной обработки материалов, позволяющие реализовывать гибридизацию видов творчества рационально-прикладного и эмоционально-художественного паттернов при когнитивном моделировании предметной области объектов дизайна в рамках междисциплинарного подхода в практике NBIC - конвергенций.

1. Введение

Восприимчивость общества к искусству и прекрасному, существующих в творениях человека и природы формирует в самом общем смысле понятие гармоничного развития личности, как внутреннего так и внешнего. Реализация этого восприятия тем самым становится одновременно одним из своеобразных моральных и интеллектуальных начал человека, активизирующих его творческие силы и когнитивное воображения. Такой подход к формированию цельной человеческой личности и характеризуют задачи эстетики [1] как целенаправленный процесс развития у человека гармоничного созидательного отношения к действительности.

2. Материалы и методы

Материалами исследования послужил понятийный аппарат теории дизайна. Эстетика — это философская наука, системно изучающая и исследующая пространство предметной области объектов дизайна, в которой взаимосвязанные явления и события организуют и создают темпоральные модели сложной кибер-физической картина мира, обусловленные двумя предельно граничными паттернами: рационально- прикладной паттерн и художественно-эмоциональный паттерн. Они объединяют и формируют в себе эстетику образов объектов дизайна, как специфическое, аксиологическое проявление отношения цивилизации к миру через инженерную и художественную деятельность людей. Соотношение свойств и структур этих пространственных пределов эстетики постоянно меняется в онтологии странных аттракторов философии прекрасного, философии искусства и философии дизайна, с последующей возможной градацией на теории: аксиологии и эстетических ценностей; эстетического восприятия; искусств и дизайна [2]. Эстетика интегрирует в себе природу всего многообразия выразительных форм окружающего мира, их строение и модификацию, ориентирована на выявление универсалий в чувственном восприятии выразительных форм реальности. В широком смысле — это универсалии строения произведения искусства, процесса художественного творчества и восприятия, универсалии художественно-конструкторской

деятельности вне искусства (дизайн, промышленность, мода), универсалии эстетического восприятия природы.

Современное массовое производство приводит к тому, что искусственная предметная среда (или модель предметной области дизайна) становится как бы естественной средой человека. Предметы, вещи, сущности, субстраты выполняют не только чисто функциональную, но и коммуникативную задачу – они становятся посредником между человеком и обществом, между человеком и внешним миром, а в науке естественными и гуманитарными дисциплинами.

Необычайно быстрый темп изменений в технической (искусственной) среде вызывает ломку сложившихся стереотипов мышления и поведения человека, которые постоянно ставят его в нестандартные ситуации. Поэтому эстетическая организация предметной области объектов дизайна, которая как теоретический посыл представлена впервые диаграммой состояния (Рисунок 1) становится важнейшим условием её гармонического включения в культурную среду человека и в философию его миропонимания.



Рисунок 4. Диаграмма состояния предметной области дизайна.

В свою очередь эстетическое освоение искусственной среды становится способом и методом пластического включения человека в «мир техники и информатики» путём перевода их специального языка на язык, доступный непосредственному восприятию.

Странные аттракторы ВКИДС, которые своей специфической структурой (сфера и конус)[3] «инструктирует» и организует деятельность и жизнь человека в направлении наиболее оптимального и полноценного удовлетворения его потребностей. Всё это в целом создаёт продукт дизайнерского творчества, который включают в себя три основных компонента:

- полезность (утилитарность, функциональность) — возможность удовлетворения ведущей, актуальной потребности, обращённость на объект деятельности;

- удобство (функциональность и целесообразность субстрата с точки зрения непосредственного потребителя) — возможность удовлетворения актуальной потребности с наименьшими затратами энергии и учёт непосредственного процесса взаимодействия человека с сущностью, т. е. «внутренняя», субъективная целесообразность — обращённость, объекта дизайна к человеку, использующему её для своих целей;

- красота — качество субстрата, хотя и не имеющее признака ситуативной необходимости, но создающее у потребителя чувство о его «правильности» и надёжности; красота изделия также связывает его с ценностными представлениями человека о должном. Другими словами, функция красоты — это внесение в существование человека принципа свободы она единственный в своём роде посредник между индивидом и обществом.

Существенную роль в формировании эстетических представлений играют восприятие и эмоциональная реакция. Эстетическое восприятие образа объекта дизайна не является пассивно-созерцательным актом, оно включает акт сотворчества, содержащий момент самоутверждения личности, подчёркивая его способность к эстетическим переживаниям. Процесс ассоциирования, присутствующий в эстетической корреляции образов объектов

дизайна, получает при этом дополнительное содержание, захватывая в свою сферу такие их признаки и свойства, которые конкретизируют представление человека о гармонии. Очевидно, что выполнение задачи «целостного системного осмысления» и направленной организации конфигурации структур форм образов объектов дизайна, необходимым образом подразумевает такой важнейший аспект, как визуальный анализ существующих композиционных сюжетов. На его основе осуществляется синтез новых дизайнерских решений на всех этапах разработки конкретного образа, который должен отразить в себе сложные философские, эстетические, аксиологические и культурные потребности общества на формирование которых значительное влияние оказывает мировая литература и филология. Это ещё раз подчёркивает, что при наперед заданных довольно жестких филологических и стилевых ограничениях готика стала явлением национальной и мировой культуры. Сегодня, спустя столетия, архитектурные, художественные, декоративные и дизайнерские работы уже с неоготическим содержанием всё также привлекают к себе внимание и отнюдь не кажутся старомодными или примитивными. Именно это создает впечатление гармонии и единства с природой и её звучанием, что явно прослеживается в произведениях Виктора Гюго, а стиль — это всего лишь принятая условность, заостряющая внимание на какой-то одной стороне жизни, создающая соответствующее настроение. Законы цикличности в развитии общества постоянно, но с разной периодичностью возвращают к поиску и научным исследованиям образов в гениальных истоках мировой культуры, где безусловно знаковым событием является классическая французская литература.

3. Результаты исследования и их анализ

Данная работа посвящена исследованию феномена образа темпоральной модели в предметной области объектов дизайна, созданного действием конусообразного странного аттрактора, который представляет собой ВКИДС со структурой её элементов и их свойств, получившая название готика. Проявление её морфологии с характерными вертикальными лучевыми доминантами, образующими острые углы, начиная с XII века создало устойчивый глобальный, основополагающий художественный стиль, философия которого динамично развивается и в настоящее время в разных категориях миропонимания, эволюции культуры, дизайна и личности человека. Актуальность и постоянное внимание научного сообщества к этому знаковому тренду в пространстве мирового искусства обусловлено необходимостью системного осмысления и использования энергетических и информационных связей, объединяющих произведения всех эпох, относительно эмоционально-художественного паттерна в кластерах ВКИДС: готика, неоготика, псевдоготика, квазиготика, эклектика и т.д.

Главная цель работы – это создание образа объекта дизайна - парюры, состоящей из колье, диадемы, серёг представленной визуальной когнитивной информационной динамической системой «Эсмеральда» по мотивам литературного творчества Виктора Гюго, готического роман «Собор Парижской Богоматери».

Когнитивное моделирование художественного образа объекта дизайна заключалось в построении конфигурации структура ВКИДС с использованием архетипов исследуемого стиля готики и исторических хронотопов[4], воплощающих творческий замысел в пространстве и времени формой и цветом, фактурой и текстурой.

В эстетическом мире средневековья стилевые параметры романики, а затем готики складывались во многом спонтанно, являя собой некое общенародное «наитие», отображая органическую общность художественного мировосприятия, принадлежность к единой системе духовных ценностей[5].

Одной из решённых задач в результате анализа и синтеза феномена «культурного кода» готики является развитие и апгрейд философии контекста сущностей, свойств и отношений в структуре элементов ВКИДС, определяющих общие неизменные черты готического наследия в коэволюции культур универсальной истории в пространстве сложной кибер-физической научной картины мира.

В развитии постнеклассической методологии исследования архетипов, определивших композицию художественного образа ВКИДС «Эсмеральда» были рассмотрены ряд характерных временных реперных периодов готики в культуре, которые соответственно условно можно разделить на темпоральные модели в эстетике и философия готики.

Впервые понятие готика в современном смысле применил Джорджо Вазари для того, чтобы отделить эпоху Ренессанса от Средневековья. Готика пришла на смену романскому стилю, постепенно вытесняя его. Этот стиль проявился в строительстве кафедральных соборов и связанным с ним искусством каменной и деревянной резьбы, скульптуры, витражей, фресок и так далее. В конечном итоге своё завершающее логическое развитие определил, как интернациональная готика с подсистемами региональными и временными кластерами –ранняя, поздняя – пламенеющая, лучистая готика. Эпицентром его развития является готический собор – колоссальное сооружение, впечатляющее своей живописностью и экспрессией. Важнейшую роль в создании художественного образа готического собора играет его декор. Во всей обстановке храма, как внешней, так и внутренней, главенствует орнаментально-декоративный принцип. Доминирующей особенностью готической художественной системы является резкое внутреннее столкновение между ее внешней организацией по орнаментальному принципу и стремящейся вовне самостоятельностью составляющих этой орнаментальной системы, которые все сильнее выявляют стремление к прямому контакту между собой [6]. Несомненно, орнамент играет существенную роль в художественном образе готического храма, роскошно украсивший стены как снаружи, так и внутри, мебель и даже храмовую посуду. Темперамент этого орнамента, определяется замысловатым взаимодействием романо-византийской и арабомусульманской традиций, на основе которых, готика создала невероятно колоритный стиль своего декора. Декадансная природа готики особенно отчетливо выражается в поздний период существования этого стиля, названного пламенеющей готики [7]. Само его название связано, прежде всего, с орнаментальным декором, стилистика которого намекает на как бы рвущиеся к небу языки пламени.

В Германии у Кельнского собора, на самом верху порталов которого, в центре можно увидеть витраж, доминантным элементом которого является квадрифолий.

Храм напоминает о кресте, на котором распяли Спасителя. Каждая его архитектурная потребность становилось символической: розетка – это символ вечной розы, а ее лепестки символизировали души святых и т.д. [8]. Главная идея готики – устремление вверх; главная структура стиля – острая дуга [6]. Готика стала порождением романского стиля, который вышел из недр христианского искусства. В этом стиле различают три эпохи. Первая эпоха – ранний готический стиль, ему свойственна определенная тяжеловесность, как и предшествующему стилю. Более проработан средний стиль, преобладавший до конца XIV в.; это было наивысшее выражение готики. Последняя эпоха свидетельствовала об определенном вырождении стиля: излишняя вычурность деталей окончательно завладела архитектурным целым. Стиль этого периода получил название «пламенеющей» готики.

Самыми знаменитыми считаются Кельнский и Страсбургский соборы, Антверпенский собор, знаменитый «*Notre Dame de Paris*», собор в Реймсе, Вестминстерское аббатство и множество других построек [8].

Строительство Собора Парижской Богоматери закончилось лишь в середине XIV века. Собор представляет собой пятинефную базилику. Его фасады декорированы скульптурой. Особенно украшены порталы, изваяния которых изображают историю христианства. На верхней площадке собора, у подножия башен, установлены статуи химер. Реймский немного напоминает фасадом Парижский, особенно расположением галерей и средним окном-розеткой [6].

Образы и композиция этих соборов вдохновляла великие таланты вне времени создавать шедевры художественной и философской мысли, к которым относится классик французской литературы Виктор Гюго. Написанный им роман «Собор Парижской Богоматери», представил в

качестве главного героя готический собор Парижа, который в то время намеревались снести, либо перестроить. Это произведение во многом спасло готику, так как сразу после выхода романа сначала во Франции, а после и во всей Европе развернулось движение за сохранение и реставрацию готических памятников. В ходе исследований для создания художественного образа парюры послужили также архетипы немецкого зодчества в стиле неоготики, а именно Кельнский собор.

4. Обсуждение

Результаты исследований послужили для создания образа парюры, включающей диадему, колье-пластрон, которое является трансформером и серег, образы которых имеют архитектурный декор готического собора.

Разработанное колье-трансформер является разновидностью пластрон. Его универсальность создаёт эксплуатационные преимущества: отстёгивающийся элемент является кулоном. Помимо кулона, перламутровые элементы с резным квадрифолием располагаются в изделии с двух сторон, в боковых его частях [10]. Основным, доминирующим элементом разработанного колье-трансформера является квадрифолий-четырёхлистник. Для того чтобы его построить, нужно взять за основу геометрические фигуры. В основе четырёхлистника лежат две правильные фигуры – квадрат и круг. Диаметр круга равен длине стороны квадрата. Нужно совместить углы квадрата с центрами кругов. Четыре окружности из каждого угла рисуются так, чтобы они пересеклись со стороной квадрата. Важное условие такого элемента – его симметричность. За счет такого приема в композиции, как симметрия, достигается равновесие изделия. Симметрия в искусстве имеет очень широкое распространение, являясь одним из важных средств построения художественной формы [11].

Чтобы изделие стало более выразительным, был использован такой композиционный прием, как контраст. Его усилению способствует ярко синий сапфир в форме капли и резьба на перламутре, фоном выступает белый перламутр, а пустота в форме квадрифолия выглядит ярким пятном и выражена как силуэт. Лепестки как бы очерчены контурной линией, рисунок 2, б.



Что касается формы самого колье, его силуэт в точности повторяет форму двух главных башен Кельнского Собора. Сама основа изделия представляет собой геометрический узор, в котором многочисленные окружности соединяются в форме квадратов, сплетая драгоценную сеть. При разработке узора стоит учитывать плотность набора, то есть наличие и размеры пустот. При неравномерном распределении пустот может нарушиться композиция. Геометрический узор, в свою очередь, переходит в миниатюрные башни, украшенные золотой

зерню – мелкими металлическими шариками, которая напоминает готические краббы. Дополнительную выразительность изделию придают «кровавые» рубиновые капли огранки кабошон, которые венчают золотые башни (Рисунок 2, в). Насыщенность и яркость всего изделия в целом достигается за счет сочетания крупногосинего сапфира и рубинов, россыпи бесцветных бриллиантов, а также за счет объединения разных фактур – белого перламутра и цветных драгоценных камней между собой.

Соединение всех вышеперечисленных противоположных характеристик придает изделию особую насыщенность, такая комбинация смотрится гармонично, как законченное целое.

Образ диадемы выражает всю красоту деталей Кельнского собора, его стрельчатых арок и ажурных каменных элементов. Она сама будто бы является миниатюрным собором, легким и воздушным в своей конструкции. Башни разного размера устремлены вверх, как и поддерживающие их детали и сочетаются с готическими стрельчатыми дугами посередине. Центр композиции усиливается подвесными элементами с цветными камнями. Украшение довольно массивное, ажурное и украшено множеством камней. Дуги имеют форму готической стрельчатой арки и дополнены квадрифолийным орнаментом, что помогает создать целостную композицию. Все элементы диадемы гармонично сочетаются друг с другом и подчеркивают готический стиль. Изделие имеет симметричную композицию, оно организует вокруг себя одинаковое пространство, так как все стороны относительно вертикальной оси одинаковы и ориентированы на одинаковое восприятие со всех сторон. Симметрия достаточно часто встречается в готическом стиле.

Современная ювелирная парюра обязательно включает в себя серьги, они являются частью как вечернего, так и повседневного образа. Креативные и легкие серьги с подвесными элементами завершают образ парюры, они почти полностью повторяют элементы кольца и диадемы. В верхней части расположен квадрифолий из перламутра, который переходит в подвесные элементы с прозрачными бриллиантами, а они, в свою очередь, завершаются миниатюрными готическими башнями (Рисунок 2, г).

5. Заключение

В процессе исследования была рассмотрена история готического стиля и проведен анализ ее основных характеристик. Было выявлено, что готическая архитектура характеризуется специфическими стилевыми и конструктивными особенностями, отличительной чертой стиля является стремление в космос.

В результате проведенных исследований, был разработан образ ВКИДС, представленный парюрой «Эсмеральда» в готическом стиле с учетом стилевых особенностей конфигурации структуры открытой системы, следуя всем тенденциям современных требований.

Архитектурный декор Кельнского собора – это доминанта в композиции парюры «Эсмеральда»:

- образ диадемы в своей морфологии повторяет вид собора;
- кольцо-трансформер с конфигурацией пластрона имеет функцию броши-кулона;
- серьги представляют разновидность конструкции с длинными подвесными элементами.

Разработанная парюра синтезирует в себе средневековые и современные направления, создавая инновационную эклектику, которая объединяет в себе черты готической архитектуры и старинного готического орнамента. Сочетание цветов подчеркивает принадлежность украшений к данному стилю. Желтое золото, бриллианты, яркие рубины и сапфиры оптимально гармонируют между собой и возрождают историю периода «пламенеющей» готики. Художественный образ создаёт открытую систему, дающую возможность продолжать исследования в различных направлениях:

- совершенствование конструкции в развитии универсальности функциональных свойств в использовании геометрии изделия для комплектации и тюнинг его гаджетами, характеризующимися инновационными решениями в области электроники, оптики, нанотехнологий, электротехники[14];

- сочетание культовых, исторических и архитектурных мотивов одновременно раскрывающих многогранность исследуемой научной темы;

- выбор технология изготовления изделий и материалов для них;

-адаптация проекта к информационным технологиям.

Данная парюра ювелирных украшений в готическом стиле будет востребована на современном рынке, так как сочетает в себе элегантность, индивидуальность, красоту и многофункциональность, ведь изделие-трансформер позволяет носить его не только как единое целое, а также разделив на части.

Библиографический список

[1] Жуков В Л, Жуков ВВ, Осипова Г Ю иХмызникова В А 2013 Принципы восприятия физического пространства и предметной области дизайна на основе их взаимной корреляции. *Дизайн. Материалы. Технология*1. С.10 – 18.

[2] Ильичёв Л Ф и Федосеев Н. П. и др. 1983 *Философский энциклопедический словарь*. (М.: Советская Энциклопедия).

[3] БражеР А2002 *Синергетика и творчество: учеб. пособие*. (Ульяновск: УлГТУ).

[4] Иванов В В2007 Избранные труды по семиотике и истории культуры.: Знаковесистемы культуры, искусства и науки. (М.: МГУ), Т.4. С. 345-347.

[5] Кривцун О А2000 *Искусство нового времени. Опыт культурологического анализа*. (СПб:Алетейя).

[6] Виолле-ле-Дюк Э. 2013 *Энциклопедия готической архитектуры*. (М. :Эксмо).

[7] Буткевич Л М 2008 *История орнамент: учеб.пособие для вузов*. (М.: Гуманитар. изд. центр ВЛАДОС).

[8] Гнедич ПП2007 *История Искусств. Живопись. Скульптура. Архитектура*. (М.: Эксмо).

[9] Забозлаева Т Б 2003 *Драгоценности в русской культуре XVIII-XX веков: словарь (История. Терминология. Предметный мир)*. (СПб:Искусство-СПБ).

[10] Перфильева И Ю 2016 *Русское ювелирное искусство XX века в контексте европейских художественных тенденций. 1920 – 2000-е годы*. (М.: Прогресс-Традиция).

[11] Жукова Л Т, Писарева А Н и Бердичевский Е Г 2015 *Композиция: учебник*. (СПб.: ФГБОУ ВПО «СПГУТД»).

[12] Буровик К А1996 *Красная книга вещей*. (М.: Экономика).

[13] *Большая советская энциклопедия*. 1972 (М.: Советская Энциклопедия) Т. 8. С. 225-226.

[14] Жуков В Л и Хижняк А И2016 *Ювелирные изделия (парюра) в стиле северо-итальянской поздней пламенеющей готики,представленные универсальные гибридной визуальной когнитивной информационной динамической системой «металл – драгоценные минералы – оптико-электронные и электротехнические устройства»*(Материалы междунар. науч.-практ. конф. (М.: МИРЭА) С.101-102.

Исследование влияния научно-технических достижений в развитии свойств полимерных материалов двуокиси кремния SiO_2 на создание образов объектов дизайна

Жуков В. Л., Семёнова Т. В.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Россия

E-mail vl_zhukov@mail.ru

Аннотация. В данной работе проводились исследования визуальных когнитивных информационных динамических систем предметной области объектов дизайна, организующих жизненное пространство интерьеров зимних садов с доминантными модулями, представленными средствами измерения времени в стиле сюрреализма. Образы спроектированных изделий имеют элементы декора с функциональной и эстетической нагрузкой структур биосистем флоры и фауны.

1. Введение

Человек живёт и существует в бесконечном информационном поле, являющимся одной из форм материи [1], отдельные дискретные временные периоды и процессы которого опосредовано измеряет и фиксирует память. Всеобщее свойство материальных процессов протекать друг за другом в определенной последовательности, обладать длительностью и развиваться по этапам, стадиям и отражает философское понятие времени. Пространство и время представляют собой одну из всеобщих форм существования материи. Важнейшим свойством пространства и времени является их объективность, то есть независимость от человеческого сознания, являющимся инструментом мышления.

В философии науки время рассматривается как реальный параметр, позволяющий привести природные события в упорядоченную систему, определяющий длительность событий и характеризуемый свойствами симметрии в форме законов науки. Временность как философское понятие имеет два значения, выступая в качестве: свойства изменчивости и отношения к изменчивости преходящей в природе бытия. Временность в первом смысле охватывает любые объекты; во втором же смысле — относится только к экзистенциальным формам сознательных существ. Человек выступает во времени как конечное существо. Конечность означает неспособность определять предпосылки собственного бытия и одновременно способность вставать в некоторое отношение к этим предпосылкам.

Объективное время измеряется часами и календарём. Всякий воспроизводимый периодический процесс, имеющий постоянную частоту, может использоваться для установления единицы измерения времени. Среднее время собственного оборота Земли и её вращения вокруг Солнца даёт деление среднего солнечного дня, даёт часы, минуты и секунды. Новый стандарт точности (атомная секунда) в астрономическое измерение времени ввели в 1967. Атомные часы отклоняются, примерно, на две секунды за миллион лет. Наименьшая единица измерения времени человеческого восприятия составляет доли секунды [2].

Физика и материализация этой данности событий эволюционирует с развитием человеческой личности, при этом охватывая оба предельных паттерна предметной

области объектов дизайна в главном доминирующем свойстве – это количественное измерение и оценка информации.

История часов от самых ранних солнечных часов и/или антикитерского механизма [3] до современных атомных измерительных устройств — это неотъемлемая часть истории культуры цивилизации, тесно связанная с прогрессом науки, техники, искусств и дизайна. Исторически совершенствование методов и средств измерения времени происходило не само по себе, а под влиянием с одной стороны требований к точности измерения времени на том или ином функциональном уровне, а другой стороны — это морфология образов детерминированной пространственной системы, обеспечивающая за счёт эстетики, необходимый созидательный эмоциональный фон. В универсальной мировой истории можно проводить социально-культурные исследования на основе антропологического, философского феномена и теории дизайна эпох или регионов, относительно способов измерения времени человеком. По наличию знаний и умений измерять и экономить время можно безошибочно судить об общем культурном уровне того или иного этноса или темпорального мира. В объектах дизайна постоянно должен проявляться достаточный художественный такт, чтобы воссоздать в своей художественной модели бытия когнитивный образ, который был бы органичен к мировой культуре и воплощал её наиболее прогрессивные тенденции.

Это значит, что сущности, свойства и отношения визуальной когнитивной информационной динамической системы (ВКИДС) в соответствии с теорией организации в реальном мире отражают идеальный объект, или художественную модель образа, созданные в результате когнитивного мышления, в которых отражается реальный мир; целостную и завершённую систему, которая в своем строении имеет художественную форму, в которой все части согласованы друг с другом и с целым в соответствии с выражаемым в этой форме содержанием и предметно выраженный смысл.

2. Материалы и методы

В объектах дизайна постоянно должен проявляться достаточный философский и творческий такт, чтобы воссоздать в своей художественной модели бытия когнитивный образ, который был бы органичен к мировой культуре и воплощал её наиболее прогрессивные тенденции.

В теории дизайна подчеркивается тот факт и это учитывает концепт [4], чтобы начало работы не сковывалось жесткими рамками технического задания со стороны заказчика, целесообразно, планируя процесс проектирования, предусматривая решение таких задач, которые демонстрируют предельные возможности дизайна на уровне гипотез, даже если они сомнительны с точки зрения практической реализуемости. Это позволяет придать большую самостоятельность образному когнитивному мышлению и развить в виртуальном мире такие художественные композиции и сюжетные ситуации, в которых объект дизайна откроется разными, неожиданными сторонами и качествами. В этом случае есть возможность более свободно ориентироваться на ценности культуры и культурные каноны, и современные NBIC – технологии, представляющие в соответствии с концептом определённую базу данных и знаний, созданных на основе нового подхода к созданию модели представления данных и знаний в системах искусственного интеллекта, ориентированных на предметную область объектов дизайна. Этот подход основан на использовании развивающегося эволюционного (адаптивного) динамического многомерного объектно-системного дискретного пространства, унифицированного представления данных и правил, которое называется миварным пространством представления данных и правил. Основой миварного подхода

к представлению данных и знаний является целостное, эволюционное, динамичное, многомерное, а при необходимости и объектно-ориентированное, описание изучаемой (моделируемой) предметной области, при котором сущности (вещи, объекты), свойства и отношения могут переходить друг в друга, в зависимости от предмета исследования, то есть сущность может быть свойством другой сущности или сущность может быть отношением других сущностей и наоборот [5], что особенно характерно для объектов дизайна при исследовании создания образов в динамике взаимодействия форм пространства и цвета. Для данного исследования миварное пространство носит избирательный характер определённый выбором художественных стилей (сюрреализм и дадаизм) и физических явлений, имеющих прямое отношение к данному заданию, и выступающих как прообразы будущего решения.

Когнитивное моделирование образов объектов дизайна отражает фундаментальные способы связи содержания и формы, выражения смысла в семиотической философии и функции изделий. Поэтому одним из основных постулатов когнитивного моделирования образа объекта дизайна является принцип философско-антропологического содержания символа формы, создающего структуру ВКИДС, как *конструктивный* базис темпорального мира.

В теории художественного конструирования оказывается вполне приемлемым говорить об общих и специальных функциях проектируемого изделия. *Методика художественного конструирования имеет целый ряд* тематических направлений функционального проектирования, каждое из которых характеризует объект дизайна в особой системе координат миварного пространства жизнедеятельности человека. По сути, *функция* в отношении к *форме* может рассматриваться как аналог ее целевой заданности, как представитель цели.

Естественнонаучный тренд прецизионных измерительных проблем в основном решается в ведущих мировых научных центрах физики и астрономии, а эстетическая задача переложена на организации занимающиеся теорией дизайна, технологии художественной обработки материалов, междисциплинарного подхода и так далее [6]. Физические принципы на основе, которых происходят измерительные процессы, любые конструкции часов являются композиционным центром интерьера и/или экстерьера, организующих жизненное пространство социума — квартиры, дачи, офисные и административные помещения. Они давно перестали выполнять функции прямого предназначения и приобрели ещё более инновационное актуальное эстетическое значение.

Современные модели должны гармонично вписаться в интерьер помещения, соблюдая законы композиции и стилеобразования формы изделия в дизайне. Одним из ретроспективных решений в данной работе стало обращение к проектированию средств измерения времени (песочные часы) на основе свойства сыпучести веществ, где шкалу представляет объём замкнутой стеклянной капсулы.

3. Результаты исследования и их анализ

Песочные часы относятся к одним из самых древних видов устройств, изобретенных людьми для измерения времени, но, несмотря на активное развитие часового дела и появление более совершенных механизмов, песочные часы используются и сейчас. В истории возникновения песочных часов не хватает конкретики и достоверно подтвержденных фактов, однако, основываясь на сохранившихся источниках, можно предположить, что принцип построения подобного устройства был известен в Азии

еще до Рождества Христова. Несмотря на то, что бутылочные часы упоминались Архимедом, а в Древнем Риме предпринимались первые попытки изобретения стекла, во времена Античности никто так и не сумел сделать песочные часы. Следующей вехой в истории возникновения песочных часов стали Средние века. В то время мастера, работавшие над совершенствованием водных и солнечных напольных часов, взялись и за бутылочные конструкции. Благодаря своей невысокой стоимости и простоте использования, они сразу же приобрели неимоверную популярность.

Одна из первых моделей европейских песочных часов была сделана в Париже. Запись об этом датировалась 1339 годом, а в тексте сообщения содержались указания относительно приготовления тонкого песка (для этого просеивали порошок черного мрамора, предварительно прокипяченного в вине и просушенного на солнце) [7 -13]. Качество песка было одним из основополагающих факторов, от которых зависела точность часов: кроме мрамора, применялся сероватый песок из цинковой и свинцовой пыли, красноватый тонкозернистый просеянный песок, а также светло-белые пески из прожаренной молотой яичной скорлупы. Зернистость и сыпучесть песка обязательно должна была быть равномерной. Чаще всего количество песка засыпали из расчета на то, что часы будут работать по тридцать минут или по часу, но были и модели, работающие три и даже двенадцать часов. Для изготовления элементов корпуса песочных, каминных и настенных часов с боем использовались разработки технологии производства прозрачного стекла. Для бутылочных часов его преобразовывали в сферические колбы. Для максимальной точности хода стекло должно было быть гладким, без дефектов. В том месте, где горлышко сосуда сужалось, помещалась горизонтальная металлическая диафрагма, отверстие которой служило для регулирования количества и скорости пересыпания крупинок песка.

Песочные и механические часы в интерьере дома — это рациональные доминантные модули, создающие системный образ, который придаёт определённый колорит в процессе когнитивного моделирования, принятого в теории дизайна. Он показывает, что искажение архетипа — это абстракции. Одна из которых хранится в памяти и отражает главную, доминантную тенденцию некоторой категории, другая, называемый моделью частоты признаков, предполагает, что архетип отражает моду или наиболее часто встречающееся сочетание признаков. Архетип когнитивного моделирования — это синоним оптимального результата из некоторого набора паттернов. И в этом событии возникают ВКИДС со своей структурой, представляющая предельные паттерны, включающая наиболее часто встречающиеся свойства, характерные некоторому кластеру. Архетип, как правило, индивидуален, постольку состоит из оптимальной гибридной комбинации свойств, хотя они сами уже воспринимались ранее. Такие свойства, например, геометрические элементы частей художественных произведений, космического пространства, части видимого спектра электромагнитного излучения, технологические процессы — это и есть конструктивные модули композиции архетипов. Из графических паттернов и траекторий аттракторов складываются декоративные узоры. Визуальные паттерны в природе часто хаотичны, никогда не повторяются в точности, часто являются фрактальными и темпоральными моделями. Паттерны включают в элементы своих систем формы спирали, меандры, волны, пены, трещины, которые созданы благодаря симметрии поворота и отражения [8].

Представлен фазовый портрет образа такой ВКИДС (Рисунок 1, а). Из детерминированности его формы ясно, что все три динамические параметра системы «Песочные часы», где x — стеклянная колба, y — сыпучий материал, z — подставка для

колбы, будут испытывать измерительные колебания относительно некоторых рабочих стационарных состояний. Когда положение сыпучего материала находится под действием закона тяготения, структура ВКИДС в рационально-прикладном паттерне пропорциональна измеренному времени, а в эмоционально-художественном паттерне структура ВКИДС находится под действием законов гармонии и композиции, определяющих форму, фон, цвет, историзм, сюжет. Такое движение наблюдается в широком диапазоне указанных параметров. Однако при некоторых специфических значениях управляющих параметров фазовая траектория представляет незамкнутую, весьма запутанную кривую, временами выходящую за пределы области сгущения, а затем снова возвращающуюся к ней (Рисунок 1, б).

Область притяжения фазовых траекторий на фазовом портрете системы называется аттрактором. Такое спутанное поведение фазовых траекторий лишь на первый взгляд хаотическое. В действительности положение каждой точки здесь является вполне предсказуемым в любой момент времени, так как может быть однозначно вычислено из уравнений, описывающих систему, и наложенных на нее граничных и начальных условий, например современной модой или шкалой средства измерения времени.



По этой причине подобные аттракторы называются странными, а детерминированный хаос — динамическим хаосом. Важно, что динамический хаос возможен лишь в пространстве с числом измерений больше двух. Только тогда фазовая траектория имеет возможность вырваться в дополнительное измерение и, покрутившись там некоторое время, вернуться обратно, оказавшись в измененном виде почти рядом с исходной траекторией, но на новом уровне [9].

В данной работе первостепенной задачей является совершенствование жизненного пространства человека посредством создания образа ювелирных изделий, аксессуаров и ландшафта их дизайна с определённой философией, которая системно организует и встраивает образы элементов интерьера, постоянно находящиеся во взаимоотношениях с человеком, в общую структуру картины мироздания. Важное дополнение в исследовании формирования образа объекта дизайна отражено в реализации системного анализа и синтеза направления в морфологии эстетики объектов дизайна: эстетика морфологии флоры и фауны вэнтомологических биосистемах, отряд двукрылых, как части материального мира в кластере насекомых.

Была создана композиция на основе морфологии геометрии траекторий аттракторов, в котором выделены характерные признаки *графического паттерна и существующей реальности фауны биосистем, представляющих эволюцию системы «жертва (муха) – хищник* (вид хищных растений из монотипного рода Дионея семейства Рослянковых

(Рисунок 2) [7]. Эти графические признаки паттерна нашли энергетические и информационные связи систем хищник – жертва в композиционных и технических решениях измерения времени в прошлом и настоящем через реализацию в проектах образов объектов дизайна, выполненных в 3 D– моделях ювелирных аксессуаров «Гранатовая мухоловка» и в материале (подставка для стеклянной колбы из благородных металлов и сыпучий материал из драгоценных камней)[10 -11].



4. Обсуждение

Существует широкое многообразие самых разных конструкций архетипов песочных часов, отличающихся морфологией и колористикой образов, материалами для изготовления, пределами шкалы измерения, декором.

На современном этапе антикварные песочные часы могут служить в качестве элемента декора интерьера, а среди коллекционеров особой популярностью пользуются модели, инкрустированные алмазами. И, наконец, электронные часы бутылочной формы, на экране которых пересыпаются не песчинки, а пиксели, напоминают нам об истории развития часов.

Гибридизация форм энтомологических биосистем, прозрачных конструкционных полимерных материалов (двуокиси кремния (SiO_2), благородных металлов позволила создать образ объекта дизайна, представленный визуальной когнитивной информационной динамической системой (ВКИДС) «Гранатовая мухоловка» в сюрреалистическом стиле в контексте модернистского творчества.

Развитие образов доминантных модулей исследовалось на основе дерева эволюции биосистем фауны и флоры в двух направлениях:

- когнитивное моделирование образов фауны форм энтомологических биосистем и архетипов, отряда двукрылых и флоры Венериана мухоловка — вид хищных растений из монотипного рода Дионея семейства Рясниковых в произведениях кластера «Манифеста сюрреализма» [12]. Обращаясь к выбору образа можно до бесконечности

перебирать символы, за которыми аллегория скрывает поиск идеала, а так же те многочисленные формы гибридизации геометрических колористических элементов понимаемых, как пространственно-временной феномен, в которых символизм выражает в зрительном ощущении свои представления о прекрасном. Сложный характер отношения между субъектом и объектом деятельности проявляется в постоянном возникновении и устранении несоответствия между целями и средствами преобразования исходного объекта в объект-предмет с заданными свойствами. На каждом новом этапе существования творческой проблемы необходимо не только решать ту или иную техническую задачу, но и обеспечить решение таким образом, чтобы оно отвечало всему *комплексу оптимальных реальных, а не воображаемых требований*. Энтомологическая биосистема после когнитивного искажения реально существующего образа, фурационно воплощая сюрреалистическую морфологию, сохраняет свойства, позволяет идентифицировать её с творениями природы;

- свойств конструкционных полимерных материалов (двуокиси кремния (SiO_2)[13-14] в оптимизации цветопередачи и фактуры образа песочных часов. Стекло — один из самых распространенных материалов, широко используемых в народном хозяйстве и в быту. Непрерывно возрастающая потребность в стеклоизделиях различного назначения вызывает необходимость увеличения выпуска продукции стекольной промышленности при улучшении ее качества. Эта задача может быть решена при условии создания художественных образов объектов дизайна при своевременной рефлексии на эстетические запросы общества. В условиях современной научно-технической революции возрастают требования к свойствам материалов. По техническим эскизам образов растения и насекомых часть их элементы изготовлены из стекла, полностью отвечают канонам стиля. Их формы были когнитивно искажены и адаптированы под ювелирные аксессуары. В художественных образах изделий сохранена узнаваемость объектов дизайна и соответствие сюрреалистическому стилю. Песочные часы «Гранатовая мухоловка» представляют собой две деформированные прозрачные колбы, выполненные из муранского стекла [15]. Колбы соединены между собой и напоминают форму классических песочных часов. Внутри колб из прозрачного бесцветного стекла находится гранатовый песок, соответствующий основной холодной гамме изделия. На поверхности часов находятся стилизованные мухи, выполненные в холодных цветах из венецианского стекла с прозрачными крыльями. Металлическая подставка-основа выполнена из серебра и покрыта родием для сохранения общей цветовой гаммы изделия. По форме подставка повторяет контуры стеклянной колбы и напоминает стекающее как вода время.

В доминантном модуле «Гранатовая мухоловка» интерьера зимнего сада основным рассматривалась декоративная составляющая часов, гармонично вписывающаяся в растительный мир оранжереи, но в жизненном цикле образа изделия сохранена и функциональная составляющая.

5. Заключение

В течение всей жизни социальная и культурная активность человека направлена на познание реальности в целях наиболее адекватного приспособления к изменчивым условиям внешнего мира. Она обусловлена постоянным желанием улучшать условия собственного бытия. Для этого человеку необходимо:

- познать законы развития и функционирования явлений и процессов окружающей его объективной физической действительности при помощи точных наук, базирующихся на математическом способе описания реальности;

- установить закономерности функционирования творческой субъективной реальности, то есть того, как формируется когнитивный образ мира, как репрезентируются у человека знания о мире [16] при помощи философии и гуманитарного знания, стремящихся к экспериментальному обоснованию своих утверждений в объектах дизайна.

Эстетические требования к объектам дизайна можно сформулировать как систему эстетических норм, обеспечивающих создание изделий, выразительных в художественном отношении и оказывающих положительное эмоциональное воздействие на человека. Эстетические требования разнообразны, они включают обеспечение образной выразительности объектов дизайна, рациональной формы и соответствия ее закономерностям композиции, подчиненность всех элементов изделия общему композиционному решению. В процессе проектирования с помощью средств композиции происходит реализация этих и ряда других (технические, эргономические, социально-экономические) требований к объектам дизайна. Качественное улучшение эргономических, эстетических, информационных, экологических и технологических свойств их структурных связей между признаками и элементами композиции объектов дизайна даёт концепт моделирования образа объекта дизайна [4], который развивает эволюционное моделирование дизайнерских процессов. Этому способствуют:

- средства технической эстетики и дизайна;
- искусственные интеллектуальные системы, накапливающие и тиражирующие этот опыт;
- онтологии, ориентированные на знания в предметной области объектов дизайна и технологии художественной обработки материалов, которые с точки зрения естественных наук задают объекты дизайна, как слабоформализованные концептуальные модели (когнитивные карты реальности), которым всегда сопутствуют математические определения, семантические и семиотические сети и т.п.

Это в свою очередь открыло широкие возможности к всестороннему успешному решению поставленных исследовательских задач, проведённых в данной работе: анализ и систематизация научных и практических достижений в проектировании и моделировании информационного пространства в заданной предметной области объектов дизайна дал кластер образов доминантных модулей интерьеров с художественными стилями. При этом, в частности, показал влияние модернистской философии на структуру свойств ВКИДС эмоционально-художественного паттерна в диаграмме гибридизации сложной кибер-физической системы, представленной аксессуаром песочные часы «Гранатовая мухоловка».

Библиографический список

[1] Бердышев С Н 2003 *Физика*. (М.: Терра — Книжный клуб).

[2] Касавин И Т 2009 *Энциклопедия эпистемологии философии науки*. (М.: «Канон+», РООИ «Реабилитация»).

[3] Жуков В Л и Лебедева Н Е 2018 *Исследование научно-технические достижения античных цивилизаций в морфологии создания образов объектов дизайна в аксессуарах социума* (Материалы Хмеждународ. науч.-практ. конф. вузов России (СПб:ФГБОУВО «СПбГУПТД) С.240-255.

- [4] Жуков В Л, Поляков ВИ и Хмызникова В А 2013 Исследование визуальных информационных систем и модулей в предметной области объектов дизайна, представленных кластером малой архитектурной пластики. *Дизайн. Материалы. Технология*. 4. С. 27-33.
- [5] Варламов О О 2002 *Эволюционные базы данных и знаний для адаптивного синтеза интеллектуальных систем. Миварное информационное пространство*. (М.: Радио и связь).
- [6] Пипуныров В Н 1982 *История часов с древнейших времен до наших дней*. (М.: Наука).
- [7] Городская народная газета «Качканарский четверг» 12 мая 2011.
- [8] Жуков В Л и Павлова А А 2016 Феномен морфологии траекторий аттракторов в когнитивном моделировании образов объектов дизайна. *Дизайн. Материалы. Технология*. 2. С. 33 – 42.
- [9] Браже Р А 2002 *Синергетика и творчество: учеб. пособие*. (Ульяновск: УлГТУ).
- [10] ГОСТ 30649 -99 *Сплавы на основе благородных металлов ювелирные. Марки* 2001. (М.: ИПК. Издательство стандартов).
- [11] ГОСТ 6835-80 *Золото и золотые сплавы. Марки* 2005. (М.: ИПК Издательство стандартов).
- [12] Мосин И Г *Сюрреализм (Иллюстрированная энциклопедия)* 2005. (СПб. : ООО «СЗКЭО» Кристалл).
- [13] ГОСТ 32539 *Стекло и изделия из него. Термины и определения* 2014. (М.: ИПК. Издательство стандартов).
- [14] ГОСТ 32539 *Стекло и изделия из него. Характеристики. Термины и определения* 2016. (М.: ИПК. Издательство стандартов).
- [15] Пристинский В 2006 *100 знаменитых изобретений* (Харьков: Фолио).
- [16] Баксанский О Е и Кучер Е Н 2010 *Когнитивно-синергетическая парадигма НДП: От познания к действию*. (М.: Красанд).

Разработка композиционного покрытия для объектов дизайна из алюминия и его сплавов, обладающих высокими эстетическими свойствами

Жукова Л.Т., Николаев И.В.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Россия

E-mail lt_zhukova@mail.ru

Аннотация. Предложена структура композиционного покрытия, исследованного физико-механические и эстетические свойства

1. Введение

Алюминиевые сплавы являются одними из основных конструкционных материалов и широко применяются в различных отраслях промышленности, в том числе в производстве художественных изделий. Воздействие окружающей среды из-за склонности алюминия к окислению снижает качество поверхности художественных изделий. В целях повышения эксплуатационных свойств алюминиевых сплавов, а также придания поверхности изделий декоративного вида и антикоррозионных свойств, в промышленности применяются защитно-декоративные покрытия.

Одним из перспективных направлений электрохимической обработки алюминия является получение цветных анодных покрытий, представляющих оксид алюминия, наполненный компонентами различной химической природы. Окрашенные покрытия обладают высокой коррозионной стойкостью, механической прочностью и декоративным внешним видом. Перспективность использования таких покрытий, с одной стороны, обусловлена относительной простотой технического процесса, а с другой – возможностью управлять физико-механическими и цветовыми свойствами, варьируя технологические режимы и вид наполнителей.

В настоящее время вопросы использования композитных анодных покрытий с применением щавелекислого электролита в художественно-декоративных целях изучены недостаточно. Применение композитных анодных покрытий, состоящих из пористого оксида алюминия и наполнителя определяет ряд художественных и технологических проблем, требующих разработки научно-методического обеспечения, позволяющего моделировать их декоративные, защитные и физико-механические свойства, что подтверждает актуальность данной работы. Целью работы является разработка технологии нанесения защитно-декоративных покрытий с влагозащитными свойствами для художественных изделий из алюминия с использованием пористого оксида алюминия заданного цвета в качестве слоя покрытия и углеводородного наполнителя в качестве подслоя.

2. Материалы и методы

В качестве методологической базы применялся системный подход. Для получения аналитических данных проводился метод сравнительного анализа. В работе использовались основные положения теории спектрофотометрии для получения количественных характеристик цвета анодных покрытий. Микроструктура пленок определялась с применением микроскопа *TESCAN Vega II* при увеличении в 2000 крат.

Исследование микротвердости покрытий производили на автоматическом микротвердомере *Micro-Duromat 4000E ASTM E 92* фирмы *Reichert-Jung*, нагрузка 100 г.

Цветовые характеристики исследуемых покрытий оценивали с помощью методов спектрофотометрии с использованием спектрофотометра фирмы *GretagMacbethSpectroeye*, в системе *LCh*, определяющей значение цвета по трем параметрам: светлота, насыщенность и цветовой тон. Каждое измерение осуществляли пятикратно на различных участках образца при стандартном источнике излучения *D65*, угол обзора – 2°. Обработка результатов осуществлялась методом математической статистики с использованием стандартных программ.

3. Результаты исследования и их анализ

Был проведен сравнительный анализ применяемых в промышленности в настоящее время защитно-декоративных покрытий для алюминия. В таблице 1 представлена сравнительная характеристика электролитов анодирования.

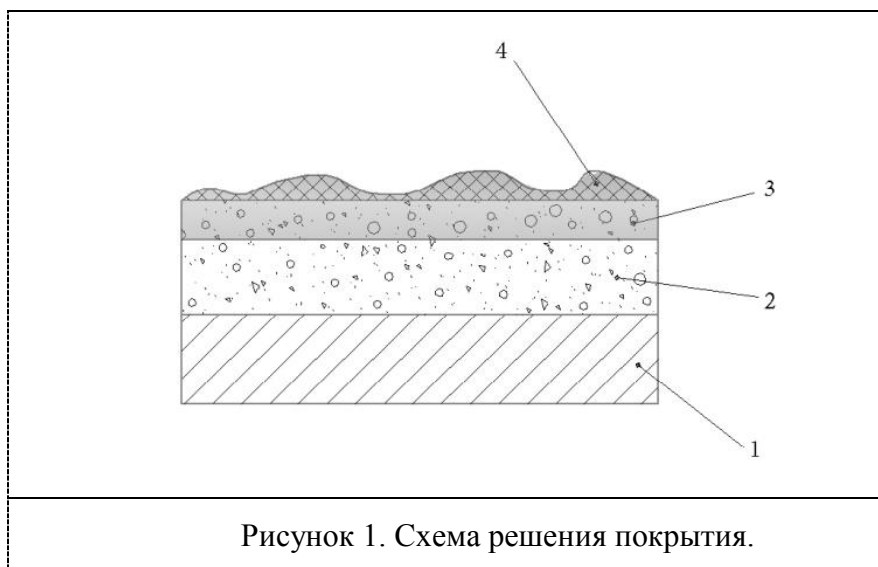
Таблица 1. Сравнительная характеристика электролитов анодирования

Вид электролита анодирования	Преимущества	Недостатки
Сульфатный	-высокая пористость пленок; -удовлетворительные защитные свойства; -пленки окрашиваются органическими красителями	-высокое травящее действие электролита не пригодное для сложнопрофильных художественных изделий; -экологическая вредность раствора; -ограниченный диапазон сплавов
Хромовокислый	-широкий диапазон сплавов; -высокие защитные свойства	-высокая трудоемкость процесса; -экологическая вредность раствора; -низкие декоративные качества пленки
Щавелевокислый	-широкий диапазон сплавов; -высокие защитные свойства; -высокая пористость пленок; -возможность получать цвет покрытия регулируя технологические режимы	-высокая стоимость электролита
Электролит на основе сульфосалициловой кислоты	-высокие защитные свойства; -прочность пленки	-очень высокая стоимость электролита; -ограниченный цветовой диапазон и декоративные качества пленки

Сравнительный анализ электролитов анодирования алюминия и его сплавов показал, что наиболее эффективным для создания композитного анодного покрытия является щавелевокислый электролит. Щавелевокислый электролит обладает следующими преимуществами:

- 1) Высокие декоративные свойства;
- 2) Возможность окрашивания покрытия в различные цвета;
- 3) Меньшие требования к механической подготовке (полированию), так как матовая пленка скрывает дефекты подготовки;
- 4) Меньшие требования к чистоте сплава на содержание примесей, особенно кремния и меди;
- 5) Гораздо больший ассортимент сплавов способных подвергаться анодированию;
- 6) Менее экологически вредные растворы гальванических ванн;
- 7) Высокие защитные свойства пленки;
- 8) Низкое травящее действие электролита.

На рисунке 1 представлена схема решения покрытия из 3 слоев, где: 1 – поверхность алюминия; 2 – слой покрытия; 3 – подслой покрытия; 4 – влагозащитный слой.



Слой покрытия получали на поверхности алюминиевых образцов путем анодирования в растворе щавелевой кислоты. Для получения покрытий с заданными технологическими свойствами были проведены эксперименты по анодированию в растворах, представленных в таблице 2. Были изготовлены образцы размером 60 x 25 мм и толщиной 5 мм из сплава АЛ2. Технологические режимы: температура 18-30 °С, плотность тока 2-2,5 А/дм², напряжение 40-70 В. Время анодирования составляло 30 мин. Шероховатость образцов после фрезерования составляла Ra 6,3 мкм. Обезжиривание производили в составе: 30 г/л - NaOH, 50 г/л - Na₂CO₃, 20 г/л - Na₃PO₄, температура раствора 80-90 °С. Образцы подвешивали на крюках в гальванические ванны. В качестве катода использовали свинцовую пластину из сплава марки С1.

Таблица 2. Составы растворов для анодирования алюминия

Номер раствора	Содержание (COOH) ₂ в электролите, г/л
1	120 ± 1
2	100 ± 1
3	80 ± 1
4	60 ± 1
5	40 ± 1

Было проведено исследование морфологического типа получаемых пленок для растворов с разным содержанием щавелевой кислоты. Исследовали влияние содержания (COOH)₂ в электролите анодирования с применением щавелевой кислоты с различной концентрацией. Химический состав электролитов представлен в таблице 2.

В течение всего процесса анодирования определяли плотность тока через равные промежутки времени (150 с) с помощью потенциостата марки P-30J. Известно, что изменение плотности тока связано с изменением морфологии пленки. На протяжении всего процесса анодирования наблюдается непрерывное изменение плотности тока и как следствие изменение морфологии пленки.

Анализ полученных результатов дал возможность сделать предположение о морфологических особенностях анодных пленок. Наличие точек минимума на зависимостях плотности тока от времени и последующий рост плотности тока свидетельствует о том, что при содержании щавелевой кислоты в растворе от 60 до 120 г/л происходит формирование пористых пленок. Практически постоянное убывание плотности тока в течение всего времени

анодирования показывает, что содержание щавелевой кислоты в электролите 40 г/л приводит к образованию пленки барьерного типа.

Микроструктуры пленок изучали с применением микроскопа *TESCAN Vega II* при увеличении $\times 2000$. На рисунке 3 представлена структура пленок (до и после анодной обработки в электролитах с различной концентрацией).

При анодной обработке в растворе с концентрацией наблюдается уменьшение размеров зерен и увеличение пористости пленки, связанных с травящим действием на нее щавелевой кислоты. В случае же анодирования в растворе с наименьшей концентрацией пленка обладает незначительной пористостью и получается более плотной.

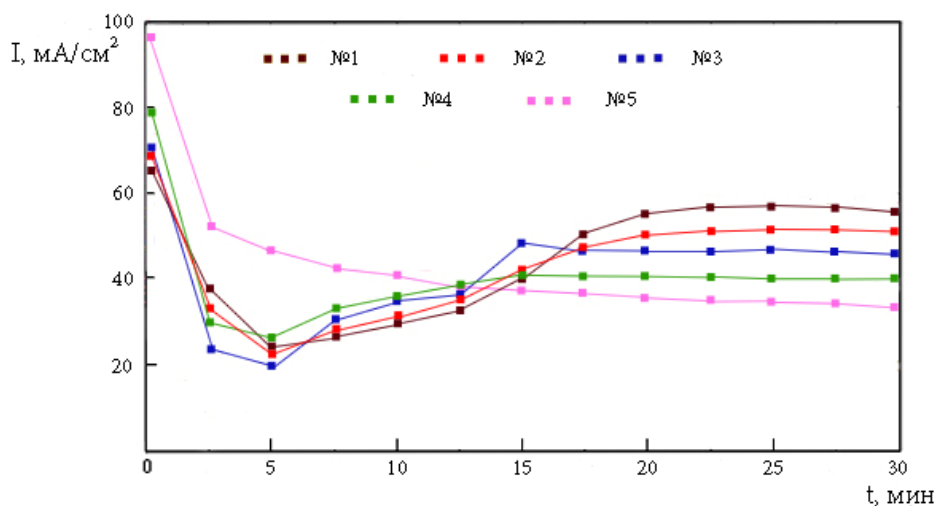
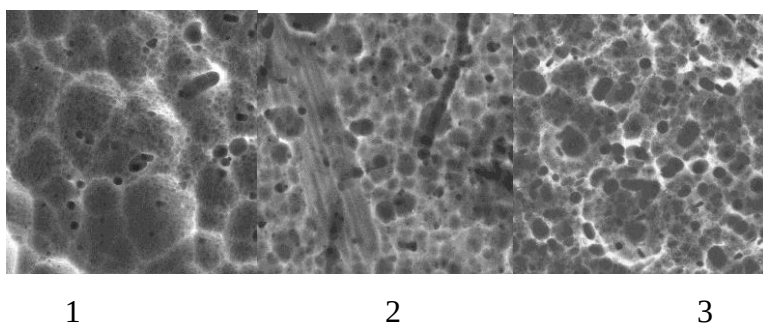


Рисунок 2 – Зависимости плотности тока от времени образцов, анодированных в растворах №1-5.



1 – образец алюминия без покрытия; 2 – образец анодированный в растворе 40 г/л; 3 – образец анодированный в растворе 80 г/л.

Рисунок 3. Микроструктура оксидных пленок.

Измерение пористости полученных покрытий. В целях установления значений пористости образцов были проведены измерения в соответствии с ГОСТ 9.302–88.

Исследование микротвёрдости покрытий производилось на автоматическом микротвердомере *Micro-Duromat 4000E ASTM E 92* фирмы *Reichert-Jung* при нагрузке 100 г.

Для исследования микрошероховатости пленок были сняты профилограммы на профилографе типа 252, предназначенным для измерений параметра шероховатости с индикацией в цифровом виде.

Степень блеска образцов измеряли на фотоэлектрическом блескомере ФБ-2. Измерения проводили в соответствии с ГОСТ 52663-2006. Полученные результаты значений блеска анодированных алюминиевых образцов представлены в таблице 4.

Для получения покрытий с заданными цветовыми характеристиками были проведены эксперименты по анодированию в растворе щавелевой кислоты с концентрацией раствора 80 г/л. Были изготовлены образцы размером 60 x 25 мм и толщиной 5 мм из сплава АЛ2. Время анодирования образцов представлено в таблице 5. Технологические режимы: температура 18-30 °С, плотность тока 2-2,5 А/дм², напряжение 40-70 В.

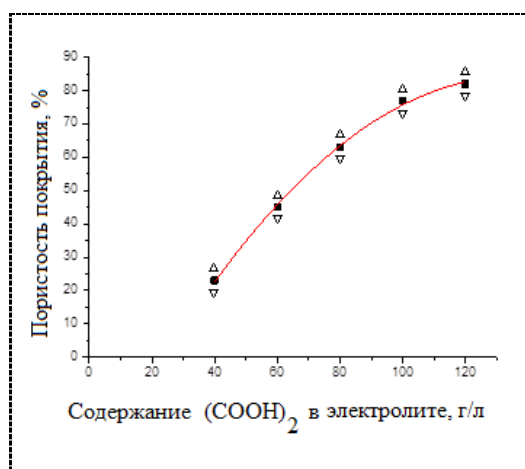


Рисунок 4. Зависимость пористости покрытий от содержания (COOH)₂ в электролите.

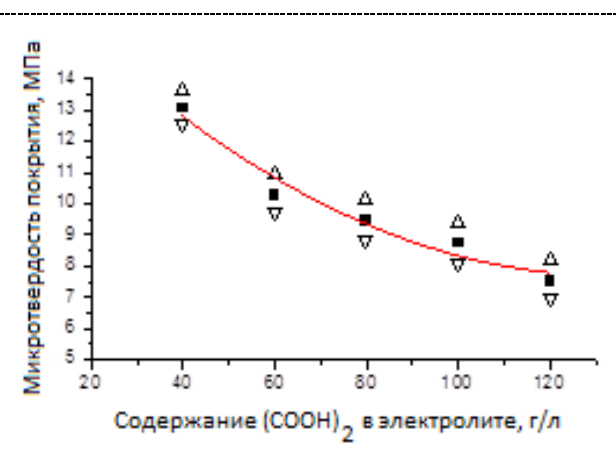


Рисунок 5. Зависимость микротвердости покрытий от содержания (COOH)₂ в электролите.

Таблица 3. Шероховатость *Ra* и классы

Номер образца	Блеск, %	Класс поверхности (в соответствии с ГОСТ 9.032—74)
1	4 ± 1	Матовая
2	5 ± 1	Матовая
3	20 ± 1	Полуматовая
4	24 ± 1	Полуматовая
5	22 ± 1	Полуматовая

Таблица 4 – Значения блеска чистоты поверхности алюминиевых анодированных алюминиевых анодированных образцов.

Номер образца	Параметр <i>Ra</i> , мкм	Класс чистоты поверхности
1	5.3 ± 0.1	5
2	4.3 ± 0.1	5
3	2.7 ± 0.1	6
4	2.1 ± 0.1	6
5	2.2 ± 0.1	6

Цветовые характеристики исследуемых покрытий оценивали с помощью методов спектрофотометрии с использованием спектрофотометра фирмы *GretagMacbethSpectroeye*. Измерения проводили в системе *LCh*, определяющей значение цвета по трем параметрам: светлота, насыщенность и цветовой тон.

Таблица 5. Изменение цвета покрытий в результате анодирования.

Номер образца	Время выдержки, мин	λ , нм	x	y	Y
1	10	560,4	0,356	0,372	0,820
2	20	564,4	0,353	0,370	0,820
3	30	568,6	0,356	0,372	0,820
4	40	576,5	0,360	0,373	0,790
5	50	581,5	0,363	0,370	0,730
6	60	580,5	0,361	0,366	0,720

Установлено, что получение заданного тона, светлоты, насыщенности зависит от времени анодирования. С увеличением продолжительности анодирования, светлота покрытий и цветовой тон уменьшается, а насыщенность увеличивается.

Для придания покрытию влагозащитных свойств создавали подслоя покрытия, представляющий собой продукт взаимодействия пористого оксида алюминия и углеводородного наполнителя. В качестве углеводородного наполнителя выбрана церезинсодержащая композиция. Выбор наполнителя производился с учетом обеспечения высокой адгезии и небольшого времени отверждения наполнителя, сохранения защитных свойств, как при нормальной, так и при повышенной температуре, стойкости к воздействию внешней атмосферы и отсутствие его влияния на цвет покрытия.

Проверка защитных способностей заявленного покрытия согласно ГОСТ 9.302-88 была произведена методом капельной пробы.

Таблица 6 – Защитные свойства покрытий

Номер образца	Толщина слоя покрытия, мкм	Время выдержки капли раствора, мин
1	7	4
2	15	6
3	23	9
4	27	10
5	33	12
6	40	12

4. Обсуждение результатов

Результаты исследования позволили определить механизм управления защитными, эстетическими и эксплуатационными характеристиками объектов дизайна из алюминия и алюминиевых сплавов с использованием анодных композитных покрытий. Возможность управлять цветом, блеском, шероховатостью поверхности, при сохранении высоких защитных и влагозащитных свойств покрытий путем изменения времени анодирования и концентрации раствора, будет способствовать повышению художественной выразительности при изготовлении художественных изделий из алюминия. Преимущество данного метода заключается в том, что он позволяет получать не только декоративные поверхности однородные по цвету, блеску и шероховатости, но и способствует расширению спектра художественных решений при создании объектов дизайна, а также надежно защищает поверхность металла от коррозии.

5. Заключение

1. Определены технологические параметры создания декоративных композитных покрытий для объектов дизайна с использованием электролита щавелевой кислоты и церезинсодержащей композиции.
2. Обоснована эффективность использования покрытия на основе электролита щавелевой кислоты.
3. Определены временные параметры покрытия для получения покрытий с заданными цветовыми оттенками.
4. Установлена зависимость декоративных и физико-механических свойств от концентрации электролита анодирования.

Библиографический список

- [1] Николаев И В и Жукова Л Т 2015 Совершенствование дизайна поверхности алюминиевых изделий анодированием *Дизайн. Материалы. Технология* 3 43–45.
- [2] Николаев И В и Жукова Л Т 2015 Наполнение пористых оксидных покрытий алюминия и его сплавов *Дизайн. Материалы. Технология* 4 61–64.
- [3] Николаев И В и Жукова Л Т 2015 Совершенствование дизайна поверхности алюминия методом тонирования *Известия вузов. Технология легкой промышленности* 4 132–134.
- [4] Николаев И В и Жукова Л Т 2016 Исследование свойств анодных покрытий алюминия, полученных в растворе щавелевой кислоты *Дизайн. Материалы. Технология* 1 55–58.
- [5] Николаев И В и Жукова Л Т 2016 Исследование декоративных и оптических свойств анодных покрытий на поверхности изделий из алюминия *Дизайн. Материалы. Технология* 2 30–33.
- [6] Гамбург Ю Д 2006 *Гальванические покрытия* (М.: Техносфера).
- [7] Петрова В В 1992 *Микропористость анодных оксидных пленок алюминия* (Петрозаводск: ПетрГУ).
- [8] Вихарев А В и Вихарев А А 2008 Характеристика некоторых функциональных свойств анодных оксидов алюминия *Ползуновский Вестник* 3 248–250.

Камнерезные элементы в дизайне ювелирных изделий

Звонкова Л.М., Сорокина В.Е.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail lubovz1997@gmail.com

Аннотация. Рассмотрены примеры ювелирных изделий с камнерезными элементами в древнем мире. Представлены работы современных мастеров, а также процесс создания авторского камнерезного изделия.

1. Введение

Ещё с древних времен люди придавали большое значение ювелирным изделиям, которыми себя украшали. Самые первые украшения были достаточно примитивными и выполнялись человеком из простых материалов: ракушки, клыки и кости животных, самородки металлов. С течением времени разнообразие материалов, используемых человеком для создания украшений, увеличивалось, и в современном мире оно насчитывает не только большое

количество природных материалов, но также искусственных, таких как стекло, синтетические камни, полимеры и пр. Однако традиционные материалы: металл и камень, по-прежнему занимают ведущие позиции в ювелирном искусстве.

2. Применение камнерезных элементов в дизайне ювелирных изделий в древнем мире

Резьба по камню – одна из разновидностей искусства ваяния. Этот вид творчества требует особого терпения и особой усидчивости, в связи с тем, что камень – непредсказуемый материал и ему довольно сложно придать требуемую форму из-за высокой плотности.

Особое распространение этот вид искусства получил в древнем Китае. Секреты резьбы по камню тщательно хранятся китайскими мастерами, как выполнить на булыжнике тончайшие узоры. Нефрит считался бесценным материалом для резьбы, из него делали императорские регалии, знаки особого отличия. В скором времени возникла художественная резьба. Из камней стали вырезаться предметы личного обихода для дома, ювелирные украшения, различные флаконы, статуэтки и фигурки, книги [1].

Искусство резьбы по камню пользовалось популярностью не только в Китае, но и в другие империях данная техника являлась неотъемлемой частью культуры. Так мастерство резьбы по камню было известно еще египтянам и ассирийцам. Изяществом и необыкновенной красотой поражают изображение геммы Древнего Египта, Шумера, Вавилона, Ассирии, Древней Греции и Древнего Рима. Наиболее распространенными материалами для резьбы гемм являлись: стеатит, гематит, серпентин, агат, сердолик, гранат, халцедон, горный хрусталь и сардоникс. Резные геммы чаще всего использовались как вставки в различные ювелирные изделия, такие как кулоны, перстни, броши и т.д. (рис. 1) [2].

3. Камнерезная ювелирная пластика в современном мире

Существует множество людей занимающихся камнерезной пластикой, но не многие могут позволить себе заниматься изготовлением мельчайших камнерезных элементов для ювелирных изделий. Это обусловлено такими параметрами как наличие специального оборудования (мощные осветительные приборы, окуляры для увеличения, боры с мелкой фракцией алмазов и т.д.), доступность сырья (ювелирного или поделочного), а так же умение совмещать в дизайне металл и камень.



Рисунок 1. Камея с изображением Птолемея II.

В данной сфере работает художник-ювелир Наталья Мазур. Она является членом Международной Ассоциации "Союз Дизайнеров" и "Творческого Союза Художников России". Наталья создает уникальные ювелирные изделия с элементами камнерезной пластики в одном единственном экземпляре. В основном в ее работах присутствует флористика (рис. 2) [3].



Рисунок 2. Кольцо «Афродита».

Иркутский резчик по камню Павел Даниловцев создает уникальные камнерезные элементы для ювелирных украшений. В дизайне его изделий присутствует преимущественно флористика, а также гармоничное сочетание различных минералов с металлом (рис. 3). Павел является учеником известного иркутского скульптора Натальи Бакут и выпускником кафедры геммологии ИрГТУ [4].

4. Процесс создание собственного ювелирного изделия из камня

В данном случае процесс начался с изучения материала. Это был гидрограссуляр небольшого размера треугольной формы, без трещин с наличием белых прожилок (рис. 4). Сам образец салатового цвета. Исходя из размеров материала было решено вырезать ската в техники анималистики. Технологический процесс изготовления состоит из следующих операций:

1. Разметочная. Нанесение на материал основного контура рисунка с помощью перманентного маркера

2. Отрезная. Отпиливание крупных ненужных деталей на бормашине бором-пила, не приближаясь к очерченной линии ближе чем на 0,5–1,0 мм.



а)



б)

а) Серьги «Орхидеи» камнерез Павел Даниловцев; ювелир Андрей Бобров. Материалы: байкальский халцедон, афганский лазурит, золото, бриллианты. б) Брошь-заколка «Дикая лилия». Материалы двухцветный агат, хризолит, гранат, золото.

Рисунок 3.

3. Постепенное придание основных форм будущего изделия (рис. 5).
4. Нанесение мелкой резьбы.
5. Шлифовальная. Шлифование выполняется алмазными борами более мелкой фракции.
6. Доводочная. Выполняется щеткой с алмазной пастой с зернистостью 14/10.
7. Полировальная. Полирование осуществляется щетками с нанесением на нее полировочного порошка с размерностью алмазов 1.5 мкм (рис. 6) [5].



Рисунок 4. Кусочек гидрограссуляра.



Рисунок 5. Придание основных очертаний будущему изделию.

5. Заключение

Рассмотрены различные ювелирные изделия с применением камнерезной пластики. Со времен древнего мира изменились технологии изготовления и стилистическая направленность. Постоянным остается материал для изготовления камнерезных - ювелирных изделий. По авторским эскизам был выполнен миниатюрный подвес в стили анималистики.



Библиографический список

- [1] Резьба по камню // Идеи для творчества [Электронный ресурс]. URL: <http://knittochka.ru/> (дата обращения: 05.10.2018).
- [2] Резьба на камне // Глиптика [Электронный ресурс]. URL: <http://design-fly.ru/> (дата обращения: 05.10.2018).
- [3] Ювелирный каталог // Художник-ювелир Наталья Мазур [Электронный ресурс]. URL: <http://www.jewellerycatalog.ru> (дата обращения: 05.10.2018).
- [4] Ювелирный каталог // Художник-ювелир Павел Даниловцев [Электронный ресурс]. URL: <https://instagram.com/paveldanilovtsev> (дата обращения: 05.10.2018).
- [5] Резьба по камню // Художественная резьба по камню [Электронный ресурс]. URL: <http://shkatullka.ru> (дата обращения: 05.10.2018).

Исследование геммологических характеристик и химического состава «султанита» для определения его природы

Иванова Г.Н., Анисимова А.А.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

Аннотация. Приведены результаты проведенной в научно-исследовательской лаборатории кафедры геммологии геммологической экспертизы вставок в ювелирные изделия, маркированные как «султанит». Было выяснено, что данный материал не является природным камнем «султанитом», поэтому для установления его природы было проведено определение химического состава методом неразрушающего рентгеноспектрального (рентгено-флуоресцентного) анализа, результаты которого подтвердили, что данные вставки являются стеклом с редкоземельными добавками (неодимовое стекло).

Ювелирный рынок камней с экзотическими названиями привлекает внимание не только обычных покупателей, но и специалистов геммологов. В розничной торговле появились изделия с ограненными вставками, маркированными как «султанит». Данные вставки обладают александритовым эффектом - сменой цвета в зависимости от освещения с очень светлого сероватого или ярко-зеленого на светлый красновато-пурпурный или розовый.

В минералогии действительно известен природный камень «султанит», который является разновидностью минерала диаспор [1, 2]. «Диаспор» в переводе с греческого означает «рассеяние, растрескивание». Этот минерал был известен с начала XIX века, первые находки его были обнаружены на Урале. Тонкопластинчатые агрегаты диаспора не представляли интереса для ювелирной промышленности, и до середины 1980-х годов он являлся коллекционным камнем. После открытия в Турции в Анатолийских горах месторождения ювелирного зеленого диаспора с александритовым эффектом этот камень стал встречаться на ювелирном рынке под названием «султанит». В последние десятилетия добыча диаспоров практически прекратилась в виду истощения месторождения, однако, в российских магазинах ювелирные изделия с «султанитом» явились настоящим брендом.

В научно-исследовательской лаборатории кафедры геммологии ИРНТУ экспертами-геммологами были проведены исследования нескольких ограненных вставок под названием «султанит». Они имеют овальную форму и стандартные размеры - 8*6 мм (рис. 1).

На лабораторном оборудовании кафедры с помощью неразрушающих геммологических методов были получены оптические характеристики исследуемых вставок [3]:

Оптический характер - изотропный (полярископ);

Показатель преломления - 1,50 (рефрактометр);

Плеохроизм - отсутствует (дихроскоп);

Включения, внутренние особенности – отсутствуют (микроскоп) (рис. 2);

Александритовый эффект – заметное изменение цвета от зеленого при дневном освещении на светло-коричневатый – при искусственном;

Прозрачность – прозрачные.



Рисунок 1. Серьги с «султанитом».

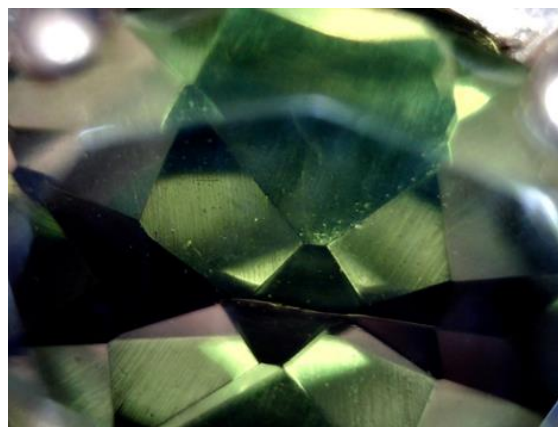


Рисунок 2. Исследование вставок под увеличением.

Полученные данные ясно свидетельствуют о том, что вставки не могут являться природным «султанитом», так как оптически изотропны. Однако круг материалов, обладающих эффектом смены цвета, довольно ограничен - среди природных камней данным эффектом обладают александрит, гранат, корунд. Но оптический характер и показатель преломления вставок (1,50) не соответствует оптическим константам ни одного из них. Проанализировав геммологические характеристики исследуемых вставок, было сделано предположение, что данный материал является стеклом с александритовым эффектом (неодимовое стекло) (таблица 1).

Неодимовое стекло (дидимовое стекло, стекло-хамелеон, александритовое стекло, стёкла Мозера, неофан или неофановое стекло) - стекло, содержащее в составе оксид неодима, иногда

смесь оксидов других редкоземельных элементов [3, 4]. Александритовый эффект обусловлен f-f переходами и в электронной оболочке атома неодима и присущ стеклам с содержанием оксида неодима не менее 4,3 % [4].

Для подтверждения природы данного материала проведены дополнительные исследования, в частности, - химического состава. Определение химического состава проведено методом неразрушающего рентгеноспектрального (рентгено-флюоресцентного) анализа с помощью спектрометра рентгенофлюоресцентного «ЮНИСПЕК СР1», зав. № 060104. Аппарат рентгеновский для спектрального анализа «СПЕКТРОСКАН МАКС-GV» фирмы «ООО НПО Спектрон», зав. № 640. Получены следующие данные (рис. 3, 4).

Таблица 1. Сравнительный анализ геммологических характеристик природного «султанита» и стекол со сменой цвета.

Наименование свойства	Диаспор «султанит»	Стекло со сменой цвета (неодимовое)
Оптический характер	Анизотропный	Изотропный
Цвет	Бесцветный, светлый желтовато-зеленый, светлый розовый, светлый пурпурный	Желтовато-бурый, белый, светлый фиолетовый, зеленовато-серый
Блеск	Стеклянный, на плоскостях спайности перламутровый	Стеклянный
Показатель преломления	Ng=1,730-1,752 Nm=1,705-1,722 Np= 1, 682-1,702	N=1,500-1,520
Александритовый эффект	От очень светлого сероватого или зеленого на очень светлый красновато-пурпурный	От пурпурного и фиолетового до голубого, от серого до зелёного, от красновато-коричневого до зеленовато-жёлтого
Твердость	6-7	5
Удельный вес	3,3-3,5	2,4-3



Рисунок 3. Результаты исследования методом неразрушающего рентгеноспектрального (рентгено-флюоресцентного) анализа.

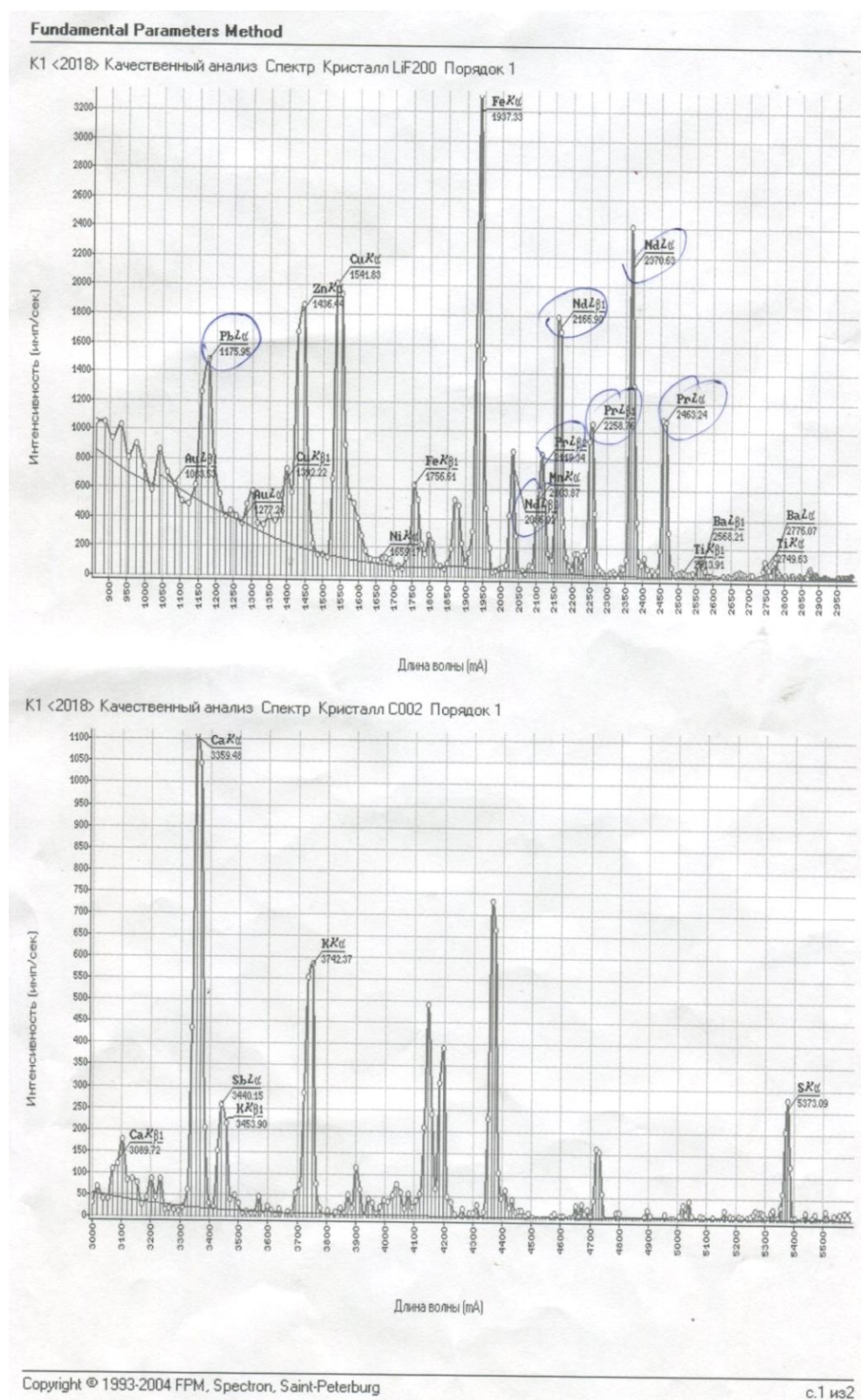


Рисунок 4. Результаты исследования методом неразрушающего рентгеноспектрального (рентгено-флюоресцентного) анализа.

Таким образом, в результате геммологической экспертизы и проведенных лабораторных исследований было установлено, что вставки, заявленные на сертификате как «султанит», не являются природным камнем «султанитом», а являются стеклом с редкоземельными добавками (неодимовое стекло) и имеют «александритовый эффект».

Библиографический список

- [1] Тугаринова А.А., Иванова Г.Н. Характеристики новых и традиционных камней в ювелирных изделиях, 124-126 с. http://www.istu.edu/docs/education/faculty/nedropolzovanie/kaf_geohim/geonauki2015.pdf
- [2] Лукашев К.И. Редкие металлы и их использование в промышленности. – Минск: Изд-во Акад. наук БССР, 1956. – С. 143. – 179 с.
- [3] Иванова Г.Н., Анисимова А.А. Исследование ограненных вставок «султанита», 252-254с. Материалы всеросс. нтк «Геонауки-2017», выпуск 16, Изд-во ИРНТУ 2017
- [4] Савицкий Е. М., Терехова В. Ф., Буров И. В., Маркова И. А., Наумкин О. П. Сплавы редкоземельных металлов / Под ред. проф. доктора хим. наук Е. М. Савицкого. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – С. 214. – 269 с.
- [5] Weyl, W.A., p. Coloured Glasses. – М.-Л.: Society of Glass tech., 1999. – С. 221-222. – 541 с. – ISBN 0-900682-06-X.

Материалы и технологии в формировании сибирского архетипа в ювелирном дизайне от палеолита- неолита до постмодерна

Лобацкая Р.М.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

lobatskaya@gmail.com

Аннотация. Рассмотрены материалы и технологии, использовавшиеся народами Восточной Сибири при создании этнических ювелирных изделий, прослежено закономерное наращивание характерных ювелирных элементов в соответствии с использованием вновь открываемых природных материалов и совершенствованием технологий обработки, оценено их влияние на формирование сибирского архетипа в современном ювелирном дизайне на примере работ иркутских мастеров на рубеже XX-XXI столетий.

1. Введение

Сибирское ювелирное искусство благодаря природным источникам сырья, таким как мамонтовая кость, цветной камень, самородки и руды драгоценных и цветных металлов, начинает формироваться с древнейших времен, о чем свидетельствуют многочисленные артефакты палеолита, неолита, бронзового и железного веков. В это время постепенно от народа к народу передаются не только новые технологические приемы обработки материалов, но и характерные стилистические черты ювелирных изделий, связанные с религиозными культами, философскими и мифологическими представлениями, в результате чего формируется устойчивый, узнаваемый сибирский архетип ювелирного дизайна.

С приходом постмодернистских представлений и течений в изобразительное искусство, базирующееся на отрицании диктата классических образцов западной культуры, обращение к этнике становится одной из характерных черт современного ювелирного дизайна, особенно

там, где он и до этого опирался на многовековой опыт этнокультурных традиций. Фактический материал, хранящийся в коллекциях Иркутского областного краеведческого музея (ИОКМ), Иркутского областного художественного музея (ИОХМ), кафедры археологии Иркутского государственного университета (ИГУ) дает возможность для исторического анализа этапов формирования стилистических особенностей ювелирных изделий, постепенных изменений и развития художественной стилистики под влиянием развития технологий и расширением границ использования минеральных ресурсов Восточной Сибири.

2. Материалы и методы исследований

В основу сравнительного анализа ювелирных камней, кости, металлов, технологий и выделения характерных архетипических черт ювелирных изделий, положены артефакты, полученные археологами А.П. Окладниковым, М.М. Герасимовым, Г.И. Медведевым, Г.И. Липниной, В.И. Базалийским, Н.А. Савельевой, П.П. Хороших, В.М. Ветровым, Н.Е. Бердниковой, В.В. Алтуховым, О.И. Горюновой и другими исследователями при раскопке стоянок палеолита-неолита в пос. Буреть, Мальта, Ярки, Заута, Усть-Ида, Макрушино, стадиона Локомотив в Иркутске. Образцы ювелирного искусства эпох бронзы – железа (VIII–I века до н.э.), украшения бурят, эвенков, якутов в том числе и в декоре шаманского костюма (XIX–нач. XX века), детально изучавшегося В.М. Станевич, В.В. Свининым, А.В. Харинским, В.М. Ветровым, М.Г. Туровым, предоставлены автору для исследования ИОКМ. Фотографии перечисленных артефактов, сыгравшие существенную роль в данном исследовании и сравнительном культурологическом анализе получены от издателя С.Н. Мурзина.

В качестве современных ювелирных изделий, созданных на основе сложившегося сибирского ювелирного архетипа, использованы работы скульпторов и художников Прибайкалья и Забайкалья, таких как Даши Намдаков, Дмитрий Будажабэ, Жамсаран Эрдынеев, Александр Алсаткин, Адольф Мухамедшин, Елена Гончарова, а так же выпускницы кафедры геммологии ИРНИТУ Марии Дудкиной, полученные для исследования из их личных коллекций и частных собраний.

3. Результаты исследования и их анализ

Изучение археологических артефактов от позднего палеолита (22-20 тыс. до н.э.) до раннего неолита (7-5 тыс. до н.э.) свидетельствует о том, что эстетические основы зооморфных и антропоморфных изображений закладываются именно в это время. Они базируются на устойчивом символизме, отражающем социально-религиозные устои древних сибирских народов [1].

Среди зооморфных ювелирных изделий преобладают подвески с изображением куропаток, лебедей, северного журавля. Примером может служить скульптура птицы из раскопок А.П. Окладникова в пос. Буреть (рисунок 1а). Она служила подвеской и была выполнена из традиционного для этого времени материала, бивня мамонта, в технике резьбы по камню и кости с характерной стилизацией формообразования, базирующейся на округлой, плавной линии. Какой-либо дополнительный декор в изображении отсутствует, хотя встречается на других изображениях в виде волнистых штрихов, подчеркивающих оперение.

Антропоморфные изображения представлены небольшими женскими изображениями высотой 3,7-13,6 см. Их стилизация существенно отличается от известных палеолитических Венер, найденных на территории Западной Европы и европейской части России. Сибирские скульптурки не имеют широких бедер и грудей, их лица показаны условно, а формообразование как и у зооморфных изображений в целом опирается на линию с плавными изгибами. Это образцы мелкой пластики из бивней мамонта со стоянок Буреть и Мальта (рисунок 1б).



Декор характерен почти для всех изделий, но он всегда является очень сдержанным. В качестве условно орнаментированных элементов выступают волосы, где декором подчеркнута прическа или головные уборы. Фигурки практически сплошь декорированы мелкими штрихами, показывающими меховую одежду. На наиболее крупной женской фигурке высотой 13,6 см, облаченной в меховую парку, отчетливо видно украшение на правом плече в виде листа папоротника.

Мальтинская стоянка, вскрытая и изученная М.М. Герасимовым дает еще два характерных примера ювелирных изделий. Это орнаментированные пластины из мамонтовой кости, самой примечательной из которых является прямоугольная с округлыми краями и закономерным точечным рисунком [2], напоминающим чуринги австралийских аборигенов [3]. В центре неё расположено небольшое круглое отверстие, свидетельствующее о том, что она могла служить нагрудной пластиной-оберегом. Вторая представлена центральной частью браслета, найденного в могильнике четырехлетнего мальчика, являющегося редкой ювелирной находкой. На этой пластине, представленной стилизованным изображением летящей птицы, также нанесен точечный рисунок с очень четким выверенным орнаментом, где пробитые точки разделены абсолютно равными промежутками [2].

Среди неолитических зооморфных изображений наряду с птицами самыми частыми являются голова лося, извивающееся тело змеи, появляются многочисленные, разнообразные по форме рыбы (рисунок 2 а), изображения крупных животных, таких как медведь, выполненные из кости, бивней мамонта, гагата, талька, глинистого сланца, перламутра - материалов с низкой твердостью. Из нефрита, твердого и вязкого минерала режут крупные пуговицы, ритуальные браслеты и диски. Плоскостная стилистика всех зооморфных изображений становится ведущей.

Примечательными являются антропоморфные изображения. Что очень важно для последующего анализа, они также, как и зооморфные, становятся плоскими. Многие из них имеют точечный шероховатый декор поверхности. Это уже исключительно мужские, а не женские фигурки, которые выполнены иногда в полный рост (рисунок 2 б), иногда в виде маски - личины (рисунок 2 в). Все изображения, по-видимому, нашивались на одежду, скорее всего на костюм шамана.

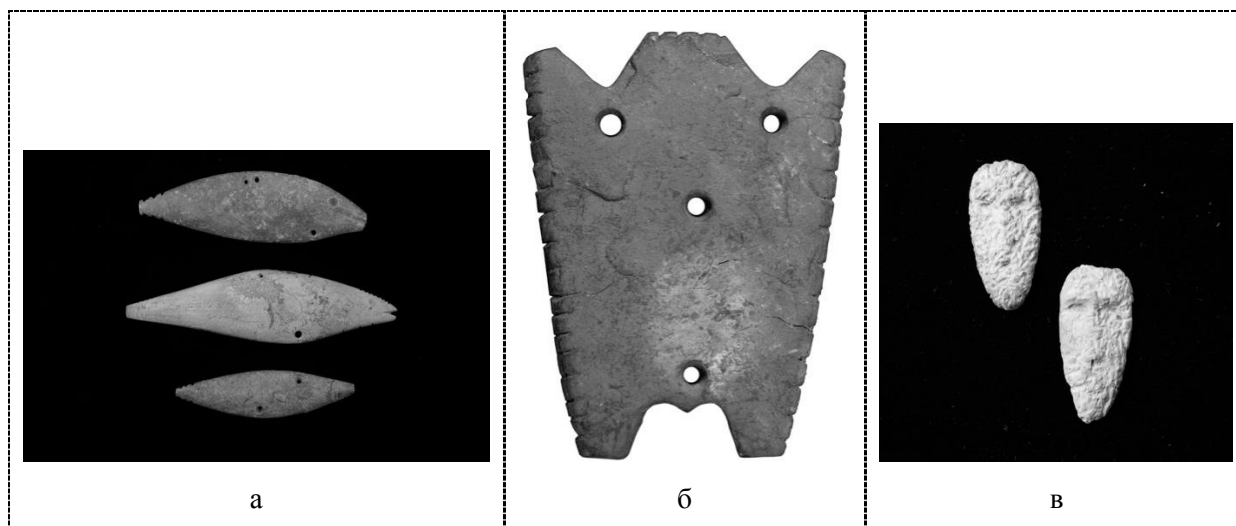


Рисунок 2. Зооморфные и антропоморфные изображения неолита: а. рыбки-приманки, 7-6 тыс. до н.э., глинистый сланец, длина 10,7-9,7 см, толщина 1,3-1,5 см, могильник Локомотив г.Иркутск, раскопки ИГУ; б. изображение медведя – личина, 3 тыс. до н.э., углистый сланец, высота 8 см, Сарминский мыс, Иркутская обл., раскопки Горюновой О.И., 1986, коллекция ИГУ; в. антропоморфные маски-личины, 5 тыс. до н.э., песчаник, длина 2,3, ширина 1,1, могильник Усть-Ида, Иркутская область, раскопки ИГУ. Фото С.Н. Мурзина [1].

Ювелирное искусство скифов в VIII – V веках до н.э., наряду с появлением новой художественной стилистики, продолжает обращаться к тем же ювелирным элементам-символам: птица, лось, змея, плоскостное изображение человека, теперь уже чаще это маски (рисунок 3а). Технологии ювелирной тореvтики – бронзовое литье,ковка и чеканка,совершенствуются в триаде – оружие, конская сбруя, культовые предметы. В символике впервые появляются ритуальные колокольчики, как в характерном для эпохи зверином стиле, так и круглые (рисунок 3б). Камень полностью уступает место металлу: меди, бронзе, позже серебру и в меньшей степени золоту. В соответствии с этим существенно меняются ювелирные технологии. Высокого совершенства достигает литье, горячая и холоднаяковка.Нефритовые диски трансформируются в бронзовые ритуальные зеркала со сложным декором (рисунок 3 в).

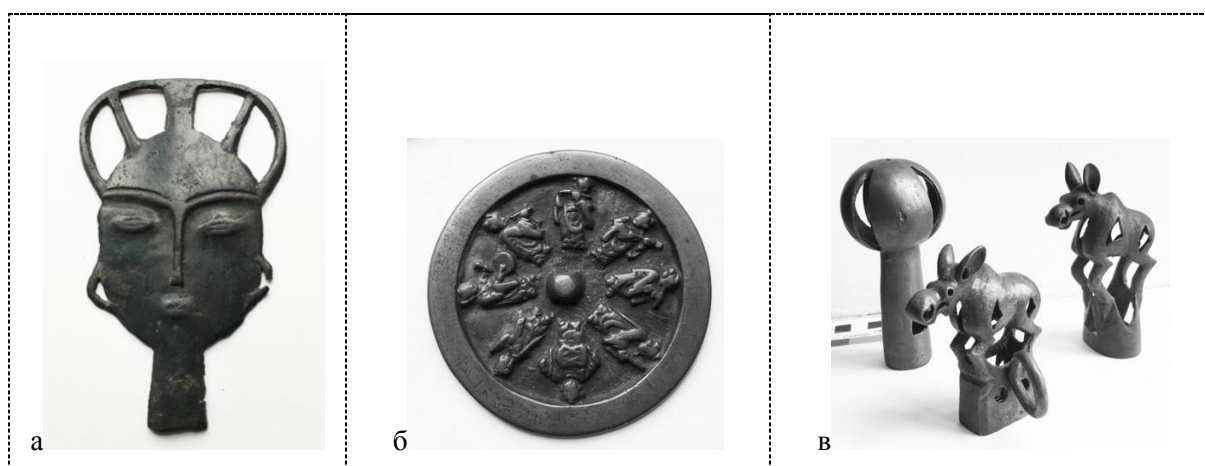


Рисунок 3. Бронзовые литые ювелирные элементы скифской триады: а. антропоморфное изображение маска-личина, 6-5 вв до н.э.; б. декорированное зеркало с музыкантами, 8-7 вв до н.э.; в. бубенцы-навершия шаманского посоха разного типа: круглый и в зверином стиле. Коллекция ИОКМ. Фото Р.М. Лобацкой

Все, однажды появившиеся ювелирные элементы, сохраняются в том или ином виде до конца 19 века, главным образом, в шаманском костюме бурят, эвенков, якутов, монголов [4,5]. Общим для всех становится зеркало-толи, наряду с которым у каждого из сибирских народов складывается индивидуальная символика – круглые бубенчики и разного размера колокольчики, личины, плоскостные стилизованные изображения тотемных зверей, рыб и птиц (рисунок 4).



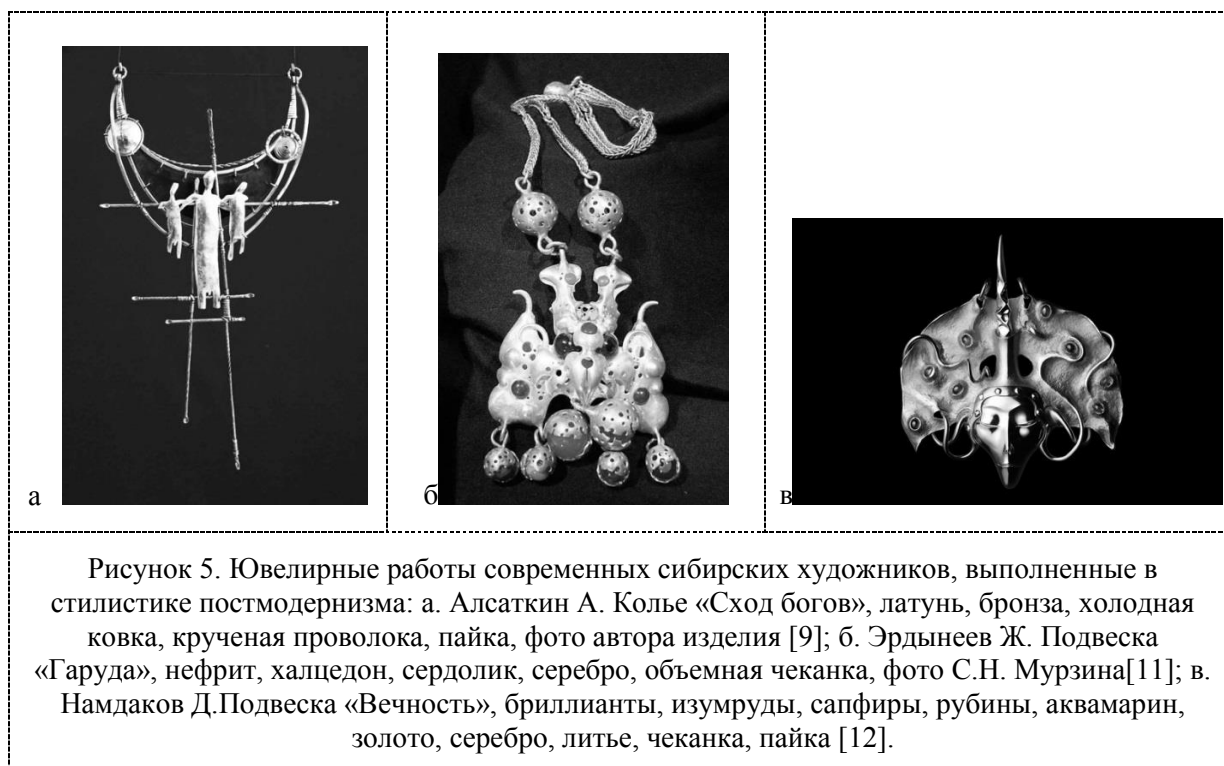
К прочно сложившемуся за столетия сибирскому архетипу, связанному с шаманистской культурой в 17 веке добавляются элементы буддистской стилистики и ювелирный декор обретает до этого не свойственные ему черты [6]. С буддизмом приходят новые технологии, среди которых наиболее востребованной является чеканка. Среди материалов, по-прежнему, господствуют бронза и серебро, а в отличие от шаманистских традиций появляются камни как сибирские (нефрит, лазурит, корнеол, халцедон), так и привозные (кораллы и бирюза). Меняется и характер ювелирных изделий. В буддистской культуре это преимущественно ритуальные арт объекты в виде сосудов различного назначения и малой бронзовой пластики.

4. Обсуждение результатов. Отражение этнических элементов в современных ювелирных изделиях

Проведенный анализ показывает, что у народов Прибайкалья цепь ювелирных элементов-символов не прерывалась на протяжении тысячелетий, приобретая всякий раз новые стилистические черты, соответствующие времени, и обогащаясь дополнительными деталями в формообразовании и декоре. Эта устойчивая тенденция привела к формированию вполне узнаваемого архетипа этнокультурной идентичности, отразившегося в постмодернистской ювелирной стилистике художников Иркутска [7, 8, 9].

В изделиях постмодерна нет прямого подражания этнической стилистике, а архетип отражается скорее в общих принципах формообразования и декорирования, в отсылках к эстетическому нарративу древних народов, в используемых материалах и технологиях. Главным художественным принципом постмодерна является синтез хорошо продуманных этнических мотивов и традиционных европейских технологий, композиций и стилизаций. Используется весь спектр наработанных за столетия технологий. Материалы также применяются без особых ограничений. Одинаково востребованным становится золото, серебро, бронза, латунь, нейзильбер и другие ювелирные сплавы. Получают популярность ювелирные и драгоценные камни, преимущественно сибирские (бриллианты, аквамарины, турмалины,

нефрит, лазурит, чароит), реже привозные (сапфиры, рубины, изумруды). Сочетание камня, металла, технологий в одном изделии возможно в разных вариациях, ограничено только фантазией мастера и исключительной ориентацией на эстетическую составляющую[10].



Так, плоскостное моделирование антропоморфных и зооморфных изображений, опирается на использование зеркал-толи, космогенических символов, нарратива шаманистской философии, присутствуют в творчестве А. Алсаткина (рисунок 5а), А. Мухамедшина, М. Дудкиной, отдающих предпочтение бронзе, латуни, нейзильберу, обработанным в технике холодной ковки и пайки [8, 9].

Жамсаран Эрдынеев объемной чеканкой воссоздает фантастический мир буддистских религиозно-эпических образов [11]. В его работах гаруды, змеи, драконы отсылают зрителя к трансформированным в соответствии с запросом 21 века древним символам (рисунок 5б).

Даши Намдаков формирует совершенно иной мир, в котором соседствует буддистская философия и европейская художественная традиция экспрессионизма и сюрреализма (рисунок 5в). Работая в технике литья, он легко воплощает образы и эстетику как скифов, так и художественную культуру более поздних народов, воссоздает дух героев бурятского эпоса [12].

Заключение

Перечень примеров может быть существенно расширен. Однако даже приведенный выше краткий анализ артефактов, изделий шаманистского, буддистского культов, работ современных сибирских художников дает основание говорить об устойчивых, пролонгированных на большом временном отрезке, тенденциях отношения сибирских народов к камню и металлам, развитию ювелирных технологий и формированию сибирского ювелирного искусства в целом. Каждый из исторических этапов внес неоценимый вклад в состояние современной этнокультурной идентичности народов Прибайкалья, выраженной через ювелирный дизайн и не утратившей своей актуальности к началу 21 века. Более того, уходящие в глубокие древнейшие пласты сибирской этнокультуры ювелирные традиции четко вписались в стилистику постмодернизма и позволили нашим землякам и современникам создавать реальные шедевры не только в дизайне, но, прежде всего, в ювелирном искусстве.

Библиографический список

- [1] Пашко Е.Ю. 2005. Первобытное искусство Прибайкалья. (Иркутск: «Артиздат») 20С.
- [2] Волкова Ю.С. 2010. Центральная подвеска из детской могилы стоянки Мальта. // *Вестник НГУ. Серия: История и филология*. вып 5: *Археология и этнография*. т.9, с. 132-135
- [3] История первобытного общества. Эпоха первобытной родовой общины. 1986. (Москва: МГУ). 517 С.
- [4] Чернявская О.А. 2004. Шаманский костюм. (Иркутск: «Артиздат») 82 С.
- [5] Чернявская О.А. 2005. Духи предков в звуках бубна. Коллекция предметов шаманского культа народов Сибири и Северо-Восточной Азии. (Иркутск: «Артиздат») 22С.
- [6] Буддийская коллекция Иркутского областного краеведческого музея. 2006. (Иркутск: «Артиздат») 24С.
- [7] Лобацкая Р.М., Князев А.Д. 2011. Кольцо Прометея. Ювелирные коллекции Иркутска. – (Иркутск: Изд-во ИрГТУ) 304 С.
- [8] Лобацкая Р.М. 2017. Мастера современного ювелирного искусства Иркутска. В кн.: *Художники Иркутской области*. (Иркутск: ИОХМ) с.22 – 27.
- [9] Лобацкая Р.М. 2017. Ювелирное искусство Иркутска на рубеже XX-XXI веков. В кн.: *Десять сибирских искусствоведческих чтений*. (Новокузнецк: НГО ВТОО СХ России). с. 154 – 161.
- [10] Лобацкая Р.М., Жукова Л.Т. 2018. Ювелирные материалы, дизайн и технологии XX–XXI вв. их роль в изменении понятийной базы личных украшений. // *Дизайн. Материалы. Технология*. 2(50). с. 64-71
- [11] Огородникова Т.П. 2013. Жамсаран Эрдынеев. (Иркутск: «Артиздат»). 32 С.
- [12] Даши Намдаков. Скульптура, графика, ювелирное искусство. 2010. (Москва: «М-Сканрус») 159 С.

Стилизация образа кожистой черепахи в создании ювелирных изделий

Мартянова М.А., Сорокина В.Е.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail kagamimika@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены основные методы стилизации, проанализировано анатомическое строение выбранного для стилизации объекта животного мира с целью выявления характерных особенностей, созданы авторские эскизы украшений.

1. Введение

Ювелирные изделия – предметы украшения и быта из благородных металлов в сочетании с драгоценными, полудрагоценными и поделочными камнями, а также художественных изделий из недорогих материалов, выполненных с большим мастерством и отвечающих высоким эстетическим требованиям[1].

В создании ювелирного изделия важна каждая деталь, продуманная на каждом этапе создания будущего изделия от зарождения идеи до ее воплощения в материале. Поскольку

главное назначение ювелирных изделий – это украшение, при разработке дизайна важно понимать значение эстетической привлекательности будущего изделия. Если же идея, вложенная в основу дизайна проектируемого украшения, несет в себе определенную смысловую нагрузку, художественная ценность такого изделия значительно возрастает. В данной работе при разработке дизайна авторских украшений была использована идея стилизации животного, находящегося на грани вымирания и занесенного в Красную книгу, как возможность поднять проблему отношения человека к природе через ювелирное искусство. После тщательного анализа литературных источников для стилизации и дальнейшей разработки дизайна ювелирного изделия была выбрана кожистая черепаха, занесенная в Красную книгу Мира и находящаяся в категории уязвимых, на данный момент численность этих животных стремительно сокращается.

2. Общие характеристики и особенности образа кожистой черепахи

Кожистая черепаха (лат. *Dermochelys coriacea*) — единственный современный вид из семейства кожистых черепах (*Dermochelyidae*). Это самые крупные современные черепахи: у крупнейшего измеренного экземпляра полная длина тела составляла 2,6 м, размах передних лап — 2,5 м, а масса 916 кг (Рисунок 1) [2].



Рисунок 1. Кожистая черепаха [2].

Внешние особенности черепахи:

- Панцирь имеет сердцевидную форму;
- По спине проходят 7 гребней, еще 5 находятся на брюхе;
- Большой размер головы, спрятать ее в панцирь в случае опасности не получается;
- Панцирь покрыт толстой жёсткой кожей, на которой в мозаичном порядке находятся костяные пластины;
- На переднем крае клюва черепахи («томиум») находятся небольшие костяные точки;

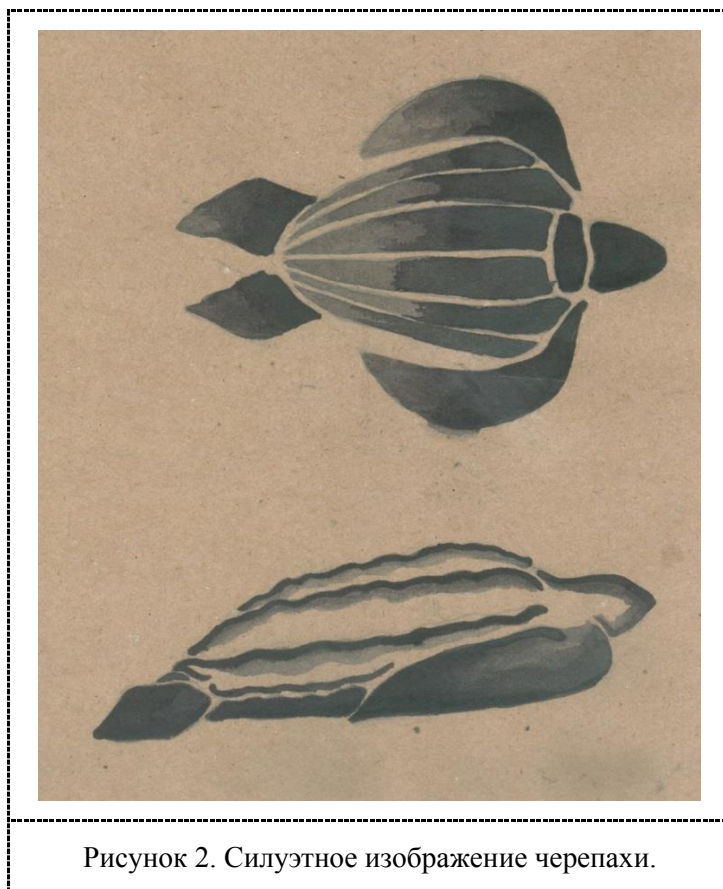
3. Стилизация и способы ее решения в образе черепахи

Стилизация — обобщение и упрощение изображаемых фигур по рисунку и цвету, произведение фигур в удобную для орнамента форму. Стилизация применяется как средство дизайна, монументального искусства и в декоративном искусстве для усиления декоративности [3].

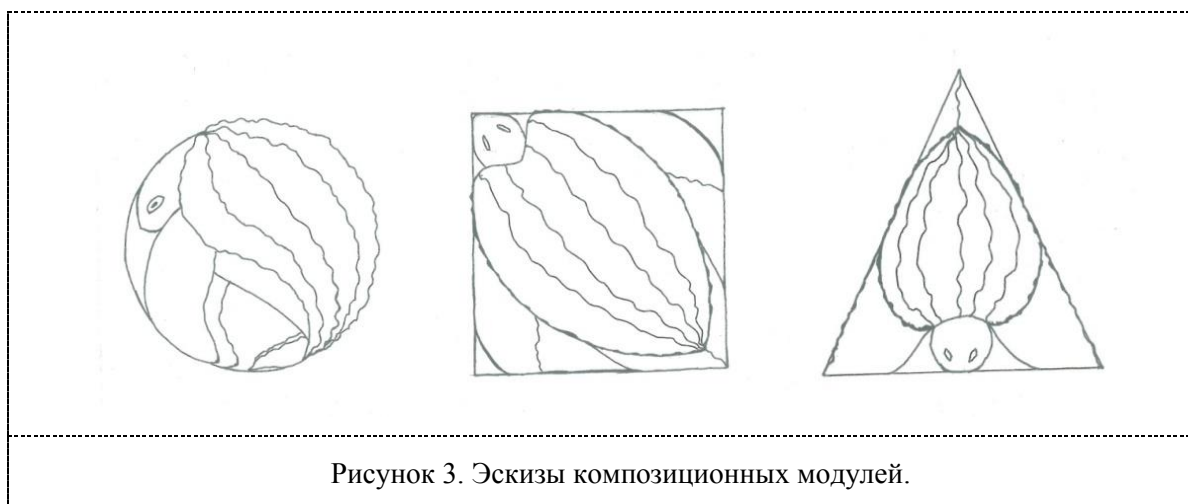
Стилизация часто применяется с целью подчёркивания функциональных и художественно-выразительных качеств объекта.

В данной работе использовались такие методы стилизации как:

1. Силуэт (Рисунок 2) - плоскостное зрительное восприятие объемных форм; вид графической техники, плоскостное однотонное изображение фигур и предметов [3].



2. Создание композиционных модулей (Рисунок 3) -метод стилизации заключается во вписывании стилизуемого объекта в различные геометрические формы [3].



3. Максимальное упрощение (Рисунок 4) - подразумевает упрощение стилизуемого объекта до минимума, вследствие чего остаются только характерные признаки [3].



Рисунок 4. Максимальное упрощение.

4. Формообразование (Рисунок 5) - геометризация формы. Оно основано на упрощении объекта с помощью построения форм из геометрических фигур [3].



Рисунок 5. Геометризация черепахи наложением.

5. Собственные разработки преобразования в эскиз ювелирного изделия

В ходе изучения и применения различных способов стилизации были изучены внешние особенности кожистой черепахи, на основе которых и были выполнены конечные собственные эскизы изделий (Рисунок 6).

Исполнение предполагает литье основы изделий из серебра, покрытие горячей ювелирной эмалью, в качестве вставок предполагается использовать благородные белые опалы.

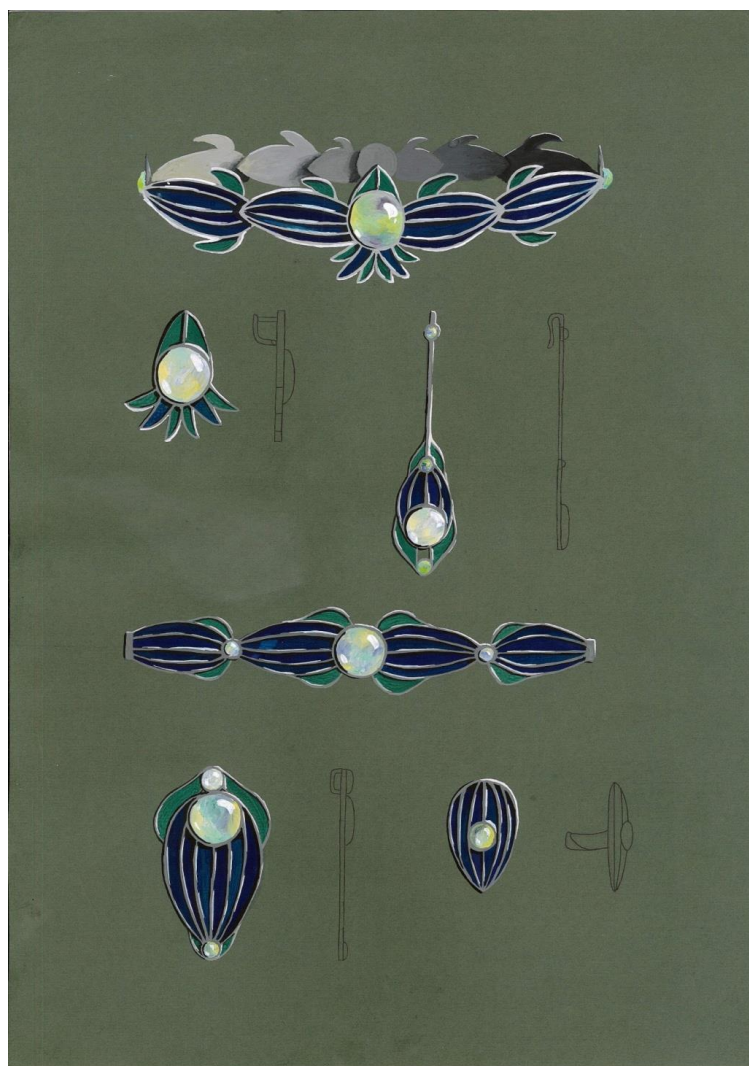


Рисунок 6. Эскизы ювелирных изделий:
сверху - диадема «Богатство»; в центре – серьги «Приключение»; ниже – браслет «Дар океана»; снизу – подвес «Жизнь» и кольцо «Защита».

5. Заключение

Проанализировав способы стилизаций образов животных, был сделан вывод, что важную роль играют характерные отличительные особенности отдельно выбранного животного. На основе изученных материалов были созданы авторские эскизы комплекта по образу кожистой черепахи.

Библиографический список

- [1] Стилизация как важнейший принцип взаимосвязи натурального и декоративного рисования [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/stilizatsiya-kak-vazhneyshiy-printsip-vzaimosvyazi-naturnogo-i-dekorativnogo-risovaniya> (дата обращения 19.03.2017)
- [2] Кожистая черепаха [Электронный ресурс]: URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения 18.03.2017)
- [3] Как выполняется стилизация в ювелирных украшениях? [Электронный ресурс]: Design.pro. URL: <https://j-design.pro/kak-primenyaetsya-stilizaciya-obektov-v-yuvelirnyx-eskizax/> (дата обращения 20.03.2017)

[4] Манул//Ломбард — Мезитол. — М. : Советская энциклопедия, 1974. — ([Большая советская энциклопедия](#) : [в 30 т.] / гл. ред. [А. М. Прохоров](#) ; 1969—1978, т. 15) (дата обращения 18.03.2017)

[5] Шокорова, Л. В. Стилизация в дизайне и декоративно-прикладном искусстве / Л. В. Шокорова. — 2-е изд., пер. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2017 (дата обращения 19.03.2017)

[6] Основные термины дизайна. Краткий справочник, словарь. Редактор Ж.В. Федосеева. ВНИИТЭ, 1988. (дата обращения 20.03.2017)

Разработка дизайна сосудов из природных поделочных камней в стилистике характерной 16 века

Минкова А.О., Сорокина В.Е.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail anastasia.jewelerm1@mail.ru

Аннотация. Статья содержит анализ геммологических свойств поделочных камней, важных при проектировании интерьерных камнерезных изделий. В работе представлены авторские эскизы интерьерных чаш, рассмотренных в качестве наглядного примера проектных дизайн-разработок, выбор материалов, включающих выбор стиля проектируемых изделий, анализ конструкционных особенностей.

1. Введение

Для крупных интерьерных камнерезных изделий используют такие поделочные камни как: нефрит, офиокальцит, родонит, чароит, нефрит и др. Для авторских разработок, представленных в данной статье, были выбраны нефрит и лазурит, потому что их эстетические качества наилучшим образом вписываются в стилистику 16 века, взятую за основу при разработке дизайна будущих изделий.

2. Материалы и изучение истории

Лазурит – первоклассный поделочный камень, который издавна использовался для изготовления шкатулок, письменных приборов, чаш, ваз, а также для облицовки. Минерал, относится группе содалита и представляет собой полиминеральный тонко- или мелкозернистый до среднезернистого агрегат, в котором зерна лазурита тесно срastaются с кальцитом или доломитом, дипсидом и другими минералами. Имеет оптимальную для обработки твердость 5-6 по шкале Мооса и насыщенную гамму синих цветов: голубой, глубокий синий, фиолетово-синий, зеленовато синий. Весьма хрупок [4].

Нефрит – порода, которая относится к тремолит-актинолитовому изоморфному ряду группы амфиболов: тремолит-актинолит. Кристаллизуется в моноклинной сингонии; встречается в виде тонкокристаллических масс, обладающих высокой прочностью. Обладает большим спектром цветов, зеленый, белый, серый и медовый. При полировке дает стеклянный или жирный блеск [3,4].

На 16 век приходится эпоха Возрождения. Люди той эпохи вспоминают историю, находят погребенный вулкан Везувий и античный город под ним. Вдохновившись раскопками, они пытаются возродить античность, поэтому в данную эпоху использовались античные мотивы, орнаменты, отсылки к мифологии и т.д. Наши предки восхищались и возвеличивали античное искусство, и поэтому наилучший тезис, который отражает эту эпоху, будет «Роскошь и достоинство» [1].

Страны и города, существовавшие во времена античности, находились в средиземноморье, сушу омывало множество морей, и поэтому справедливо было бы сделать отсылку к морской тематике, а именно ракушкам.

3. Результаты исследования и их анализ, разработка эскизов и адаптация материала под художественное решение

За основу проектирования серии кубков и чаш 16 века были взяты фотоматериал с выставки (рис. 1а), также были взяты за основу сведения об истории искусства 16 века, фотоматериал различных морских раковин (рис. 1б), орнаменты античности, кубки прошлых эпох, картинки греческой архитектуры.



а – фотоматериал с выставки; б – раковина с жемчужиной [5]

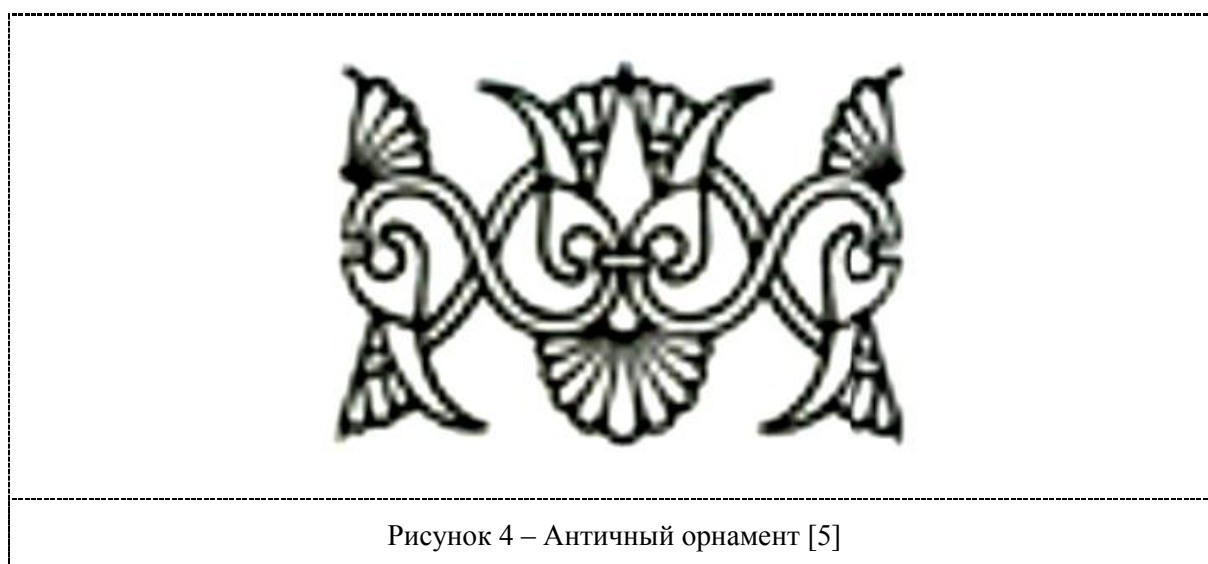
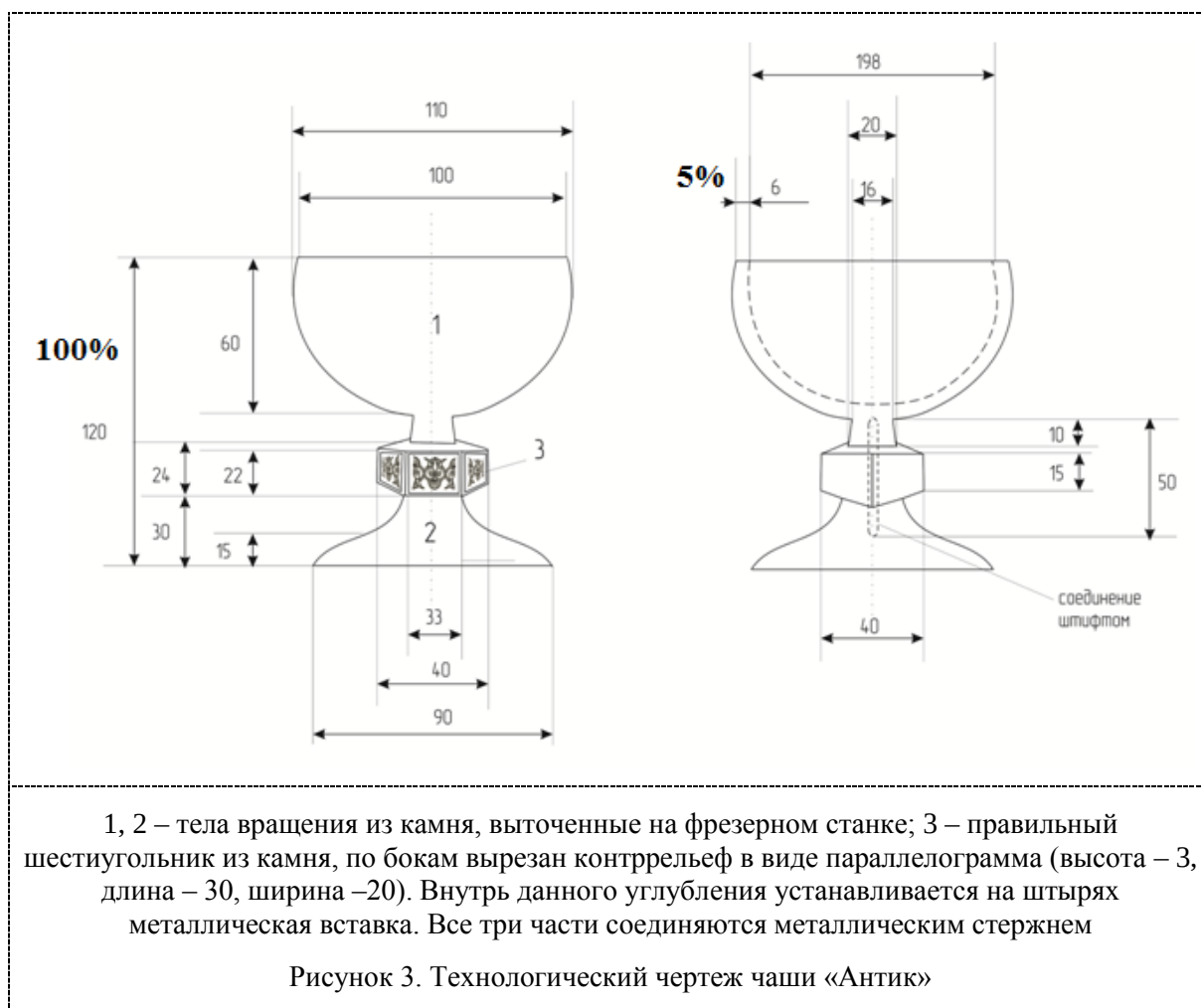
Рисунок 1. Фотоматериалы

Чаша «Антик» (рис. 2–3) Чаша из лазурита с серебряными вставками. Форма чаши заимствована из античности, серебряные вставки, выполненные в технике литья по восковой модели, соединяются с камнем штифтами, которые являются частью металлической вставки (6 штук), также заимствована из античных орнаментов (рис. 4). Синий цвет минерала совершенно естественно ассоциируется с морем и водой в целом, что мысленно нас относит средиземноморскому побережью, где творилась античная история древнего мира [2].



а – эскизы чаши; б – 3D модель каменной части, спроектированная в среде Blender, готовая к печати

Рисунок 2. Чаша «Антик»



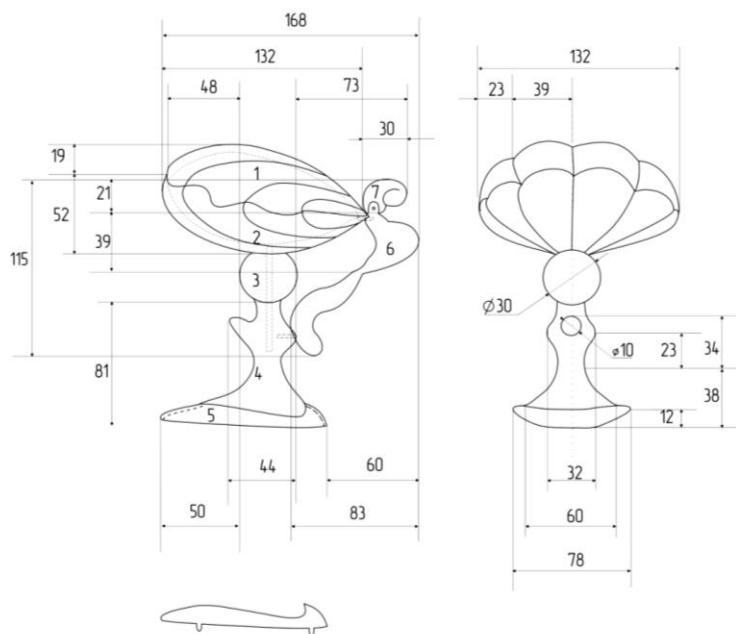
Сосуд «Гребешок» (рис. 5–6) посвящен морской тематике, и представляет из себя раковину из светлого нефрита с серебряными вставками, с металлической оправкой у ножки и металлической ручкой. При нажатии на верхнюю часть ручки, раковина открывается.



а – вид сбоку; б – вид спереди; в – вид сзади

Рисунок 5. Эскиз сосуда «Гребешок»

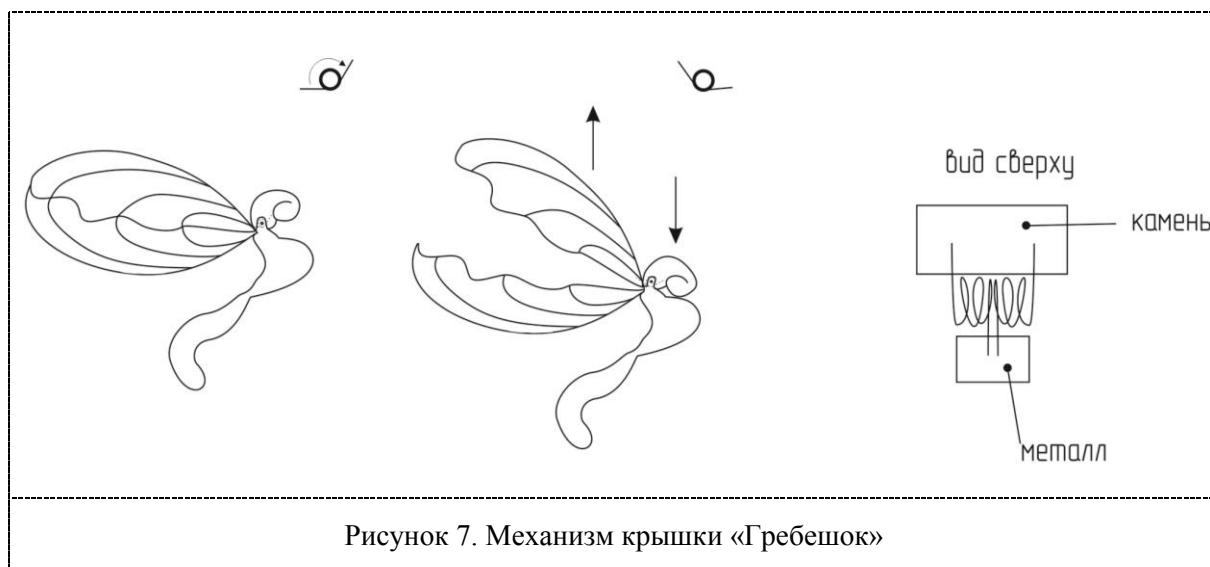
Способ сборки: насаживаем деталь 5, через верхнюю часть 4, внизу загибаем металлические скобы, тем самым, надежно фиксируем конструкцию. Далее, с помощью металлического штыря соединяем 2, 3, 4. После, элемент 6 соединяем с элементами 4 и 2. В конце остается соединить пружины модуля 7 с камнем модуля 1, продеть металлический стержень и с помощью операции клепки соединить 7 и 6.



1, 2, 4 – резные формы из камня; 3 – шар, тело вращения; 5, 6, 7 – металлические конструкции

Рисунок 6. Технологический чертеж сосуда «Гребешок»

Механизм крышки (рис. 7) основан на 2 зеркальных пружинах из прочного сплава, для лучшей функциональности и прочности конструкции. В покое, пружины будут расслаблены, а верхняя крышка раковины закрыта. При нажатии на «малые» кончики пружин оказывается давление, которое оно в свою очередь передают усилия на верхнюю крышку раковины, за счет того, что пружины поворачиваются примерно на 55 градусов и конструкция поднимается вверх. «Большие» кончики пружин встроены в камень и не подвижны, тем временем, как «малые» кончики в металлической конструкции ходят свободно (в пустой полости внутри). Большее расстояние между кончиками, встроенными в камень, позволят распределить нагрузку на каменную крышку.



Опытным путем были выявлены оптимальные значения толщины стенок сосудов средней величины в некоторых материалах, в пропорциях от наибольшего параметра сосуда (100%) длина или ширина, к толщине стенок. Для лазурита он составляет 5%, для нефрита 3%. Исходя из этого – толщина стенок для чаши «Антик» (рис. 2–3) из лазурита при максимальном параметре – высоте 120 мм, толщина стенок составит 6 мм; для нефритового сосуда «Гребешок» (рис. 5–6), при максимальном параметре – ширине 132 мм, толщина стенок составила 4 мм.

4. Заключение

При проектировке изделия из любого материала, нужно обязательно учитывать все нюансы его физических, химических и эстетических свойств. На примере проектировки сосудов, были рассмотрены 2 поделочных камня с разными параметрами физических и эстетических свойств: лазурит и нефрит. Лазурит обладает очень приятной синей палитрой, но из него не сделаешь тонких вещей в силу его хрупкости, среднезернистой структуры, и преобладания в породе сопутствующих минералов, такой материал подходит для простых массивных форм. Нефрит, напротив, за счет спутано-волокнутой структуры дает возможность резать достаточно сложные и тонкие формы, подходит для художественной пластики. Чашу «Антик» можно изготовить в двух материалах: в лазурите и нефрите, но в случае с нефритом, опять же за счет его физических свойств, можно убавить толщину для повышения эстетических качеств. Открывающуюся раковину «Гребешок» в данном случае, можно изготовить только из нефрита, так как он больше подходит по физическим и эстетическим свойствам. Такой сосуд, если резать из лазурита заметно повысит его стоимость за счет сложности работы с камнем и понизит его эстетические свойства, т.к. для сохранения прочности конструкции пришлось бы добавить толщину каменным стенкам. Таким образом, можно сделать вывод, что от физических свойств материалов зависит конечный вариант эскизов изделия.

Библиографический список

- [1] Сюзи Ходж «50 идей, о которых нужно знать. Искусство», - перевод с англ. М. Александровой.- М.: Фантом Пресс, 2016. – 208 с.
- [2] Теренс Конран «О цвете», - перевод с англ. Д. Халиковой. – М.: КоЛибри, Азбука-Аттикус, 2018. – 224 с.
- [3] Анисимова А.А. Геммология: учебное пособие. – Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2016
- [4] «Геология месторождений поделочных камней» Е.Я. Киевленко., Н.Н. Сенкевич, изд-во «Недра» Москва, 1983.
- [5] Google картинки [Электронный ресурс] Google. URL: <https://www.google.ru/search> (дата обращения 22.10.18).

Стилизация образа паука-бокохода для дизайна камнерезных и ювелирных изделий

Павлова Е.Г., Атлас В.М.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail eeperav2011@mail.ru

Аннотация: В статье представлены приемы стилизации образа паука-бокохода для создания эскизов ювелирных и камнерезных изделий. На основе выполненных разработок показаны этапы изготовления изделий в материале. Готовые изделия статуэтка «Паук-бокоход» и брошь «Thomisidae» продемонстрированы на фотографиях.

1. Стилизация образа паука-бокохода

Тончайшие, сложные формы, созданные природой невозможно с дотошной точностью скопировать и выполнить в металле, стекле, глине и других материалах. Любая копия природного объекта будет менее выразительной в сравнении с оригиналом. Один из способов отображения природных мотивов в ювелирных и камнерезных изделиях – это создание образа на основе стилизации. Художественный образ – «преломленное отражение подлинника природы»¹ соответствует видению автора, это модель, созданная воображением дизайнера на основе природных форм.

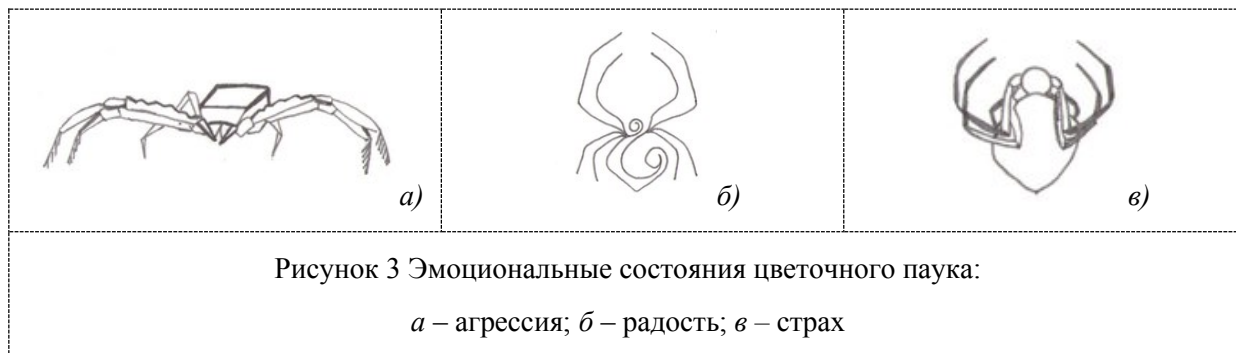
Для создания дизайна изделий был выбран цветочный паук (семейство пауков-бокоходов), так как эти членистоногие имеют ярко выраженные внешние характеристики. Передние пары ног у всех пауков-бокоходов длиннее остальных, это видно невооруженным глазом. Тело угловатое и приплюснутое. Еще одной «общей» сракообразными чертой является то, что эти пауки могут пятиться назад и передвигаться боком. У данного вида выражен половой диморфизм в размере и окраске. Самцы достигают в длину 4 мм, в то время как самки могут достигать в длину до 11 мм. У самцов головогрудь в основном черноватого цвета, брюшко от белого до желтоватого окраса с двумя темными длинными полосами, у самок окраска всего тела варьируется от ярко-жёлтого до жёлто-зелёного и белого, часто на боковых сторонах брюшка имеются две красные полосы (см. рисунок 1), [1,2].

¹ В «Поэтике» Аристотеля (https://ru.wikipedia.org/wiki/Художественный_образ)



Сложные природные формы членистоногого для воспроизведения их в камне, стекле, металле или другом материале необходимо стилизовать. Стилизация – подчинение художественного изображения условным, орнаментальным формам [4, 328]. Стилизация предполагает обобщение, упрощение изображаемой фигуры. Достигая определенного уровня условности необходимо выделить, подчеркнуть, акцентировать самые характерные, наиболее выразительные характеристики объекта. Рассмотрим несколько вариантов стилизации – при помощи геометрических форм, линий, силуэта, а также создание композиционных модулей.

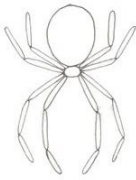
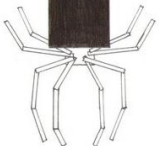
Силуэт – это плоскостное изображение, напоминающее тень объекта, рисуют сплошным черным пятном на светлом фоне либо белым пятном на темном фоне. В таком эскизе внешние детали объекта должны быть очень выразительны, без лишних деталей (см. рисунок 2).



Упрощение формы объекта возможно при помощи геометрических фигур, их совмещения, пересечения или наложения. Облик паука обязательно должен быть узнаваем, но достаточно прост и понятен. Необходимо выделить главные черты паука в его позе, привычках и

поведении, возможно, во внешнем виде, чтобы создать интересную геометрическую модель, которую в последствие можно использовать в создании ювелирных изделий (см. таблицу 1).

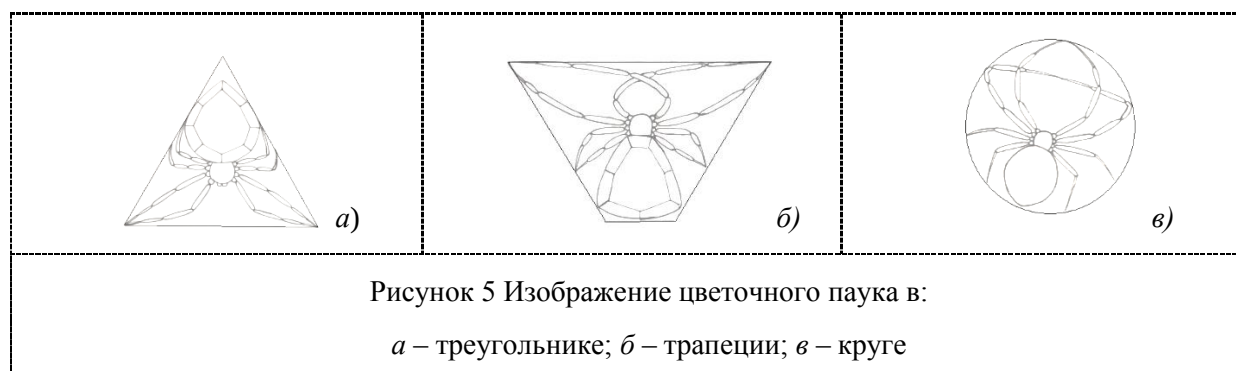
Таблица 1 Геометризация образа цветочного паука с использованием геометрических фигур

Геометрическая форма	Совмещение	Пересечение	Наложение
овал			
треугольник			
прямоугольник			

Геометризация образа с помощью прямоугольника - особый вид стилизации, - максимально отходящий от реалистичной трактовки образа. Силуэт изделий геометричен, неожиданен. Тело паука в данном варианте имитирует квадрат.



Разнообразить варианты стилизаций и представить объект в пространстве поможет сочетание плоских и объемных форм (см. рисунок 4). В ювелирном искусстве существует тип модульных изделий. Данные изделия состоят их повторяющихся частей - модулей. Модуль является универсальным средством дизайна. На рисунке 5 представлены эскизы стилизованного цветочного паука, вписанного в геометрические фигуры. В различных сочетаниях модули могут формообразовывать огромное многообразие изделий путем их комбинирования между собой и изменения масштаба элементов. Повторяющийся элемент используют для создания орнамента.



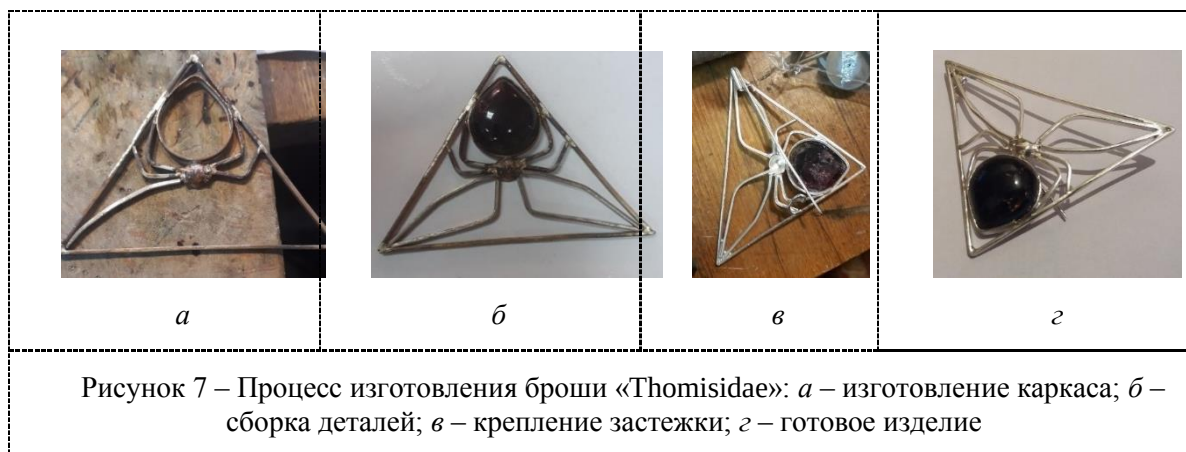
2. Изготовление статуэтки «Паук-бокоход» из камня

На основе стилизаций было принято решение изготовить статуэтку «Паук-бокоход» в технике художественной резьбы по камню. Первый этап данного процесса – изготовление модели будущей статуэтки из пластилина в натуральную величину. С ее помощью легче определить размер, пропорции объемной формы, уточнить детали статуэтки со всех сторон. Затем выбираем материал, в данном случае – офиокальцит. На него наносим рисунок – основные формы будущего изделия. Кусок камня нужного размера отрезаем при помощи пилы, затем начинаем процесс формообразования статуэтки при помощи боров разного вида. После того как фигура паука вырезана, с помощью шлифовальных палочек различной твердости сглаживаем поверхность изделия. Полируем при помощи фетра на державках для бор машины и алмазной пасты для полировки с зернистостью 1/0 (см. рисунок 6).



3. Изготовление броши «Thomisidae»

Стилизацию паука основе геометрических модулей (треугольник) было решено использовать для изготовления броши «Thomisidae». В работе используем ювелирные технологии – обработка камня, гибка, пайка. На первом этапе был изготавливаем кабашон из турмалина – будущее брюшко паука, затем – каст. Голова паука представляет собой полусферу – металлическую пластину отбиваем при помощи молотка и пурошника. Пластина приобретает полусферическую форму. Затем полученную округлую форму и каст соединяем при помощи пайки. После этого формируем равносторонний треугольник вокруг брюшка. Места сгибов пропаиваем для укрепления конструкции. Из металлических прутков изготавливаем лапки. С изнаночной стороны припаиваем застежку. В заключении доводим изделие на бормашине и полируем (см. рисунок 7).



5. Заключение

В результате исследовательской работы был стилизован образ цветочного паука. Различные способы стилизации использованы для разработки эскизов ювелирных изделий. На их основе выполнены изделия в материале – статуэтка «Паук-бокоход» и брошь «Thomisidae». Стилизация – один из способов, который позволяет разработать разные варианты дизайна изделий. Варьируя выбор материала, их сочетание, технологию изготовления в реализации идеи, мы получим разнообразие комбинаций на одну тему. Такой способ работы позволяет расширить ассортимент продукции, дает возможность создавать неповторимый дизайн в соответствии с веяниями моды.

Библиографический список

- [1] Animalreader.ru. *Цветочный желтый паук: паутина - не его стихия* [электронный ресурс] URL: <https://animalreader.ru/tsvetochnyiy-zheltyiy-pauk-pautina-ne-ego-stihiya.html> (дата обращения 6.08.18).
- [2] *Цветочный паук* [электронный ресурс] Википедия – Свободная энциклопедия URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Цветочный_паук (дата обращения 8.08.18)
- [3] *Антропоморфизм* [электронный ресурс] Википедия – Свободная энциклопедия URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Антропоморфизм> (дата обращения 4.08.18)
- [4] Нестеренко О И 1994 *Краткая энциклопедия дизайна*. (М.: Мол. Гвардия) С. –315: ил.

Технология получения имитаций самородков золота и серебра для ювелирного дизайна

Сорокина В.Е.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail: vs_kina@mail.ru

Аннотация. Повышение скорости кристаллизации жидкометаллического тела путем литья расплава непосредственно в охлаждающую жидкость приводит к образованию отливок сложных неровных форм. Анализ процессов влияющих на формообразование отливок при использовании латуни и олова и выявление необходимых технологических параметров позволит получать качественные имитации самородков благородных металлов – материала интересного для ювелирного дизайна.

1. Введение

Самородки благородных металлов с древних времен использовались в качестве украшений, и в современном ювелирном дизайне интерес к ним не угас. Перспективность их использования является основанием для поиска и разработки технологических приемов, позволяющих создавать качественные имитации самородков золота и серебра, минимизировав при этом затраты. В данной статье рассмотрены ключевые моменты исследования, направленного на определение технологических параметров литья латуни и олова для получения имитаций самородков золота и серебра.

2. Материалы и методы

Экспериментальное исследование по литью металла в охлаждающую жидкость проводилось с использованием латуни марки Л63 и чистого олова. Такой выбор был определен внешним сходством этих материалов с самородными золотом и серебром. В качестве охлаждающей

жидкости использовалась вода. Плавка металла производилась в тигле с использованием бензиновой горелки.

3. Результаты экспериментов и их анализ

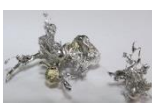
Расплав латуни Л63 при попадании в охлаждающую жидкость способен формировать отливки сложных неправильных форм с неровным рельефом, подобные самородкам золота из россыпных месторождений. Форма отливок зависит от степени переохлаждения металла, которая в экспериментах с латунью контролировалась за счет изменения температуры охлаждающей жидкости (была использована вода разных температурных режимов: 0-5, 10-15, 20-25, 30-35... 80-85 °С.), в то время как температура отливаемого расплава была неизменной 970 ± 5 °С. Эксперименты показали: чем выше степень переохлаждения, тем сложнее форма образующейся отливки [1]. Использование воды температурой 0-5, 10-15, 20-25 °С позволило получить латунные образцы с нужными эстетическими параметрами. Отливки имеют золотисто-желтый цвет, яркий металлический блеск, неровные формы и рельеф поверхности. Увеличение температуры воды на 10-20 °С и выше приводит к образованию на поверхностях отливок тонкой пленки окислов, что является причиной более темного цвета и частичного отсутствия блеска. Дальнейшее повышение температуры приводит к образованию более простых форм отливок и увеличению количества окислов на их поверхности. В воде температурой 80-85 °С латунный расплав образует отливки с ровной поверхностью, контур формы которых приближен к кругу. Поверхность большинства из них полностью покрыта плотным слоем окислов. Полученные результаты представлены в таблице 1[2].

Таблица 1. Зависимость форм латунных отливок от температуры охлаждающей жидкости.

№ экспериментов	Температура воды, °С	Внешний вид отливок
1	0-5	
2	10-15	
3	20-25	
4	30-35	
5	40-45	
6	50-55	
7	60-65	
8	70-75	
9	80-85	

Эксперименты по литью олова показали несколько другие результаты. Оловянный расплав, претерпевший ускоренную кристаллизацию, образует отливки более сложных форм, сочетающих в себе цельные металлические элементы и хрупкие дендритовидные образования. Наличие дендритов в форме отливок обеспечивает их схожесть с природными самородками серебра. При этом можно наблюдать зависимость характера форм образовавшихся отливок от степени переохлаждения расплава: чем она ниже, тем проще форма отливки и меньше количество дендритов и наоборот. Степень переохлаждения в данном случае регулировалась изменением температурных режимов охлаждающей жидкости и расплава. В качестве охлаждающей жидкости использовалась вода разных температурных режимов: 0-5, 10-15, 20-25, 30-35... 60-65 °С. В воду каждого температурного режима поочередно был отлит оловянный расплав температурой 250 ± 5 °С, 300 ± 5 °С, 350 ± 5 °С и 400 ± 5 °С. Примеры полученных отливок разных температурных режимов расплава и воды представлены в таблице 2 [2].

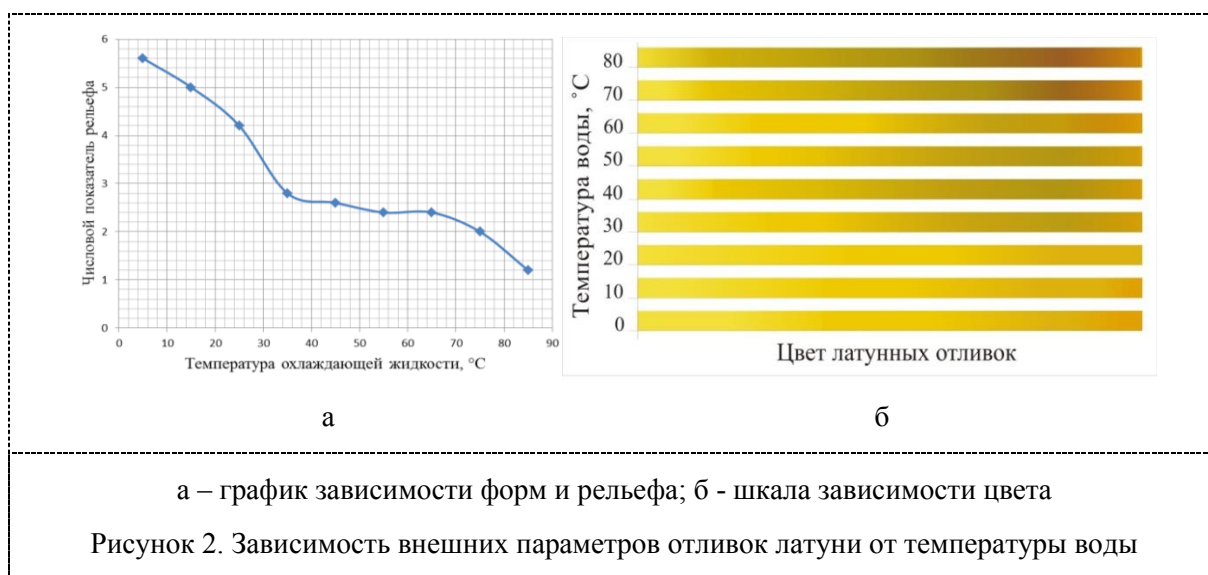
Таблица 2. Зависимость форм оловянных отливок от температуры охлаждающей жидкости и температуры расплава.

Температура воды, °С	Температура оловянного расплава, °С			
	250	300	350	400
0-5				
10-15				
20-25				
30-35				
40-45				
50-55				
60-65				

Для наиболее полного понимания процессов, происходящих в металле при формировании отливок, было проведено исследование всех полученных образцов. Отливки из латуни подверглись структурному анализу, результаты которого представлены на рисунке 1. Структурный анализ выявил наличие β-фазы в микроструктуре отливок. В образце, полученном литьем латуни в холодную воду (Рисунок 1, б), наблюдаются зерна гораздо меньшего размера, чем в образце, сформировавшемся в горячей воде (Рисунок 1, в) [5].



Для анализа эстетических параметров отливок латуни был построен график зависимости формы и рельефа образцов от температуры охлаждающей жидкости (Рисунок 2, а). Для этого был выведен числовой показатель рельефа – среднее количество ярко выраженных неровностей (углублений и выступов), формирующих рельеф каждой отливки. На графике видно: чем ниже температура охлаждающей жидкости, тем выше показатель рельефа. Также была сформирована цветовая шкала (Рисунок 2, б), она демонстрирует изменение цвета отливок, связанное с образованием оксидной пленки на поверхности в зависимости от температуры воды, в которой они были получены.



Исследование форм оловянных отливок проводилось путем сравнительного анализа процентного соотношения количества дендритов в образцах по массе. Всего было исследовано по 10 образцов, полученных в разных температурных режимах, и вычислен средний показатель количества дендритов в отливках для каждого из них. На основе полученных значений был построен график зависимости форм оловянных отливок от температуры охлаждающей жидкости и температуры оловянного расплава (Рисунок 3), благодаря которому несложно выявить закономерность: чем выше степень переохлаждения олова, тем больше количество дендритовидных элементов в отливке.

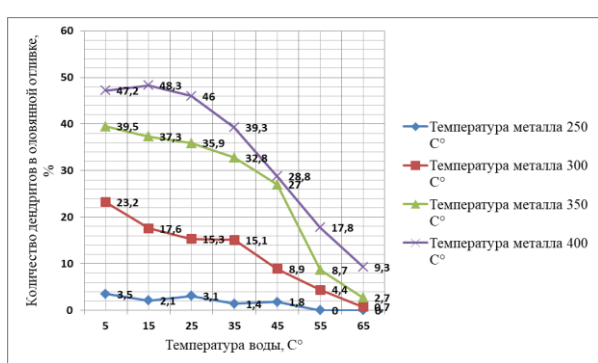


Рисунок 3. Зависимость форм оловянных отливок от температуры воды

4. Обсуждение результатов

Проведенное экспериментальное исследование по литью латуни и олова в охлаждающую жидкость и анализ полученных результатов позволили выявить ключевой фактор, влияющий на внешний облик отливок – это ускоренная кристаллизация. Однако она не объясняет в полной мере причины образования подобных форм.

В составе даже самых чистых металлов в любом агрегатном состоянии всегда содержится какое-то количество таких газов, как водород, кислород, азот [3]. Они находятся, как в виде самостоятельных элементов, так и в виде различных химических соединений [4]. При литье расплава в воду охлаждение металлической массы ускорено и происходит неравномерно.

Высокая скорость кристаллизации внешних слоев металлического тела приводит к возникновению давления, под действием которого внутриметаллические газы компонуются внутри кристаллизующегося расплава и, стремясь вырваться наружу, деформируют еще незастывшие слои металла. Также не менее важным наблюдением является закипание воды вокруг расплава при его попадании в охлаждающую жидкость. Это образует «паровую рубашку», создающую давление вокруг металлического тела [5].

Особенность литья металла в воду заключается в том, что отливки формируются в свободном неограниченном пространстве, а потому есть все основания полагать, что именно сочетание вышеописанных факторов оказывает влияние на металлическую массу, попавшую в охлаждающую жидкость, и способствует образованию отливок сложных неровных форм, схожих с природными самородками благородных металлов.

5. Заключение

Экспериментальное исследование по литью латуни и олова в охлаждающую жидкость, а также анализ полученных результатов позволили определить технологические параметры для создания качественных имитаций самородков благородных металлов. Для имитаций самородков золота: использование воды в интервале температур от 0 до 25 °C в качестве охлаждающей жидкости и обеспечение температуры расплава при его попадании в воду 970 ± 5 °C. Для имитаций самородков серебра: использование воды в интервале температур от 0 до 55 °C и обеспечение температуры оловянного расплава при его попадании в воду от 300 до 400 ± 5 °C в зависимости необходимого количества дендритов в отливке. Такие имитации самородков золота и серебра являются интересным материалом для ювелирного дизайна [6]. Пример практического использования имитаций самородков золота в ювелирном изделии представлен на рисунке 4.



Рисунок 4. Ожерелье «Самородок» - пример использования имитаций самородков золота

Библиографический список

- [1] Сорокина ВЕ 2017 Особенности кристаллизации латуни в охлаждающей жидкости *Вестник ИрГТУ* 6128-34
- [2] Сорокина ВЕ 2017 Зависимость эстетических параметров отливок от температуры охлаждающей жидкости при получении имитации самородков золота и серебра *Сб. ст. Всероссийской НТК с международным участием «Геонауки-2016»* 16 285-9
- [3] Туровцева ЗМ, Кунин Л Л 1959 *Анализ газов в металлах* (Москва-Ленинград.: Изд-во Академии Наук СССР)
- [4] Чернега ДФ, Бялик О М 1982 *Газы в цветных металлах и сплавах* (М.: Металлургия)
- [5] Сорокина ВЕ 2017 О формировании отливок из сплава Cu-Zn в условиях ускоренного охлаждения *Литейное производство* 9 18-21
- [6] Von Neumann R 1963 *The design and creation of jewelry* (Philadelphia; New York)

The Plant Community Structure and Contributing Factor of Olkhon Area

Xingmuzi Hu^a, Jiawen Zhang^b, Jiankang Xi^b, Andrey Lishtva^c, Tian Xingjun^b

^aSchool of Geographic & Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, P. R. China

^bSchool of life Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, P.R. China

^cIrkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation

* Corresponding author. E-mail address: 2449360169@qq.com

The Baikal region, located in the center of eastern Siberia, is a zonal continental climate. Due to the large area of Baikal lake, it also has the characteristics of maritime climate with warm winter and cool summer. The annual precipitation is 180-240mm on the most part of territory, and 1300-1500 mm in the plateau. 60-80% precipitation falls from May till September. In the precipitation area, evaporation is three times higher than precipitation. The relative humidity of the air is 54 to 71%. The north wind and the northwest wind are dominant in the winter while the southeast wind prevails in the summer. The world-famous strong Salma wind, with an average speed of 30 m/s, is a result of Siberian cold air and the unique shape of the Salma Valley.

The Orihong area, cold and dry, lies in the central part of the Baikal lake. The main vegetation types are meadows, coniferous forests and marshes. In terms of the local vegetation and dominant species, they are different from place to place in consequence of various landforms and environmental factors.

We selected six typical sampling sites on the coast of the Small Sea: Barckchin Island, Zunduk, Хухан, Chaika, Sarma Canyon, and the Stone Garden. Based on the generally dry climate on the Small Sea Coast, most of the sampling sites are grassland or desert vegetation types, but environment conditions vary slightly from location to location.

Sampling sites	Stone Garden	Sarma Canyon	Chaika	Island Barckchin	Cape Zunduk	Хухан
Vegetation characteristics	A wide variety of vegetation.	Asymmetric trees and low plants.	Most species are plants growing in arid regions.	Stipa are extremely rich in this island. Most plants are short.	Papavernudicaule L grows at the edge of the gravel beach. There are three plant communities, marshes, meadows and forests.	Near the water: no plants; far from the water: larch forest and many plants growing in the dessert.
Environmental characteristics	Warm climate, gentle wind and concave terrain.	Extremely strong and powerful wind take away the soil, leaving many bare stones. Thin soil.	Dry and cold climate. Many bare rock.	Small precipitation. Dry climate. Strong and powerful wind.	There are many different environment: river, shore and mountain. Most soil is calcified soil.	Near the water: large grain sand; far from the water: small grain sand (carried by wind), just like a desert.

Geography characteristics	The protolith is sedimentary rock, so that the stratum is gentle.	The salma wind has an average speed of 40m/s, and it's maximum speed is 40m/s.	The salma wind is strong on the island,.	From shore to inland, you can see three steps. Wetland, slope deposit and mountain. The formation of steps is related to the rise and the fault.	The water movement of Baikal bring the mixture of new and old sediments on the beach, where the fine-grained sediments are carried by the wind away from the shore of the lake to form dunes; the coarser new sediments are preserved in the sand.

In order to investigate vegetation conditions and environmental characteristics, we conducted the quadrat sampling method study and measured environmental data such as temperature, humidity, wind direction, and wind speed.

Stone Garden						
Latin name	Number	Height/cm	Coverage/%	Relative coverage/%	Importance value	Remarks
<i>Leontopodium conglobatum</i>	3	14	1	1	6.09	
<i>Bupleurum scorzonae folium</i>	9	12	3	4	8.28	dominant species
<i>Artemisia frigida</i>	13	15	6	8	11.90	dominant species
<i>Stipa capillaris</i>	23	9	50	64	32.03	dominant species
<i>Potentilla acaulis</i>	6	1	15	19	8.74	
<i>Allium odorum</i>	2	14	1	1	5.76	
<i>Aster tataricus</i> L. f.	1	6	1	1	2.76	
<i>Iris humilis</i>	1	17	1	1	6.43	
<i>Senecio scandens</i>	2		0	0	0.67	
<i>Veronica didyma</i>	1		0	0	0.33	

We found that the vegetation types have the following pattern: In the Lake Baikal area, it is a typical temperate forest steppe vegetation. In the lakeside zone, the swamp meadows dominated by the

plants of Poaceae, Cyperaceae, Ranunculaceae and Rosaceae. In areas near lakes or rivers, there are plenty of wet lands and forests, mainly composed of plants belong to *Betula*, *Pinus* and *Populus*.

These data showed ecological factors affect vegetation types, among the ecological factors, water has a dominant role in various regions while temperature and sunshine also have restrictions on plant species. Most part of the Orihong area is cold and dry resulting in meadows, coniferous forests and marshes becoming dominant in these areas. Ecological factors, such as temperature, moisture, sunshine, wind, etc. differs from place to place, so the vegetation types are various in specific environment.

Among the many ecological factors, the most obvious one is the water, the area lacking water, the vegetation is scarce, there are few trees, and in the areas beside or near the river, there are lush meadows or forests. Because of the low temperatures and long sunshine, plants in the tropics are difficult from that the Orihong area.

Finally, we need to express our thanks. We thank our knowledgeable, respected Professor Lishtva Andrey V, Professor Lobatskaya Raisa M. and Professor Auzina Larisa I. for providing us with abundant guidance during the whole field practice. We truly appreciate Shilenkov V.G and other Russian staff for providing us with assists and being so patient and nice with us. We are grateful to our Chinese teachers for teaching us all kinds of knowledge and giving us a memorable experience. Without the helps offered by our team members when we are in need, the research process would become extremely difficult. Eventually, we are extremely appreciative and grateful to Irkutsk State Technical University and Nanjing University for providing us this precious opportunity!

Development of typical sand dunes in the Baikal Rift Belt

Pengyu Lin¹, Yifeng Liu¹, Haoran Xu², Larisa Auzina³, Zhang Yongzhan¹

1. School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, China.
2. School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing, 210023, China
3. Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk 664074, Russia

Abstract: Lake Baikal is the largest, deepest and oldest freshwater lake in the world. Its tectonic movement is active and typical. In the Baikal Rift Belt, there are many dune landforms in the Olkhon and Arshan regions. The source of the dunes may come from ancient lake sediments or modern lake sediments. The formation of sand dunes is closely related to lake sedimentation, crustal uplift, wind blowing and lake water selection. After preliminary data investigation and field sampling, this study aims to analyze the structural characteristics of sand dunes by particle size analysis. Then try to reveal its sedimentary environment and calculate its deposition rate by OSL dating, ¹³⁷Cs dating, quartz particle surface morphology analysis, etc. Finally we try to reveal its formation and development process.

Key words: Baikal; dune; OSL dating; ¹³⁷Cs dating; surface morphology analysis of quartz particles;

1 Introduction

Located in central Siberia, Lake Baikal is the world's largest inland freshwater lake. The development of the Great Lakes brings abundant precipitation to this area, making the main natural landscapes dominated by meadows and Taiga. However, in some areas, large sand dunes are developed under the influence of the special geological and geomorphological environment and the microclimate conditions.

In the Baikal Rift Zone, there are 2 main territories with sand dunes---the central part of Olkhon Island and Arshan. And the sand types of these two areas also have some difference. In Arshan, the sands were formed from the paleo lacustrine sediments. These lakes were formed about 65 million years ago at the site of modern depressions. Then, in the process of tectonic movements, this area rose and the lakes dried. And these deep paleo lacustrine sediments were exposed to the surface, experienced long-term weathering into fine silts, and eventually formed vast dunes. And In Olkhon Island, some sands were from the modern lakes sediments. Rocks sediments were weathered into different sizes of grains.

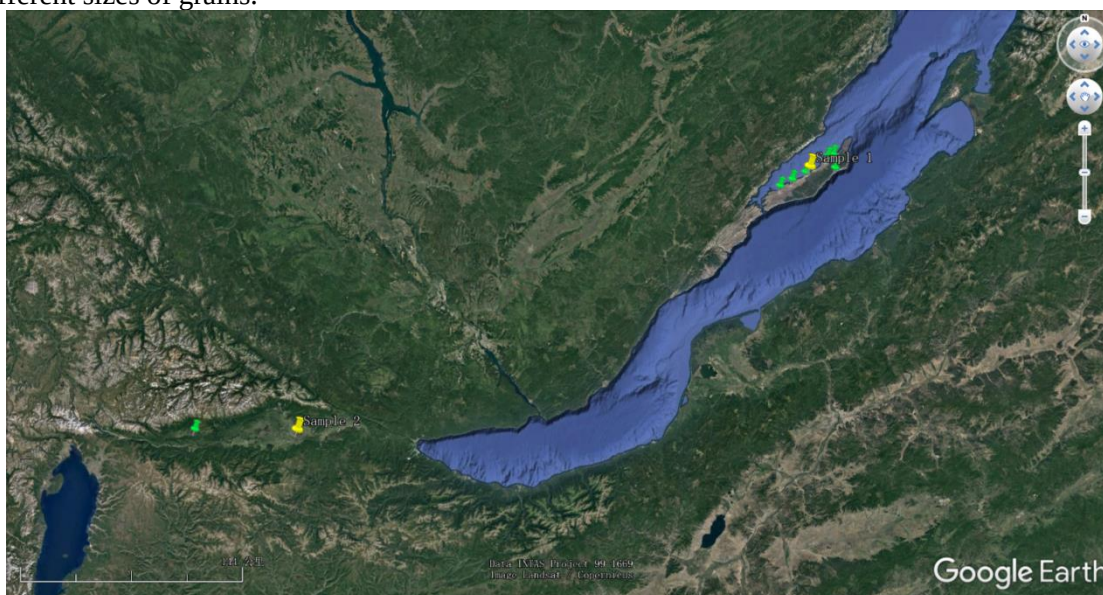


Figure 1 the two major sand dune distribution areas which be marked by green, and the places we took sample were marked by yellow

The lake waves sorted these particles and took away small particles. Wind blew the rest particles and finally forms dune.

We can find both two types of these sands in Peschanaya area in Olkhon Island. The white sands with smaller particle size were formed from paleo lakes sedimentation, consists of quartz, with grass growing on them. While the yellow sands were formed from modern lakes sedimentation, consists of quartz, Feldspar, Garnet, without grass growing on.

Wind can be an important factor which contributes these sand dunes. The surrounding undulating mountains obstruct the air masses from the Arctic Ocean southward, and the gap between the two mountains becomes the passage of these air masses. A large number of air masses compress in these channels, accumulate energy, and erupt at the exit, creating a stormy weather. Therefore, under the strong wind force, the original rock matrixes are continuously weathered and eroded, and the fine particles are transported and accumulated through a series, which finally forms the dune landscapes seen today. In addition to intuitively feel a strong wind outside, the strikes of the dunes and the direction which the tree branches pointing can also tell us the wind direction, which can prove long-term windy weather presence in these areas.

At present, the development of these sand dunes is relatively mature and has a certain scale. Most of them are longitudinal dunes. The measured height (in Peschanaya) can reach 10.6 meters. The edge of these deserts is fixed by Taiga, suggesting the weakening of the wind force and the increase of soil formation.

2Sampling Overview

2.1Sampling situation

Our scientific expedition sampled two places, one for Paradise Island in Olkhon area and the other for the Arshan region.

Table 1 Sampling situation

	Olkhon	Arshan
Location	53°12'8"N, 107°21'16"E	51°43'24"N 102°34'57"E
Elevation	428m	684m
Strike of dune	southeast	southwest
Size of dune	east-west 10m, south-north 15m	
Slope		Windward slope for 14°, back wind slope for 22°
Profile depth	100cm	150cm

White : paleo lakes sedimentation

quartz , growing grasses



Yellow : modern lakes sedimentation

Quartz , Feldspar , Garnet , no grass

Figure 2 Sand dune in Peschanaya with both two different types of sands

Samples for ^{137}Cs and grain size analyses	10cm~90cm, every 10cm, total 9;	0cm~150cm, every 5cm, total 31;
Samples for OSL and U, Th, K	96cm	46cm、120cm、150cm
Surface texture analysis of quartz(STA)	a little	a little

2.2 Preliminary stratification of the Arshan region profile

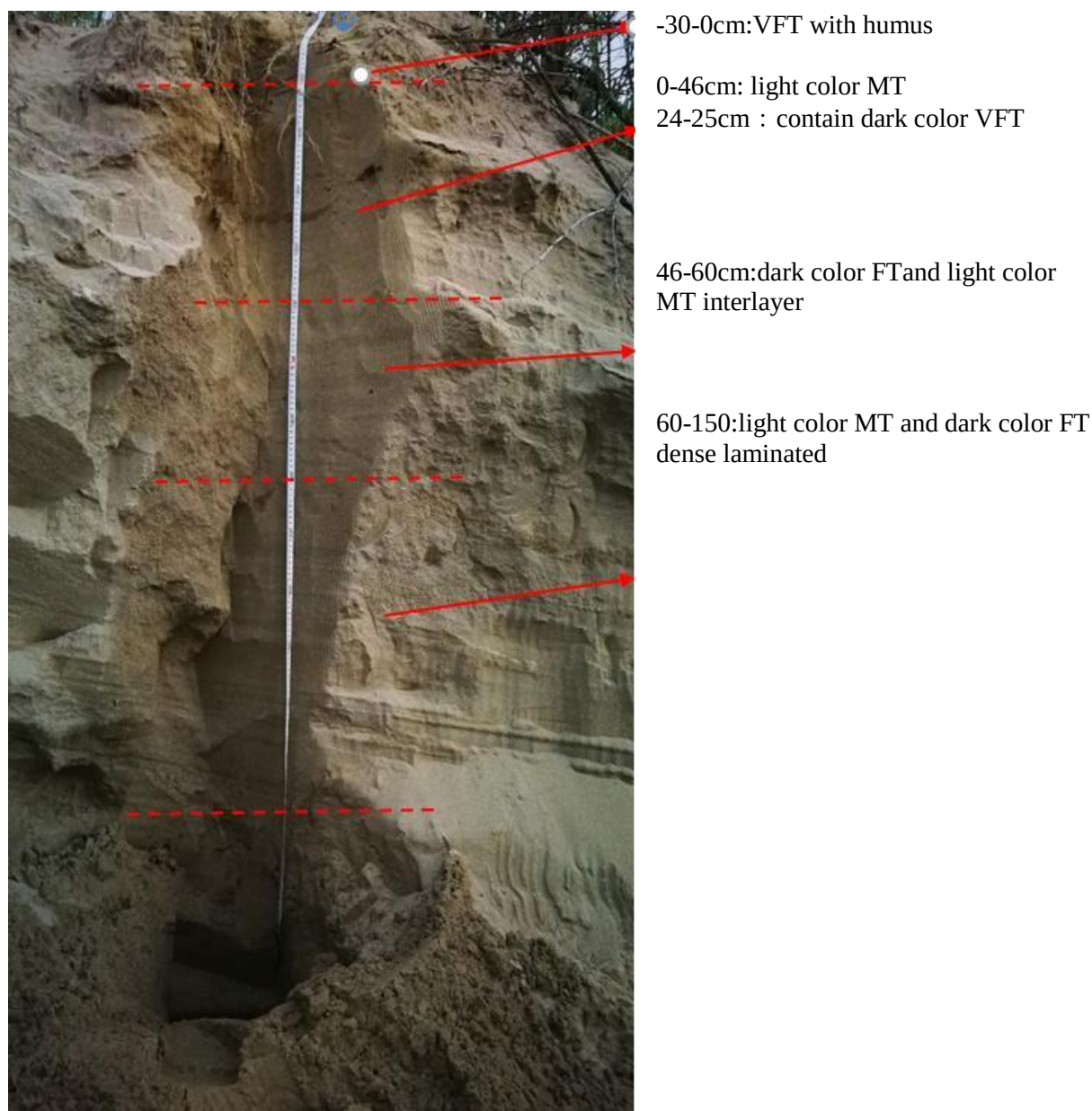


Figure 3 Dune profile in Arshan region

3 Follow-up experiment

First, particle size analysis on the profile is needed to sketch the profile more clearly. OSL dating and quartz surface morphology analysis can tell us the sedimentation time and sedimentary

environment of the dunes, respectively. Then we can get the average deposition rate of sand dunes by ^{137}Cs dating. Based on the above experimental results, we are able to try to describe the development of sand dunes.

4 Analysis and tentative results

It is not surprising that aeolian landforms appear in arid areas such as the Baikal Rift Belt. But to our surprise, two different sands were found here, and their causes are both related to Lake Baikal. The impact of Lake Baikal in this region is ubiquitous. We don't seem to be studying Lake Baikal, but in fact we do. The complex development process and the huge volume of water of Lake Baikal affect everything here, including but not limited to sand dunes. Sand dunes are just one of the manifestations of the uniqueness of the environment here. What has happened to the formation of sand dunes? What role does Baikal play in it? Next we will learn and use some advanced experimental methods to tell this beautiful but complicated story.

Comparison in plant composition and community structure between Lake Baikal and Daxing'anling

Liping Tan^{a*}, Sijia Wang^a, Andrey Lishtva^b, Xingjun Tian^a

^a School of Life Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, China

^b Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

* Corresponding author. E-mail address: 1150130890@qq.com (L.Tan)

Abstract : The Baikal region of Russia and the Daxinganling region of Heilongjiang Province in China are roughly at the same latitude, which makes them similar in terms of climate and soil. We choose Baikal Lake and Daxinganling as research areas, to compare the differences in vegetation types, species diversity, endomic species and communities structures between the two regions, and further explore the reasons for the formation of the two.

Key words : Lake Baikal:Daxing'anlin:Community structure ; Dominant species

1. Introduction

1.1 Baikal area

Lake Baikal is located in southern Siberia, Russia, in the Republic of Buryatia and Irkutsk, between 51°29'~55°46' north latitude and 103°41'~109°57' east longitude. With a total volume of 23.6 trillion cubic meters (2015) and a depth of 1,637 meters (2015), it is the deepest in the world and the largest freshwater lake in Eurasia. The lake is 636 kilometers long, with an average width of 48 kilometers and an area of 31,500 square kilometers. It is formed by the fracture of the stratum. The lake is 455 meters above sea level and the average water depth is 730 meters. The surrounding area of Lake Baikal is a temperate continental climate with a large temperature difference. The monthly average temperature is -26°C~-33°C, the average temperature in July is 17°C~21°C, and the annual precipitation is 350mm-430mm.

With the increase of altitude, the vegetation in Baikal area is followed by aquatic vegetation, swamp meadow, Taiga forest and Leymus meadow, subalpine meadow and mountain tundra. The reason for the formation of such vertical vegetation pattern is mainly due to the abundant annual precipitation and wind direction of Lake Baikal.

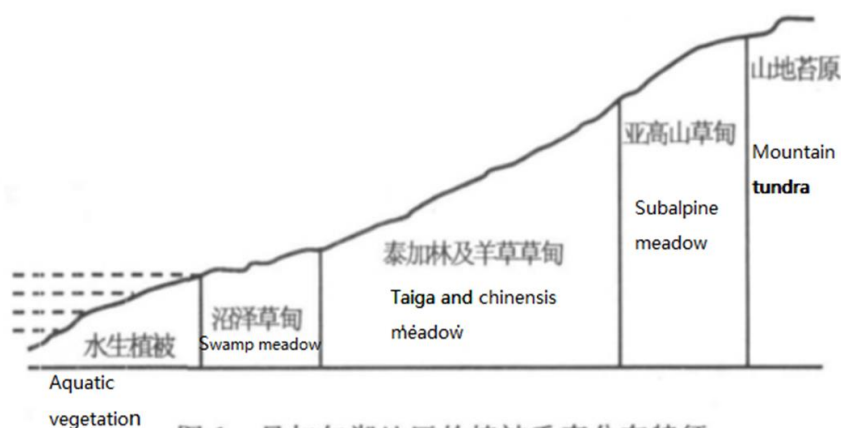


图1 贝加尔湖地区的植被垂直分布特征

Fig.1 Vertical distribution of vegetation in Lake Baikal region

1.2 Daxinganling

Daxing'anling is located in northeastern China (located at 121°12' to 127°00' east longitude, 50°10' to 53°33' north latitude. 6 east longitudes across east and west, 3 latitudes north and south). It is the

main mountain system of Inner Mongolia Autonomous Region. It is about 1,220 kilometers long (about 1400 kilometers) in the north and south, and is the watershed of the Inner Mongolia Plateau and Songliao Plain. The climate is a unique continental monsoon climate with unusually cold winters. The annual precipitation is 360mm-500mm, and the precipitation is concentrated in August. Because of its unique climate, Daxing'anling has the only cold-temperate coniferous forest area in China. The dominant species in the Daxinganling plant area are *Larixgmelinii*, *Pinussylvestris*, and *Betulaplathylla*.

2. Comparison between Lake Baikal and Daxing'anling

2.1 Baikal plant community structure

The plant community structure in the Baikal region mainly includes arid sand dunes, river bank swamps, valley meadows, grasslands and forests.

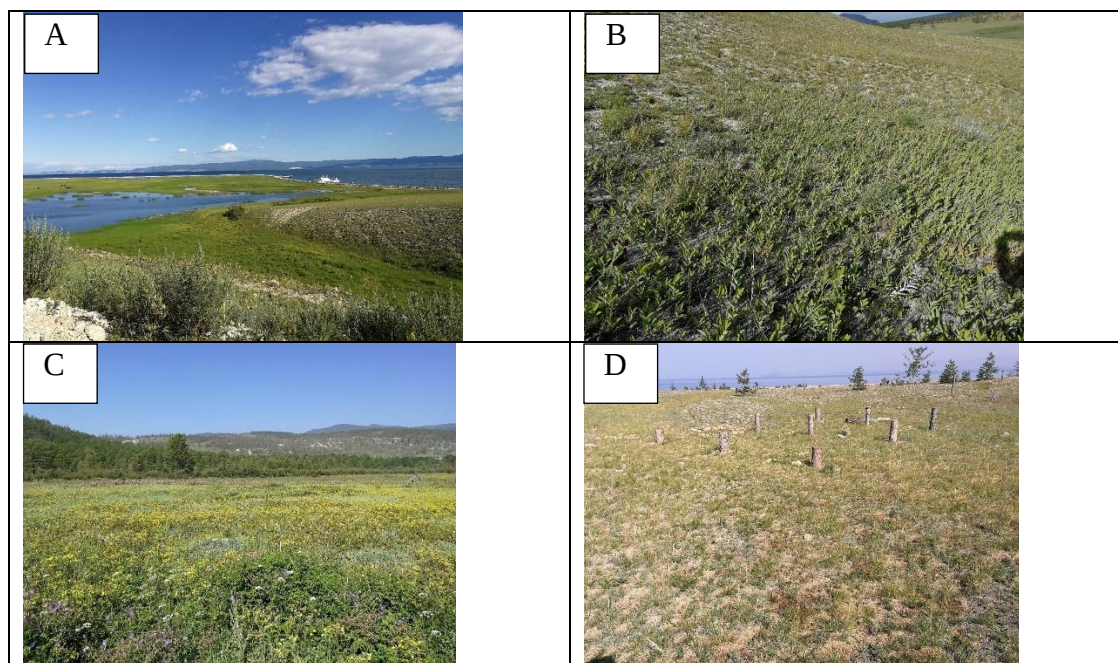


Figure 2. Baikal plant community structure, Figure 2A is a dry sand dune, Figure 2B is a river bank swamp, Figure 2C is a valley meadow, and Figure 2D is a grassland.

The main characteristics of arid sand dunes are less precipitation and arid climate. The dominant species are mainly drought-tolerant herbs. The main feature of riverbank marshes is that they are produced under extremely humid conditions, with moist plants as the main dominant species and perennial marsh plants as the main vegetation types. It is a hidden vegetation. Mainly herbs.

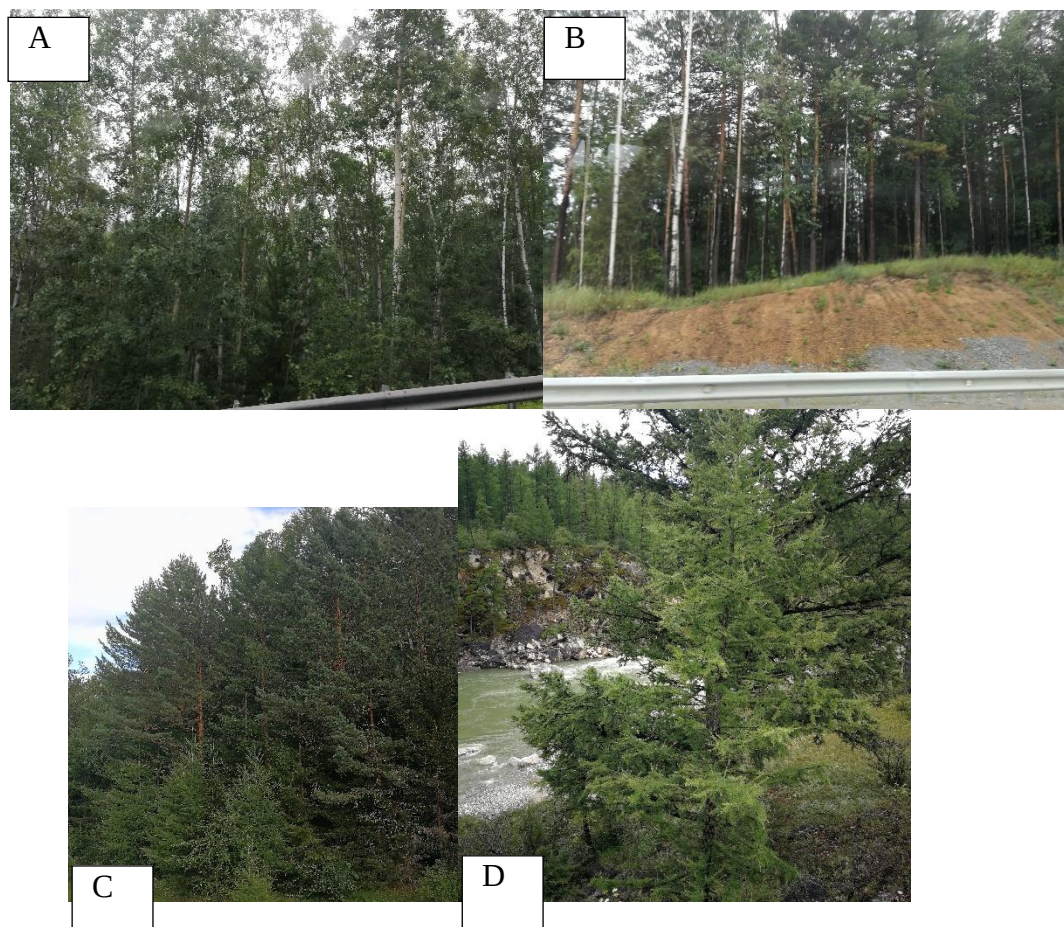


Figure 3. Succession of the Baikal forest. Fig. 3A is a birch forest, Fig. 2B is a mixed forest of white birch and European red pine, Fig. 3C is a European pine forest, and Fig. 3D is a larch forest.

Valley Meadow: Produced under moderately humid conditions, dominated by perennial herbs. There are two hydrological conditions: first, groundwater and soil moisture caused by summer precipitation, and second, the climate is humid. The difference between meadow and grassland is that the grassland is dominated by xerophytes, which are zonal vegetation under semi-humid and semi-arid climatic conditions. The general meadow belongs to non-zonal vegetation and can occur in different vegetation belts.

Steppe: distributed in semi-humid and semi-arid areas, concentrated in areas with less temperate rainfall. Mainly herbaceous plants. On a typical steppe, the trees are extinct due to insufficient rainfall. However, in areas with a little rainfall, the steppe and the small forests are interlaced. Such vegetation has a transitional nature called forest grassland. The grass layer of the steppe can generally be closed, but in the case of dryness, the grassland is sparse and the ground is often exposed. Such a steppe has the nature of transition to desert, called semi-desert.

There are north-south differences in the distribution of forest vegetation in Lake Baikal. In the south, pine forests dominated by Siberian pine, European red pine and *Pinussylvestris* have many species. In addition to pine forests, there are also birch forests and fragrant forests. The northern part is dominated by Siberian larch.

In the forest community, we will have a process of gradual succession. In the succession process, the poplar forest appeared first, followed by the succession into the birch forest, and then there will be a mixed forest of white birch and aspen. When the environment is relatively dry, it will be replaced by larch forest. When the environment is relatively humid, it will be transformed into European pine forest.

2.2 Daxinganling plant community

The iconic species in the plant area are mainly distributed in the cold temperate trees such as *Larixgmelinii*, *Pinussylvestris* var. The soils in the Greater Xing'an Mountains include brown coniferous forest soil, dark brown loam, gray forest soil, meadow soil, marsh soil and alluvial soil. The vegetation belongs to the coniferous forest zone of the cold zone. It is the part of the eastern Eurasian coniferous forest that extends in the Eurasian coniferous forest in the south of Eurasia. The zonal vegetation is dominated by *Larixgmelinii*. Coniferous forest. Other coniferous forest species contains *Pinussylvestris* var, *mongolica* P. *pumila*, *Piceajezoensis* var, *microsperma*) etc; Deciduous broad-leaved tree species contain, *Quercusmongolica*, *Betulaplatyphylla*, *B. davurica*, *Populusdavidiana*, *Phellodendronamurense*) etc.

2.3 Common species comparison

	Lake baikal		Daxinganling
	genus	species	species
Asteraceae	51	140	234
Poaceae	40	135	170
Cyperaceae	8	101	128
Fabaceae	20	91	95
Ranunculaceae	24	83	98
Rosaceae	22	77	126
Brassicaceae	32	55	52
Caryophyllaceae	23	55	47
Scrophulaceae	12	38	49
Apiaceae	22	36	55
Polygonaceae	10	32	58
Liliaeae	5	8	113
Labiatae	16	33	59
Salicaceae	2	26	49
Chenopodiaceae	8	17	40

Comparison of species diversity of main plant families in the Baikal region of Russia and Heilongjiang Province, China

The northern part of the Greater Xing'an Mountains in Heilongjiang Province in China and the southern part of the Baikal region in central and southern Russia have roughly the same latitude. The main families of the two plants are Compositae, Gramineae, Cyperaceae, Leguminosae, Ranunculaceae, Rosaceae, Liliaceae and Polygonaceae in Lake Baikal, and Brassicaceae and Dianthus are relatively abundant.

2.4 Endemic to Lake Baikal

Table 2. List of unique plants in Lake Baikal

<i>Liliumbrownii</i> F.E.Br. ex Mieliez
<i>Cotoneaster tulinae</i>
<i>Cotoneaster melanocarpus</i>
<i>Convolvulus ammani</i>
<i>Artemisia frigida</i>
<i>Larixsibirica</i>
<i>Papavernudicaule</i>

DracocephalumFoetidum
Viciaamoena
Hedysarumzundukii
Polygonumbaicalense
Astragalusolchonensis
Viciabaikalensis
cotoneaster tulinae
Sorbussibirica
polygonunbaicalense var. cericea
astragalusolchonense
hesperissibirica

2.5 Endemic species in Daxinganling

Table 3 List of endemic species in Daxing'anling

白狼乌头	Aconitum bailangenese Y.Z. Zhao
大兴安岭乌头	Aconitum villosum Rchb. Var. daxinganlinense (Y.Z. Zhao) S. H. Li
五叉河乌头	Aconitum wuchagouense Y. Z. Zhao
阿穆尔沙参	Adenophora amurica C. X. Fu et M. Y. Liou
呼玛柴胡	Bupleurum bicaule Helm. F. latifolium Chu
北兴安箬草	Carex boreali-hinganica Y. L. Chang
兴安羊胡子箬草	Carex callitrichos V. Krecz var. austro-hinganica Y. L. Chang et Y. L. Yang
轴箬草	Carex rostellifera Y. L. Chang et Y. L. Yang
山林箬草	Carex yamatsudana Ohwi
兴安翠雀	Delphinium hsinganense S. H. Lei et Z. F. Fang
螺旋杉叶藻	Hippuris spialis D. Yu
丝叶山芹	Ostericum tenuifolia (Pall. Ex Spreng) Y. C. Chu
兴安花荵	Polemonium boreale Adams subsp. hinganicum P. H. Huang et S. Y. Liu
密穗茶藨	Ribes liouanum Kitag
呼玛柳	Salix humaensis Y. L. Chou et R. C. Chou
兴安景天	Sedum hsinganicum Chu
东北繁缕	Stellaria hsinganensis Kitag
裂叶白斑堇菜	Viola lii Kitag

3. Discussion

Although Baikal Lake and Daxing'anling are at the same latitude, due to the difference of topography and topography, the temperature, precipitation, evaporation and soil fertility of the two are quite different. Therefore, the structure of the two communities differs greatly. We found that in terms of forest communities, the community structure of the two is very similar, but the difference in herb composition is very big. This may be mainly related to local precipitation and temperature.

4. Summary

The succession of forest community structure in Baikal Lake and Daxing'anling area is basically the same, and the dominant species are similar, and the endemic species show great differences.

Is the Temperature of Lake Baikal still Rising

Wu Huansha^a, Ning Kexin^a, Sun Xue^b, Zhao Jinchen^a, Liu Haoyu^a, Larisa Auzina^c, Zhang Yongzhan^a

^aSchool of Geographic & Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, P. R. China

^bSchool of Environmental Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, P.R. China

^cIrkutsk National Research Technical University, Irkutsk 664074, Russian Federation

Against the backdrop of global warming, the temperature of Lake Baikal has been rising for nearly two decades.

The catchments of Baikal rift are Siberia southeast and northern part of Mongolia. The Lake Baikal is the main hydrological system of Baikal rift. The mineralization of the Baikal water is 96.4 mg /dm³. Many of lakes in the region have a thermokarst origin and are connected to perpetually frozen ground degradation. All in all, tectonic dislocations supervise the drainage system of territory. In Baikal rift region, the minerallization of ground water is low. The main ingredient of ground water in Baikal rift are bicarbonate, sodion and calcium ion. Tectonic fractures is developmental basis of ground water in Baikal rift region.

Based on the above background, our group focus our attention on long time variation of water temperature in the Baikal Lake and its distribution.

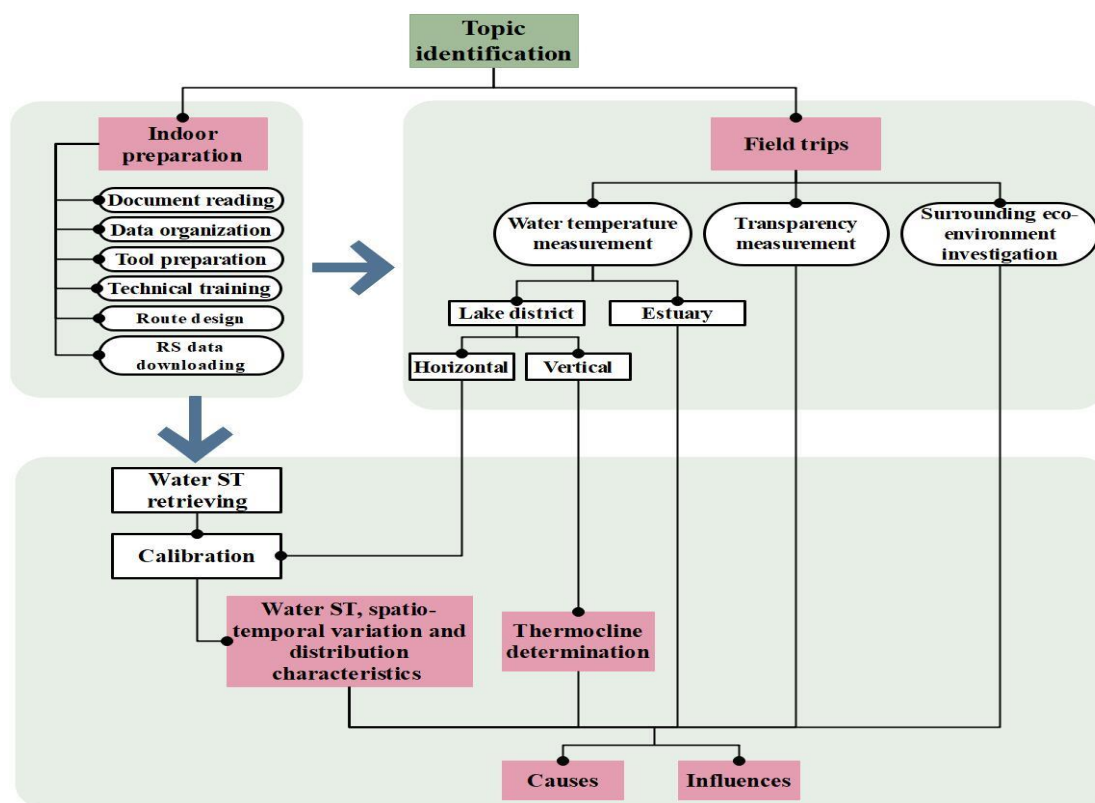


Figure 1 Research method and flow chart

The object of this study is to explore long time variation of water temperature in the Lake Baikal and its distribution using remote sensing inversion. As shown in figure 1, the methods are as follows: Use remote sensing date to invert the water temperature of Lake Baikal after fieldwork. Then search temporal and spatial variation and characteristics of water temperature in Lake Baikal. Finally, discuss effects of temperature changes on environment, biology and climate in Lake Baikal and combined with climate change, geological activities, human activities and other factors, explain the reasons for the change of water temperature in Lake Baikal.

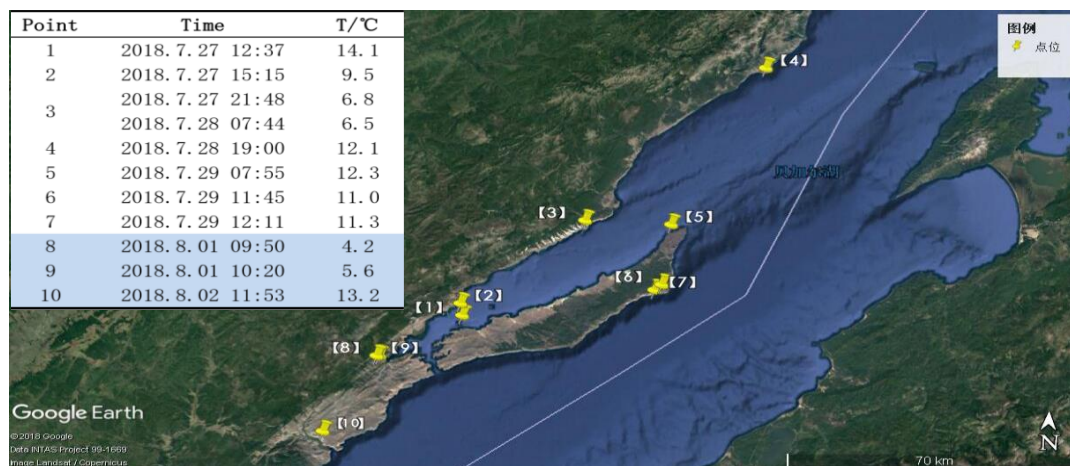


Figure 2 Ten observation points at Alkhon territory

Combined with field trip and referenced literature, the climate is warmer in Siberian region in recent decades authentically. During sea excursions, we have measured water surface temperature on ten points in Alkhon territory. As shown in figure 2, in Baikal Lake, the water temperature is above 14 degree centigrade in the daytime and below 7 degree centigrade at night. The temperature of the Angar river at 10th point is similar to that of Lake Baikal. And we measured 110m vertical water temperature at Izimey Bay in the eastern of Alkhon island. Figure 3 is our measuring result.

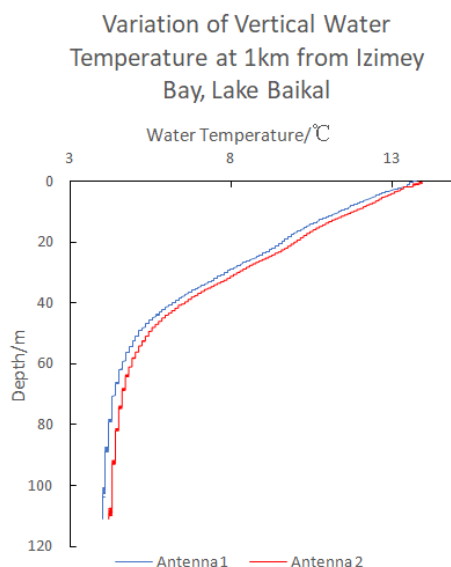


Figure 3 Variation of vertical water temperature at 1km
From Izimey Bay in Lake Baikal

Then we used Modis data to analyze surface temperature changes in the Baikal region between 2009 and 2016. The result shows that the mean surface temperature of increase of January is 2.67°C on Lake Baikal from 2009 to 2016. The research is still undertaking, furthermore results are expected in the near future.

2009–2016年贝加尔湖1月份平均表面温度变化图

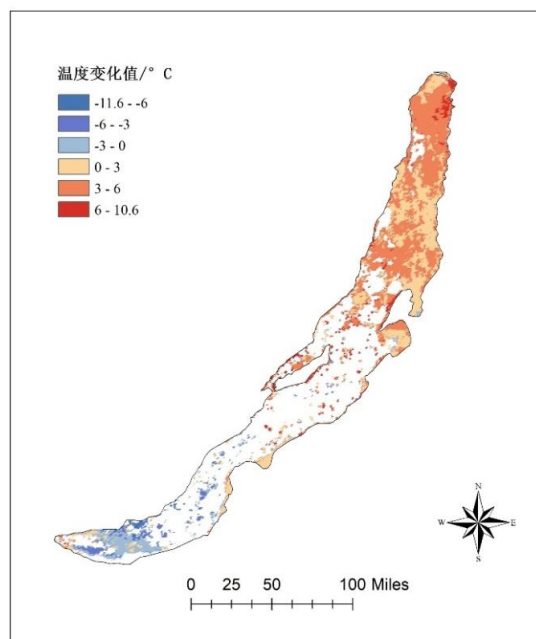


Figure 4 variation of Lake Baikal average surface temperature in January from 2009 to 2016

The Relationship between Baikal Seal And Saltwater Seals

Zhihui Zhang^{a*}, Hao Dong^a, Linfang He^a, Anshu Tang^a, Xingjun Tian^a, Andrey Lishtva^b

^a School of Life science, Nanjing University, Nanjing 210023, China

^b Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

* Corresponding author. E-mail address: maxi.zhangzh@qq.com

Phocasibirica, also known as the Baikal seal, nerpa, is a species of earless seal endemic to Lake Baikal in Siberia. The Baikal seal is also one of the most striking mysteries of Lake Baikal, because it is the only exclusively freshwater seal in the world. The origin of the Baikal seal remains uncertain. The most popular hypothesis is that some of the Ringed seal in Arctic entered the Baikal Lake during the Quaternary Ice Age by the Yenisei River-Angara River. After the glaciers melted, the water in the river channel was greatly reduced, and the seals failed to return their home with a more than 2,000 kilometers distance. This research mainly focused on the relationship between Baikal seal and some saltwater seal species to get a deeper understanding of Baikal seal.

To verify the relationship between the Baikal seals and other seals, we built the phylogenetic trees first. The analyses include 5 previously published typical phocidae mitochondrial genomes. The data of these sequences' information were downloaded from NCBI. The *Neophocacinerea* — Australian sea lion is designated as the outer group, the 16srna and other mitochondrial gene were chosen as the basis of judgement. Maximum likelihood method and neighbor-joining method were used to construct the phylogenetic trees. Quite a lot of trees have been built, the combination of all the results indicated that Baikal seal and ringed seal shared the closest relationship. The Caspian seal was just near them. For the reason that Caspian seal live in continental sea, which is not connected to the ocean just as the Baikal Lake, those two species were finally chosen as the focus of the research.

During our field practice, preliminary result has been obtained. The skeleton of Baikal seals were found in southern shore of Olkhon Island and the northern shore of Baikal Lake on July 31. This species was one of the smallest true seals, which was just like the ringed seal. Adults typically grow to 1.1–1.4 m in length with a body mass from 63 to 70 kg. The maximum reported size was 1.65 m in length and 130 kg in weight. For the ecological feature, Female Baikal seals reach sexual maturity at 3–6 years of age. With a combination of delayed implantation and a nine-month gestation period, the Baikal seals' overall pregnancy is around 11 months. The ringed seal has the same pattern. And thanks to the help of other groups, a comprehensive understanding of the Baikal seal's habitat was gained. For Baikal seals, their main food source is the golomyanka, a cottoid fish found only in Lake Baikal. Ringed seals eat a variety of food depending on season and availability. It seems like an adaptation the ancestor of the Baikal seal made.

The morphological characteristics of these two seals are very similar, and their mitochondrial genes tell the same story. Also, the upstream of the Yenisei River-Angara River is the Yenisei Bay, where ringed seals are distributed. Take all factors into consideration, the Baikal seal is very likely to be the descendent of the ringed seal. But more evidence will be needed to support this conclusion.

Научное издание

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ
(ИГОШИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2018)

Материалы Международной
научно-практической конференции

(Иркутск, 29 ноября – 1 декабря 2018 г.)

Подписано в печать 20.11.2018 г. Формат 60 х 90 / 16

Усл. печ. л. 33,5

Тираж 500 экз. Зак. 69к.

Отпечатано в типографии Издательства
ФГБОУ ВО «Иркутский национальный
исследовательский технический университет»
664074, ул. Лермонтова, 83.