



СИБИРСКАЯ
ШКОЛА
ГЕОНАУК



Геонауки – 2024
Геология, поиски и разведка
полезных ископаемых
и методы геологических исследований

Материалы
XIX Всероссийской научно-технической конференции

(г. Иркутск, 15–18 апреля 2024 г.)

Иркутск, 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ



**ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Сибирская школа геонаук
Институт недропользования**

**Геонауки – 2024
Геология, поиски и разведка
полезных ископаемых
и методы геологических исследований**

**Материалы
XIX Всероссийской научно-технической конференции**

(г. Иркутск, 15–18 апреля 2024 г.)



**ИЗДАТЕЛЬСТВО
Иркутского национального исследовательского технического
университета
2024**



Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом ИРНИТУ

Геонауки – 2024. Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований : материалы XIX Всерос. науч.-техн. конф. (Иркутск, 15–18 апреля 2024 г.). – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2024. – 372 с.

Ежегодная научно-техническая конференция «Геонауки» Иркутского национального исследовательского технического университета проводится с середины XX в.; посвящена актуальным проблемам геологии, методам геологических, гидрогеологических, геофизических исследований, разведки и разработки полезных ископаемых, вопросам технологии художественной обработки материалов, техники и технологии строительства нефтегазовых скважин, эксплуатации месторождений углеводородного сырья, истории геологических изысканий в Сибири. Материалы сборников содержат доклады преподавателей и студентов отечественных вузов, специалистов и научных работников, занятых решением широкого спектра задач в области недропользования.

Традиционно в работе конференции принимают участие более 100 человек из ведущих научных, образовательных и производственных организаций России, которые выступают с докладами и сообщениями по направлениям: «Прикладная геология, гидрогеология, инженерная геология, геофизика, ГИС», «Нефтегазовое дело» и «Горное дело», «Технология художественной обработки материалов» и др.

Члены редакционного совета:

Паршин А.В. – научный руководитель института «Сибирская школа геонаук»;

Аузина Л.И. – доцент института «Сибирская школа геонаук»;

Тонких М.Е. – доцент института «Сибирская школа геонаук»;

Тимофеева С.С. – зав. кафедрой промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности;

Лобацкая Р.М. – зав. кафедрой ювелирного дизайна и технологий;

Тальгамер Б.Л. – зав. кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых;

Храмовских В.А. – зав. кафедрой горных машин и электромеханических систем;

Ступин В.П. – профессор кафедры маркшейдерского дела и геодезии;

Мироманов А.В. – доцент института «Сибирская школа геонаук»;

Романов Г.Р. – доцент кафедры нефтегазового дела.

Редакционная коллегия:

Мальцева Г.Д. – главный редактор, доцент;

Чернов А.Ю. – зам. главного редактора и ответственный за выпуск, старший преподаватель;

Дарханова В.В. – технический редактор, зам. руководителя отдела внутренних и внешних коммуникаций.

Материалы публикуются в авторской редакции.

Авторы опубликованных статей и тезисов несут ответственность за подбор и точность приведенных фактов, цитат, экономико-статистических данных и прочих сведений.

Содержание

СЕКЦИЯ 1. ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ, ГЕОЭКОЛОГИЯ	7
Р.Х. Мусин, А.Р. Идиятуллина Особенности и условия формирования состава природных вод в одном из районов г. Казани	7
Е.П. Душкин, В.В. Акулова Техногенные грунтовые массивы алмазных месторождений Якутии как объекты инженерно-геологических исследований.....	12
В.В. Кушнерчук, В.В. Хаустов, И.М. Игнатенко Развитие дренажного комплекса в связи с увеличением чаши карьера Михайловского ГОКа им. А.В. Варичева (КМА)	16
Е.М. Игнатенко, В.В. Хаустов, И.М. Игнатенко, А.В. Овчинников Исследование консолидации и ползучести келловейских глин района Михайловского железорудного месторождения (КМА) ..	21
А.А. Жаров, Ю.В. Вашестюк Исследование морозного пучения на территории ГОКа «Светловский»	25
Я.С. Гнатюк, А.А. Сумкин, Ю.В. Вашестюк К 110-летию Евгения Михайловича Сергеева (1914-1997).....	30
И.И. Гайворонских, Я.С. Гнатюк, П.В. Дудкевич, Д.К. Москвитина, А.М. Янников, А.М. Кононов Мерзлотно-гидрогеологические особенности эксплуатации месторождений Якусткой алмазоносной провинции (на примере трубки Айхал).....	32
Ю.В. Вашестюк Анализ закона «Об охране окружающей среды».....	38
Н.П. Новокрещенных, А.М. Плюснин Химический состав снежного покрова в зоне влияния угольных месторождений (на примере Холбоьджинского угольного разреза).....	42
СЕКЦИЯ 2. ГЕОЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	47
В.Л. Таусон, А.Н. Сапожников, С.В. Липко, О.Ю. Белозерова Новые данные о лазуритах Прибайкалья	47
С.В. Липко, А.В. Ощепкова, Д.Н. Бабкин, А.В. Николаев Факторы избирательности при распределении микроэлементов в кристаллах пирита золоторудных месторождений.....	50
Б.Я.Тетиали, А.В. Ощепкова, В.А. Бычинский Физико-химическое моделирование процессов образования углеводородных газов озера Байкал	54
А.Р. Токмачев, А.В. Кичатый Условия формирования вторичных коллекторов алмазов их спутников в Муро-Ковинском и Илим-Катангском районах	57
А.Ю. Анохина, С.М. Очиржапова Вещественная характеристика магматитов и их роль в прогнозной оценке коренной алмазоносности в Муро-Ковинском и Илим-Катангском районах (Сибирская платформа)	62
А.В. Дидигурова, Е.А. Пыжьянов, М.Е. Тонких Многофакторная прогнозно-поисковая модель коренных источников алмазов в Муро-Ковинском и Илим-Катангском районах.....	68
Е.П. Ермолаева Сравнительные характеристики самородного золота в аллювиальных и техногенных россыпях долины р. Нойба. Проблемы его образования	73
Е.П. Ермолаева, Х.Л. Миронова Проблемы расчленения каменноугольного периода.....	79
Д.А. Черкашина, М.А. Лычагин Типизация алмазов и их спутников из вторичных коллекторов Муро-Ковинского и Илим-Катангского районов (юг Сибирской платформы)	82
В.Е. Поздняков, Е.И. Молокова, С.В. Мохосоева, Е.Н. Тайбинова Сопоставление эффективности мультиэлементного анализа методами ICP-AES и XRF при проведении геопроисковых работ.....	86
Е.Н. Тайбинова, С.В. Мохосоева, В.Е. Поздняков Сопоставительное сравнение эффективности атомно-абсорбционного и рентгенофлуоресцентного анализа на содержание серебра при сопровождении эксплуатационной разведки	89
С.В. Мохосоева, В.Е. Поздняков, Е.Н. Тайбинова Поиски оптимального способа пробоподготовки для анализа литогеохимических проб их вторичных ореолов рассеяния	92

А.А. Жарикова А.А., Р.Н. Иванова Структурное положение месторождения «Заявка 13» в золотоносном Огневском рудном поле (Северо-Енисейский район Красноярского края).....	95
СЕКЦИЯ 3. ЮВЕЛИРНЫЙ ДИЗАЙН И ТЕХНОЛОГИИ	101
Р.М. Лобацкая, Е.В. Лукьянова Дизайн асимметричных ювелирных украшений на основе кружевного декора усадьбы А.И. Шастина в Иркутске	101
Т.В. Анисимова, Д.Т. Карпова Дизайн ювелирных изделий на основе буддистской символики отражённой в архитектурных объектах Иркутской области.....	105
А.С. Лютиков, М.А. Буйволова Скарн в дизайне ювелирных украшений.....	109
А.А. Анисимова, А.А. Севастьянова. О.В. Ершова Технология создания инталий.....	113
М.Д. Литвинова, Т.В. Анисимова Безэскизное моделирование ювелирных украшений по форме природных кристаллов.....	118
А.А. Анисимова, О.В. Мищенко Дизайн ювелирных изделий на основе социальной проблематики	123
Е.А. Берман, А.М. Пшеничников Проектирование ювелирных изделий на основе стилизации Иркутского областного краеведческого музея с применением техники гравировки	127
М.Д. Новицкая, В.Е. Сорокина Дизайн ювелирных изделий с использованием цветных покрытий.....	130
Р.Е. Паньков, В.Е. Сорокина Дизайн и технология ювелирных изделий с горячей эмалью на меди.....	134
Р.М. Лобацкая, А.А. Зайцева Дизайн ювелирных колец на основе силуэта Иркутского драматического театра	144
V.E. Sorokina, A.S. Chichigin Designing of jewelry based on stylization of historical building Russian-Asian bank in Irkutsk	147
E.A. Berman, O.E. Kostenko Stylization of Irkutsk urban landscape as a basis for designing jewelry by oxidation and whitening technologies.....	150
Р.М. Лобацкая, А.Д. Отморская Дизайн изделия на основе элемента иркутского герба «Бабр» в технике камнерезной пластики	154
Р.М. Лобацкая, А.А. Зайцева Дизайн сувенирно-ювелирных колец на основе силуэтов каменной застройки Иркутска XIX века.....	159
СЕКЦИЯ 4. ГОРНОЕ ДЕЛО. МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО, ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ И КАРТОГРАФИЯ	164
М.А. Назырова, Д.А.Пожарин, М.Р. Скоробогатько Георадарное зондирование для решения задач геомеханического мониторинга.....	164
Д.А. Кириков, А.М. Калугина, А.И.Тюменцев, В.С.Фёдоров Зависимость высоты полета на качество аэрофотосъемки квадрокоптера «Phantom 4» при съёмке неглубоких карьеров	167
Е.С. Новиков, В.Л. Рупосов Исследование методов обратных расстояний.....	171
А.С. Лаптев, Н.А. Найденко, Ш.Р. Охунов Сравнение систем автоматизации с традиционными методами в подземных горных выработках.....	177
Ченгян Мэн, Цзюшенг Ду, В.Л. Рупосов, А.А. Ицков Исследование динамичных пространственных данных на примере анализа передвижений городских жителей на такси	182
В.Л. Рупосов, Е.В. Рупосова Модели вариограмм на основе периодических функций.....	187
СЕКЦИЯ 5. ГОРНОЕ ДЕЛО. РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	192
Е.В. Кускаева, М.С. Попова Совершенствование конструкции породоразрушающего инструмента для бурения скважин, сложенных угольными пластами	192
Е.В. Иванов, В.М. Лысков Состав, свойства и области применения водоземлемых взрывчатых веществ	195
В.В. Власенко, В.М. Лысков Применение электронных и оптоволоконных систем инициирования взрыва	199

М.И. Попенко, Д.В. Вельш Разработка методики исследования поля напряжений в горной породе при бурении коронками типа TSD	203
И.В. Перельгин, В.М. Лысков Методы повышения эффективности контурного взрывания при проведении подземных горных выработок	205
К.А. Непомнящих, А.И. Труфанов, В.А. Хармсовских, Д.Г. Шадрин Прогнозирования отказов карьерных автосамосвалов с помощью моделей анализа временных рядов.....	210
Д.А. Севостьянов, П.Г. Петенёв Анализ эффективности систем отбора проб при бурении комплексами ССК.....	216
И.А. Мешков, Б.Л. Тальгамер К расчету производительности и параметров забоя драги.....	217
М.Ю. Марков, Б.Л. Тальгамер Результаты апробации методики расчёта концентрации взвесей в воде илоотстойников при разработке россыпных месторождений	222
СЕКЦИЯ 6. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ	228
Д.А. Плохотнюк, П.Г. Бирюков, Е.А. Сляднев, И.В. Трофимов Сравнение измерительных установок электротомографии и бесконтактного электропрофилирования при выполнении опытно-методических работ на льду озера Байкал.....	228
А.А. Михиденко Развитие информационной системы для устойчивого эко-мониторинга региона: разработка и перспективы применения геопортала в секторе недропользования	231
Onamoun Désiré Efficiency of seismic attribute analysis as a key to optimizing the prediction and characterization of hydrocarbon deposits: an overview and a case study of the channelized systems of the upper cretaceous of the Tano Côte d'Ivoire basin in the Gulf of Guinea.....	235
З.Л. Икрамов Геоинформационное обеспечение снегогеохимических исследований городов Иркутской области.....	239
Е.А. Денисюк, Д.Ю. Кокодей, К.М. Константинов Петро- и палеомагнетизм горных пород Даньского массива (Кет-Капский район, север Хабаровского края).....	242
СЕКЦИЯ 7. НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО	248
И.В. Попков Перспективы нефтегазоносности карбонатных отложений триаса запада Скифской плиты	248
В.И. Попков, И.В. Попков, И.Е. Дементьева Нефтегазоносность глубокозалегающих горизонтов осадочных бассейнов	253
П.С. Пушмин, А.Н. Буглов, В.О. Верёвкина Определение условий существования режима крутильных автоколебаний второго рода нижней части бурильной колонны	257
Е.А. Ефимова, Р.Ю. Лагереv, С. Д-С. Будаева Обоснование оптимального режима работы УЭЦН.....	262
Д.Е. Соколова, Е.А. Дмитриева, Д.Н.Сутырин Моделирование работы добывающих скважин с применением теории массового обслуживания.....	267
А.Р. Рашидова, П.Д. Журавская, А.С. Качковская, М.А. Мухараева, А.К. Быченко Опыт применения методов увеличения нефтеотдачи в разных странах.....	270
А.И. Стулёв, Н.А. Спиридонов, С.Ц. Жамбалова, Б.А. Абдувохидов, Е.В. Развозжаев, Степанова Е.С. Система спуска обсадных колонн СРТ	274
К.Д. Ндени, П.С. Пушмин, Э.Э. Эльмуратов Исследование и разработка методов повышения ресурса породоразрушающего инструмента	276
И.В. Литвинова, А.И. Сурнин, А.А. Кряжев, А.С. Белова Рекогносцировочное гидрогазогеохимическое опробование для оценки нефтегазоносности участков южного склона Анабарской антеклизы.....	279
М.М. Гришкевич, Г.Т. Рахматов, Г.Р. Романов Экономический анализ рентабельности повышения коэффициента извлечения нефти	283
Р.Ю. Лагереv, А.Н. Буглов Методика определения притока из пласта в скважине, оборудованной УЭЦН.....	289

Буглов Н.А., А.С. Рахпатов, Г.Р. Романов, М.Д. Поздняков, А.В.Соломахин, А.А. Абдуллаев Результаты и перспективы применения гидравлического осциллятора в наклонно-направленном бурении.....	294
П.С. Пушмин, Н.В. Бессонов, Д.В. Наумов Бурение пилотных скважин с последовательным расширением стволов.....	297
Ю.И. Махонькина, А.Н. Веслополова, В.Т. Шакирова, А.В. Зедгенизов Оценка стоимости строительства трассы магистрального трубопровода на основе Google Earth.....	301
П.С. Пушмин, В.О. Веревкина, В.Т. Шакирова Сверхглубокое бурение (на примере Кольской сверхглубокой скважины).....	311
Г.С. Гурков, Е.С. Сурменев, А.В. Коротков, Г.Р. Романов Анализ влияния ориентации образцов на прочность цементного камня	315
М.Н. Котякова, Д.П. Потапов, Г.Р. Романов Разработка системы бурового раствора с целью повышения эффективности строительства эксплуатационных скважин с горизонтальным окончанием.....	318
А.С. Тетерина, М.А. Файзулина, Д.В. Ильченко, Ж.Ц. Бадмаев, К.Г. Кожевников Проблема с пластовой водой при эксплуатации на установке переработки нефти (УПН) на месторождениях Восточной Сибири.....	324
И.А. Иванов, М.П. Бритт, А.С. Офицеров, Т.А. Холмирзоев, К.Г. Кожевников, Г.Р. Романов Увеличение производительности технологии бурения карбонизированных песчаников.....	329
О.А. Брагина, Ш.Ш. Хушвактов, А.Г. Вахромеев, С.А. Сверкунов Способ вскрытия продуктивного пласта на газоконденсатных месторождениях «М-25» Республики Узбекистан в условиях сероводородных агрессий	338
Ш.Ш. Хушвактов, А.Г. Вахромеев, О.А. Брагин, С.А. Сверкунов Меры для защиты оборудования и инструментов от воздействия сероводорода и его отрицательного влияния на процессы бурения	346
Э.Б. Элмуратов, П.С. Пушмин Исследование и совершенствование техники и технологии по освоению скважин в сложных горно-геологических условиях.....	358
В.И. Варданын, Н.С. Намолов, Г.Р. Романов Глушения скважин с использованием блокирующих составов	366

СЕКЦИЯ 1. ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ, ГЕОЭКОЛОГИЯ

Особенности и условия формирования состава природных вод в одном из районов г. Казани

Р.Х. Мусин, А.Р. Идиятуллина

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

E-mail Rustam.Musin@kpfu.ru

Аннотация. Рассмотрены особенности состава природных вод северной окраины г. Казани. Его существенные вариации определяются влиянием восходящей разгрузки относительно глубинных сульфатных кальциевых вод с минерализацией около 2,5 г/л. Определены доли этих артезианских вод в расходах рек. Выявлены комплексы микрокомпонентов, концентрирующихся в артезианских и приповерхностных водах. Проведена оценка геоэкологического состояния района на основе изучения состава снежного покрова.

1. Введение

Казань расположена на левобережье Куйбышевского водохранилища, в восточной части Русской равнины. Площадь города составляет около 600 км², население – 1.3 млн. человек. Расположение у крупнейшего в Европе водохранилища и в области достаточного увлажнения определяют значительные ресурсы поверхностных и пресных подземных вод. Площадь города делится примерно на две равные части долиной р. Казанка, впадающей в водохранилище. В городской черте находятся и некоторые притоки Казанки – рр. Нокса, Киндерка, Сухая река, Солонка, а также около 280 озерных водоемов. Водной жемчужиной на северной окраине города является группа озер под общим названием “Голубое”. Они находятся в районе пос. Щербаково (14 км выше устья р. Казанка), где в виде цепочки отдельных водоемов располагаются на первой надпойменной террасе правобережной части долины р. Казанка, вытягиваясь вдоль ее русла на 2.5 км, при удалении от него – 20–100 м. Вода в Голубых озерах солоноватая, и она отличается рядом весьма интересных и специфических особенностей состава. В настоящее время Голубые озера считаются уникальными солоноватоводными карстовыми озерами Среднего Поволжья [1]. Они широко известны и довольно популярны, и используются в рекреационных и лечебных целях. Озера возникли на месте мощных восходящих выходов подземных вод (ПВ) нижнепермских отложений. Их суммарный дебит оценивается в 1.5 м³/с. Наиболее крупным является Большое Голубое озеро. Вода поступает из двух карстовых провалов, расположенных в северной части озера. Большое Голубое озеро является сточным. Оно отделено от р. Казанка дамбой. Средние расходы озерной воды по замерам преимущественно летнего периода – около 850 л/с [2]. Район расположения Голубых озер является зоной интенсивной разгрузки ПВ нижнепермских отложений, представленных сакмарским ярусом. Их субаэральные и субаквальные выходы отмечаются на значительном протяжении долины р. Казанка, а также в нижней части долины р. Солонка, правого притока р. Казанки. Устье р. Солонки находится в 0,9 км южнее южной оконечности Большого Голубого озера. Наиболее мощные восходящие родники отмечаются в русле и по левобережью р. Солонка в интервале 2,0–2,8 км от ее устья, по западному ограничению расположенного здесь пос. Кадышево. Суммарный дебит субаэральных выходов – 400 л/с. Состав этих родниковых вод близок к составу вод Голубых озер. Расход р. Солонка довольно существенно увеличивается в ее нижнем течении, и речная вода становится здесь солоноватой с минерализацией более 1 г/л. В районе расположения Голубых озер возрастают расход и

минерализация воды р. Казанка. Последняя постепенно увеличивается вниз по течению до пос. Большие Дербышки (в 2,4 км ниже устья р. Солонка), где достигает 1,5-1,7 г/л [2]. Аномалии гидрохимического поля рассматриваемого района определяются ПВ отложений сакмарского яруса. Он сложен толщей карбонатно-сульфатного состава мощностью до 100 м и отличается значительной водообильностью. Дебиты водозаборных скважин достигают 16–20 л/с. Кровля сакмарских отложений в районе Голубых озер залегает на гипсометрической отметке ~ 0 м, тогда как уровень р. Казанки составляет 53,2 м. Пьезометрическая поверхность стерлитамакского водоносного комплекса превышает отметки рек в районе Голубых озер на 5–7 м, а в речных долинах она превышает и уровни всех вышележащих водоносных комплексов в карбонатно-терригенных пермских (казанского и уржумского ярусов) и песчано-глинистых аллювиальных плиоцен-четвертичных отложениях [2]. Цель настоящего исследования – уточнение геохимии природных вод района развития Голубых озер и определение доли ПВ стерлитамакских отложений (далее эти воды будут именоваться артезианскими) в расходах рр. Солонка и Казанка, а также оценка геоэкологического состояния района на основе опробования снежного покрова.

2. Материалы и методы

Исследованию подверглись водные объекты северной окраины г. Казани в районе пос. Щербаково и Кадышево – оз. Голубые, рр. Солонка и Казанка, восходящие родники, а также снежный покров. Вода в Голубых озерах имеет голубоватый цвет за счет растворенного сероводорода, высокую прозрачность, практически постоянную температуру в течение года – 4-8⁰ С (озера не замерзают зимой), преимущественно сульфатный кальциевый состав и минерализацию 2,0-2,5 г/л [1, 2]. Основными методами исследований явились снеговая, гидрометрическая и гидрохимическая съемки (рис. 1).

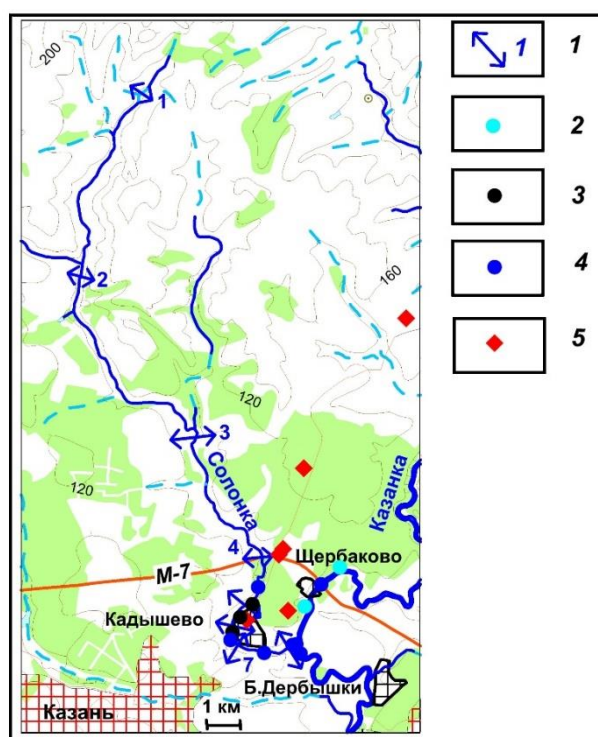


Рисунок 1. Карта фактического материала: 1 – гидростворы и их номера; 2–5 – пункты опробования: 2 – оз. Голубые, 3 – восходящих родников, 4 – вод рр. Солонка и Казанка, 5 – снежного покрова.

В марте 2023 г. было проведено опробование снежного покрова на его полную мощность (6 пунктов). В конце мая 2023 г. на р. Солонка проведены гидрометрические исследования на 8 гидростворах. Параллельно проводилось и опробование водопроявлений. В гидропробах определялись значения основных интегральных показателей природных вод, а также концентрации макро- и мезокомпонентов. Основная часть последних детектировалась на ионном хроматографе Dionex ICS-1600 (США). Тринадцать проб (из них 6 снеговых) были проанализированы на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой iCAP Qc (Германия) с определением содержаний 65 элементов от лития до урана.

Расходы р. Солонка увеличиваются вниз по течению. Для каждого гидроствора рассчитывались линейные приращения расхода от истока реки и на участке между соседними гидростворами. Для определения доли артезианских вод в расходах рр. Солонки и Казанки использовалась следующая формула смешения [3]:

$$Q_a = Q_p(C_p - C_r)/(C_a - C_r), \quad (1)$$

где Q_a и Q_p – расходы артезианских и речных вод (л/с, м³/с); C_a , C_p , C_r – концентрации иона индикатора (сульфат-ион) в артезианских, речных и грунтовых водах соответственно (мг/л).

3. Результаты исследования и их анализ

Природные воды района характеризуются весьма изменчивым составом. Максимальной вариабельностью обладают значения минерализации и жесткости, а также концентрации сульфатов и ионов кальция. Более однородное их распределение проявляется при рассмотрении отдельных выборок (табл. 1).

Таблица 1

Значения наиболее характерных параметров состава поверхностных и подземных вод

Выборка	Кол-во проб	Минерализация, мг/л	Жёсткость, ммоль/л	SO ₄ ²⁻ , мг/л	Ca ²⁺ , мг/л	Тип воды, по [4]
р. Солонка (верховья)	4	369–583 471±105 467	4,3–6,0 5,2±0,87 5,23	7,1–18,5 10,3±5,5 7,89	48,1–88,2 69,9±17,9 71,7	HCO ₃ /Mg-Ca
р. Солонка (низовья)	10	1045–1948 1625±355 1748	11,6–25,0 20,4±5,1 22,8	459,7–1118 876,1±259 954,0	152,3–409 315,8±90 348,7	HCO ₃ -SO ₄ /Ca
р. Казанка	2	1272–1282 1277±6,8 1277	16,2–17,2 16,7±0,7 16,7	493,3–559,6 526,5±46,9 526,5	248,5–273 260,5±17,0 260,5	HCO ₃ -SO ₄ /Mg-Ca
Оз. Голубое	2	2258–2382 2320±87,7 2320	29,5–35,4 32,5±4,1 32,5	1328–1335 1331,6±4,5 1331,6	481,0–601 541,1±85,0 541,1	SO ₄ /Ca
Восходящие родники	3	1953–2443 2202±245 2210	22–31,2 28,0±5,2 30,8	993,4–1393 1194,9±200 1198,4	424,8–513 478,3±47,0 497,0	HCO ₃ -SO ₄ /Ca и SO ₄ /Ca

Примечание. В первой строке цифровых данных – предельные значения (минимум–максимум), во второй – среднее ± стандартное отклонение, в третьей – медиана.

Выделение по р. Солонке двух участков, отличных по гидрохимическим показателям, хорошо согласуется и с гидрометрическими данными (табл. 2). Расходы этой реки резко увеличиваются ниже гидроствора (г/с) № 4, с этого же пункта начинается непрерывный рост минерализации и жесткости речных вод. Это связано с разгрузкой в р. Солонку артезианских вод. Доля такой разгрузки увеличивается от 48 до 80% в направлении от г/с 5 до г/с 8 (на участке реки между г/с 1–4 разгрузка артезианских вод не отмечается). Значительный интерес представляет и определение доли артезианских вод в расходе р. Казанка, среднемноголетний годовой расход которой в устье – 13,2 м³/с, а в районе пос. Б. Дербышки (12 км от устья) – 12,6

м³/с. В связи с отсутствием однозначных данных по содержаниям сульфатов в речной воде и грунтовых водах проведена диапазонная оценка доли артезианских вод в расходе р. Казанка в начальный период зимней межени (табл. 3).

Макрокомпонентный состав вод Голубых озер, рр. Казанка, Солонка и родников в долине последней изучается длительное время, и он хорошо известен. К сожалению, это не относится к их микрокомпонентному составу, литературные данные по которому крайне немногочисленны и включают концентрации единичных элементов. Из 65 детектированных на масс-спектрометре элементов 20 можно использовать в геохимических целях, т.к. они испытывают некоторое концентрирование в определенных типах природных вод (рис. 2).

Таблица 2

Расходы р. Солонка

№ гидро-створа	Местоположение	Расстояние от истока, км	Расход, л/с	Линейное приращение расхода, л/с*м	
				От истока реки	От предыдущего гидроствора
1	д. Большие Ковали	1,90	16,40	0,0086	—
2	д. Берновые Ковали	8,35	66,08	0,0079	0,0077
3	д. Семioзерка	15,52	80,72	0,0052	0,002
4	Под мостом автотрассы М-7	20,38	131,33	0,0064	0,0104
5	СЗ окраина пос. Кадышево	22,18	359,16	0,0162	0,127
6	З окраина пос. Кадышево	22,75	601,62	0,0264	0,425
7	ЮЗ окраина пос. Кадышево	23,51	948,83	0,0404	0,457
8	Приустьевая часть реки	25,35	1279,41	0,050	0,180

Таблица 3

Оценка доли артезианских вод в расходе р. Казанка (м³/с / %)

C _г , мг/л	C _р , мг/л				
	700.0	750.0	850.0	700.0	800.0
	р. Казанка у пос. Б. Дербышки			Устье р. Казанка	
10.3	6.28 / 49.9%	6.74 / 53.5%	7.65 / 60.7%	6.58 / 49.9%	7.54 / 57.1%
100.0	5.85 / 46.4%	6.33 / 50.3%	7.31 / 58.0%	6.13 / 46.4%	7.15 / 54.1%
200.0	5.28 / 41.9%	5.81 / 46.1%	6.87 / 54.5%	5.53 / 41.9%	6.64 / 50.3%

Примечание. C_г и C_р - согласно формулы (1), а C_а=1393 мг/л.

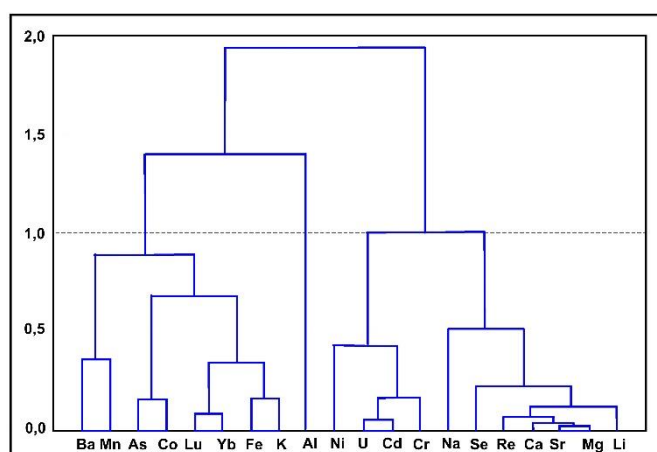


Рисунок 2. Кластер-диаграмма связей компонентов состава природных вод (7 проб, мера связи – коэффициент корреляции Пирсона (1-r))

Остальные элементы отличаются индифферентным поведением. Диаграмма наглядно отражает наличие двух крупных кластеров. Первый включает элементы от бария до калия, второй – от лития до никеля. Первый кластер образован компонентами, которые имеют

тенденцию к относительному концентрированию в поверхностных и грунтовых водах. Второй – объединяет элементы, обладающие более высокими содержаниями в артезианских водах.

Данные снегового опробования не отличаются высокой вариабельностью. Максимальные значения минерализации талой снеговой воды и количества пылевых выпадений отмечаются в пробах, приближенных к автодорогам, которые в настоящее время являются одними из основных источников загрязнения окружающей среды. Минимальные значения – в лесном массиве между пос. Кадышево и Щербаково. Данные особенности состава весьма близки к таковым для снеговых проб, отобранных в парковых и жилых зонах г. Казани на удалении от основных автомагистралей города [5] (табл. 4).

Таблица 4

Интегральные показатели состава талой снеговой воды

Район опробования	Кол-во проб	Минерал., мг/л	pH	Жесткость, ммоль/л	Интенсивность пылев.выпад., г/м ²	Преоблад. тип воды
Оз. Голубые	6	<u>16,8–49,9</u> 18–26	<u>5,77–6,5</u> 5,9–6,4	<u>0,07–0,2</u> 0,07–0,16	<u>0,15–6,4</u> 0,15–2,1	HCO ₃ /Na-Ca
Парки г. Казани	10	<u>25,6–35,1</u> 26–29	<u>5,97–6,62</u> 6,12–6,54	<u>0,04–0,17</u> 0,08	<u>0,06–2,6</u> 0,5–1,3	SO ₄ -HCO ₃ /Mg-Ca
Жилые зоны г. Казани	11	<u>19,6–47,7</u> 27–41	<u>6,01–6,98</u> 6,52–6,94	<u>0,07–0,21</u> 0,09–0,16	<u>0,8–6,5</u> 1,0–1,7	SO ₄ -HCO ₃ /Mg-Ca

Примечание. В числителе – предельные значения, в знаменателе – преобладающие.

4. Обсуждение

Особенности макрокомпонентного состава вод оз. Голубое, р. Казанка и восходящих родников на окраине пос. Кадышево хорошо согласуются с данными предшествующих исследований. Практическая неизменность этого состава во времени свидетельствует о постоянстве во времени условий его формирования, обусловленных весьма слабыми вариациями природно-техногенных условий по крайней мере с середины XX в. Данные опробования и анализа снежного покрова позволяют говорить об относительно невысокой степени антропогенного воздействия на окружающую среду в изученном районе.

5. Заключение

Природные воды северной окраины г. Казани обладают варьирующим в довольно широких пределах ионным составом и минерализацией. Специфику этой изменчивости во многом определяют ПВ нижнепермских отложений, обладающие сульфатным кальциевым составом и минерализацией до 2,5 г/л, реже более. Их активная восходящая разгрузка в долинах рр. Казанки и Солонки кроме гидродинамической предпосылки должна определяться проявлением интенсивной трещиноватости в пермских осадочных образованиях, а также невысокой мощностью и латеральной невыдержанностью глинистых прослоев в аллювиальном плиоцен-четвертичном долинном комплексе. Максимальной проницаемостью для артезианских вод обладают трещинные зоны субмеридионального и северо-восточного простирания. При расчетах различных показателей загрязнения поверхностных вод (например, комбинаторного и удельного комбинаторного индекса загрязненности по [6]) необходимо учитывать условия формирования состава вод и отделять превышения предельно допустимых концентраций ингредиентов, определяемых природными и антропогенными факторами. Только в таком случае можно получить объективную пространственно-временную картину загрязненности поверхностных вод.

Библиографический список

[1] Уникальные экосистемы солоноватоводных карстовых озер Среднего Поволжья / под ред. А.Ф. Алимова и Н.М. Мингазовой. — Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2001. — 256 с.

- [2] Каштанов С.Г. Голубое озеро / С.Г. Каштанов // Известия Всесоюзного географического общества. — 1975. — Т. 107. Вып. 4. — С. 364–367.
- [3] Коротков А.И. Гидрогеохимический анализ при региональных геологических и гидрогеологических исследованиях. Ленинград: Недра, 1983. — 231 с.
- [4] Мусин Р.Х. Техногенез и качество атмосферных осадков (на примере состава снегового покрова г. Казани) / Р.Х. Мусин, Н.А. Курлянов, Р.Р. Галлямов, К.Э. Зотина // Сборник трудов VII Международного Конгресса «Чистая вода. Казань», 23-25 ноября 2016 г. — Казань: ООО «Новое знание». — С. 68-72.
- [5] ОСТ 41-05-263-86. Воды подземные. Классификация по химическому составу и температуре. — М.: ВСЕГИНГЕО, 1986. — 12 с.
- [6] РД 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. — Ростов-на-Дону: ГХИ Росгидромета, 2002. — 53 с.

Техногенные грунтовые массивы алмазных месторождений Якутии как объекты инженерно-геологических исследований

Е.П. Душкин, В.В. Акулова

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Е-mail egor.dushkin.99@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены условия разработки расположенных на территории республики САХА (Якутия) алмазных месторождений – кимберлитовой трубки «Айхал» и «Удачная». В рамках инженерно-геологических исследований проведено комплексное лабораторное исследование грунтов, составляющих техногенные массивы обвальнo-осыпных отложений и предохранительной рудоподонной подушки. По полученным результатам проведен анализ влияния различных проявляемых грунтами свойств на устойчивое состояние техногенных образований, а также дана общая характеристика самих техногенных массивов.

1. Введение

Техногенные массивы представляют собой расположенные на горнодобывающих и перерабатывающих предприятиях структуры, сложенные природными измененными и перемещенными отложениями (горными породами, находящимися в пределах участка работ), а также отходами производства, образованными в результате обогащения полезных ископаемых. К ним относятся отвалы, насыпи, хвостохранилища и ограждающие их дамбы, рудопородные подушки и т.д. Такие структуры, как правило, характеризуются достаточно высокой степенью неоднородности гранулометрического состава составляющих их отложений, повышенной засоленностью, вызванной контактом с буровыми растворами и природными рассолами, а также широким спектром проявляемых физических, физико-химических и деформационно-прочностных свойств.

Объектами нашего исследования являются техногенные массивы обвальнo-осыпных отложений карьера-рудника «Айхал» и предохранительной рудопородной подушки карьера-рудника «Удачный». Данные месторождения расположены на территории Мирнинского района республики САХА (Якутия) и приурочены к зонам сплошного распространения многолетнемерзлых пород, глубина простираения которых может достигать 1000 метров и более. Разработка месторождений ведется в сложных геокриологических, гидрогеологических, структурно-геологических, горно-технологических и климатических условиях [1,2].

За разработку обеих трубы, как и за большую часть алмазных месторождений, отвечает АК «АЛРОСА». В настоящее время осуществляется отработка подкарьерных запасов подземным способом. На руднике «Айхал» используется камерная система отработки в шахматном порядке с закладкой выработанного пространства под предохранительным целиком, а на руднике «Удачный» – система самообрушения с формированием предохранительной рудопородной подушки [3]. В рамках проблем, связанных с безопасной и эффективной подземной отработкой месторождений, наиболее остро стоит необходимость изучения состояния техногенных массивов, сформированных на дне карьеров. На «Айхале» – это обводненный массив осыпей, расположенный над целиком, а на «Удачном» – предохранительная рудопородная подушка, находящаяся в подвижно-динамичном состоянии. Данные техногенные массивы подвергаются влиянию изменения температур, воздействию атмосферных осадков и рассолов, а также процессов выветривания, что сказывается на ухудшении состояния изучаемых техногенных массивов. Недостаточный мониторинг и несвоевременный контроль их состояния может привести к возникновению опасных аварийных ситуаций вплоть до катастроф, подобных аварии на трубке «Мир» в 2017 году.

Для предотвращения подобных событий необходимо в рамках инженерно-геологических исследований проводить комплексное изучение состава, состояния и свойств техногенных отложений.

2. Материалы и методы

В качестве материалов для исследования были использованы пробы техногенных отложений осыпей «Айхала» и предохранительной рудопородной подушки трубы «Удачная», предоставленные институтом «Якутнипроалмаз» в рамках совместных хозяйственных работ. В лаборатории инженерной геологии и геоэкологии Института земной коры СО РАН был проведен комплекс лабораторных исследований, включающий в себя определение гранулометрического и химического состава, физических, физико-химических и деформационно-прочностных параметров как крупнообломочных, так и тонкодисперсных грунтов.

Для определения гранулометрического состава крупнообломочных грунтов использовался ситовой метод, для тонкодисперсного материала – лазерно-дифракционный (Analysette 22 NanoTec).

Параметры физического состояния грунтов определялись по стандартным методикам [4].

Степень засоленности ($S_{вр}$) определялась по величине сухого остатка водной вытяжки из грунтов согласно ГОСТ 59540 – 2021.

Для тонкодисперсных глинистых отложений осыпей «Айхала» проводилось определение удельного сцепления (C) и угла внутреннего трения (ϕ). Значения C и ϕ были получены по результатам испытаний, проводимых на приборе одноплоскостного среза для мерзлых и дисперсных грунтов ГТ 1.2.14 методом одноплоскостного среза в соответствии с ГОСТ 12248.1 – 2020.

Коэффициент фильтрации (K_f) определялся как для глинистых, так и для песчаных типов грунтов согласно ГОСТ 25584 – 2016. В первом случае использовался компрессионно-фильтрационный прибор ПКФ-01, во втором – фильтрационный прибор КФ-1.

Для крупнообломочных образцов экспериментальным способом определялись их водостойчивость и морозостойкость. Обломки скальных грунтов (преимущественно доломиты и известняки) разной степени выветрелости и трещиноватости на длительный период времени помещались в воду, а затем подвергались нескольким циклам заморозки-оттаивания. Для слабосцементированных агрегатов определялось время их полного размокания в воде (ПРГ-1).

Для оценки потенциальной плавуности песчаного заполнителя крупнообломочных грунтов проводилось изменение их угла естественного откоса под водой и определение седиментационного объема (V).

3. Результаты исследования и их обсуждение

По результатам лабораторных исследований гранулометрического состава установлено, что изучаемые техногенные отложения как осыпей трубки «Айхал», так и предохранительной подушки трубки «Удачная» характеризуются достаточно широким диапазоном размеров частиц. Отложения осыпей представлены крупнообломочными (щебенистыми и дресвяно-щебенистыми с песчаным заполнителем) и глинистыми (супесчаными и суглинистыми с включением дресвы и щебня) грунтами, а рудопородной подушки – только крупнообломочными (глыбовыми, щебенистыми, дресвяными с наличием песчаного и супесчаного заполнителя).

Химический анализ водной вытяжки техногенных грунтов выявил неоднородный характер их засоления. Повышенная степень засоления наблюдается в отложениях осыпей трубки «Айхал» ($S_{вр}$ от 0.27 до 27.51 %). Преобладает сульфатный и сульфатно-натриевый тип засоления. Выявлен сульфатный тип засоления. Наиболее распространены избыточно засоленные разновидности, реже встречаются незасоленные, средне- и сильнозасоленные. Техногенные отложения рудопородной подушки карьера-рудника «Удачный» представлены слабо-, средне- и сильнозасоленными разностями ($S_{вр} = 0.62-3.14$ %) с сульфатным и хлоридно-сульфатным типами засоления. Преобладание избыточно и сильно засоленных грунтов в осыпях связано с наличием водного объекта (озера) на дне карьера, вода в котором, скорее всего, является высокоминерализованной. Такая высокая степень засоления исследуемых грунтов значительно влияет как на их физические (влажность, плотность, температура промерзания и т.д.), так и на деформационно-прочностные свойства. А взаимодействие с атмосферными осадками, приводящее к выщелачиванию солей, дополнительно может спровоцировать возникновение опасных геологических процессов (карст, суффозия, разуплотнение грунтов и т.д.), что в итоге оказывает негативное влияние на состояние техногенных массивов.

Техногенные грунты исследуемых объектов характеризуются достаточно широким разбросом значений природной влажности (W). Для отложений массива осыпей карьера-рудника «Айхал» параметр W изменяется от 6.5 до 26.7 %, для рудопородной подушки карьера-рудника «Удачный» – от 2.1 до 20.1%. Минимальные значения влажности практически соответствуют воздушно-сырому твердому, повышенные – пластичному, а максимальные – практически текучему состоянию грунтов.

Ранее нами были изучены условия проявления техногенными грунтами массива осыпей рудника «Айхал» и рудопородной подушки рудника «Удачный» реологических свойств в зависимости от их вещественного состава и степени обводнения [5]. По результатам экспериментов установлены критические значения влажностей, характеризующие пластичное (29.5% и 17.3%) и текучее (32.1% и 20.9%) состояние исследуемых образцов. Существенная разница полученных значений объясняется повышенной дисперсностью и гидрофильностью айхальских техногенных осыпных отложений.

По результатам испытаний на одноплоскостной срез установлено, что тонкодисперсные грунты «Айхала» пластичной и мягкопластичной консистенции обладают достаточно низкими значениями прочностных параметров ($C = 0.01-0.04$; $\varphi = 2.86-9.16^\circ$).

Низкие значения водопоглощения ($W_n = 0.43-7.53$ %), а также результаты экспериментальных исследований водостойчивости неповрежденных крупнообломочных грунтов обеих трубок выявили преимущественно низкую предрасположенность обломков к разрушающему воздействию воды. Циклы «замораживания – оттаивания» водонасыщенных

обломков не показали каких-либо существенных признаков их разрушения, что позволяет говорить об их достаточной морозостойкости.

Слаботрещиноватые обломки, находящиеся в природном рассоле, при попеременной его кристаллизации и возвращении в жидкое состояние, практически полностью разрушились до дресвяно-щебенистого материала [6].

При размокании слабосцементированных агрегатов проявилось нарушение связности грунта и последующее его превращение в рыхлую массу с полной потерей прочности. В зависимости от времени разрушения (десятки минут – часы) данная группа грунтов относится к мало- и средневодоустойчивым разновидностям.

Таким образом, присутствующие в составе общей грунтовой массы малопрочные обломки при разрушении увеличивают количество пылеватого и тонкопесчаного материала, что определяет невысокие значения пределов текучести (среднее значение составляет 23.6 %) для заполнителя.

Определение коэффициента фильтрации показало, что тонкодисперсный материал осыпей обладает низкими водопрпускными способностями ($K_f = 0.03-0.58$ м/сут), что обуславливает удержание воды в техногенной толще. Коэффициент фильтрации материала-заполнителя крупнообломочных грунтов рудопородной подушки варьируется от 3.1 до 7.8 м/сут. Такая разница значений объясняется наличием глинистого материала в осыпях «Айхала».

Измеренные углы естественного откоса осыпей в воздушно-сухом состоянии составили $29-33^\circ$, при полном погружении в воду – $24-28^\circ$, при этом установлена общая закономерность снижения угла на $4-6.5^\circ$, что является признаком склонности песчано-глинистых грунтов к плавунности. Аналогичная ситуация наблюдается и в грунтах рудопородной подушки, которые также проявляют склонность к плавунности. Угол естественного откоса в воздушно-сухом состоянии – $31-34.5^\circ$, при полном погружении в воду – $21-25^\circ$. В среднем угол снижается на $9-11.5^\circ$.

Значения седиментационного объема обвальнo-осыпных отложений карьера «Айхал» находятся в пределах $3.5-6.1$ см³, что соответствует II-ому типу ($V = 3.3-10.0$ см³) потенциально плавунных грунтов, характеризующихся пылевато-глинистым составом. В техногенных грунтах рудопородной подушки карьера «Удачный» выделяются два типа плавунных песков: I-ый тип ($V = 2.8-2.9$ см³) – плавунные пески без структурных связей; II-ой тип ($V = 3.1-4.1$ см³) – плавунные пески пылевато-коллоидной группы.

4. Заключение

По результатам проведенных инженерно-геологических лабораторных и экспериментальных исследований техногенных отложений массивов осыпей карьера-рудника «Айхал» и предохранительной рудопородной подушки карьера-рудника «Удачный» может быть дана следующая характеристика:

Техногенный массив карьера-рудника «Айхал» представляет собой частое переслаивание крупнообломочного грунта с песчаным заполнителем и глинистого. Состояние глинистого материала варьируется от твердого до текучепластичного; отмечаются признаки проявления плавунности. Также грунты обладают избыточной степенью засоленности, что может значительно сказываться на их деформационно-прочностных свойствах, а значит и устойчивости всего грунтового массива. Крупнообломочный материал преимущественно является прочным и не проявляет каких-либо существенных признаков разрушения при оказании на него внешнего воздействия воды и температуры. Наличие слабосцементированных агрегатов и слаботрещиноватых обломков, подверженных разрушающему воздействию воды (рассола), определяет потенциал увеличения количества тонкодисперсного материала в грунтах.

Техногенный массив карьера-рудника «Удачный» преимущественно представлен крупнообломочными грунтами с песчаным и супесчаным заполнителем. Состояние

заполнителя варьируется от твердого до пластичного. Присутствуют признаки проявления пльвинности. Степень засоления изменяется от слабой до сильной, что значительно ниже, чем у айхальский осыпей. Крупнообломочный материал по своим прочностным параметрам аналогичен крупнообломочным грунтам карьера-рудника «Айхал».

Полученные данные можно рассматривать как основу для дальнейшего изучения состава, состояния и свойств техногенных грунтовых толщ, а также закономерностей их изменения при различном внешнем воздействии.

Библиографический список

- [1] Дроздов А.В. Криогидрогеология алмазных месторождений Западной Якутии / А.В. Дроздов, Н.А. Иост, В.В. Лобанов. — Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2008. — 507 с.
- [2] Гладков А.С. Оценка структурно-тектонического строения глубоких горизонтов трубки «Айхал» для постановки гидрогеомеханического мониторинга / А.С. Гладков, А.В. Дроздов, Д.А. Кошкарев [и др.] // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. — 2015. — №2 (51). — С. 46-56.
- [3] Анисимов К.А. Современные технологии отработки алмазоносных месторождений / К.А. Анисимов, А.В. Никифоров // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов. — 2023. — Т. 334, № 1. — С. 196-208.
- [4] Ломтадзе В.Д. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований. — Ленинград: Недра, 1990. — 328 с.
- [5] Рыбченко А.А. Влияние гранулометрического состава на консистенцию техногенных отложений алмазодобывающих месторождений Якутии (Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами / А.А. Рыбченко, В.В. Акулова, А.М. Янников, Е.П. Душкин // Материалы V Всероссийской научной конференции с международным участием имени профессора С.Л. Шварцева, 16-21 октября 2023 г. — Томск: Изд-во ТПУ. — 2023. — С. 350-354.
- [6] Душкин Е.П. Экспериментальные исследования техногенных грунтов карьера «Айхал» (Строение литосферы и геодинамика / Е.П. Душкин, В.В. Акулова // Материалы XXX Всероссийской молодежной конференции. — Иркутск: Институт земной коры СО РАН. — 2023. — С. 87-89.

Развитие дренажного комплекса в связи с увеличением чаши карьера Михайловского ГОКа им. А.В. Варичева (КМА)

В.В. Кушнерчук, В.В. Хаустов, И.М. Игнатенко

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

Email: khaustov@bsu.edu.ru

Аннотация. Рассмотрены геолого-гидрогеологические особенности Михайловского месторождения железных руд (КМА). Показаны результаты длительного влияния функционирования дренажного комплекса карьера на геологическую среду района. Дана краткая характеристика комплексной системы осушения карьерного поля. Результаты статистической обработки и анализа фактических данных последнего десятилетия позволили установить тенденцию относительной стабилизации режима водоносных комплексов и объема водопритоков в карьер. Выполнена прогнозная оценка водопритоков из батского водоносного горизонта (как наиболее водообильного) с учетом развития карьера и дренажной системы с использованием разработанной численной гидродинамической модели средствами популярной программы «Modflow». Решена прогнозная задача на период проектного развития карьера

до 2032 г. при его расширении в северном и западном направлениях, расчетные величины водопритоков составили 1700 м³/ч., что подтвердило отсутствие вероятности значительного изменения объемов притоков подземных вод в ближайшие годы. По результатам прогнозного моделирования определено количество необходимых дренажных узлов - восстающих дренажных скважин и разработана схема их расположения, необходимых для осушения северо-западного борта карьера вплоть до 2032 г.

1. Введение

Курская магнитная аномалия (КМА) является крупнейшей железорудной провинцией в мире. Ее площадь составляет 125000 км², в пределах которой локализовано 18 месторождений и 26 перспективных участков с общими запасами порядка 51 млрд. тонн [1].

Одним из крупнейших месторождений КМА является Михайловское железорудное месторождение (северо-запад Курской области). Его промышленное освоение открытым способом сопровождается выемкой и перемещением огромных масс горных пород и руд, дренированием внушительного количества подземных вод, что существенно изменяет напряженно-деформационное состояние массивов горных пород, а также гидрогеологические и экологические условия района.

Длительное функционирование дренажного комплекса карьера способствует, с одной стороны, образованию и развитию депрессионных воронок в водоносных горизонтах и комплексах, увеличению мощности обширной зоны аэрации и пр., то есть формированию контрастных техногенных гидрогеодинамического и гидрогеохимического режимов. В свою очередь, последние способствует активизации разнообразных инженерно-геологических процессов - осыпей, обвалов, оползней, оплывин, суффозии, объемных деформаций в массивах пород, что прямо или опосредованно негативно отражается на работе всего дренажного комплекса карьера. В этой связи, для надежного обеспечения выполнения планов МГОКа по добыче 50 млн. т руды в год на период до 2032 г. исследования гидрогеологических и инженерно-геологических процессов в пределах функционирующего карьера весьма актуальны.

2. Материалы и методы

Работа выполнена с использованием комплексного метода исследований, включающего анализ опубликованных источников и результатов натурных исследований, численное моделирование гидрогеологических процессов, а также экспериментальную проверку разработанных рекомендаций. В основу работы положены многочисленные фондовые материалы, научные публикации в открытой печати, а также результаты проведенных натурных исследований. В качестве инструментов исследования применен программно-аппаратный комплекс общедоступных программ (Modflow, Surfer, Statistica, Excel), позволяющие решать сложные прогностические инженерные задачи.

3. Результаты исследования и их анализ

Михайловское железорудное месторождение характеризуется достаточно сложным геологическим строением (несмотря на горизонтальное и субгоризонтальное залегание стратифицированной толщи осадочного чехла), являющимся результатом длительной геотектонической эволюции всего региона КМА и оказывающим значительное влияние на гидрогеологические условия и открытую разработку железных руд в целом. Гидрогеологическое поле Михайловского месторождения железных руд занимает сводовую часть Воронежского массива и частично его склоны и представляет собой открытую гидрогеологическую структуру с интенсивным вертикальным водообменом. Таким образом, гидрогеологические условия Михайловского железорудного месторождения отличаются прежде всего наличием мощного осадочного чехла, перекрывающего его, в пределах которого

выделены водоносные горизонты в песчаных отложениях четвертичной, меловой и юрской систем, песчаных и карбонатных образованиях девонской системы и в трещиноватых архей-протерозойских кристаллических породах. А выдержанная глинистая келловейская толща делит гидрогеологический разрез на два водоносных комплекса: надкелловейский комплекс, включающий безнапорные горизонты в песчаных четвертичных и меловых отложениях, и подкелловейский напорно-безнапорный комплекс водоносных горизонтов в батских, девонских и архей-протерозойских породах [2, 3].

В целом, гидрогеологические условия месторождения характеризуются как весьма сложные (согласно классификации месторождений, разработанной во ВНИМИ: III категория - особо сложные.). Естественный режим подземных вод в пределах месторождения в результате мероприятий по осушению существенно нарушен. Основными обводняющими карьер МГОКа водоносными горизонтами являются альб-сеноманский, батский, девонский, рудно-кристаллический, а также приток дождевых и талых поверхностных вод.

В связи со значительными размерами карьерного поля, а также для уменьшения объема вскрыши и повышения экономической эффективности добычи руды его осушение осуществляется комбинированно-поверхностным и подземным способами.

Водоносные горизонты верхнего комплекса безнапорные, дренируются бортами карьера. Осушение отложений комплекса, сбор дождевых и паводковых вод осуществляется с помощью прибортовых дренажных канав, откуда отводится к отстойникам и зумпфам водосбросных скважин и по ним перепускается в горные выработки подземного дренажного комплекса (ПДК).

Водоносные горизонты подкелловейского комплекса осушаются комбинированно - системой насосных установок в карьере, для чего создана система подземных выработок и пробуренных из них восстающих скважин на все водоносные горизонты и дренажные узлы. ПДК включает 5 шахтных стволов и 67.4 км дренажных горных выработок, расположенных в трех уровнях: горизонт +50м, горизонт -20 м, горизонт -100 м.

Установлено, что за последнее время среднегодовой приток к шахтному водоотливу изменялся в пределах 2150...2830 м³/ч, из которых порядка 300 м³/ч дренажных вод поступает из надкелловейского водоносного комплекса, около 1500 м³/ч – из батского водоносного горизонта, 100 м³/ч составляют притоки из девонских и руднокристаллических отложений и 250÷930 м³/ч атмосферные осадки. Статистическая обработка и анализ фактических данных последнего десятилетия с учетом оценки водопритокков, ранее полученных другими исследованиями (ВИОГЕМ, НТЦ НОВОТЭК, АОЗТСП «Геолинк», ООО «СПб-Гипрошахт» и др.) позволила установить тенденцию относительной стабилизации режима водоносных комплексов и объема водопритокков в карьер МГОКа. Последнее дает основание предположить, что в ближайшие годы объемы водопритокков в карьер за счет подземных вод не изменятся значительно [4].

Для подтверждения установленной тенденции выполнена прогнозная оценка водопритокков из батского водоносного горизонта (как наиболее водообильного) с учетом развития карьера и дренажной системы с использованием разработанной численной гидродинамической модели средствами лицензионной программы «Modflow» программного комплекса GMS [5]. Прогнозная задача решена на период проектного развития карьера до 2032 г. при его расширении в северном и западном направлениях, расчетные величины водопритокков составили 1700 м³/ч., что подтвердило отсутствие вероятности значительного изменения объемов притоков подземных вод в ближайшие годы.

Система дренажа, в целом, эксплуатируется в соответствии с проектными решениями, а состояние подземных горных выработок ПДК удовлетворительное (при суммарной протяженности обслуживаемых горных выработок порядка 37 км). Тем не менее, многолетняя практика эксплуатации ПДК свидетельствует о том, что основная производственная проблематика его работы связана со сложностями сопряженного функционирования с

карьером, а также с периодическими нарушениями нормального режима эксплуатации восстающих дренажных скважин вплоть до полного выхода из строя некоторых из них.

4. Обсуждение

Планируемое развитие карьера МГОКа связывается с продвижением фронта работ, в основном, в северо-западном направлении, а также работами по объединению Южного и Центрального карьеров. Согласно проведенному численному моделированию и прогнозным расчетам, общий приток дренажных вод в карьер увеличится на 9%. Такой рост (порядка 5175 м³/ч) обусловлен дополнительным поступлением воды при увеличении размера дренажного контура в северо-западном направлении, а также ростом притока из трещиноватой зоны кварцитов. Прогнозируется среднегодовой приток в карьер порядка 27 млн. м³ [2-7].

В связи с продвижением открытых горных работ в северо-западном направлении и необходимости осушения восстающими дренажными скважинами этого участка, требуется сооружение вдоль северо-западного борта карьера дренажного штрека на горизонте минус 100 м протяженностью порядка 5 км. Отвод дренажных вод по нему будет осуществляться к проектируемому водоотливному комплексу горизонта -100 м. Следует также отметить, что сооружение дренажного штрека у границ горного отвода обеспечит перехват более 90 % подземных вод на северо-западном борту карьера, что создаст благоприятные и безопасные условия отработки северо-западного борта карьера, уменьшит приток дренажных вод из батских песков («проскок» через контур дренажных восстающих скважин) к карьерному водоотливу, а это практически исключает риск возникновения оползневых явлений на северо-западном борту карьера. Удельный приток в результате сооружения подобного дренажного штрека у границ горного отвода уменьшится в 1,5 раза (с 1,2 до 0,8 м³/сут на 1 п.м откоса).

По результатам прогнозного моделирования определено количество необходимых дренажных узлов - восстающих дренажных скважин и разработана схема их расположения (Рисунок 1), необходимых для осушения северо-западного борта карьера вплоть до 2032 г.

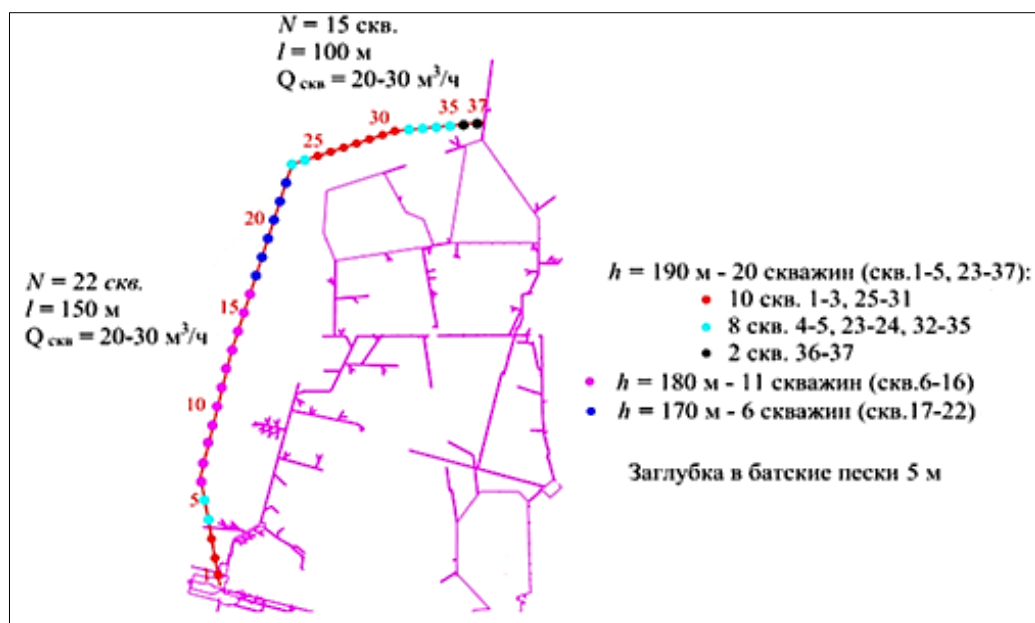


Рисунок 1. Расположение дренажных восстающих скважин на горизонте «минус 100 м»

Объемы работ по сооружению восстающих дренажных скважин представлены в таблице 1.

Таблица 1

Объемы работ по сооружению восстающих дренажных скважин

Показатели	Горизонт -100 м			
	Северный борт	Западный борт		
Номера скважин	23÷37	1÷5	6÷16	17÷22
Количество скважин в узле, шт.	1	1	1	1
Количество скважин, шт	15	5	11	6
Общее количество скважин, шт.	37			
Дебит узла восстающих скважин, м ³ /ч	20÷30			
Длина скважины, м	190	190	180	170
Метраж бурения, м	2850	950	1980	1020
Общий метраж бурения, м	6800			

5. Заключение

Закономерности формирования гидрогеологической ситуации района исследования обусловлены существенным влиянием техногенеза горнопромышленного профиля. С использованием разработанной численной гидродинамической модели гидрогеологического поля карьера получено прогнозное распределение уровней подземных вод батского водоносного горизонта (как основного обводняющего) на период до 2032 г., позволившее выявить, что основная доля поступления воды приходится на северо-западный и западный борты карьера (более 87 %).

Для надежного обеспечения выполнения планов МГОКа по добыче 50 млн. т руды в год на период до 2032 г. и с учетом увеличения размеров чаши карьера разработана технологическая схема развития подземного дренажного комплекса посредством сооружения дренажного штрека на горизонте минус 100 м и дренажных узлов - восстающих дренажных скважин, необходимых для осушения северо-западного борта карьера.

Библиографический список

- [1] Голивкин Н.И. Железные руды КМА / Н.И. Голивкин, Н.Д. Кононов, В.П. Орлов [и др.]. — М.: Геоинформмарк, 2001. — 615 с.
- [2] Смирнов Б.Н. Геология, гидрогеология и железные руды бассейна Курской магнитной аномалии В 3 т. Т.2: Гидрогеология и инженерная геология / Б.Н. Смирнов, Л.П. Викторова, В.В. Котлов [и др.]. — М.: Недра, 1969–1972. — 480 с.
- [3] Смольянинов В.М. Подземные воды Центрально-Черноземного региона: условия их формирования, использование — Воронеж: Истоки, 2003. — 250 с.
- [4] Хаустов В.В. Некоторые проблемы эксплуатации восстающих дренажных скважин на Михайловском ГОКе / В.В. Хаустов, В.В. Кушнерчук // Гидрогеология и карстоведение. Пермь: ПГНИУ. — 2023. — Вып. 21. — С. 21-31.
- [5] Harbaugh A.W. MODFLOW-2005, the U.S. Geological Survey modular ground-water model - the Ground-Water Flow Process (U.S. Geological Survey Techniques and Methods) Persistent. 2005. URL: <http://pubsdata.usgs.gov/pubs/tm/2005/tm6A16/>
- [6] Козуб А.В. Опыт освоения и осушения месторождения в сложных гидрогеологических условиях / А.В. Козуб, Р.И. Исмагилов, Б.П. Бадтиев, В.В. Кушнерчук, О.Б. Вольхин // Горная Промышленность. — 2019. — № 5. — С. 12-14.
- [7] Квачев В.Н. Основные направления цифровизации гидрогеологических процессов на Михайловском ГОКе им. А.В. Варичева / В.Н. Квачев, Е.В. Леонтьева, В.В. Хаустов, А.В. Козуб, В.В. Кушнерчук // Горная промышленность. — 2020 — № 3. — С. 91-97.

Исследование консолидации и ползучести келловейских глин района Михайловского железорудного месторождения (КМА)

Е.М. Игнатенко, В.В. Хаустов, И.М. Игнатенко, А.В. Овчинников

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

Email: ignatenko_e@bsu.edu.ru

Аннотация. При наличии в грунтовых основаниях зданий и инженерных сооружений глинистых грунтов могут развиваться осадки, нередко в течение всего срока их эксплуатации. Для возможности прогноза долговременных осадков на стадии инженерных изысканий проводят лабораторные испытания грунтов в одометре, которые, к сожалению, не способны отразить в полной мере процессы, протекающие в основаниях фундаментов ограниченных размеров. Приведена авторская разработка оригинальной штамповой установки для более достоверного прогноза долговременных осадков (ползучести) глинистых грунтов. Разработана методика лабораторных испытаний, на основе которых можно рассчитать коэффициент вторичной консолидации глинистых грунтов для более точной оценки скорости долговременных осадков зданий и сооружений. Приводятся результаты длительного опыта с образцом келловейской глины ненарушенной структуры и сопоставление их с результатами подобных испытаний в традиционном компрессионном приборе.

1. Введение

Практика проектирования строительства и эксплуатации зданий и инженерных сооружений показывает, что осадки основания всегда развиваются во времени. В то же время к прогнозу скорости осадков оснований во времени в проектах не уделяется должного внимания. Как представляется, подобная ситуация связана, во-первых, с отсутствием в нормативных документах (СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений, 2011) требований по прогнозированию НДС оснований фундаментов из глинистых грунтов, во-вторых, - с недостаточными исследованиями осадков оснований во времени [1-3 и др.] и, в-третьих, - с ограниченностью лабораторных способов и устройств для их определения [4].

Современный уровень экспериментальных исследований ползучести глинистых грунтов в основаниях зданий и инженерных сооружений, а также масштабных техногенных образований (отвалов), связанных с горным производством, ТЭК и пр., не позволяет предложить адекватную расчетную модель грунта, учитывавшую различные свойства грунтов при их деформировании в процессе взаимодействия с сооружениями и окружающей геологической средой. В связи с чем, исследования в области специальных экспериментальных исследований грунтов в приборах трехосного сжатия по различным траекториям нагружения весьма актуальны.

2. Материалы и методы

В исследованиях использован экспериментально-теоретический метод. Для экспериментального исследования процесса вторичной консолидации глинистых грунтов в условиях сложного напряжённого состояния разработана и апробирована оригинальная лабораторная штамповая установка. С помощью этой установки проведены лабораторные испытания консолидации келловейских глин, отобранных из борта карьера Михайловского железорудного месторождения (КМА).

3. Результаты исследования и их анализ

Строительство уникальных сооружений с фундаментами больших размеров и повышенными нагрузками, а также создание массива техногенных образований (отвалы пустых пород) при разработке месторождений полезных ископаемых, способствуют тому, что глинистые отложения основания могут оказаться в активной зоне их влияния [4]. Например, на Михайловском железорудном месторождении келловейские глины залегают в пределах толщи вскрышных пород, перекрывающих железистые кварциты. Благодаря этому имеется возможность изучить их свойства в качестве грунтовых оснований.

Келловейские глины имеют сложный полиминеральный состав, относятся к слабо набухающим бентонитоподобным глинам. Инженерно-геологическими исследованиями установлена природная неоднородность келловейских глин в различных участках карьерного поля по химическому, минеральному составу и физико-химическим свойствам. При мощности пласта глины в забое 35 метров свойства глины изменяются через каждые 1,5–5 м, что свидетельствует о крайне изменчивых условиях осадкообразования в юрском бассейне. Неоднородность обусловлена неравномерностью массовых долей основного набухающего глинистого минерала - монтмориллонита в объеме глины. Монтмориллонит образует чрезвычайно мелкие листочки, чешуйки, волокнообразующие выделения, придающие глине повышенную сорбционную емкость в связи с высокой удельной поверхностью.

Авторами была отобрана серия образцов ненарушенной структуры из уступа карьера твёрдой консистенции для последующих лабораторных испытаний.

Для определения коэффициента вторичной консолидации C_α вначале использовался традиционный одометр системы ГИДРОПРОЕКТа. Давление 0,53 Мпа передавалось на образец грунта одной ступенью. Деформации образца фиксировались по двум индикаторам часового типа. Установка имела специальную площадку для крепления фотоаппарата с целью макросъёмки. За счёт использования фотофиксации перемещения можно было оценивать с точностью 0,001 мм.

Коэффициент вторичной консолидации C_α (безразмерная величина) определён по тангенсу угла наклона (Рисунок 1) между линейным участком кривой на участке вторичной консолидации и прямой параллельной оси абсцисс в виде:

$$C_\alpha = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\varepsilon(t_2) - \varepsilon(t_1)}{\lg(t_2) - \lg(t_1)} = \frac{0,0860 - 0,0829}{5,00 - 3,40} = 0,0019, \quad [1]$$

где $\varepsilon(t_2)$ и $\varepsilon(t_1)$ значения деформации образца на участке вторичной консолидации; t_2 и t_1 , время, соответствующее деформациям $\varepsilon(t_2)$ и $\varepsilon(t_1)$.

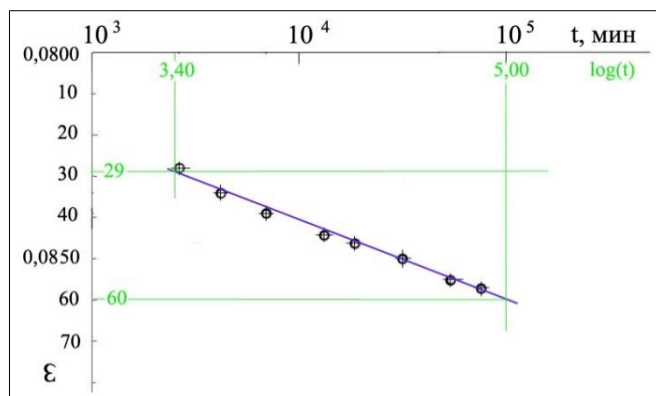


Рисунок 1. График обработки кривой консолидации логарифмическим методом

Недостаток метода состоит в том, что в процессе испытания проявляется малая доля деформаций ползучести (вторичной консолидации), а именно только объёмная ползучесть. Кроме того, существует сдвиговая ползучесть, которая проявляется при возможности бокового расширения образца при его нагружении вертикальной нагрузкой.

Для экспериментального исследования процесса вторичной консолидации в условиях сложного напряжённого состояния нами разработана и изготовлена специальная лабораторная штамповая установка (Рисунок 2) [5].

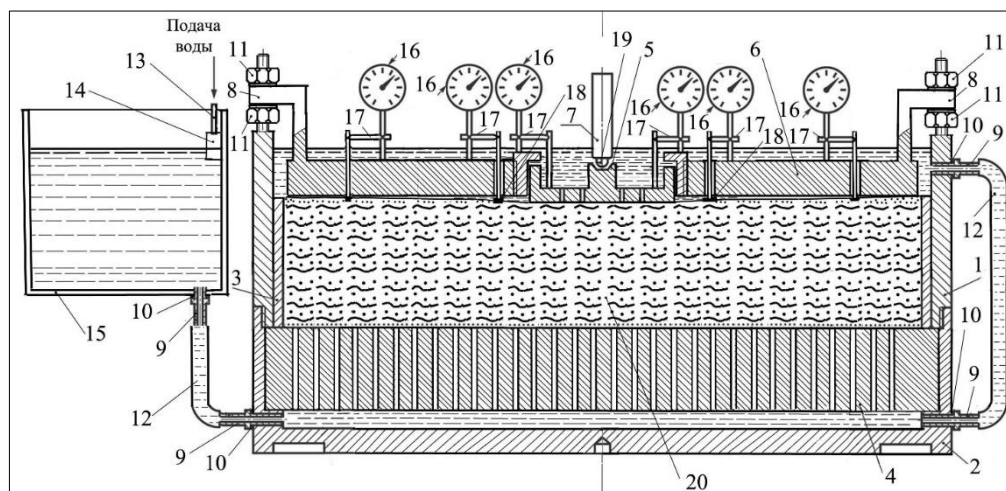


Рисунок 2. Лабораторная штамповая установка:

1 — корпус; 2 — основание корпуса; 3 — обойма; 4 — перфорированный вкладыш; 5 — перфорированный основной штамп; 6 — пригрузочный штамп; 7 — шток; 8 — консоль; 9 — штуцер; 10 — резиновая прокладка; 11 — гайка; 12 — шланг; 13 — стеклянная трубка; 14 — регулятор и датчик уровня; 15 — резервуар; 16 — индикатор; 17 — держатель индикатора; 18 — поверхностная марка; 19 — шарик; 20 — образец грунта.

Принцип работы устройства следующий. На основание корпуса 2 с перфорированным вкладышем 4 крепится корпус 1. Образец грунта 20, как правило, ненарушенной структуры, в обойме 3, устанавливается на перфорированный вкладыш 4. На выровненную, плоскую поверхность образца грунта устанавливается пригрузочный штамп 6. Положение пригрузочного штампа 6 фиксируется с помощью консоли 8 и гаек 11. Если испытываются набухающие грунты требуемой консистенции, отличной от природной, с помощью гаек создаётся необходимый зазор между пригрузочным штампом и поверхностью образца для набухания, либо производится постепенное обжатие для уменьшения влажности. Гидравлическая система прибора с резервуаром 15 заполняется водой через стеклянную трубку 13. Уровень воды в системе регулируется с помощью регулятора и датчика 14. Опыт на вторичную консолидацию может продолжаться несколько месяцев, поэтому требуется автоматическое пополнение воды в системе. Резервуар 15 соединён с основанием корпуса и корпусом с помощью шлангов 12 через штуцеры 9. Для уменьшения потерь воды штуцеры крепятся через резиновые прокладки 10.

Вертикальная нагрузка к перфорированному основному штампу 5 передаётся штоком 7 через металлический шарик 19. Вся нагрузка прикладывается сразу. По индикаторам 16, установленным с помощью держателей 17 отслеживаются вертикальные перемещения штампа 5 и поверхностных марок 18.

Сравнение осадок штампов и их скоростей для компрессии и пространственной деформации приведено в таблице 1.

Таблица 1

Осадки штампов и их скоростей для компрессии и объемной деформации

№№ точек	1	2	3	4	5	6	7	8
Log(t), мин	3 ,28	3 ,62	3, 92	3, 94	4, 21	4, 31	4, 41	5, 16

А. Компрессионное испытание в одометре ГИДРОПРОЕКТа								
Осадка S_K , мм		2 ,05	2, 12				2, 14	2, 16
Скорость осадки, S_K^1 мм/мин 10^{-5}		0 ,90	0, 19				0, 08	0, 01
Б. Испытания при возможности бокового расширения								
Осадка $S_{Ш}$, мм	2 ,52			2, 67	2, 73	2, 78		3, 06
Скорость осадки, $S_{Ш}^1$ мм/мин 10^{-5}	9 ,1			1, 6	0, 57	0, 57		0, 20

4. Обсуждение

Наиболее чувствительны к техногенным воздействиям глинистые породы, для которых характерно преобразование состояния и свойств под влиянием напряженного состояния, физико-химических условий. Опыт строительства свидетельствует, что осадки сооружений в отдельных случаях протекают десятилетия. Замедление развития во времени осадок связано с фильтрационной (первичной) консолидацией и ползучестью (вторичной консолидацией) грунта.

Проблема обеспечения прочности, долговечности и безопасности горных и строительных объектов при их проектировании и строительстве остается приоритетной. Ее решение во многом зависит от правильной оценки осадки, обусловленной консолидацией грунтов. При наличии в грунтовых основаниях глинистых грунтов осадки сооружений могут развиваться в течение всего срока эксплуатации.

В практике строительства наблюдаются довольно частые случаи медленных деформаций грунтов в основании сооружений, откосах и склонах, в результате чего возникают аварийные ситуации. Причиной длительных деформаций является ползучесть грунтов. В зависимости от вида напряженного состояния массива грунтов может проявляться объемная или сдвиговая ползучесть.

Главный результат, который вытекает из сопоставления результатов испытаний в различных приборах, состоит в том, что по истечению 3-х месяцев испытаний скорость осадки в стандартном одометре оказывается в 20 раз меньше, чем при возможности боковых деформаций в оригинальной штамповой установке. Поэтому продолжительность лабораторных опытов должна быть намного больше, чем это установлено ГОСТ (ГОСТ 12248-2010 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости, 2011).

5. Заключение

Осадка штампа при возможности бокового расширения образца, как и следовало ожидать, превосходит осадку штампа при компрессии. Таким образом, технический результат, заключающийся в повышении точности и достоверности результата лабораторного исследования скорости вторичной консолидации образца грунта достигнут.

Учет консолидации грунтов является важным фактором в проектировании горных и строительных объектов, так как неправильный расчет грунтовых оснований может привести к нарушению регламентных условий эксплуатации или даже разрушению различных технических объектов.

Лабораторные испытания глинистых грунтов в традиционных одометрах для оценки вторичной консолидации не отражают в полной мере процесс, протекающий под фундаментами ограниченных размеров. Логарифмическая зависимость во времени для описания долговременных осадок инженерных сооружений плохо согласуется с результатами натурных наблюдений [4]. Причина различия состоит в том, что в одометре происходят объемные деформации, и практически нет деформаций сдвига.

Для лабораторных испытаний глинистых грунтов с целью получения адекватной оценки вторичной консолидации может быть использована описанная выше штамповая установка, допускающая сдвиговые деформации в процессе опыта.

Библиографический список

- [1] Зарецкий Ю.К. Вязко-пластичность грунтов и расчеты сооружений. — М.: Стройиздат, 1988. — 349 с.
- [2] Тер-Мартirosян З.Г. Механика грунтов. — М.: МГСУ, Изд-во Ассоц. строит. вузов, 2009. — 551 с.
- [3] Тер-Мартirosян З.Г. Консолидация и ползучесть оснований фундаментов конечной ширины / З.Г. Тер-Мартirosян, А.З. Тер-Мартirosян, Нгуен Хуи Хиен // Вестник МГСУ. — 2013. — № 4. — С. 38-51.
- [4] Капустин В.В. Исследования вторичной консолидации грунтов / В.В. Капустин, В.В. Хаустов, В.К. Капустин // Промышленное и гражданское строительство. — 2017. — № 5. — С. 62-66.
- [5] Патент № 2804760 Российская Федерация, RU 2804760 С1. Устройство для лабораторного исследования скорости вторичной консолидации грунта: опубл. 05.10.2023 / Хаустов В.В., Игнатенко И.М., Бредихин В.В., Сварич Н.В., Игнатенко Е.М.

Исследование морозного пучения на территории ГОКа «Светловский»

А.А. Жаров, Ю.В. Вашестюк

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

E-mail: zharov_andreyka@mail.ru, vashestyuk_yv@istu.edu

Аннотация. При строительстве на пучинистых грунтах необходимо обеспечить прочность, устойчивость и эксплуатационную пригодность зданий и сооружений. В статье представлены результаты лабораторных испытаний грунтов с целью выявления грунтов подверженных морозному пучению на территории ГОКа «Светловский», далее на основе анализа результатов испытаний были даны рекомендации для строительства инженерных сооружений.

1. Введение

Проблемы, связанные с морозным пучением грунтов, широко распространены в странах, где климатические условия вызывают сезонное промерзание деятельного слоя [1]. Под морозным пучением понимается процесс увеличения объема тонкодисперсных пород при промерзании, которое связано с расширением содержащейся в них воды (почти на 9-11%) и выделением льда. Наиболее интенсивно пучение проявляется в глинистых пылеватых и сильно пылеватых породах четвертичного возраста, т.е. в породах малой и сравнительно малой степени литификации.

Расположенные в пучинистых грунтах фундаменты подвергаются выпучиванию, т.е. перемещаются вверх, если действующие на них нагрузки не уравнивают силы пучения. В результате таких деформаций грунта в фундаменте возникают нагрузки, приводящие, например, к возникновению трещин в стенах здания и самом фундаменте [3].

В целом морозное пучение пород определяется их дисперсностью, гранулометрическим и минеральным составом, исходной влажностью и плотностью, составом обменных катионов, уровня грунтовых вод, внешней нагрузки, температуры, скорости и глубины промерзания

Объем грунта при его промерзании увеличивается на 10—50 и даже 100%. Рост объема грунта при промерзании (пучении) сопровождается резким увеличением влажности грунта с

образованием в нем льда в виде линз и прослоек. Пучение грунта развивается вследствие притока (миграции) воды к фронту промерзания из нижележащих слоев (открытая система).

Решающим фактором, вызывающим пучинистость грунта, является его влажность перед промерзанием, с увеличением которой до определенного предела морозоопасность возрастает. При определении степени пучинистости грунта необходимо учитывать положение и возможное изменение уровня подземных вод.

Для прогнозирования характеристик пучения (относительной деформации пучения) грунтов необходимо установление ряда нормативных значений исходных показателей, к которым в первую очередь относятся:

- зерновой (гранулометрический) состав грунта;
- влажность грунта;
- плотность скелета грунта;
- плотность твердых частиц грунта;
- пластичность грунта;
- положение уровня подземных вод;
- средняя температура и продолжительность периода промерзания;
- мощность слоя промерзшего грунта.

Цель работы: проведение лабораторных испытаний с целью выявления грунтов, подверженных морозному пучению на территории ГОКа «Светловский».

Задачи:

- 1) проанализировать данные, полученные в ходе прохождения производственной практики;
- 2) дать рекомендации при строительстве зданий и сооружений на пучинистых грунтах.

2. Методы исследований

Методика проведения испытаний была сделана согласно. Метод лабораторного определения степени пучинистости.

Оборудование: Измеритель степени пучинистости грунта УПГ-МГ4 «Грунт».



Рисунок 1. Измеритель степени пучинистости грунта УПГ-МГ4 «Грунт»

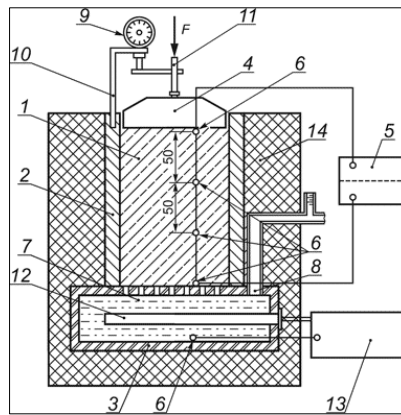


Схема 1. Установка для определения степени пучинистости грунта:

- 1 — образец грунта; 2 — обойма; 3 — поддон с водой и капиллярно-пористым материалом; 4 — штамп; 5 — прибор для измерения температуры; 6 — датчики температуры; 7 — вода и капиллярно-пористый материал; 8 — устройство для подачи воды (емкость с водой); 9 — индикатор перемещения; 10 — кронштейн; 11 — шток механизма для нагружения образца грунта; 12 — тэн; 13 — терморегулятор; 14 — теплоизоляционный кожух.

Отбор, упаковка, транспортирование и хранение монолитов и образцов грунта нарушенного сложения должны проводиться в соответствии с требованиями ГОСТ 12071-2014.

Проведение испытаний:

Образец грунта в обойме, смазанной внутри тонким слоем технического вазелина или покрытой слоем антифрикционного материала, помещают в установку на увлажненный капиллярно-пористый материал поддона и проводят следующие операции:

- проверяют положение штока механизма для нагружения образца по отношению к центру образца;
- устанавливают прибор для измерения вертикальных деформаций образца грунта;
- заполняют поддон и емкость водой или подключают систему непрерывного подтока воды к образцу и ее обогрева;
- устанавливают термодатчики в образец грунта;
- к образцу грунта плавно, не допуская ударов, прикладывают нагрузку, создавая давление;
- записывают начальные показания приборов.

Температура на верхнем торце образца грунта должна составлять минус $(4 \pm 0,2) ^\circ\text{C}$, для засоленных грунтов $(T_{bf} - 2,5) ^\circ\text{C}$, где T_{bf} - температура начала замерзания исследуемого грунта. Допускается температуру испытаний принимать, исходя из температурных и грунтовых условий исследуемой площадки. Задаваемая температура должна обеспечить скорость перемещения фронта промерзания аналогично природным условиям.

Включают автоматизированную систему для поддержания положительной температуры воды в поддоне, равной $(2 \pm 0,2) ^\circ\text{C}$.

В ходе испытания через каждые 12 ч снимают показания приборов для измерения вертикальной деформации и температуры верха и низа образца грунта.

Во время испытания следят за непрерывностью подтока воды к образцу грунта и поддержанием температуры воды в поддоне.

Испытание прекращают при промораживании образца грунта до глубины 100 мм.

Сразу после окончания испытания образец грунта извлекают из обоймы, разрезают вдоль вертикальной оси, измеряют фактическую толщину промерзшего слоя (за исключением зоны пластично-мерзлого грунта) и описывают его криогенную текстуру.

Обработка результатов:

Относительную деформацию морозного пучения образца грунта вычисляют с точностью 0,01 по формуле:

$$\varepsilon_{fh} = \frac{h_f}{d_i} \quad [1]$$

где h_f - вертикальная деформация образца грунта в конце испытания, мм;
 d_i - фактическая толщина промерзшего слоя образца грунта, мм.

3. Морозное пучение на территории ГОК «Светловский»

Наибольшая величина пучения наблюдается на переувлажненных участках.

Повышение влажности грунтов, подвергающихся сезонному промерзанию-оттаиванию, увеличивает степень их морозного пучения, вызывает усиление грунтовой коррозии, что влияет на эксплуатационную надежность сооружений.

Наиболее подвержены пучению торф, песок мелкий и супесь пластичной консистенции.

По результатам определения пучинистых свойств грунтов, согласно ГОСТ 28622-2012 грунты:

Торф твердомерзлый, среднеразложившийся, льдистый, при оттаивании маловлажный – чрезмернопучинистый и сильнопучинистый;

Супесь песчанистая, пластичномерзлая, массивной криотекстуры, слабольдистая, при оттаивании пластичная - среднепучинистая;

Песок мелкий твердомерзлый с включением щебня и гравия до 15%, слабольдистый, массивной криотекстуры, при оттаивании средней степени водонасыщения – слабопучинистый.

Нормативная глубина сезонного промерзания составляет 3,7-5,2 м.

4. Результаты исследования и их анализ

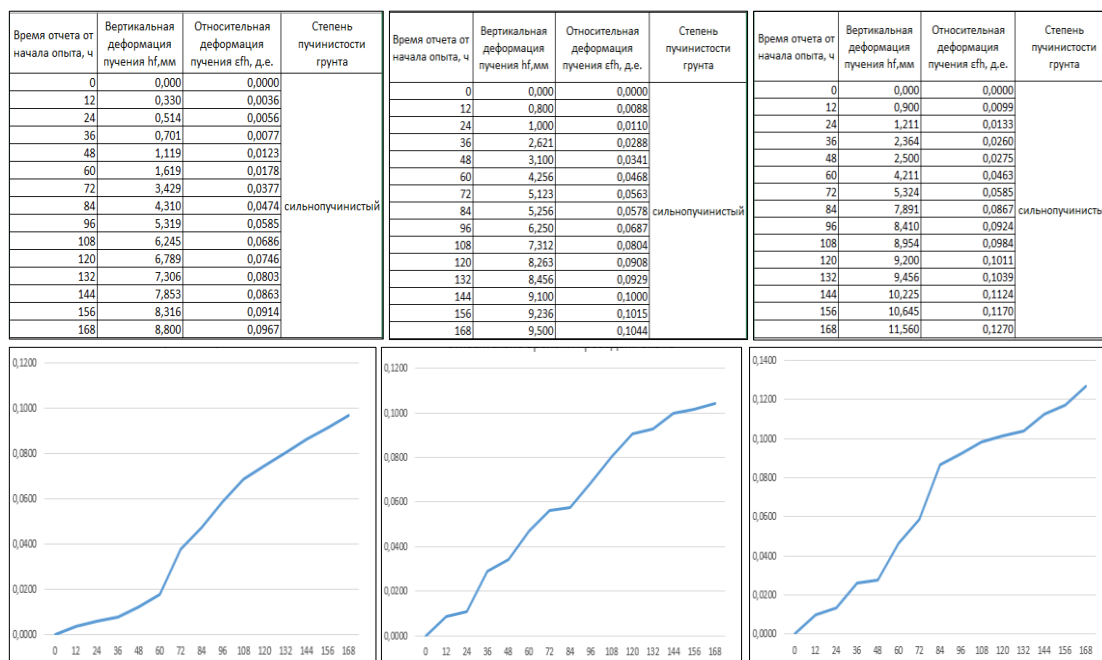


Рисунок 3. Результаты испытаний и графики относительной деформации грунта в зависимости от времени проведения испытания для торфа

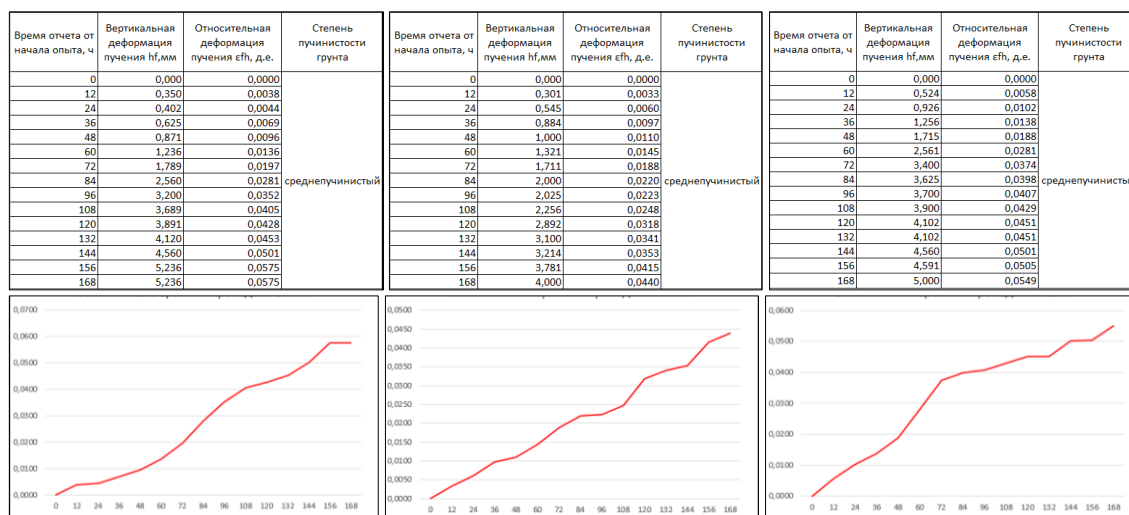


Рисунок 4. Результаты испытаний и графики относительной деформации грунта в зависимости от времени проведения испытания для супеси

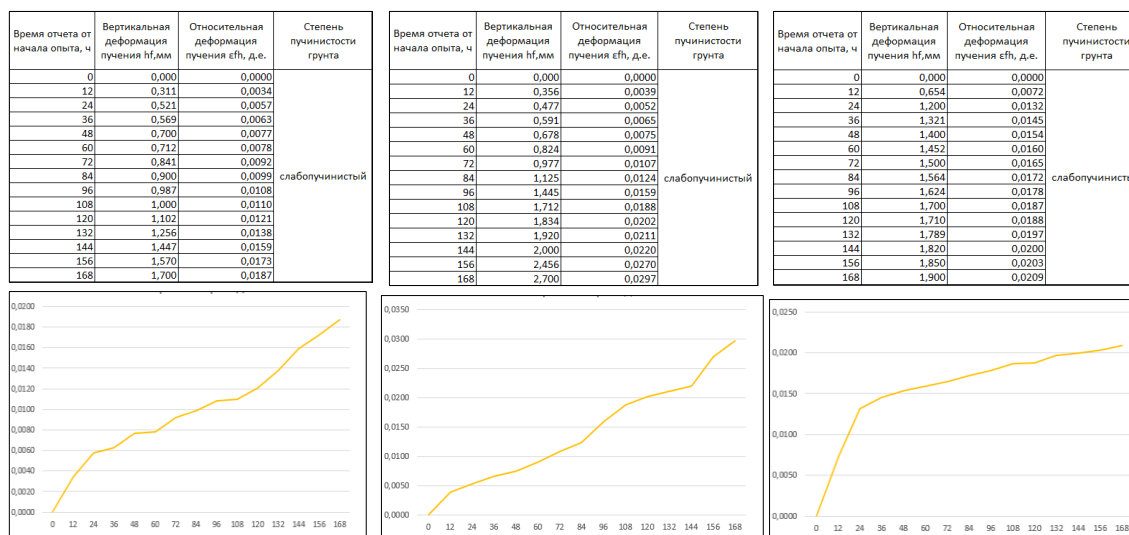


Рисунок 5. Результаты испытаний и графики относительной деформации грунта в зависимости от времени проведения испытания для песка

По результатам определения пучинистых свойств грунтов, согласно ГОСТ 28622-2012 грунты:

Торф твердомерзлый, среднеразложившийся, льдистый, при оттаивании маловлажный – чрезмернопучинистый, сильнопучинистый ($\epsilon_{fh}= 0,0967-0,1270$);

Супесь песчаная, пластичномерзлая, массивной криотекстуры, слабольдистая, при оттаивании пластичная – среднепучинистая ($\epsilon_{fh}= 0,0440-0,0575$);

Песок мелкий твердомерзлый с включением щебня и гравия до 15%, слабольдистый, массивной криотекстуры, при оттаивании средней степени водонасыщения – слабопучинистый ($\epsilon_{fh}= 0,0187-0,0297$).

5. Заключение

Учет климатических воздействий на определение глубины заложения фундаментов позволяет исключить возможность влияния морозного пучения на их устойчивость. Глубина заложения фундаментов во всех пучинистых породах должна быть не меньше нормативной или расчетной глубины сезонного промерзания, т.е. мощности деятельного слоя [2].

Наиболее подходящим будет применение свай, которые проходят через пучинистый слой и опираются на более стабильный грунт, с изъятием пучинистого грунта и заменой его на более устойчивый грунт. Такое решение вызвано так же наиболее распространённым типом застройки на данной территории.

Библиографический список.

- [1] Баландин О.А. Оценка пучинистости крупнообломочных грунтов с суглинистым заполнителем (Забайкальский край) / О.А. Баландин, Н.В. Пешков, О.В. Соколова, В.С. Соколова // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. — 2022. — № 3. — С. 56–62.
- [2] Концепции, теория и методика фундаментальных и прикладных научных исследований: сборник статей Международной научно-практической конференции (12 сентября 2022 г, г. Ижевск). — Уфа: OMEGA SCIENCE, 2022. — 122 с.
- [3] Чернышева И.А. К вопросу использования различных методов защиты от морозного пучения / И.А. Чернышева, А.В. Мащенко // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. — 2016. — Т. 7, № 1. — С. 39–46.

К 110-летию Евгения Михайловича Сергеева (1914-1997)

Я.С. Гнатюк, А.А. Сумкин, Ю.В. Вашестюк

Иркутский национальный исследовательский технических университет, Иркутск, Россия

Email: gnatuk.yany@gmail.com, andrey.sumkin.00@mail.com, vashestyuk_yv@ex.istu.edu

Аннотация: Данная статья посвящена научному наследию к 110-летию Евгения Михайловича Сергеева (1914-1997). Целью данной статьи является ознакомление и изучение научных работ и статей Евгения Михайловича за годы его научной деятельности. Для начала была изучена биография Евгения Михайловича Сергеева, где мы узнаем о его научном пути. Далее ознакомление с его изданиями, созданных для учебных и научных целей. Следующим этапом стало изучение военной жизни Е.М. Сергеева, о его наградах и медалях. Наиболее важным и самым сложным шагом была характеристика и краткое описание фондового материала для его изложения. Немало в заключении было сказано о «Сергеевских чтениях», которые проводят ежегодно в память о Евгении Михайловиче Сергееве. В заключение был сделан вывод о величайших заслугах Евгения Михайловича Сергеева в инженерной геологии и геоэкологии.

Евгений Михайлович Сергеев родился в Москве 23 марта 1914 года в семье служащих [3]. Умер Евгений Михайлович 23 марта 1997 года, похоронен на Троекуровском кладбище.

Евгений Михайлович проявил интерес к геологии ещё со школьных лет. Сергеев был выдающимся советским и российским ученым в области грунтоведения, инженерной геологии и охраны геологической среды, а также талантливым педагогом и организатором науки.

После окончания Московского топографического техникума в 1932 году он работал топографом на Дальнем Востоке. Затем поступил на геолого-почвенный факультет Московского университета, где затем преподавал и проводил свои основные научные исследования.

Евгений Михайлович был учеником и сотрудником таких известных ученых как М. М. Филатов, И. В. Попов, С. С. Морозов, Н. В. Орнатский и другие. Он получил свое образование с отличием и продолжил работать на кафедре грунтоведения после окончания университета.

Сергеев Е.М. внес значительный вклад в развитие Московского государственного университета [7]. Он был заведующим кафедрой грунтоведения и инженерной геологии геологического факультета МГУ с 1954 года и в течение 35 лет. Под его руководством кафедра

стала лидером инженерной геологии в стране и объединила инженер-геологов всего СССР. Грунтоведение и инженерная геология стали фундаментальными отраслями геологической науки. Евгений Михайлович также занимал различные должности в МГУ, включая декана геологического факультета и проректора [1]. В качестве секретаря парткома МГУ он инициировал строительство нового здания университета на Ленинских горах. Он также работал ректором Академии народного хозяйства при Совете Министров СССР. В последние годы своей жизни он стал советником ректората МГУ.

Е. М. Сергеев был признанным авторитетом в своей области и внес значительный вклад в развитие грунтоведения и инженерной геологии [4]. Он был награжден Ленинской (1982) и Государственными премиями СССР (1977, 1988) за свои научные достижения. Он также активно занимался педагогической деятельностью и был уважаемым и востребованным преподавателем высшей школы.

Евгений Михайлович Сергеев внес значительный вклад в развитие генетического грунтоведения. Он разработал теорию о формировании физических, физико-химических и физико-механических свойств горных пород в процессе их образования и о грунтах как многокомпонентных динамических системах [3]. Его исследования затронули природу и инженерно-геологические особенности глинистых, лессовых и песчаных пород, роль связанной воды в грунтах и физико-химические явления на границе раздела минерал - вода. Он также провел фундаментальные исследования глинистых грунтов, изучая их влияние на инженерные сооружения в зависимости от содержания различных видов воды. Евгений Михайлович разработал общую инженерно-геологическую классификацию горных пород. Под его руководством проведены исследования на различных территориях, включая трассу Главного Туркменского канала, долины рек Оби, Иртыша, Енисея, Амура, Восточную и Западную Сибирь, а также Нечерноземную зону европейской части РСФСР. В ходе этих исследований разработана методика мелкомасштабного инженерно-геологического картографирования широких территорий. Его научные работы в этой области привели к изданию 8-томной монографии «Инженерная геология СССР» [2], которая была удостоена Ленинской премии СССР в 1982 году. Евгений Михайлович также внес вклад в теорию, историю и методологию инженерной геологии, предлагая рассматривать ее как науку о «ноосфере», изучающую земную кору как среду жизни и деятельности человека, и разрабатывая учение о рациональном использовании и охране геологической среды.

В начале Великой Отечественной войны Евгений Михайлович добровольцем отправился на фронт, где сражался с немецко-фашистскими захватчиками до 1943 года, пока не получил тяжелое ранение под Сталинградом [5]. Восстановившись от ран, он вернулся в университет и в 1944 году успешно защитил кандидатскую диссертацию на тему «Теплота смачивания грунтов». В дальнейшем, в 1952 году, он защитил докторскую диссертацию на тему «Генезис и состав грунтов как основа классификации и изучения их свойств».

Он награжден двумя орденами Ленина (1967, 1984), орденом Октябрьской Революции (1974), тремя орденами Трудового Красного Знамени (1961, 1971, 1980), двумя орденами Отечественной войны I и II степени (1943, 1985), орденом Красной Звезды (1941), медалями «За оборону Сталинграда» (1943 г), «За победу над Германией» (1945), «За доблестный труд в Великой отечественной войне» (1946), «За трудовую доблесть» (1952) и др.

За научные, трудовые и военные заслуги академик Е.М. Сергеев был удостоен многих правительственных наград. Он являлся лауреатом Государственных премий СССР (1977, 1988) за цикл работ и специальных карт по инженерной геологии, обеспечивающих эффективное народно-хозяйственное освоение Западной Сибири; Ленинской премии (1982) за монографию «Инженерная геология СССР» в 8 томах [2], Ломоносовская премия Академии Наук СССР (1976) — за цикл работ по инженерно-геологическому картированию Западной Сибири. Академик Сергеев был удостоен Золотых медалей ВДНХ СССР (1970, 1972) и медали

за заслуги в разведке недр (1974). В его честь назван минерал «сергеевит» из подкласса карбонатов.

Достойным признанием заслуг Е.М.Сергеева в развитии отечественной геологической науки было принятие Постановление Президиума Российской Академии Наук №331 от 21 ноября 2006 г.: «в целях увековечения памяти академика Е.М.Сергеева присвоить его имя Институту геоэкологии РАН».

Евгений Михайлович оставил большой след в развитии инженерной геологии и геоэкологии. У Сергеева множество последователей. И эти же последователи сохраняют о нём память. Существует профессиональная награда «Медаль Е.М. Сергеева», которой награждают за научные достижения в области инженерной геологии.

«Сергеевские чтения» — ежегодная научная конференция, впервые организованная кафедрой инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. Ломоносова совместно с Институтом геоэкологии РАН (который с 2006 года носит имя этого заслуженного учёного) в 1999 году [6]. Название конференции было дано в память о заведующем кафедрой, выдающемся инженере-геологе академике Евгении Михайловиче Сергееве. Научная конференция «Сергеевские чтения» в марте 2024 года состоялась уже в двадцать пятый раз, и проходила в городе Дербент Республика Дагестан. Сергеевские чтения проходят именно в марте, так как в этот месяц и родился Евгений Михайлович.

Библиографический список:

- [1] Геологический факультет МГУ к 200-летию университета (1755 – 1955) // Учен. зап. МГУ. — 1956. — Вып. 176, Геология. — С. 5–15.
- [2] Инженерная геология СССР. В 8-ми томах. Т. 7. Средняя Азия / под ред. Е.М. Сергеева, Г.А. Голодковской. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. — 352 с.
- [3] Осипов В.И. Вклад академика Е.М. Сергеева в развитие региональной инженерной геологии / В.И. Осипов, А.С. Герасимова, Л.В. Шаумян, О.Н. Еремина — М.: Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН. — С. 2.
- [4] Осипов В.И. Воспоминания об академике Е.М. Сергееве (к 100-летию со дня рождения). — М., РУДН, 2015. — 178 с.
- [5] Сергеев Е.М. Взгляд сквозь годы. Воспоминания / под ред. В.И. Осипова. — М.: ГЕОС, 2014. — 480 с.
- [6] Сергеевские чтения. Фундаментальные и прикладные вопросы инженерной геодинамики. Выпуск 24 // Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (30-31 марта 2023 г.). — М.: Геоинфо, 2023. — 365 с.
- [7] Ученые записки МГУ. Вып. 176. Геология / под ред. Г.П. Барсанова, А.А. Богданова и Е.М. Сергеева. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1956. — 250 с.

Мерзлотно-гидрогеологические особенности эксплуатации месторождений Якусткой алмазонасной провинции (на примере трубки Айхал)

И.И. Гайворонских, Я.С. Гнатюк, П.В. Дудкевич, Д.К. Москвитина, А.М. Янников, А.М. Кононов

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Институт «Якутнипроалмаз», ПАО «АК АЛРОСА», Мирный, Россия

Email: gnatyk.yany@gmail.com, amkononov@istu.edu

Аннотация: Добыча алмазов на глубоких горизонтах коренных месторождений Якутии производится компанией “АЛРОСА” в сложных горно-геологических условиях при поступлении в открытые и подземные горные выработки

1. Географические и геологические особенности региона

ПРОМЫШЛЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ КАРТА
Якутской автономной провинции
Масштаб 1 : 10 000 000

Красноярский край

Чукотская область

Море Лаптевых

Юриун-Хая
Сасыкдах
Таймыр
Тикси
Вулуя
Джардан
Оленок
Привольный район
Анабарский район
Анабар
тр. Анабарская
Олонецкий район
Олоньки
Оймяконский район
Оймякон
Муо-Томский район
Муромск
Чернышевский район
Черныш
Мирный
Новый
Сунтар
Ленск
Бодайбо
ЯКУТСК

р. Вилюй
р. Мана
р. Титовская
р. Ботвинкина
р. Маркин
р. Ситимовка
р. Делетин
р. Хатанга
р. Софийский
р. Дудинка
р. Дилин
р. Дегидинка
р. Мухоморова
р. Мана

Условные обозначения

- Контур алмазосонной провинции
- Алмазосонные районы
- ГОКИ, приислы
- Месторождения алмазов: а) коренные б) россыльные

Рисунок 1. Контур алмазоносной провинции.

Кимберлитовая трубка «Айхал» находится в бассейне реки Сохсоллоох, в пределах Алакит-Мархинского кимберлитового поля, расположенного в юго-западной части Далдыно-

Алакитского алмазоносного района. В геоморфологическом отношении район трубки «Айхал» представляет собой структурно-денудационное плато, расчлененное речными долинами. Современный рельеф имеет определенную связь с древними глубинными структурами, но основные его черты сформировались под влиянием неотектонических движений в условиях эрозионно-денудационной деятельности. Трапповое плато в районе месторождения имеет абсолютные отметки 600–700 м. Поверхность его холмистая, осложненная структурно-денудационными котловинами и заболоченными долинами [3].

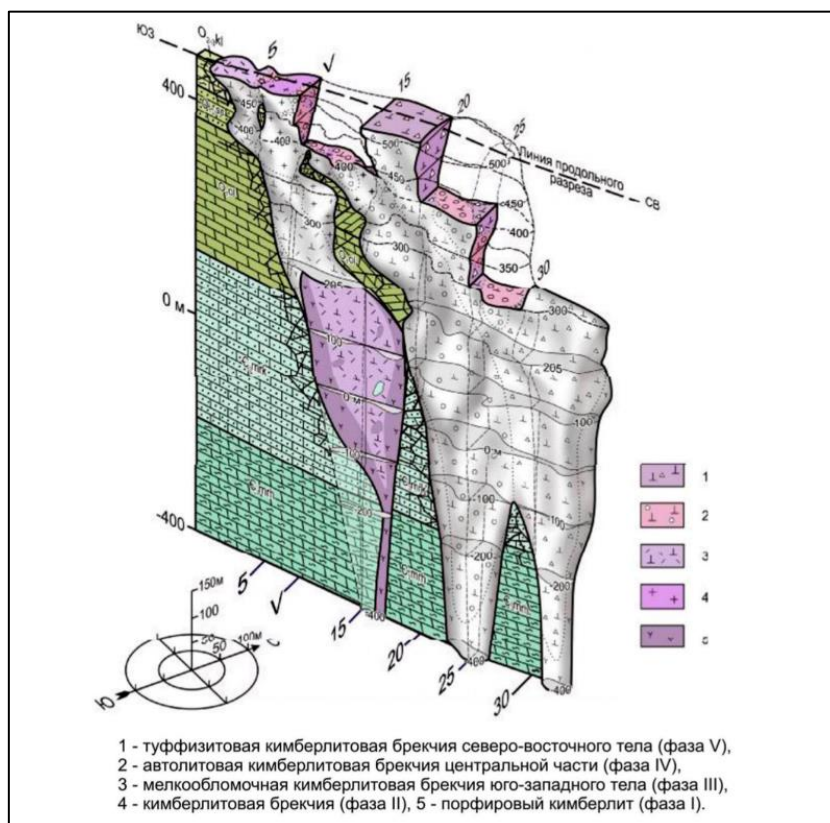


Рисунок 2. Геологическая модель трубки Айхал [Янников А.М., 2022]

3. Мерзлотно-гидрогеологические условия кимберлитовой трубки «Айхал»

Западная Якутия находится в области самого глубокого на Земле многолетнего промерзания горных пород (мощность криолитозоны достигает 1450 м) и низкой отрицательной температуры (до -16°C). Водообменные системы криолитозоны включают в себя горные породы, воду в различных фазовых состояниях, газ, органическое вещество - длительное взаимодействие которых приводит к эволюционному изменению криогидрогеологических систем [1]. Район месторождения трубки Айхал находится в пределах Оленекского криоартеризианского бассейна [4]. На территории района развиты многолетнемерзлые породы, криолитозона по мощности достигает 720 м. Криогенная толща в районе месторождения в основном имеет трехъярусное строение. Верхний ярус слагают ММП, содержащие воду в виде льда, заполняющего поры, каверны, трещины. Ниже расположен ярус морозных пород мощностью 5–50 м. Далее залегают охлажденные породы, пустоты которых заполнены солеными водами и рассолами отрицательной температуры – криопэгами [5].

4. Гидрогеохимическая зональность

Крайне важным звеном системы вода-порода являются рассолы хлоридного состава. Обработка практически всех коренных алмазоносных месторождений в той или иной мере

осложняется вскрытием водоносных горизонтов, вмещающих рассолы обеспечивающих водопритоки (табл.1, табл.2), с высокой минерализацией и концентрациями некоторых компонентов, делающих борьбу с ними одной из самых сложных проблем ведения горных работ и охраны окружающей среды [1]. Приведена таблица с ПДК компонентов, чтобы сравнить содержание элементов в водоносных комплексах и предельно допустимые концентрации, и сделать вывод об опасности данных вод (табл.3). Трубка Айхал характеризуется гидрогеохимической зональностью, обусловленной изменением химического состава в зависимости от глубины [3]. Вертикальную гидрогеохимическую зональность немерзлых толщ криоартезианских бассейнов формируют хлоридные рассолы натриевого, а также смешанного катионного состава. Они приурочены к надсолевым, соленосным и подсолевым водоносным комплексам или заполняют бессолевой разрез бассейнов.

Таблица 1

Химический состав межмерзлотного нижнеордовикского водоносного комплекса
[Янников А.М., 2022]

Место отбора	pH	Компоненты, г/л								Минерализация, г/л
		K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Br ⁻	
карьер	6,2-7,0	0,4-0,5	10,1-12,7	12,6-17,2	5,8-5,9	48,4-62,6	0,8-1,1	0,1-1,1	0,9-1,3	74-98
подземные горные выработки	5,3-7,1	3,8-4,1	32,6-40,1	36,0-54,8	33,1-153,3	48,5-195,5	1,1-14,1	0,1-1,6	3,1-5,2	52-200

Таблица 2

Химический состав межмерзлотного верхнекембрийского водоносного комплекса [Янников А.М., 2022]

Место отбора	pH	Компоненты, г/л								Минерализация, г/л
		K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Br ⁻	
подземные горные выработки	4,6-6,7	2,8-9,2	12,6-33,1	36,0-74,8	5,2-18,4	97,5-222,5	0,1-1,2	0,1-0,2	1,1-6,2	138-349

Таблица 3

ПДК компонентов по СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий»

ПДК компонентов в г/л									
pH	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Br ⁻	Минерализация
6-9	0,1	0,2	0,1	0,05	0,35	0,5	0,1	2·10 ⁻⁵	1

5. Проблема водопритоков в выработки

Кимберлитовая трубка Айхал и вмещающие ее породы в радиусе до 300 м должны рассматриваться как гидрогеологическая микроструктура из-за наличия гидравлических окон,

влияния разноранговых тектонических нарушений (рис.3) на гидродинамические параметры коллекторов, а также наличия основных и ультраосновных согласных и несогласных интрузий в пределах шахтного поля. В целом прослеживается литологическая однородность разреза [3].

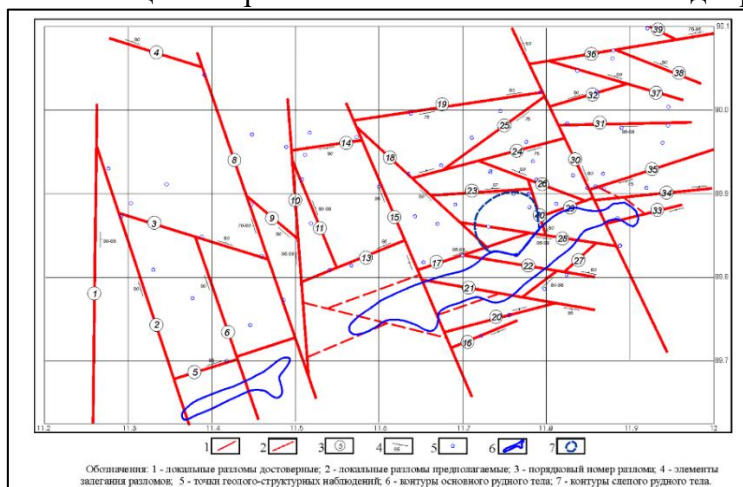


Рисунок 3. Схема разрывных нарушений [Янников А.М., 2022]

В районе месторождения трубки Айхал выделяются 3 типа подземных вод: над-, меж- и подмерзлотные. Надмерзлотные воды не оказывают практического влияния на обводненность месторождения. Межмерзлотные воды (нижнеордовикский и верхнекембрийский водоносные комплексы) залегают в приподошвенной части многолетнемерзлых пород (рис.4) на глубине 260–340 м, характеризуются низкой водообильностью (до 4,8 м³/сут) и отсутствием нефтегазопоявлений. Подмерзлотные воды встречены в интервале абс. отм. от -10 м до -480 м. Межмерзлотные и подмерзлотные воды представлены рассолами с минерализацией от 50 г/л до 348,7 г/л. Источником водопритоков в подземные горные выработки являются межмерзлотные воды. При отработке верхних горизонтов водопритоки возникают также от снеготаяния и ливневых дождей. Притоки к гор. +100м, -100м поступают за счет рассолов верхнекембрийского водоносного комплекса в количестве 150-200м³/сутки или 6–8,3 м³/ч.

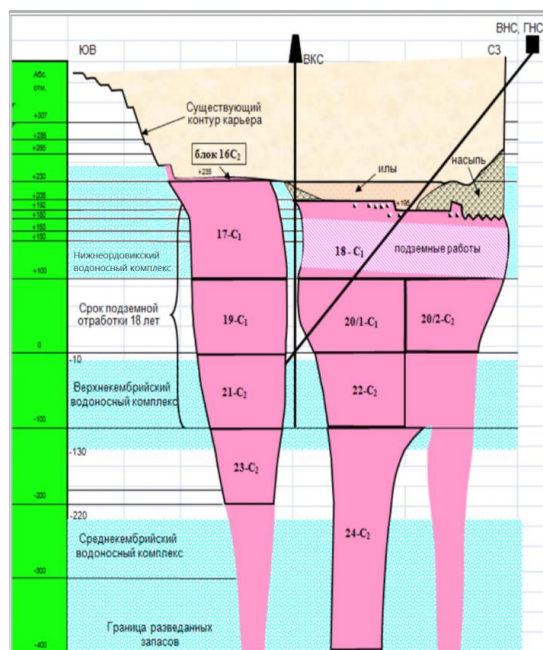


Рисунок 4. Схематичный геолого-гидрогеологический разрез трубки «Айхал» с основными водоносными горизонтами [АЛРОСА, 2013 г.]

6. Утилизация рассолов

Для экологически безопасной эксплуатации месторождений компания «АЛРОСА» производит закачку дренажных вод в комплексы криолитозоны по двум принципиальным технологическим схемам: закачка в существующие и формируемые емкости коллекторов в толщах многолетнемерзлых пород; обратная закачка в подмерзлотные водоносные горизонты и комплексы криолитозоны. Ключевым фактором при проектировании участков закачки рассолов является трещиноватость пород. Среди относительно слабо трещиноватых отложений встречаются интервалы повышенной трещиноватости и зоны дробления мощностью до 10м, обладающие высокими фильтрационными свойствами. Задачей гидрогеологических и геофизических работ (рис.5), выполняемых на стадии опытно-промышленных работ на участке «Ноябрьский» в 2015 г., являлась оценка динамики развития зоны техногенного талика в плане; определение возможных путей транзита закачиваемых рассолов, а также установление мощности обводненной части многолетнемерзлых пород (ММП) до глубины 300 м.

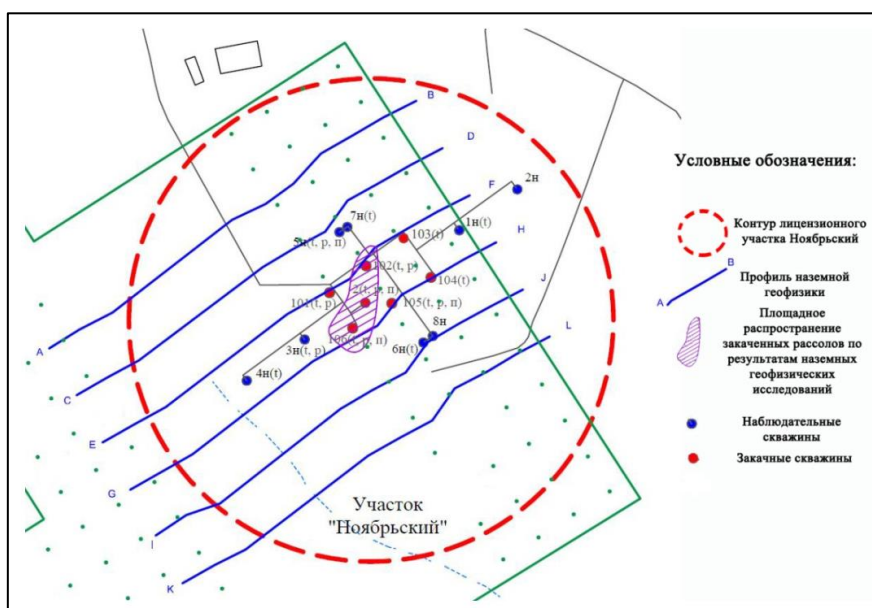


Рисунок 5. Плановое распространение купола растекания по результатам геофизических исследований 2015г. [Янников А.М., 2022]

7. Заключение

Источниками водопритоков в горные выработки трубки Айхал являются атмосферные осадки и подземные воды нижнеордовикского и верхнекембрийского комплекса. По химическому составу подземные воды нижнеордовикского водоносного комплекса относятся к хлоридным кальциево-магниево-натриевым рассолам с минерализацией от 52 до 200 г/л. Подземные воды верхнекембрийского водоносного комплекса представлены рассолами (минерализация от 138 до 349 г/л) хлоридного кальциево-магниево-натриевого состава. Значения компонентов в водоносных комплексах намного превышают ПДК. Мерзлотно-гидрогеологические особенности региона позволяют использовать метод закачки рассолов (с минерализацией > 60 г/л) с трубки Айхал в массивы ММП, тем самым, избегая экологических проблем с утилизацией дренажных вод.

Библиографический список:

[1] Алексеева Л.П. Геохимия подземных льдов, солёных вод и рассолов Западной Якутии : специальность 25.00.07 «Гидрогеология» : диссертация на соискание ученой степени

кандидата геолого-минералогических наук / Алексеева Людмила Павловна ; Институт земной коры СО РАН. — Иркутск, 2015 — 232 с.

[2] Дроздов А.В. Проблемы эксплуатации системы обратной закачки дренажных вод карьера и рудника Мир / А.В. Дроздов, Г.Н. Гензель // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. — 2015. — № 4. — С. 304–316.

[3] Янников А.М. Гидрогеология Алакит-Мархинского кимберлитового поля (республика Саха [Якутия]) / под общ. ред. А.В. Толстова. — Мирный: АЛРОСА, 2022. — 132 с.

[4] Гидрогеология СССР. Том XX. Якутская АССР. — М.: Недра, 1970. — 384 с.

[5] Алексеев С.В. Криогенез подземных вод и горных пород на примере Далдыно Алакитского района Западной Якутии. — Новосибирск: Изд-во СО РАН. - НИЦ ОИГТМ, 2000. — 119 с.

Анализ закона «Об охране окружающей среды»

Ю.В. Вашестюк

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

E-mail: vashestyuk_yv@istu.edu

Аннотация. Совершенствование природоохранного законодательства и повышение эффективности его применения — одна из насущных задач современной России. Что очень важно, необходимость этого была осознана и на государственном уровне, обусловленная следующими факторами. Прежде всего — продолжающееся негативное воздействие на окружающую природную среду в результате производственно-хозяйственной и иной деятельности. Происходящие на планете климатические изменения требуют адаптации к новым условиям жизнедеятельности, обеспечения, гарантированного Конституцией Российской Федерации права граждан на благоприятную окружающую среду и экологическую безопасность.

1. Введение

Федеральный закон «Об охране окружающей среды» — это закон, регулирующий взаимоотношения человека и природы, которые возникают во время реализации деятельности, влияющей на природу, экологию, который формирует базу для правоотношений в вопросе охраны природы. Документ подвергается постоянным правкам и изменениям, чтобы улучшить экологическое законодательство.

С развитием цивилизации правовая система усложняется. В процессе «дифференциации права при наличии необходимых предпосылок возникает необходимость встречного процесса — интеграции структурных подразделений», как предусмотрено в сфере экологии, а именно — «правовое регулирование природоресурсных и природоохранных отношений» [1]. Определение, сформулированное С. Алексеевым экологического права как «суперотрасли» или «надотрасли» [2] означает, что экологическое право относится к вторичным отраслям права, является «наслоением» на главную структуру правовой системы, с основными отраслями которой оно неразрывно связано и на базе которых регулирует отношения в сфере охраны окружающей среды.

2. Материалы и методы исследования

Право — «многоуровневая, сложная иерархическая структура, базирующаяся на «основных отраслях права, являющихся ее «стержнем» и выражающих главную структуру права. Специфической, «наслаивающейся» структурой в правовой системе являются вторичные, комплексные образования. Происходит своеобразное явление — удвоение структуры права. Комплексные образования есть вторичная структура, которая наслаивается над главной. Они являются производными от основных отраслей права и не занимают однопорядкового

положения в структуре права. Комплексные образования обособляются не в любых нормативных юридических актах, а главным образом в актах кодифицированных» [1].

Кодифицированные акты «не представляют собой лишь механического соединения норм», они «служат той внешней формой, в которой происходит согласование норм разных отраслей права, образуются межотраслевые объединения правовых норм» [3]. Основные базовые отрасли права (государственное, административное, гражданское, уголовное) С. Алексеев называет также профилирующими отраслями, «образующими основу, костяк правовой системы права», в качестве вторичных выделяя «молодые» отрасли (например, морское, страховое, банковское, финансовое, земельное, исправительно-трудовое право и др.).

Законодательство – внешняя форма выражения права. Российское экологическое законодательство принято условно подразделять на природоресурсное и природоохранное.

Природоохранное законодательство – комплексная отрасль права (законодательства). Можно выделить следующие группы законодательных актов, регулирующих отношения в области охраны окружающей среды.

Во-первых, законы «традиционных» отраслей права: гражданского, административного, финансового и уголовного: кодексы Российской Федерации (Земельный, Водный и Лесной), а также Закон о недрах, в которых также содержатся природоохранные правовые нормы, учитывающие специфику этих природных объектов.

Во-вторых, специальными природоохранными законами выступают «системообразующий» Закон об охране окружающей среды, а также законодательные акты по отдельным объектам окружающей среды, видам деятельности, отдельным территориям, а также вопросам экологической безопасности [4].

Природоохранные законы неразрывно связаны с законодательными актами гражданского и административного права. Анализ соотношения правовых норм природоохранных законодательных актов с гражданским кодексом свидетельствует, о необходимости внесения в них изменений и дополнений, учитывающих специфику взаимодействия «человек – природа» и направленных на обеспечение надлежащего качества окружающей среды.

3. Результаты исследования и их анализ

Одна из самых актуальных проблем российского права – баланс публичных и частных интересов. В связи с этим представляется плодотворным и убедительным положение о том, что гражданское право призвано защищать не только частные, но и общественные интересы.

С одной стороны, происходит «публицизация» частного права, с другой – «коммерциализация» широкого круга отношений, ранее находившихся в сфере административного регулирования. Об этом свидетельствуют новеллы в гражданском кодексе о праве собственности, направленные на коммерциализацию общественных отношений, вытекающих из права собственности [4].

Экологическое право имеет свою историю, пусть и не сравнимую по продолжительности с гражданским правом. В процессе развития цивилизации, неуклонного увеличения численности населения планеты, роста производства и потребления и – соответственно – усиливающегося воздействия на окружающую среду общество стало все больше осознавать, что природные ресурсы далеко не неисчерпаемы, а способность природы к самовосстановлению не безгранична. В современных условиях одной из функций (внутренних и внешних) государства является экологическая функция. Экологическое законодательство – правовая форма реализации государственной экологической политики.

В условиях рыночной экономики сфера применения гражданского законодательства расширяется. Со временем происходит трансформация гражданско-правовых институтов. Это относится, в частности, к институту права собственности. Претерпел реформирование и институт обязательств вследствие причинения вреда, включая правовую категорию «деликт». Вред, причиненный правомерными действиями, подлежит возмещению в случаях,

предусмотренных законом. Следовательно, основанием возникновения обязательства возмещения причиненного вреда могут быть и правомерные действия причинителя.

С.С. Алексеев и ряд других теоретиков права подчеркивают, что между различными отраслями права существуют функциональные связи субординации и координации [5]. В правовой системе России связи субординации (т.е. «по вертикали») – это подчиненность правовых норм субъектов Российской Федерации нормам федерального законодательства. Координационные функциональные связи определяют взаимосвязь и взаимозависимость различных отраслей права, в том числе основных (т.е. первичных и вторичных). Координация гражданского и природоохранного законодательства означает, что нормы природоохранного законодательства, регулирующие имущественные и связанные с ними неимущественные отношения, должны соответствовать положениям гражданского кодекса как базового закона. Аналогичная взаимосвязь и взаимозависимость существует между гражданским кодексом и транспортными уставами и кодексами, законами об организации страхового дела, об охране прав потребителей и т.д. В этом же ряду – Закон об охране окружающей среды и другие природоохранные законы. Основываясь на этом, стоит внести дополнения, связанные с экологией.

4. Обсуждение

Россия обладает огромным и разнообразным по видовому составу природно-ресурсным потенциалом, что позволяет успешно развивать базовые отрасли экономики (черная, цветная металлургия, химическая промышленность, лесоперерабатывающая отрасль, стройиндустрия и ряд других).

Президентом Российской Федерации В.В. Путиным на заседании Совета Безопасности по вопросу обеспечения экологической безопасности России отмечалось: «В условиях экономического подъема наша промышленность, транспортные, инфраструктурные комплексы постоянно увеличивают техногенную нагрузку на природные экологические системы».

По степени выбросов отходов в окружающую среду к наиболее опасным отраслям относятся цветная и черная металлургия, электроэнергетика, жилищно-коммунальное хозяйство, угольная, химическая, нефтехимическая, лесная, нефтедобывающая и некоторые другие виды промышленности.

Устойчивое развитие Российской Федерации, высокое качество жизни и здоровья ее населения, а также национальная безопасность могут быть обеспечены только при условии сохранения природных систем и поддержания соответствующего качества окружающей среды.

Уменьшение экологических барьеров в последние годы не столько ускорило экономический рост, сколько создало условия для поддержания устаревших технологий в ущерб перевооружению производства.

В силу нечеткого правового регулирования и несовершенства механизма стимулирования плательщиков к выполнению природоохранных мероприятий действующая система платежей за загрязнение окружающей среды не выполняет в полной мере ни фискальных, ни регулирующих функций.

Система налогообложения природопользователей не создает в должной степени условия для стимулирования рационального недропользования, и инвестиционной привлекательности низкопродуктивных месторождений.

Недостаточно развита нормативно-правовая база в области агролесообустройства, способствующего обеспечению полноводности рек и водоемов, чистоты воды, оптимизации фитосанитарного состояния агроландшафтов.

Принимаемые нормативные акты иногда усугубляют и без того сложную экологическую ситуацию.

Эффективному развитию рационального природопользования, природоохранной деятельности способствовал бы переход к новой разрешительной системе, базирующейся на технологическом нормировании. Действующая система нормирования негативных воздействий на окружающую среду характеризуется необоснованно завышенными требованиями к качеству выбросов, сбросов, размещению отходов предприятий. Она недостаточно стимулирует проведение природоохранных мероприятий из-за недостижимости установленных нормативов.

Теперь для объектов IV категории не нужна будет постановка на учет с сентября. На самом деле логичный шаг законодателя и регулятора этого вопроса. Постановка на учет и в целом учет — это аналитика местности и суммарного негативного воздействия, а потом уже контроль и надзор. Не нужна отчетность, уже давно, не проводятся практически никакие проверки, теперь и постановку на учет отменили! Тенденция - снижение административных барьеров для малого и среднего предпринимательства. Ну и наконец-то есть общее понимание, что заборы, столбы и прочее имущество не нужно ставить на учет, хотя большинство из них по критериям попадает в IV категорию.

Из анализа приведенных норм следует, что хозяйствующим субъектам, в эксплуатации которых находятся объекты, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду и отнесенные в соответствии со статьёй 4.2 Федерального закона «Об охране окружающей среды» к IV категории, осуществлять постановку на государственный учет указанных объектов не требуется. Постановке на учет в установленном порядке будут подлежать только объекты, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду и относящиеся к объектам I – III категории.

Порядок актуализации сведений в отношении объектов негативное воздействие на окружающую среду IV категории, стоящих в настоящее время на учете в Государственном реестре объектов негативного воздействия на окружающую среду, Минприроды России до настоящего времени не разъяснен. Указанные нововведения вступают в силу с 1 сентября 2024 года.

Закреплен принцип генерального деликта, определяющего общие условия возмещения вреда. Предусмотрены случаи, когда применяются правовые нормы, допускающие отступления от правил генерального деликта (специальные деликты). Специальными деликтами, в частности, являются нормы, регулирующие ответственность за вред, причиненный деятельностью, создающей повышенную опасность для окружающих, ответственность за вред, причиненный несовершеннолетними и др. Все они направлены на охрану частных интересов.

Распространение генерального деликта на сферу охраны окружающей среды означает, что генеральный деликт носит также публично-правовой характер. Однако, учитывая специфику возмещения экологического вреда, представляется целесообразным закрепить в законодательном порядке экоделикт как специальный деликт.

Отсылка к законодательству означает необходимость принятия правовых норм, обеспечивающих полное возмещение экологического вреда с учетом специфики экоделикта. Поскольку последствия негативного воздействия на окружающую среду в результате деятельности экологического правонарушителя могут иметь длительный характер и далеко не всегда поддаются исчислению, а также из-за того, что в силу различных обстоятельств экологический вред невозможно возместить только за счет правонарушителя, государство как гарант благоприятной окружающей среды вынуждено взять на себя расходы по восстановлению ее надлежащего качества – то есть несет дополнительную (субсидиарную) ответственность.

5. Заключение

Актуальные вопросы законодательного обеспечения охраны окружающей среды при использовании природных ресурсов в Российской Федерации указывают на предполагаемые

изменения с целью устранения пробелов в законодательстве, способствуя гармонизации институтов гражданского и природоохранного законодательства.

Библиографический список

- [1] Алексеев С.С. Структура советского права. — М.: Юрид. лит., 1975. — 263 с.
- [2] Алексеев С.С. Линия права. — М.: Статут, 2006. — 461 с.
- [3] Мозолин В.П. Гражданско-правовая ответственность в системе российского права / В.П. Мозолин // Журнал российского права. — 2012. — № 1. — С. 34–40.
- [4] Страхов Н.Н. Мир как целое: черты из наук о природе. — М.: Айрис-пресс, 2007. — 576 с.
- [5] Яковлев В.Ф. Роль публичного и частного права в регулировании экономики / В.Ф. Яковлев, Э.В. Талапина // Журнал российского права. — 2012. — № 2. — С. 7.

Химический состав снежного покрова в зоне влияния угольных месторождений (на примере Холбольджинского угольного разреза)

Н.П. Новокрещенных, А.М. Плюснин

Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Россия

E-mail nataliaborisiova9696@mail.ru

Аннотация. Рассмотрен химический состав снежного покрова в зоне влияния угольных месторождения, на примере Холбольджинского угольного разреза. Показано, что с территории разреза в виде аэрозольных частиц под действием воздушных масс происходит перенос токсичных элементов первого и второго класса опасности. Формирующийся ореол загрязнения атмосферы представляет опасность для акватории озера Гусиное и окружающей среды в целом.

1. Введение

Угледобывающие предприятия ежегодно добывают миллионы и десятки миллионов тонн угля в год. Как следствие происходит нарушение природных систем, включая изменение рельефа, гидрохимического и гидродинамического режима подземных вод.

На отработанной площади Холбольджинского угольного разреза осталось нерекультивируемая территория с рыхлыми, раздробленными отвалами вскрышных пород, которые подвержены процессам выветривания, выщелачивания, окисления, в результате образуются токсичные вещества, способные мигрировать в воздушной среде. При длительном хранении накапливаются тонкодисперсные частицы, образующиеся в результате разрушения горных пород, на поверхности которых сорбируются различные токсичные химические элементы [3,4]. Техногенная взвесь, под воздействием ветра, мигрирует на окружающую территорию, на акваторию оз. Гусиное, в организм животных и человека. В представленной статье впервые приведены результаты изучения талой воды снежного покрова на этой территории.

2. Материалы и методы

Для изучения химического состава снежного покрова на территории Холбольджинского угольного разреза было отобрано 22 пробы снега. Пробы отбирались в непосредственной близости отвалов вскрышных пород разреза и в акватории озера Гусиное. На рисунке 1 представлена схема опробования снежного покрова.

Отбор снежного покрова с помощью рамки размерами 50 x 50 см. С участка, ограниченного рамкой, отбирался снег за исключением слоя, соприкасающегося с почвой. В местах, где слой

снега был мал отбиралось 2 рамки. Пробы помещались в полиэтиленовые пакеты для транспортировки, затем таялись при комнатной температуре.



Рисунок 1. Схема отбора проб снежного покрова

В результате отработки площади Холбольджинского угольного разреза, расположенного на юго-восточном берегу оз. Гусиное на юго-западных склонах Моностойского хребта, сформировалась природно-техногенная система площадью 1596 га, с общим объемом отвалов вскрышных пород более 260 млн. м³.

Климат района резко континентальный с малым количеством атмосферных осадков. Общее количество годовых осадков до 380 мм. Толщина снегового покрова не превышает 80 мм. Преобладающими ветрами в течение всего года являются северо-западные и северные.

Средняя скорость ветра 2,0 м/с. Наиболее частые и сильные ветры северо-западного направления бывают весной (март-май), скорость их в этот период достигает 20-24 м/с[3,4].

Химический состав снежного покрова позволяет оценить какие элементы мигрируют с техногенно-нарушенной территории. Так как отсутствуют нормы предельно-допустимых концентраций (ПДК) для оценки экологического состояния снежного покрова, в данной работе используются предельно-допустимые концентрации для вод рыбохозяйственного назначения.

По результатам лабораторных исследований талые воды имеют преимущественно гидрокарбонатный магниевно-натриево-кальциевый состав, по показателю pH слабокислые (5,48-6,56). Высокими концентрациями характеризуются фториды, аммоний, и в некоторых пробах нитриты. Так содержание фторидов составляет 0,14-1,12 мг/л, что превышает ПДК в 2,8-22,4 раза, аммония – до 6,9 мг/л, что выше ПДК в 13,8 раз. В единичных пробах (Н-11, Н-12, Н-14) нитриты превышают ПДК в 1,12-3,37 раз (0,09-0,27 мг/л) (Таблица 1).

Таблица 1

Макроэлементный состав снежного покрова, мг/л

№ пробы	Na	Mg	Ca	Fe	HCO ₃	SO ₄	CL	F	NH ₄	NO ₃	NO ₂	pH
ПДК	120	40	180	0,1	-	100	300	0,05	0,5	40	0,08	
Н-1	0,63	0,83	2,21	1,87	20,14	5,1	0,43	0,22	2,64	1,25	0,05	5,96
Н-2	0,66	1,23	0,96	1,58	29,85	3,45	0,14	0,25	3,93	0,24	0,01	5,79
Н-3	0,52	1,22	2	0,32	13,42	2,14	1	0,14	0,6	1,61	0,01	5,76
Н-4	1,21	1,22	2	0,4	13,42	3,13	0,28	0,19	0,36	1,66	0,06	5,48
Н-5	0,3	0,61	2	0,49	8,73	2,96	0,57	0,16	0	0,58	0,01	5,65
Н-6	1,81	1,02	3,2	0,44	26,85	4,11	0,28	0,22	1,67	0,2	0,007	5,96
Н-7	1,67	1,85	4,67	0,35	26,85	1,81	0,71	0,23	0	1,68	0,06	6,01
Н-8	0,97	1,42	3,81	0,4	33,56	3,45	1,7	0,2	4,52	1,47	0,08	6,22
Н-9	0,31	1,22	2	0,54	6,03	15,63	0,14	0,21	2,62	1,37	0,07	5,88
Н-10	4,86	0,42	5,21	0,47	27,54	5,43	0,43	0,44	0,83	2,36	0,04	6,14
Н-11	11,61	1,46	6,02	0,57	47	5,43	6,01	1,12	1,9	4	0,27	6,27
Н-12	2,01	2,43	4,01	0,42	21,14	4,77	1,84	0,9	0,24	1,83	0,16	5,8
Н-13	1,08	0,52	3,31	0,59	27,14	2,14	0,14	0,66	3,33	1	0,5	5,87
Н-14	1,34	0,83	1,77	0,34	13,24	1,81	1	0,4	1,67	2,4	0,09	5,93
Н-15	2,12	1,73	7,53	1,28	47	4,11	1,56	0,35	3,86	2,91	0,1	6,48
Н-16	5,25	1,43	7,02	0	32,58	5,1	1,99	0,56	0,24	2,12	0,05	6,43
Н-17	1,22	0,5	2,51	0	5,71	2,14	2,13	0,23	0	1,51	0,02	5,98
Н-18	1,31	0,81	2,67	0	6,71	2,8	2,41	0,27	0	1,68	0,016	6,03
Н-19	2,09	1,82	3	0	16,3	3,13	1,84	0,47	0,6	1,75	0,015	6,02
Н-20	1,53	2,36	9,41	0,84	53,7	5,76	1	0,52	2,62	0,72	0,03	6,56
Н-21	1,28	0	12,32	0,37	40,27	5,26	1,13	0,48	1,31	0,8	0,04	6,5
Н-22	1,2	1,85	9,6	2,47	73,83	6,91	0	0,64	6,9	1,88	0,034	6,34

Выявлены высокие содержания тяжелых металлов, относительно норм рыбохозяйственного назначения. Так максимальные концентрации цинка превышают нормы ПДК в 34 раза, марганца – 32 раза, алюминия – 25 раз, меди – 22 раза, железа – 6,1 раз, молибдена – 4,9 раз, свинца, никеля – 1 раз. Присутствуют превышения по ванадию (2,9 ПДК), вольфраму (0,45 ПДК), кобальту (0,38 ПДК) (Таблица 2).

Таблица 2

Среднее содержание микроэлементов, мкг/л

Химический элемент/ПДК						
Al/10	P/0,01	V/1	Mn/10	Fe/100	Co/10	Ni/10
6,8 – 250	6 – 320	0,21 – 2,9	2,8 – 320	4,8 – 610	0,048 – 3,8	0,43 – 9,6
28,86	73,3	0,62	41,9	47,80	0,35	1,19
Cu/1	Zn/10	Mo/1	W/0,8	Hg/0,01	Pb/6	U
0,36 – 22	10,1 – 340	0,36 – 4,9	0,034 – 0,36	0,022 – 0,05	0,59 – 6,2	0,014 – 0,22
2,31	34,17	1,18	0,103	0,034	1,93	0,049

Установлены аномально высокие концентрации элементов первого класса опасности ртути и фосфора. Содержание ртути составляет до 0,05 мкг/л (5 ПДК), фосфора до 320 мкг/л (32000 ПДК).

4. Обсуждение

Как видно по результатам химических анализов в составе талой воды обнаружены содержания элементов выше предельно-допустимых концентраций для вод рыбохозяйственного назначения. Что указывает на то, что с территории угольного разреза в виде аэрозольных частиц под действием воздушных масс северного и северо-западного направления переносятся азотные соединения (аммоний, нитраты, нитриты), тяжелые металлы. По всей видимости, наиболее «легким» для переноса является фосфор.

5. Заключение

В результате отработки угольных месторождений формируется воздушный ареол загрязнения, который оказывает воздействие не только на территорию месторождений, но и на окружающую среду в целом. Так, с нерекультивируемой территории Холбольджинского разреза, где расположены отвалы вскрышных пород (рыхлые, раздробленные), техногенные выработки, происходит выброс химических элементов и их перенос воздушными потоками. Выявлено, загрязнение фторидами, азотными соединениями, тяжелыми металлами, а также элементами первого класса опасности (ртуть, фосфор).

Работа выполнена в рамках проекта ААА-А21-121011890033-1. Геоэкологические риски и экстремальные природные явления Сибири и Дальнего Востока, частично с использованием средств проекта РНФ - Республика Бурятия № 24-27-20077.

Библиографический список

- [1] Воронина Ю.С. Содержание редкоземельных элементов в снежном покрове на территории Джидинского ГОКа / Ю.С. Воронина, А.М. Плюснин // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. — 2023. — № 2. — С. 122–132.
- [2] Московченко Д.В. Особенности формирования химического состава снеговых вод на территории Ханты-Мансийского автономного округа / Д.В. Московченко, А.Г. Бабушкин // Криосфера Земли. — 2012. — Т. 16, № 1. — С. 71–81.
- [3] Новокрещенных Н.П. Влияние отвалов Холбольджинского угольного разреза на состояние подземных вод / Н.П. Новокрещенных // Эволюция и современное состояние ландшафтов и биоты Внутренней Азии: Материалы II Всероссийской научно-практической конференции. — Улан-Удэ: ВСГУТУ, 2021. — С. 86–89
- [4] Плюснин А.М., Чернявский М.К. Технический отчет «Ликвидации последствий отрицательного воздействия добычи угля на окружающую среду Холбольджинского угольного разреза — рекультивация нарушенных земель, защита поверхностных и подземных вод» Гидрогеологические изыскания. — Улан-Удэ, 2014. — 93 с.

[5] Вариации элементного состава снежного покрова в региональных и городских фоновых районах (Монголия, Бурятия, Иркутская область) / Н. И. Янченко // Алтай — Россия: через века в будущее: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 260-летию добровольного вхождения алтайского народа в состав Российского государства и 25-летию образования Республики Алтай, Горно-Алтайск, 09–12 июня 2016 года. Том II. — Горно-Алтайск: Горно-Алтайский государственный университет, 2016. — С. 45–49.

СЕКЦИЯ 2. ГЕОЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Новые данные о лазуритах Прибайкалья

В.Л.Таусон, А.Н.Сапожников, С.В.Липко, О.Ю.Белозерова
Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, Россия
E-mail yltauson@igc.irk.ru

Аннотация. Обнаружение в лазуритах Прибайкалья новых представителей этого минерального семейства, в том числе неотипа лазурита с S_3^{2-} и слюдянкаита с S_6 и CO_2 в структурных полостях показало, что видообразующими компонентами в силикатных минералах могут быть ион-радикальные и молекулярные формы. Лазурит с равным представительством SO_4^{2-} и S_3^{2-} обладает устойчивостью к восстановителям и термическому воздействию и может быть рекомендован в качестве стандарта при анализе форм серы в минералах и искусственных материалах. Соотношения молекулярных и ион-радикальных форм могут являться типоморфными признаками, характеризующими условия метасоматических процессов, а также определять особенности окраски, в частности, полихромизм, вызванный совместным присутствием разных хромофоров. Рассмотрена природа цветового размерного эффекта, предположительно связанного с микровключениями кальцита как источника анионов кислорода, вызывающих в условиях частично закрытой к O_2 воздуха системы образование новых оксисульфидных центров окраски.

1. Введение

При изучении минерального разнообразия лазуритовых месторождений Южного Прибайкалья принципиально важны два аспекта. Первый относится к области фундаментальной минералогии и связан с тем, что среди минералов семейства лазурита обнаруживаются разности с тем или иным типом симметрии и модуляции структуры, соразмерной или несоизмерной периоду базовой решетки кристалла [1]. Возникает принципиальный вопрос, является ли модуляция атрибутом архетипа или данная структурная особенность может не учитываться, если соблюдаются все остальные критерии принадлежности к данному минеральному виду [2]. При этом следует учитывать такое явление как возврат (восстановление) несоизмерной трехмерной модуляции (НТМ) [3], что может говорить о термодинамической стабильности модулированных структур в определенных пределах вариаций физико-химических параметров. Второй аспект отражает то обстоятельство, что лазурит в структурно-химическом плане относится к группе содалита, представители которой обладают ценным набором практически важных свойств и перспективны в качестве люминофоров, фотохромных материалов и т.д. [4,5]. Свойства этих материалов зависят от состава структурных полостей кристаллов, в которых могут находиться различные молекулярные, кластерные, ионные и ион-радикальные формы. В связи с этим возникает проблема диагностики и регулирования состава полостей. Важно знать, какие частицы в принципе могут в них находиться и при каких условиях. Механизмы формирования в полостях структуры молекул и кластеров, особенно тех, которые определяют окраску минерала и специфику электронных состояний, изучены недостаточно, как и их взаимосвязь с матрицей – кристаллической решеткой минерала - “хозяина”. Исследования разновидностей лазурита с помощью методов экспериментальной минералогии, современных рентгенографических и спектроскопических методов, позволяют получить новые данные,

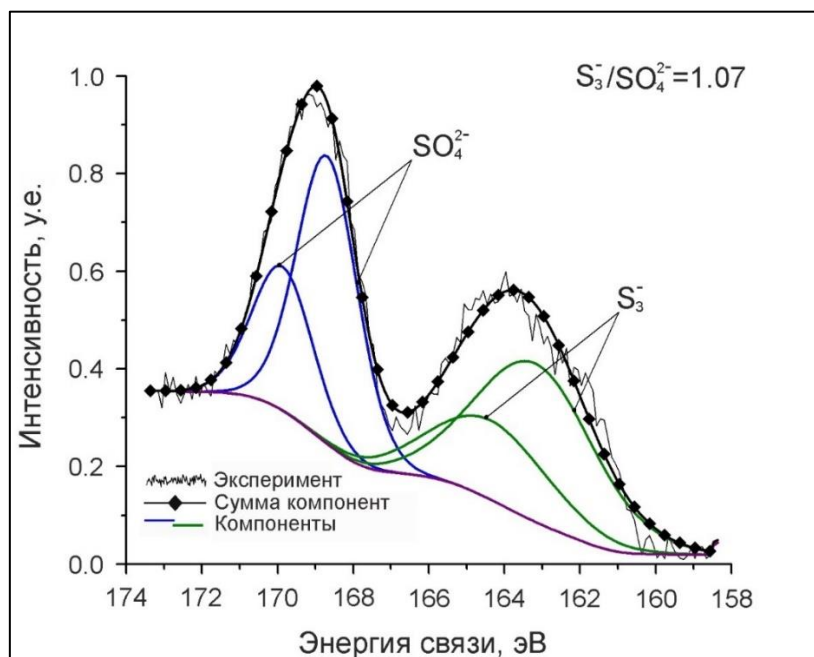
необходимые для решения этих проблем с использованием актуального подхода природоподобных технологий.

2. Материалы и методы

Исследовались образцы лазурита из месторождений Малобыстринского, Похабинского, Тултуйского Слюдянского района Прибайкалья. Химический состав образцов определяли методами «мокрой» химии и рентгеноспектрального микроанализа (РСМА), для более полной характеристики взаимоотношений лазурита с примесью кальцита использовали сканирующую электронную микроскопию (СЭМ-ЭДС) и дифференциальный термический анализ в комбинации с масс-спектрометрией. Рентгеноструктурный анализ проводился как на порошках, так и на монокристаллах. Применялся широкий набор спектроскопических методов: инфракрасная и рамановская спектроскопия, электронный парамагнитный резонанс, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Данные о применяемых приборах и их характеристики представлены в опубликованных работах [6, 7].

3. Результаты исследования, их анализ и обсуждение

На примере нетипичного образца высокосернистого лазурита из Малобыстринского месторождения, с помощью комплекса современных спектроскопических методов, термического анализа, порошковой и монокристаллической рентгенографии, кристаллохимических расчётов было показано, что роль видообразующего компонента в силикатном минерале может принадлежать ион-радикалу [6]. В лазурите это трисульфидный анион-радикал, являющийся синим хромофором. Идеализированная формула высокосернистого лазурита $\text{Na}_7\text{Ca}(\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24})(\text{SO}_4)^{2-}\text{S}_3^{\cdot-}\text{H}_2\text{O}$ утверждена по нашей заявке Комиссией ММА 2 марта 2021 г. Дальнейшие поиски привели к обнаружению образца, полностью соответствующего этой формуле. На рисунке 1 приведен рентгеновский фотоэлектронный спектр S 2p свежеприготовленного образца, в котором обнаруживается два равных по интенсивности спин-орбитальных дублета S 2p_{3/2-1/2}, отвечающих по величине энергии связи аниону SO_4^{2-} и анион-радикалу $\text{S}_3^{\cdot-}$ (точка обозначает неспаренный электрон).



Отметим равное представительство в составе кристаллов полисульфидной и сульфатной серы

Рисунок 1. Рентгеновский фотоэлектронный спектр S 2p образца высокосернистого лазурита из Малобыстринского месторождения в Прибайкалье

Два типа полостных кластеров $[\text{Na}_3\text{Ca}\cdot\text{SO}_4]^{3+}$ и $[\text{Na}_4(\text{S}_3)]^{3+}$ занимают структурные полости в равных долях. Поскольку присутствие S_3^{2-} подтверждено разными методами, мы получаем идеальный референтный материал для анализа форм серы в лазуритах и других минералах и искусственных материалах. Важно, что данный образец обнаруживает высокую устойчивость к восстановителям и термическим воздействиям, в отличие от других форм лазурита, что, по-видимому, связано с упорядоченным расположением указанных выше кластеров в его структуре. Задача теперь состоит в том, чтобы найти метод получения этого материала из любого другого лазурита с помощью варьирования параметров T и активности серы и кислорода. Высокосернистый лазурит характеризуется несоразмерно модулированной структурой с периодом 61.8 Å, чем отличается от большинства кубических лазуритов Прибайкалья, имеющих период несоразмерной модуляции 41.6 Å [6].

Недавно было показано, что видообразующими компонентами в лазурите могут быть не только ион-радикалы, но и молекулярные формы или их комплексы. Так, во вновь открытом триклинном лазурите, названном слюдянкаитом, обнаружены структурные молекулы CO_2 и S_6 , входящие в состав кристаллов с общей кристаллохимической формулой, утвержденной ММА, $\text{Na}_{28}\text{Ca}_4(\text{Si}_{24}\text{Al}_{24}\text{O}_{96})(\text{SO}_4)_6(\text{S}_6)_{1/3}(\text{CO}_2) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ [7].

В редком розовом лазурите преобладает молекулярный центр S_4 , который при повышенных температурах ($>400^\circ\text{C}$) переходит в более устойчивый S_3^{2-} , сохраняющий синюю окраску образца до высоких температур (900°C). Принципиальный генетический вопрос – являются ли молекулярные формы свидетельством поздних этапов метасоматического процесса, либо это “нормальный” механизм трансформации кубического лазурита, первоначально содержавшего S_3^{2-} , преобразованного в S_4 и S_6 при более низкой температуре. Совместное существование разных хромофоров в таких кристаллах вызывает их полихромизм. В слюдянкаите фиксируются переходы окраски от розового через желтый и зеленый до синего. Однако наибольший интерес представляет так называемый цветовой размерный эффект. Он состоит в том, что при отжиге на воздухе некоторых разностей лазурита зерна размером $>40\text{--}50$ мкм полностью (т.е. по всему объему зерна) темнеют и приобретают фиолетовый оттенок, тогда как мелкие зерна ($<20\text{--}30$ мкм) полностью обесцвечиваются. Исследование на сканирующем электронном микроскопе показало, что образцы, в которых лучше всего проявлен данный эффект, содержат микровключения кальцита. Предложена рабочая гипотеза, согласно которой в условиях частично закрытой к кислороду воздуха системы (внутри крупных зерен) анионы кислорода, образующиеся при разложении кальцита по реакции $\text{CO}_3^{2-} = \text{CO}_2 + \text{O}^{2-}$ [8] диффундируют в матрицу лазурита вызывая образование новых синих и фиолетовых оксисульфидных центров: $\text{S}_3^{2-} + \text{O}^{2-} = \text{S}_2\text{O}^- + \text{S}^{2-}$, $\text{S}_3^{2-} + \text{O}^{2-} + \text{O}_2 = \text{S}_2\text{O}_3^- + \text{S}^{2-}$. Этот факт может оказаться важным для процесса облагораживания лазуритовой породы, поскольку наиболее ценные сорта этого минерала имеют ярко-синюю окраску с фиолетовым оттенком [9].

4. Заключение

Лазуриты Прибайкалья являются уникальными объектами для исследования типохимизма минералов и разработки природоподобных технологий получения новых микропористых материалов с топологией содалита. Вариации состава структурных полостей и сопряженных с ними деформаций каркаса, приводящих к изменениям симметрии структуры и различным типам, и периодам ее модуляции, создают основу для открытия новых минеральных видов в семействе лазурита. Полезной в практическом отношении является способность данной минеральной матрицы включать в полости структуры довольно крупные ион-радикалы, молекулы и кластеры, что позволяет варьировать оптические, сорбционные и другие свойства кристаллов в широких пределах.

«Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-00114, <https://rscf.ru/project/24-27-00114/>».

Библиографический список

- [1] Bolotina N.B., Sapozhnikov A.N., Chukanov N.V. and Vigasina M.F. Structure modulations and symmetry of lazurite-related sodalite-group minerals. *Crystals*. 2023. No. 13 (5). 768.
- [2] Hawthorne F.C., Mills S.J., Hatert F. and Rumsey M.S. Ontology, archetypes and the definition of “mineral species”. *Miner. 2021. Mag.* 85. P. 125-131.
- [3] Tauson V.L., Sapozhnikov A.N., Kaneva E.V., Lipko S.V. Reversion of incommensurate modulation in cubic lazurite: example of reversible forced equilibrium? *Natural Res.* 2014. 5. Pp. 761-771.
- [4] Zahoransky T., Friis H. and Marks M.A.W. Luminescence and tenebrescence of natural sodalites: a chemical and structural study. *Phys. Chem. Miner.* 2016. 43. Pp. 459-480.
- [5] Vuori S., Colinet P., Norrbo I., Steininger R., Saarinen T., Palonen H., Paturi P., Rodrigues L.C.V., Goettlicher J., Le Bahers T. and Lastusaari M. Detection of X-ray doses with color-changing hackmanites: mechanism and application. *Adv. Optical Mater.* 2021. 9. 2100762.
- [6] Sapozhnikov A.N., Tauson V.L., Lipko S.V., Shendrik R.Yu., Levitskii V.I., Suvorova L.F., Chukanov N.V. and Vigasina M.F. On the crystal chemistry of sulfur-rich lazurite, ideally $\text{Na}_7\text{Ca}(\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24})(\text{SO}_4)(\text{S}_3)^- \cdot n\text{H}_2\text{O}$. *Amer. Miner.* 2021. Vol. 106, 2. Pp. 226-234.
- [7] Sapozhnikov A.N., Bolotina N.B., Chukanov N.V., Shendrik R.Yu., Kaneva E.V., Vigasina M.F., Ivanova L.A., Tauson V.L. and Lipko S.V. Slyudyankaite, $\text{Na}_{28}\text{Ca}_4(\text{Si}_{24}\text{Al}_{24}\text{O}_{96})(\text{SO}_4)_6(\text{S}_6)_{1/3}(\text{CO}_2) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, a new sodalite – group mineral from the Malo-Bystrinskoe lazurite deposit, Baikal Lake area, Russia. *Amer. Miner.* 2023. Vol.108, 9. Pp. 1805-1817.
- [8] Матвиенко А.А. Новая кинетическая модель термического разложения кальцита / Матвиенко А.А., Чижик С.А., Сидельников А.А. // Докл. Акад. наук. — 2013. — Т. 451, № 6. — С. 1-3.
- [9] Chukanov N.V., Sapozhnikov A.N., Shendrik R.Yu., Vigasina M.F. and Steudel R. Spectroscopic and crystal-chemical features of sodalite-group minerals from gem lazurite deposits. *Minerals*. 2020. 10 (1042).

Факторы избирательности при распределении микроэлементов в кристаллах пирита золоторудных месторождений

С.В. Липко, А.В. Ощепкова, Д.Н. Бабкин, А.В. Николаев
Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, Россия
E-mail: slipko@yandex.ru

Аннотация. Исследования мышьяковистых пиритов ряда золоторудных месторождений Северо-Востока РФ и Восточной Сибири методами РФЭС, СЭМ-ЭДС и ЛА-ИСП-МС показали разное химическое состояние As внутри кристаллов и на их поверхности. В первом случае As находится в формах As и As^{3+} , замещая S в S_2^{2-} и Fe^{2+} в структуре пирита, соответственно, во втором – в максимально окисленной форме As^{5+} – O, предположительно в составе поверхностной неавтономной фазы. На поверхности кристаллов обнаруживается азот в трех формах, включая восстановленную, а также Al, присутствие которых скорее всего также связано с ПНФ. Значительные различия в химии поверхности и объема рудных пиритов могут явиться источником селективности поглощения ими ценных компонентов – благородных металлов и РЗЭ.

1. Введение

Наиболее распространенным двумерным дефектом структуры реального кристалла является его поверхность. Она может концентрировать микроэлементы как путем адсорбции, так и за счет образования на ней поверхностных неавтономных фаз (ПНФ) - процесса, протекающего при росте кристалла в условиях “внешнего” (вынуждающего) пересыщения среды роста, при повышенных T , P – параметрах в гидротермальных системах, когда физическая адсорбция, как и хемосорбция, менее эффективны [1]. Внешние поверхности, как и внутрикристаллические, могут избирательно поглощать определенные элементы-примеси, причем, скорее всего, относительно лучше будут концентрироваться в поверхности элементы, плохо совместимые с объемной структурой кристалла. Селективность S ПНФ по данному микроэлементу (МЭ) является отношением его концентраций в поверхности и в объеме кристалла, по сути дела, его коэффициентом распределения между поверхностной и структурной формами МЭ [2]. Практически важно, что поверхностная форма МЭ может быть источником многих ценных элементов – золота, элементов платиновой группы, РЗЭ. Эта форма более обильна, и микроэлементы из неё извлекаются легче, чем в случае структурной формы. Предполагается, что ПНФ могли быть первичными коллекторами для таких рассеянных и несовместимых в подавляющем большинстве минералов элементов, как Au, Ag и платиноиды [3]. Отсюда следует практически важный вывод о том, что распространенность и состав ПНФ могут быть типоморфными признаками богатых благородно- и редкометалльных руд. В настоящее время вклад поверхностных явлений в распределение химических элементов, особенно микроэлементов, в геохимических системах мало изучен и выглядит сильно недооцененным, что приводит и к недооценке роли поверхностных форм полезных компонентов при определении экономического потенциала минерального сырья. Кроме этого, «невидимые» формы благородных металлов являются объектами повышенного внимания специалистов различного профиля. Это связано с низкой извлекаемостью металлов, находящихся в этих формах. Для количественной оценки возможных потерь и разработки методов извлечения металлов из упорных руд необходимо иметь точные представления о природе и распределении скрытых форм элементов, которые характерны для многих рудных сульфидов и прежде всего – пирита. При изучении селективности МЭ необходимо определить факторы, влияющие на вхождение этих элементов в структуру пирита и ПНФ. Судя по опубликованным данным, важнейшим из них является присутствие As, способствующее вхождению в пирит Au, Hg и Tl [4]. Механизм его действия неясен, предполагают, что присутствие этого элемента вызывает искажение структуры и модификацию поверхности, облегчающие вхождение больших катионов путем стехиометрического или нестехиометрического замещения, включающего вакансии. As в пирите обнаруживается, по крайней мере, в двух формах - As^- и As^{3+} , и замещает серу в S_2^{2-} и Fe^{2+} соответственно, с возможной компенсацией заряда одновалентным катионом в последнем случае. Другим важным фактором при моделировании селективности примесей является собственно состав поверхности кристаллов пирита, присутствие на ней элементов и соединений, способных связывать МЭ. Здесь, в основном, имеются в виду S, O и Fe, но также и нередко наблюдаемый на поверхности пиритов связанный (не воздушный) азот [5]. Это может представлять практический интерес, поскольку аммоний (NH_4^+) считается хорошим индикатором Au минерализации определенных типов Au-Ag месторождений [6,7]. Наконец, еще одним загадочным посетителем поверхности рудного пирита является Al, природа которого также не совсем ясна и не всегда объясняется присутствием алюмосиликатных минеральных примесей [8,9].

2. Материалы и методы

Исследовали хорошо сформированные кристаллы пирита, отобранные на орогенных золоторудных месторождениях Наталкинское, Дегдекан, Золотая Речка (Магаданская область, Тенкинский рудный район) и Красное (Вост. Сибирь, Бодайбинский рудный район). Геологическое положение и подробное описание месторождений приведены в [3]. Для исследований использовали пириты с повышенными содержаниями As, в том числе, взятые из ассоциации пирит-арсенопирит. При их изучении применяли методы рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС), сканирующей электронной микроскопии с энергодисперсионной спектроскопией (СЭМ-ЭДС), масс-спектрометрии с ИСП и ЛА. Характеристики приборов и методики имеются в опубликованных ранее работах [2,3,8,9].

3. Результаты исследования, их анализ

Получены данные о форме нахождения As в поверхности и в объёме кристаллов пирита. Спектры РФЭС показали присутствие в объёме структурной формы As в валентных состояниях As^- и As^{3+} (Рис. 1). На поверхности кристаллов фиксируется только максимально окисленная форма As^{5+} , величина энергии связи соответствует соединению с кислородом (Рис. 2). В поверхностном слое также фиксируются азот и алюминий. Азот присутствует в трех формах, причем как в восстановленных ($E_{св} \sim 400-401$ эВ, отвечающих связям N-H, N-C [5]), так и в окисленных формах (Рис. 3). Наличие Al и N на поверхности пирита, возможно, связано с существованием в поверхностном слое неавтономных фаз субмикронной толщины, включающих в свой состав Al и другие несовместимые элементы. Содержания Al по данным СЭМ-ЭДС достигают 5 мас. %, As и N по данным обзорных спектров РФЭС - 1.3 и 2.5 ат. %, соответственно. Можно предположить, что Al совместно с Fe^{3+} присутствует в сульфоксидной форме (сульфат, тиосульфат) в составе ПНФ. С другой стороны, методами РФЭС и оже-электронной спектроскопии (ОЭС) ранее было выявлено существование на поверхности пирита субмикронного (~ 0.5 мкм) покрытия, содержащего литофильные элементы – Al, Si, K [10]. Однако нередко случаи, когда Al в пирите не коррелирует с Si. Не исключено, что природа примеси Al связана с ПНФ сульфидного состава, наподобие халькопиритовой фазы $CuAl_{1-p}Fe_pS_2$ [11].

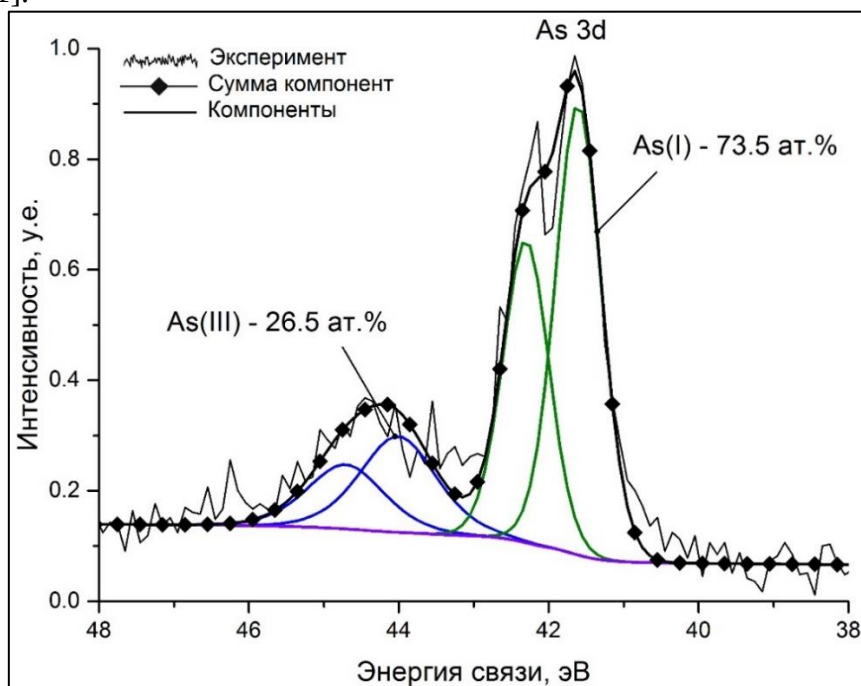


Рисунок 1. Рентгеновский фотоэлектронный спектр As 3d мышьяковистого пирита. Содержание As в пирите ~ 1 мас.%. Видно, что примерно четверть As не замещает S в положении ее дианиона в пирите.

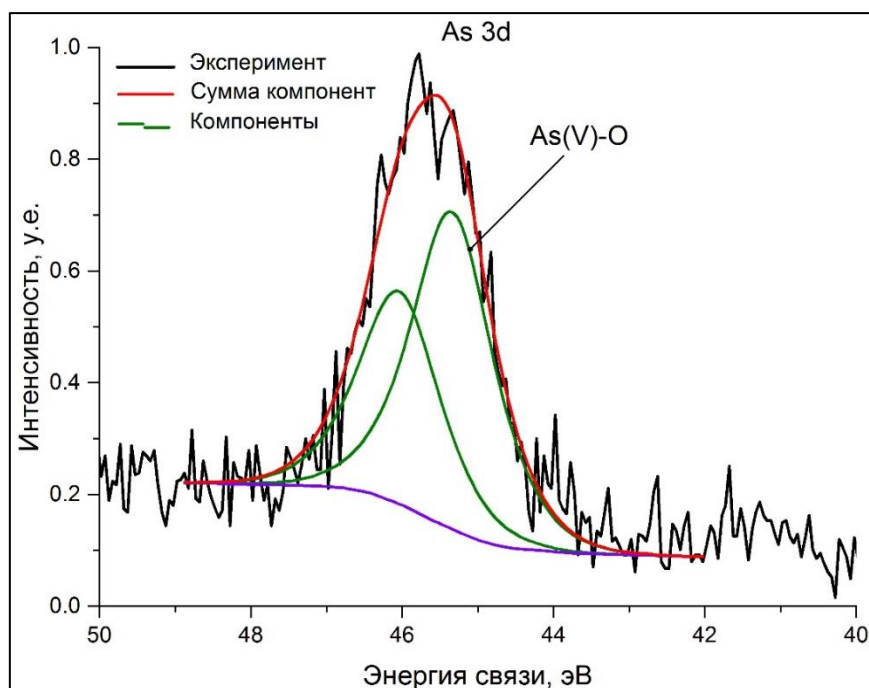


Рисунок 2. Рентгеновский фотоэлектронный спектр As 3d естественной поверхности мышьяковистого пирита.

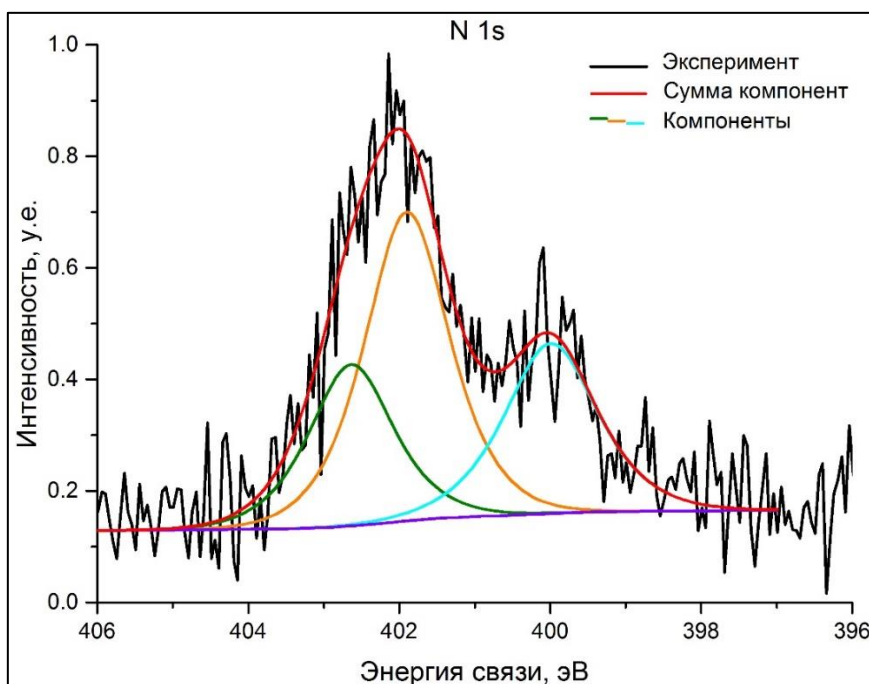


Рисунок 3. Рентгеновский фотоэлектронный спектр N 1s поверхности пирита.

4. Заключение

Поверхность пиритов из орогенных золоторудных месторождений сильно отличается от их объема в химическом плане благодаря присутствию на ней поверхностных неавтономных фаз, способных селективно поглощать элементы, несвойственные объемной структуре пирита (N, Al), либо присутствующие в ней в других химических формах (As). Следствием такой особенности может быть высокая селективность ПНФ в отношении ряда ценных компонентов (БМ, РЗЭ) и их аккумуляция, что необходимо учитывать в методах их извлечения из рудного сырья.

Выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-00140, <https://rscf.ru/project/24-27-00140/>».

Библиографический список

- [1] Таусон В.Л. Рост кристалла посредством неавтономной фазы: следствия для распределения элементов в рудных системах / Таусон В.Л., Липко С.В., Арсентьев К.Ю. и Смагунов Н.В. // Кристаллография. — 2019. — Т. 64, № 3. — С. 465-476.
- [2] Lipko S., Tauson V., Smagunov N., Babkin D. and Parkhomenko I. Distribution of trace elements (Ag, Pd, Cd, and Mn) between pyrite and pyrrhotite and selectivity of surficial nonautonomous phases in a hydrothermal system. 2022. Minerals. 12. 1165.
- [3] Tauson V.L., Lipko S.V., Smagunov N.V., Kravtsova R.G. Trace element partitioning dualism under mineral-fluid interaction: origin and geochemical significance. 2018. Minerals. Vol. 8, 282.
- [4] Deditius A.P. and Reich M. Constrains on the solid solubility of Hg, Tl, and Cd in arsenian pyrite. 2016. Amer. Miner. Vol. 101. Pp. 1451-1459.
- [5] Рычагов С.Н. Минеральные новообразования на поверхности зерен пирита Нижне-Кошелевской геотермальной аномалии, Южная Камчатка / С.Н. Рычагов, Ю.В. Щегольков // Руды и металлы. — 2011. — № 2. — С. 52-57.
- [6] Simpson M.P. Hyrespectral (SWIR) characterization of alteration at the Wharekirauponga epithermal Au-Ag prospect, Hauraki Goldfield, New Zealand. 2019. Aus IMM New Zealand Branch Conference. Tauranga. Pp. 287–293.
- [7] Миляев С.А. Формирование и особенности развития ореолов аммония (NH_4^+) месторождений золотосеребряного формационного типа в вулканогенных и вулканогенно-осадочных породах / С.А. Миляев, В.Б. Чекваидзе // Отечественная геология. 2016. — № 4. — С. 69-72.
- [8] Кравцова Р.Г. Изучение поверхности арсенопирита и пирита золоторудного месторождения Наталкинское (Северо-Восток России) методом сканирующей электронной микроскопии / Р.Г. Кравцова, В.Л. Таусон, Н.А. Горячев, А.С. Макшаков, К.Ю. Арсентьев, С.В. Липко // Геохимия. — 2020. — Т. 65, № 5. — С. 464-472.
- [9] Таусон В.Л. Двойственные коэффициенты распределения микроэлементов в системе «минерал-гидротермальный раствор». IV. Платина и серебро в пирите / В.Л. Таусон, С.В. Липко, К.Ю. Арсентьев, Ю.Л. Михлин, Д.Н. Бабкин, Н.В. Смагунов, Т.М. Пастушкова, И.Ю. Воронова, О.Ю. Белозерова // Геохимия. — 2017. — № 9. — С. 759-781.
- [10] Таусон В.Л. Типохимизм поверхности минералов: особенности состава поверхности (на примере золотоносного пирита эпитеpmального месторождения) / В.Л. Таусон, Р.Г. Кравцова // Геология и геофизика. — 2004. — Т. 45, № 2. С. 222–227.
- [11] Dickens C., Kinsella A.O.J., Watkins M. and Booth M. The presence of charge transfer defect complexes in intermediate band $\text{CuAl}_{1-p}\text{Fe}_p\text{S}_2$. Crystals. 2022. 12. 1823.

Физико-химическое моделирование процессов образования углеводородных газов озера Байкал

Б.Я.Тетиали, А.В. Ощепкова, В.А. Бычинский
Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия
Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, Россия
Email: tetialyyacinthe@gmail.com

Аннотация. Метод физико-химического моделирования на программном комплексе «Селектор» применен для определения изменений в составе углеводородных газов в осадочные толще озера Байкал. Установлено, что состав осадков и слоистых силикатов влияет на состав углеводородного флюида.

1. Введение

Осадки озера Байкал всесторонне исследуется геологами уже не одно десятилетие. Особенно следует отметить итоги десятилетних исследований по международному проекту «Байкал-бурение», выполняемому российскими, американскими и японскими учеными [3, 5, 7]. Во время выполнения проекта было пробурено пять кустов скважин в разных морфоструктурах озера Байкал. Удалось доказать, что в глубоководных котловинах рифтового бассейна происходит лавинная седиментация, что приводит к поступлению большого количества растительных остатков, которые способствуют формированию в осадочные толще озера Байкал метана.

Проект «Байкал-бурение» позволил получить общие сведения о наличии и составе углеводородных газов в осадках озера. Позже, в 2015 – 2022 гг. В.П. Исаев проводил исследование состава и свойств углеводородных газов в озерных осадках Южного Прибайкалья и в районе Селенгино-Бугульдейской перемычки [4].

Полученные данные дают основу для создания и верификации физико-химической модели образования газов в Байкальских отложениях. Моделирование осуществлялось с использованием программного комплекса (ПК) «Селектор» [9]. Такой подход позволяет проверить различные гипотезы появления метана в осадочных толщах.

2. Материалы и методы

Данные о составе пород Селенгино-Бугульдейской перемычки получены в ходе реализации проекта «Байкал-Бурение» в 1998-1999 году [5]. Для моделирования были использованы средние значения состава осадков Селенгино-Бугульдейской перемычки [6]. Соотношение C:H во флюиде определялось как наиболее распространенное соотношение в природных нефтях [8], и составило 1:2,05.

Моделирование эволюции углеводородного флюида в осадочных породах проведено на программном комплексе «Селектор» [9]. Модуль минимизации ПК «Селектор» представляет набор программных процедур, реализующих алгоритм минимизации свободной энергии методом выпуклого программирования.

Модель включает 10 независимых компонентов C-H-Si-Al-Fe-Mg-Ca-Na-K-e (e - электрон), и 400 зависимых компонентов (включая газы и твердые фазы). Термодинамические свойства твердых фаз взяты из [1], газов [1, 2].

3. Результаты исследования и их анализ

Несмотря на кажущуюся простоту, физико-химическая модель системы C-H позволяет исследовать наиболее характерные особенности превращения углеводородов в различных условиях.

В таблице 1 представлены обобщенные результаты расчета компонентного состава системы C-H. Из данных видно, что термодинамический устойчив метан, с глубины 1,7 км в незначительных количествах появляется этан.

Таблица 1

Состав газовой фазы C-H, вес. %				
Глубина, км	T °C	P, бар	C ₂ H ₆	CH ₄
0	-1	1	0,0000	100,0
0,8	9	200	0,0000	100,0
1,7	36	400	0,0003	99,9997
2,6	56	600	0,0006	99,9994

3,5	76	800	0,0011	99,9989
4,3	94	1000	0,0020	99,9980
5,1	115	1500	0,0038	99,9962
6	130	2000	0,0062	99,9938
7,5	145	2500	0,0093	99,9907
9	160	3000	0,0134	99,9865
12	180	4000	0,0219	99,9781

При добавлении в систему осадочных пород результат расчета газовой фазы меняется (табл. 2.)

Таблица 2

Состав газовой фазы системы флюид-осадки, вес. %

Глубина, км	Т С	Р, бар	C ₂ H ₆	CH ₄	H ₂	H ₂ O	CO ₂
0	-1	1	0,0000	92,2552	0,0009	0,0000	7,7439
0,8	9	200	0,0000	92,2585	0,0001	0,0000	7,7414
1,7	36	400	0,0003	92,2581	0,0002	0,0000	7,7414
2,6	56	600	0,0005	92,2575	0,0004	0,0000	7,7416
3,5	76	800	0,0010	92,2565	0,0007	0,0000	7,7418
4,3	94	1000	0,0017	92,2554	0,0012	0,0000	7,7417
5,1	115	1500	0,0034	92,2531	0,0019	0,0000	7,7417
6	130	2000	0,0034	67,0752	0,0021	32,9193	0,0000
7,5	145	2500	0,0054	69,1925	0,0029	30,7992	0,0000
9	160	3000	0,0076	68,6159	0,0038	31,3727	0,0000
12	180	4000	0,0131	71,0467	0,0050	28,9351	0,0000

К основным газам, установленным ранее (метан, этан), добавляется углекислый газ CO₂, водород, а с глубины 6 км наблюдается значимые фазовые изменения в системе и появление H₂O. Полученные результаты согласуются с данными, полученными при исследовании байкальских кернов в проекте «Байкал Бурение» [3].

В газах, выделяющихся со дна Байкала, присутствуют воздушные компоненты и метан. По преобладанию главных компонентов все газы пропарин делятся на азотные и метановые. Каждая группа газов имеет определенный компонентный состав, от чего собственно и зависит название типа газа. Основным компонентом является метан 72,69 - 100 об. %, также азот и углекислый газ (CO₂ 0,034 – 24,77 об. %; N₂ - 2,71 – 99,12 об. %) [4].

4. Обсуждение

Отличие в соотношении фаз теоретического флюида и флюида из осадков может быть обусловлено наличием поровой воды и водосодержащих минералов (слюд, смешанослойных алюмосиликатов) в осадочных отложениях. Таким образом, перераспределяется исходное соотношение C:H в системе и при расчете появляются фазы углекислого газа, водорода. При большом давлении (по данным моделирования – с 6 км и 2000 бар) появляется водный пар. Вероятно, это связано с процессами катагенеза в осадках и структурной перестройкой слоистых силикатов, из которых удаляются OH- группы.

5. Заключение

Разработана модель изменения углеводородного газа в осадочных отложениях при увеличении глубины залегания пород, и, соответственно, при повышении температуры и

давления системы. Установлено, что основные газы в байкальских отложениях – метан и углекислый газ, образованы из углеводородного флюида совместно с водородом и OH⁻, «выдавленных» из глинистых отложений озера.

Библиографический список

- [1] Helgeson H.C., Owens C.E., Knox A.M., Richard L. Calculation of the standard molal thermodynamic properties of crystalline, liquid, and gas organic molecules at high temperatures and pressures. *Geochimica et Cosmochimica*. 1998. Acta 62(6). Pp. 985–1081.
- [2] Richard L. and Helgeson H.C. Calculation of the thermodynamic properties at elevated temperatures and pressures of saturated and aromatic high molecular weight solid and liquid hydrocarbons in kerogen, bitumen, petroleum, and other organic matter of biogeochemical interest, *Geochim. Cosmochim.* 1988. Acta 62. Pp. 3591–3636.
- [3] Глубоководное бурение на Байкале - основные результаты / коллектив участников проекта «Байкал-бурение» // Геология и геофизика. — 2001. — Т. 42, № 1-2. — С. 8–35.
- [4] Исаев В.П. Нефть и газы озера Байкал. — Иркутск: Изд-во Иркутского государственного университета, 2022. — 147 с.
- [5] Результаты бурения первой скважины на озере Байкал в районе Бугульдейской перемычки / коллектив исполнителей Байкальского бурового проекта. // Геология и геофизика. — 1995. — Т. 36, № 2. — С. 3–31.
- [6] Маркова Ю.Н. Влияние изменений климата позднего плейстоцена–голоцена на состав донных отложений Селенгино-Бугульдейской перемычки озера Байкал / Ю.Н. Маркова, А.В. Ощепкова, М.И. Кузьмин, Э.П. Солотчина, П.А. Солотчин, В.А. Бычинский, К.В. Чудненко // Стратиграфия. Геологическая корреляция. — 2018. — Т. 26, № 3. — С. 109–116.
- [7] Позднекайнозойская палеоклиматическая запись в осадках озера Байкал (по результатам исследования 600-метрового керна глубокого бурения) / коллектив участников проекта «Байкал-бурение» // Геология и геофизика. — 2000. — Т. 41. — № 1. — С. 3–32.
- [8] Чекалюк Э.Б. Нефть верхней мантии Земли. — Киев: Наукова думка, 1967. — 256 с.
- [9] Чудненко К.В. Термодинамическое моделирование в геохимии: теория, алгоритмы, программное обеспечение, приложения. — Новосибирск: Гео, 2010. — 287 с.

Условия формирования вторичных коллекторов алмазов их спутников в Муро-Ковинском и Илим-Катангском районах

А.Р. Токмачев, А.В. Кичатый

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

E-mail artem.tockmachev@list.ru, ksaha_03@mail.ru

Аннотация. С момента обнаружения и по настоящее время пиропоносные нижнекарбоновые отложения в Муро-Ковинском (катская свита и мурская толща) и Илим-Катангском (катская, тушамская и пелятчинская свиты) алмазоносных районах, являлись предметом острых дискуссий, касающихся происхождения этих своеобразных пород и их потенциальной алмазоносности. Вопросы фациальных условий образования этих отложений, по своей значимости, а также наличие спутников алмазов в отложениях мезозойского и самих алмазов в отложениях кайнозойского возраста, являются ключевыми в оценке перспектив районов на алмазы.

1. Введение

Поиски новых месторождений алмаза расширяются по всему миру, так как постоянно растет спрос на алмазы, как со стороны ювелирной промышленности, так и техники.

В юго-западной части Сибирской платформы выделено 6 алмазоносных районов (Барышев А. С. и др, 2007). Муро-Ковинский район расположен в верховьях рек Ковы и Муры, а также в бассейне р. Модышева, правого притока р. Чуны; Илим-Катангский район расположен в междуречье Ангары и Катанги (рисунок 1).

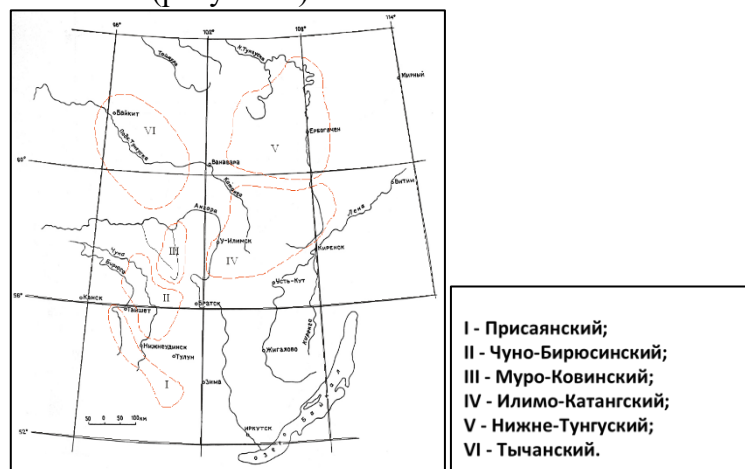


Рисунок 1. Расположение Муро-Ковинского и Илим-Катангского районов

В верховьях р. Муры выявлена мурская толща, отличительной особенностью которой является преимущественно грубообломочный состав пород, карбонатный состав цемента и обломочного материала, обилие пиропов и включения пикроильменита.

2. Материалы и методы

В исследовании использована база данных, созданная на материалах проведенных ранее научно-исследовательских работ [1-8].

3. Результаты исследования и их анализ

В *Муро-Ковинском районе* во времена формирования бадарановской и ийской свит раннего ордовика максимальное накопление осадков проходило на западе и в юго-западной части района (рисунок 2). Во время образования усть-кутской свиты того же периода оно отмечается на восточной площади района. В течении среднего ордовика, во время формирования отложений мамырской свиты (нижней подсвиты), максимальные прогибания площади отмечаются на юго-западе района.

В районе локализации мурской толщи, находилась область прогибания.

В среднепозднем ордовике, во время образования братской свиты, максимальные прогибания отмечаются в южной части исследуемой площади и центральной.

В раннем силуре, когда формировалась кежемская свита, основное направление сноса материала имело юго-западное направление, а центральная, северная и юго-восточная части района являлись областью промежуточного сноса. В этот же период, при накоплении осадков ярской свиты, максимальное накопление осадков проходило в юго-восточном направлении и к центру района, где локализуется мурская толща.

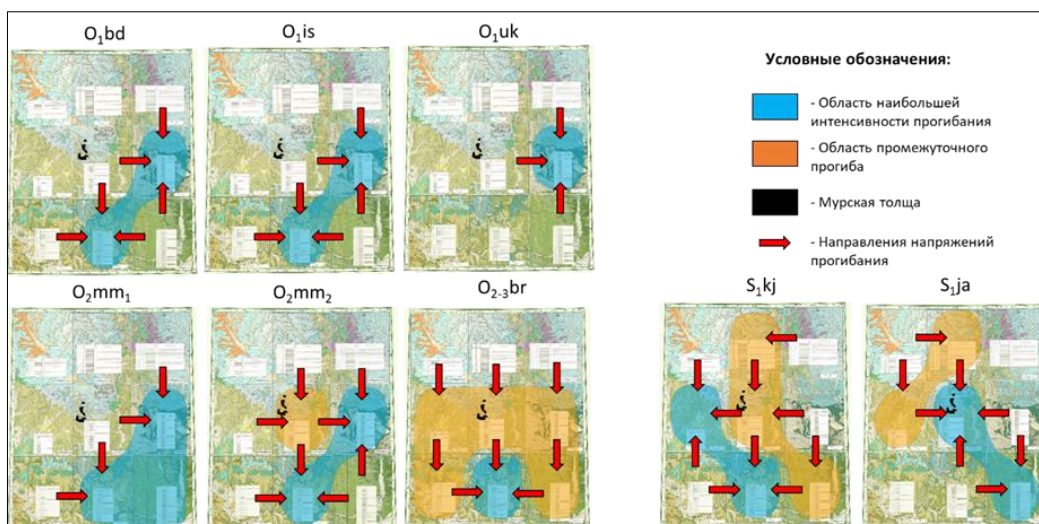


Рисунок 2. Направления прогибания в среднепалеозойское время в Муро-Ковинском районе

Мурская толща образовывалась в многостадийном процессе. Сочетание эндогенных (образование кремней, термально измененных пород, обломков брекчий расщепления, туффов, туфов щелочноультраосновного состава в северных частях листа О-47) и экзогенных факторов (разрушение и снос образовавшихся пород в пониженные участки рельефа [3, с. 179].

Также были проанализированы палеогеографические условия в- и после- карбонового время и было установлено, что данная территория испытывала опускание в периоды поздне-карбонового времени (мурская толща, катская свита) и ранней юры (перемыславская свиты).

В *Илимо-Катангском районе* во времена формирования верхненеленской свиты позднего кембрия максимальное накопление осадков проходило на юго-востоке района (рисунок 3).

В раннем ордовике (усть-кутской свиты), в среднепозднем ордовике, во время образования мамырской и братской свиты, максимальные прогибания отмечаются в южной и юго-восточной части исследуемой площади.

В раннем силуре, когда формировалась кежемская и ярская свита, основное направление сноса материала имело южное направление.

Все это говорит о том, что во времена среднего палеозоя на данной территории существовали благоприятные условия (поднятия) для проявления ультраосновного и основного магматизма.

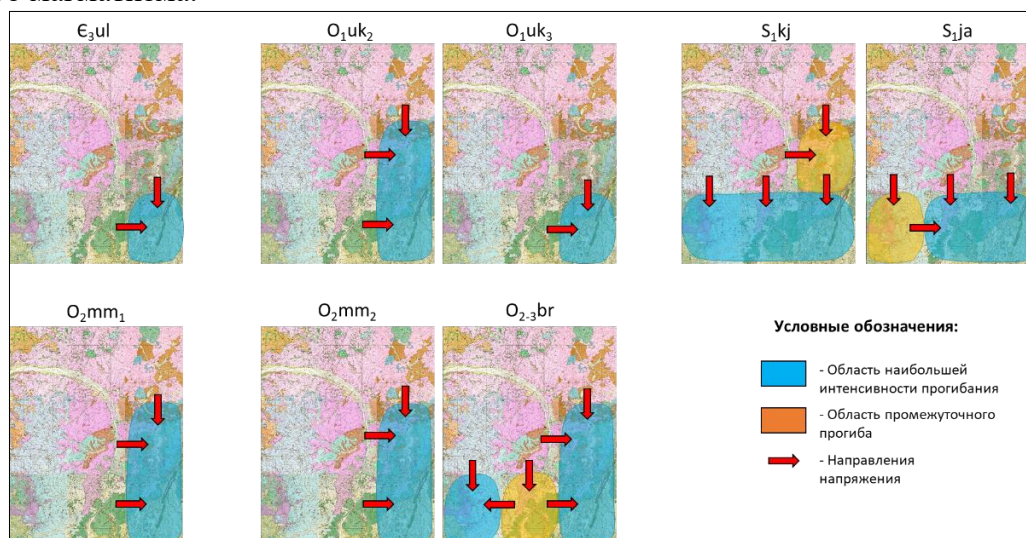


Рисунок 3. Направления прогибания в среднепалеозойское время в Илимо-Катангском районе

Также были проанализированы палеогеографические условия в- и после- карбоновое время и было установлено, что данная территория испытывала опускание в периоды карбонового времени (тушамская и катская свиты), ранней перми (бургуклинская свита), раннего триаса (корвунчанская свита) и ранней юры (угутская свита).

4. Обсуждение

Формирование пород мурской толщи было длительным и многостадийным. Неоднократная активизация разрывных нарушений, блоковые подвижки с образованием выступов, грабено- и мульдообразующих проседаний привели к брекчированию осадочных пород и обрушению их в образовавшиеся депрессии. Массовое присутствие кремней, термально измененных пород, обломков брекчий расщепления, туффигов, туфов щелочноультраосновного состава в мурской толще свидетельствует о широком проявлении в этот период субаэрального вулканизма [3, с. 286].

Состав брекчий расщепления и кальцитовый составляющей близок к исследуемому в апокимберлитах р. Вакунайки (П.Ф. Иванов, Т.И. Хмельницкая) [3, с. 179, 185].

Большая часть кальцитовый составляющей исследуемых пород имеет явную гидротермальную природу. Карбонатообразующая система имела открытый характер. Поступление гидротерм происходило из эндогенного источника [3, с. 287].

Рассматриваемые кальциты геохимически ближе всего подходят к гидротермальной кальцитовой минерализации кимберлитов.

Общая геологическая ситуация в Муро-Ковинском районе и его ближайших окрестностях указывает на отсутствие карбонатосодержащих осадочных отложений, являющихся источником сноса в момент образования толщи.

При проведении исследований были проанализированы сводные стратиграфические колонки для определения участков поднятия и прогибания в среднепалеозойское время (кембрий, ордовик, силур, девон) на листах О-47-XXIX и О-48-XIII и соседних с ними. Многократная смена режима с многочисленными поднятиями и опусканиями повлияла на литологический состав разреза.

Были построены и проанализированы схемы сноса материала в докарбоновое время для Муро-Ковинского и Илимо-Катангского районов.

В *Муро-Ковинском районе* выделены четыре вторичных коллектора минералов спутников алмазов и алмазов (юрского, ранне- и средне-поздне карбонового, а также четвертичного возрастов). В аллювии рек района были обнаружены кристаллы алмазов: р. Ковы - 26 кристаллов, а р. Муры – 1.

Вес 26 кристаллов из Ковы - 263,5 мг. Максимальный вес кристаллов - 40,6 мг, минимальный - 2,2 мг. Все алмазы мелкие, октаэдрические додекаэдрические и неопределимые формы. Бесцветные кристаллы преобладают над окрашенными - дымчатыми, желтыми. Присутствуют кристаллов со следами износа и хорошо сохранившиеся кристаллы. Трещины и каверны выполнены бурыми гидроокислами железа, часть кристаллов содержит включения графита. В русловом аллювии р. Мура найден один алмаз весом 4 мг [5, с. 285].

В *Илимо-Катангском районе (Тушамская площадь)* выделены три вторичных коллектора минералов спутников алмазов и алмазов (юрского, средне-поздне карбонового, а также четвертичного возрастов). В нижнем течении р. Тушамы в русловых отложениях были обнаружены кристаллы алмазов в количестве 24 кристаллов.

Средний вес кристаллов = 25,0 мг, общий 575,2 мг, при наименьшем весе - 4,2 мг и наибольшем - 86,6 мг. Размер алмазов преимущественно -4+2 мм, в меньшем количестве -2+1 мм, ромбододекаэдрические, октаэдрические и неопределимые формы. Бесцветные кристаллы преобладают над окрашенными - серыми. Присутствуют кристаллов со следами износа и хорошо сохранившиеся кристаллы. Трещины и каверны выполнены бурыми гидроокислами железа, часть кристаллов содержит включения графита [1, с. 49].

Для *Муро-Ковинского района* размер пиропов небольшой: 0,1-0,5 мм, реже 0,8-1,0 мм. Цвет пиропов фиолетовый, оранжевый, реже лиловый, розовый. Класс сохранности низкий. Наибольшим распространением пользуются пиропы округлоовальной, угловато-неправильной формы, реже встречаются осколки и кубоиды. Их поверхность пиропов матовая, с тонким ажурным рельефом растворения дислокационного типа (рисунок 4).

В *Илимо-Катангском районе (Тушамская площадь)* в бассейне верхнего и среднего течения р. Тушамы в рыхлых отложениях склонов и водоразделов, а также древних промежуточных осадочных коллекторов выявлены ореолы рассеяния пиропов с содержанием 1-3 знака на шлих общее количество найденных пиропов – 31 зерно. Пиропы лиловой окраски представлены зернами неправильно-округлой и неправильно-угловатой формы и характеризуются мелкими размерами 0,35-0,7 мм. Пиропы р. Тушамы характеризуются высокой сохранностью. На левобережье р. Тушамы, в ее нижнем течении по ключу Савинского, выявлен локальный пироповый ореол. Пиропы установлены в 5 шлиховых пробах (по 1 знаку) из аллювия ручья, а также обнаружены в делювиально-элювиальных отложениях, развитых по породам катской и тушамской свит карбона и пеляткинской свиты верхней перми (3 зерна на пробу весом 8 кг). Поверхность зерен гладкая, блестящая; примазок и оболочек на пиробах не наблюдается. Цвет пиропов - бледно-лиловый, лиловый, малиновый (рисунок 4). Распределение обнаруженных зерен пиропов по разрезу тушамской свиты (вертикали) имеет определенную тенденцию к приуроченности их к нижней и средней частям разреза свиты. Также хромшпинель отмечена в знаковых количествах и наблюдается в виде осколков и в форме октаэдров размерами до 0,25 мм [1, с. 49].



Рисунок 4. Морфологический облик кристаллов алмазов из аллювия р. Ковы и р. Тушамы, пиропов катской свиты Муро-Ковинского и тушамской и пеляткинской свит Илимо-Катангского районов (Кухаренко А.А., Орлов Ю.Л. 1955)

5. Заключение

Таким образом, анализ палеотектонических данных показал, что формирование мурской толщи является сложным сочетание эндогенных и экзогенных процессов, которые привели к повсеместной фациальной, литологической и гранулометрической неоднородности пород и брекчированию. Хаотичности строения мурской толщи способствовало перемешивание обломочного материала в селевых потоках при прорывах кратерных озер в грабеновые депрессии. Многие факторы указывают на непосредственную близость вулканических жерл [3, с. 289]. Процесс формирования характеризовался не спокойной обстановкой, выражающейся в многочисленных опусканиях и поднятиях.

Перспективы на выявление коренных источников алмазов достаточно высокие. Об этом говорит наличие алмазов и их спутников хорошей сохранности в аллювии рек, что позволяет предположить их ближний снос. Из анализа построенных схем, можно предположить, что накопление мурской толщи обусловлено сносом материала с северной части площади района, для Илимо-Катангского района область поднятия находилась в центральной и северной части площади, что является благоприятным фактором.

Библиографический список

- [1] Барышев А.С., Егоров К.Н., Кошкарев Д.А. Локальный прогноз и поиски коренных месторождений алмазов на юге Сибирской платформе. — Иркутск: Изд-во Институт геохимии СО РАН. — 40 с.
- [2] Домышев В.Г. Пирокластические толщи, трапповый вулканизм и тектоника юго-востока тунгусской синеклизы — Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1974. — 118 с.
- [3] Егоров К.Н., Кошкарев Д.А. Изотопно-геохимические индикаторы седиментационных и постседиментационных событий в нижнекарбоневом коллекторе алмазов Мур-Ковинского алмазоносного района — Иркутск: Изд-во ИЗК СО РАН, 2013.
- [4] Апокимберлиты реки Вакунайки: новые данные и перспективы / П.Ф. Иванов, Т.И. Хмельницкая // Науки о Земле и недропользование. — 2020. — № 43(2). — С. 177–193.
- [5] Кириченко В.Т., Зуев В.К. [и др.] Государственные геологические карты РФ масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Ангара-Енисейская (лист О-47 — Братск, О-48 — Усть-Илимск). Объяснительная записка — СПб.: Изд-во Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012.
- [6] Коробков И.Г. Структурно-тектонические, литолого-фациальные и магматические факторы минерогенического районирования и локального прогноза алмазоносности на востоке Тунгусской синеклизы (Якутская алмазоносная провинция) : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твёрдых полезных ископаемых, минерогенез» : диссертация на соискание учёной степени доктора геолого-минералогических наук / Илья Георгиевич Коробков ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. — Томск, 2014. — 370 с.
- [7] Меньшагин Ю.В., Кошкарев Д.А. Перспективы коренной и россыпной алмазоносности юго-западной части Сибирской платформы — Иркутск: Изд-во ИЗК СО РАН. — 84 с.
- [8] Никулин В.И., Щукин В.Н. Эффективность прогнозно-поисковых работ по выявлению скрытых первоисточников алмазов — Новосибирск: Изд-во ИЗК, 2005.

Вещественная характеристика магматитов и их роль в прогнозной оценке коренной алмазоносности в Мур-Ковинском и Илим-Катангском районах (Сибирская платформа)

А.Ю. Анохина, С.М. Очиржапова

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

E-mail alyona24032002@mail.ru; cvetlana.ochirzhapova@mail.ru

Аннотация. Магматический фактор является рудоконтролирующим в образовании кимберлитов. Пространственная и временная сопряженность базальтового, щелочно-базальтоидного, ультрабазитового и кимберлитового магматизма выявлена практически во всех алмазоносных районах древних платформ. В результате исследований были рассмотрены магматиты и их роль в обнаружении коренных источников алмазов в Мур-Ковинском и Илим-Катангском районах.

1. Введение

Мур-Ковинский и Илим-Катангский алмазоносные районы являются перспективными на обнаружение коренных источников алмазов. В совокупности с ведущими критериями, определенными для физико-геологической модели, магматический является определяющим для построения прогнозно-поисковой модели коренных источников алмазов на юге Сибирской платформы. Проявления щелочно-ультраосновного и субщелочно-базальтоидного магматизма, предшествующего кимберлитообразованию (средний палеозой) или синхронного с ним является поисковым признаком на обнаружение коренной

алмазоносности. В процессе поисковых работ и лабораторных исследований, проведенных в различные годы, здесь были выявлены дайки и мелкие тела трахибазальтов среднепалеозойского возраста. базитовые магматиты трапповых силлов позднепалеозойского-раннемезозойского возраста, а также брекчии расщепления и карбонатизированные туффиты из мурской толщи [1,2,3,9,12].

2. Материалы и методы

В исследовании вещественного состава траппов использована база данных по химическим анализам из петрографических разновидностей траппов различных силлов и даек Муро-Ковинского и Илим-Катангского районов.

3. Результаты исследования и их анализ

В Муро-Ковинском районе выделены дайки и пологосекущие тела среднепалеозойского возраста, сложенные долеритами и трахибазальтами. Возраст подтвержден абсолютным определением и установлен как 380 ± 40 млн. лет [4] и трапповые силлы Ангара-Тасеевского комплекса позднепалеозойского-раннемезозойского (?) возраста [12]. Трапповые силлы Ангара-Тасеевского комплекса подразделяются на три типа: первый тип-Захаровский силл, сложенный разновидностями долеритов; второй- маломощные интрузивные тела и дайки, сложенный долеритами и трахибазальтами, а также Алзамайский силл, сложенный преимущественно оливинсодержащими долеритами; третий- Абский силл, представлен дифференцированными долеритами от толеитовых до долерит-монцонитов.

В Илим-Катангском районе, в пределах тушамской площади, также на разных уровнях осадочного чехла выделены траппы: траппы Катангского комплекса и нижний уровень занимают траппы Усольского силла, отнесенного к Ангара-Тасеевскому комплексу. Среди траппов Анадеканского хребта есть находки магматитов среднепалеозойского возраста. Возраст был определен калий-аргоновым методом и составил 326–356 млн лет [5]. Трапповые силлы Катангского комплекса и Усольский силл отнесены к позднепалеозойскому-раннемезозойскому (?) возрасту.

Для определения формационной принадлежности было проведено сравнение траппов Муро-Ковинского и Илим-Катангского района. По результатам химических анализов построены диаграммы щелочности, глинозёмистости и диаграмма отношения натрия к калию.

Диаграммы траппов среднепалеозойского возраста представлены на рис. 1.

На диаграмме щелочности (а) разновидности магматитов Илим-Катангского района отнесены как к нормальным, так и к субщелочным породам, а разновидности магматитов Муро-Ковинского района относятся к нормальным, щелочным, а также к субщелочным породам.

На диаграмме глинозёмистости (б) траппы Муро-Ковинского района второго типа тяготеют к траппам Анадеканского хребта.

На диаграмме отношения натрия и калия (в), данные анализов магматитов Муро-Ковинского района р. Ковы и р. Катанги частично попадают в одно поле с траппами второго типа и траппами Анадеканского хребта Илим-Катангского района. И те и, другие представители траппов относятся либо к калиевой, либо к калиево-натриевой серии.

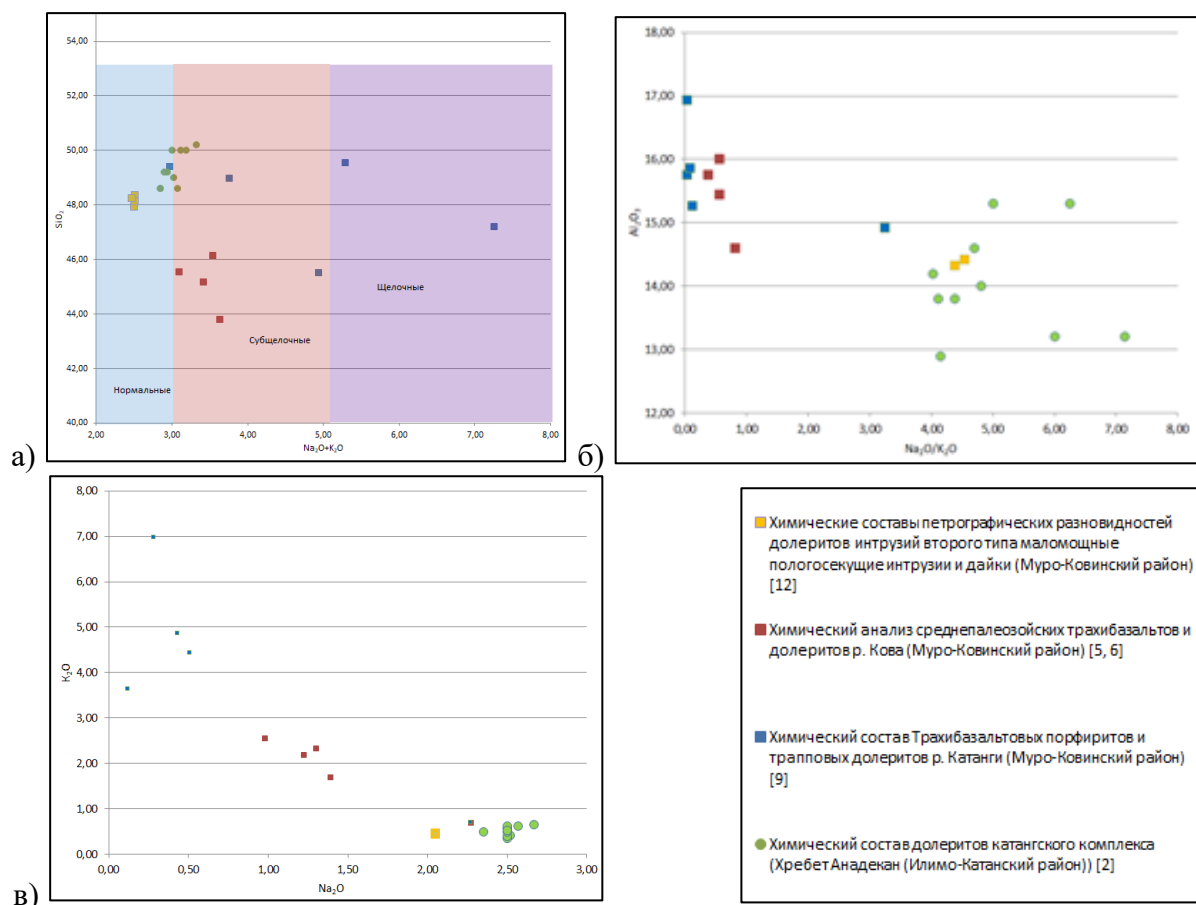


Рисунок 1. Диаграмма траппов среднепалеозойского возраста:
а) $\text{SiO}_2-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$; б) $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$; в) $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$

Диаграммы траппов позднепалеозойского-раннемезозойского возраста представлены на рис. 2.

На диаграмме щелочности (а) траппы Усольского силла Илимо-Катангского района схожи с траппами Абского силла Муро-Ковинского района и, относятся к группе пород нормального и субщелочного ряда. Траппы же Захаровского и Алзамайского силлов, по данным на диаграмме, относятся к нормальному ряду.

На диаграмме глинозёмистости (б) результаты анализов из траппов Захаровского силла схожа с данными из траппов Алзамайского силла.

На диаграмме отношения натрия и калия (в) траппы Захаровского и Алзамайского силлов попадают в одно поле, а данные траппов Абского и Усольского силлов образуют отдельное вытянутое поле.

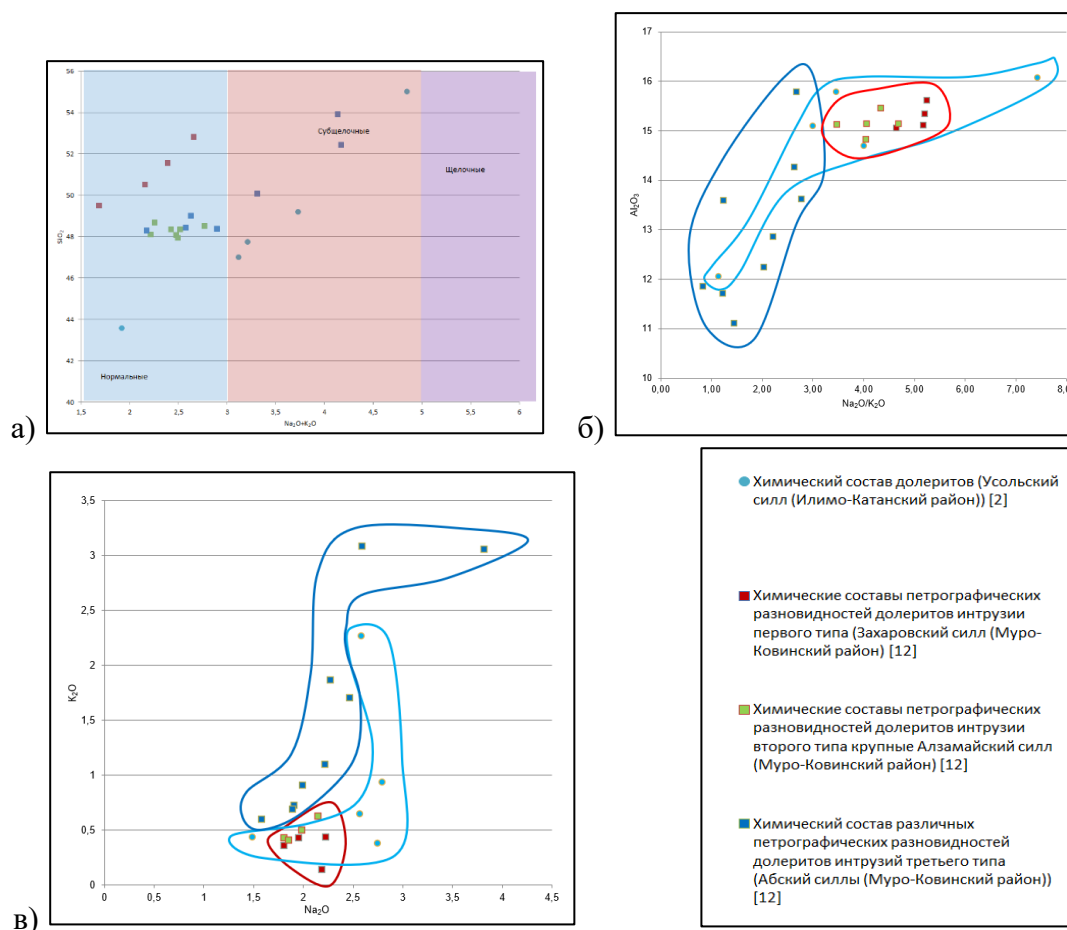


Рисунок 2. Диаграмма траппов позднепалеозойского-раннемезозойского возраста:
а) SiO_2 -($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$); б) Al_2O_3 - $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$; в) $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$

Кроме того, в Муро-Ковинском районе обнаружены обломки брекчий мурской толщи, которая была вскрыта в горных выработках, пройденных в районе устья руч. Пекемукта. Это угловатые, округло-угловатые обломки породы размером до 12 см. Окраска пород зеленовато-серая, с четкой брекчиевой текстурой. По петрографическому составу ксеногенный материал брекчий подразделяется на мраморизованные песчанистые известняки, доломиты, песчаники, гравелиты, глинистые породы, кварциты, мелкообломочные брекчии, кремни. Большинство ксенолитов осадочных пород подвержены интенсивной карбонатизации, окремнению и ожелезнению [7]. Связующая масса брекчии внедряется в виде тонких инъекций, и расщепляет ксенолиты различного литологического состава на отдельные фрагменты, которые подвергаются последующей интенсивной переработке.

Микроскопическое описание брекчии из мурской толщи выполнено сотрудниками ИЗК СО РАН [7]. Брекчии содержат до 50% обломков осадочных пород, 10-30% обломков вулканогенного материала: порфиновые вкрапленники кальцитовых или кальцит-гидрослюдистых псевдоморфоз составляют 5-10%. Связующая масса представлена тонкозернистым или криптокристаллическим карбонат-гидрослюдистым агрегатом с пылевидными окисно-рудными фазами. (47 м) Вулканогенный материал сильно переработан наложенными вторичными процессами, в результате очертания обломков становится расплывчатой, однако, все же просматриваются карбонат-гидрослюдистые псевдоморфозы. Исследователи указывают что пикрохромиты из брекчии аналогичны таковым из матрицы кимберлитов Якутии.

5. Заключение

Химические анализы, из разновидностей магматитов, Илимско-Катангского и Муромовинского районов, показал сходство между траппами второго типа – маломощными интрузивными телами и дайками с траппами хребта Анадекан, а также схожесть траппов Абского силла с Усольскими силлом. В обоих районах отмечается присутствие трахибазальтов среднепалеозойского возраста. Наличие среднепалеозойских магматитов, может указывать на возможное синхронное образования траппов с кимберлитовыми трубками взрыва, а брекчии мурской толщи, схожие с аппокимберлитами р. Вакунайки могут влиять на перспективность поисков коренных источников алмазов в данных районах.

Библиографический список

- [1] Локальный прогноз и поиски коренных месторождений алмазов на юге Сибирской платформы / А.С. Барышев, К.Н. Егоров, Д.А. Кошкарёв // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. — № 5 (31). — С. 40–54.
- [2] Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Ангара-Енисейская. Лист О-48 — Усть-Илимск.
- [3] Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Ангара-Енисейская. Лист О-47 – Братск. Объяснительная записка. — СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. — 470 с.
- [4] Домышев В.Г. Пирокластические толщи, трапповый вулканизм и тектоника юго-востока Тунгусской синеклизы — Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1974. — 118 с.
- [5] Домышев В.Г. Проблемы кимберлитового магматизма. — Новосибирск: Наука. Сиб. Отделение, 1989. — 256 с.
- [6] Домышев В.Г., Лашенков В.А., Лепин В.С. О возрасте трихибазальтов среднего приангарья. — Иркутск: Институт земной коры СО АН СССР, 1986. — С. 439-442.
- [7] Егоров К.Н. Перспективы коренной и россыпной алмазности юго-западной части Сибирской платформы / К.Н. Егоров, Н.Н. Зинчук, С.Г. Мишенин [и др.]. // Геологические аспекты минерально-сырьевой базы Акционерной компании «АЛРОСА». — Мирный: Изд-во ООО «Мирнинская городская типография», 2003. — С. 50–83.
- [8] Апокимберлиты реки Вакунайки: новые данные и перспективы / П.Ф. Иванов, Т.И. Хмельницкая // Науки о Земле и недропользование. — 2020. — № 43 (2). — С. 177–193.
- [9] Кузнецов М.Ф. Новые данные о возрастном и пространственном размещении траппов юго-восточной окраины Тунгусской синеклизы / М.Ф. Кузнецов, В.П. Наумов, С.И. Тарасевич // Докл. АН СССР. — 1969. — Т. 185, № 5. — С. 1115–1118. Объяснительная записка. — СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012, 433 с.
- [10] Павленко И.П., В.М. Трахибазальты бассейна р. Ангары. — Иркутск: Иркутское ТГУ, 1979. — С.140–144.
- [11] Рапацкая Л.А. Влияние траппового магматизма на нефтегазоносные горизонты (юг Сибирской платформы) / Л.А. Рапацкая, М.Е. Тонких, Е.А. Стрижаков // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. — 2019 — Т. 42, № 1. С. 7-14.
- [12] Тонких М.Е. Траппы Ангара-Тасеевского долеритового комплекса (юг Сибирской платформы) / М.Е. Тонких // Волгоград: Научное обозрение. — 2015. — Т. 1, №2 (18). — С.122–124.

Многофакторная прогнозно-поисковая модель коренных источников алмазов в Муро-Ковинском и Илимo-Катангском районах

А.В. Дидигурова, Е.А. Пыжьянов, М.Е. Тонких

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

E-mail viogiz02@mail.ru, 1290347800@rambler.ru, tonkikh_me@ex.istu.edu

Аннотация. Выполнен анализ факторов для построения прогнозно-поисковой модели коренных месторождений алмазов на юге Сибирской платформы. Рассмотрены прогнозно-поисковые модели коренных месторождений районов с промышленной алмазоносностью Якутской алмазоносной провинции. Проанализированы результаты алмазо-поисковых работ в Муро-Ковинском и Илимo-Катангском районах. Выделены факторы для создания прогнозно-поисковой модели коренных месторождений юга Сибирской платформы. Даны рекомендации для поисков коренных источников алмазов в пределах перспективных площадей.

1. Введение

Алмазы являются важным индустриальным и ювелирным видом сырья. В настоящее время стоит острый вопрос о необходимости пополнения запасов минерально-сырьевой базы Российской Федерации, в том числе Иркутской области.

2. Материалы и методы

Материалы исследования: физико-геологическая модель кимберлитового поля (в качестве эталонных объектов были взяты кимберлитовые поля Мало-Ботуобинского, Среднемархинского и Далдыно-Алакитского районов), схема расположения алмазоносных минерагенических зон юга Сибирской платформы, прогнозно-поисковые факторы коренных месторождений алмазов Якутии, результаты алмазо-поисковых работ предшественников.

Методы исследования: сравнительно-сопоставительный.

3. Результаты исследования и их анализ

В процессе нашей деятельности были проанализированы результаты алмазо-поисковых работ предшественников в Муро-Ковинском и Илимo-Катангском районах:

Региональными алмазопроисковыми работами в 1950-53 гг. в нижнем течении р. Тушамы в русловых отложениях выявлена бедная алмазоносная россыпь /Апенко, 1952/.

В 1950-60-х годах, в русловом аллювии р. Ковы было найдено 10 кристаллов алмаза; в аллювии р. Муры найден один кристалл весом 4 мг. /Потапов, 1972/.

Работами 1998–1999 гг. по оценке перспектив Илимo-Катангского района в отложениях тушамской свиты было обнаружено 74 зерна пиропов /Барышев, 1998/.

В 2003 г. на Муро-Ковинской площади установлены ИМК (индикаторы-минералы кимберлитов) /Денисенко, 2003/.

При составлении ГК-1000/3 в 2007 г. с целью оценки минерагенического потенциала алмазоносности Тушамского участка в аллювиальных отложениях установлены пиропы, хромиты, пикроильмениты /Алексеев, 2007/.

Составлена схема перспектив алмазоносности территории листа О-48 масштаба 1:2 500 000 /Денисенко, 2010/.

В 2015-2017 гг АО «СНИИГТиМС» выполняло работы в пределах Илимo-Катангского района. ИМК и алмазы были установлены в 420-ти пробах. В 3 точках найдены 7 кристаллов алмаза /Мишенин, 2017/.

На основе проанализированных данных для выделения прогнозно-поисковых факторов были выбраны Муром-Ковинский и Илим-Катангский районы, входящие в алмазонасыщенные минерогенетические зоны (рисунок 1).

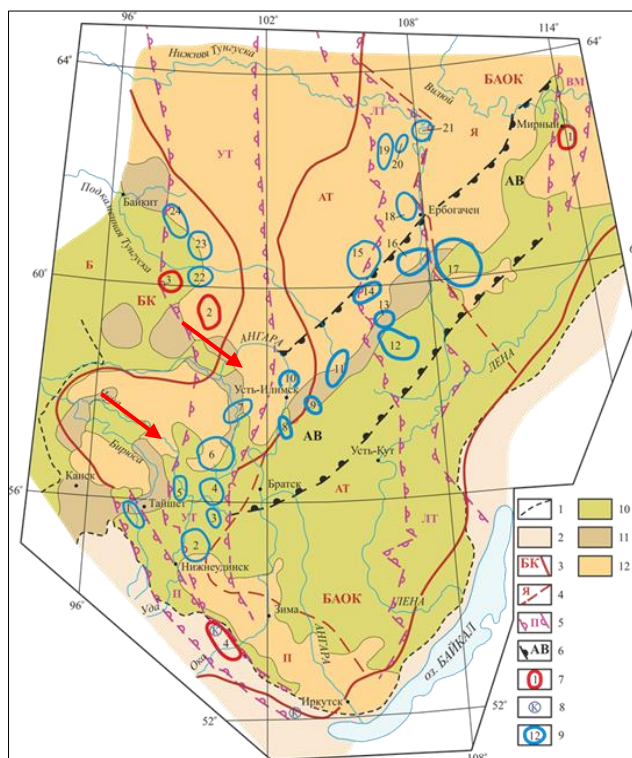


Рисунок 1. Расположение алмазонасыщенных минерогенетических зон и прогнозируемых площадей на юге Сибирской платформы (Барышев А.С. и др, 2007) [1]

- 1 – современная граница распространения чехла платформы; 2 – Саяно--Байкальская полициклическая складчатая область; 3 – архейские кратоны Сибирской платформы: Бирюсинско--Ангаро-Оленекский (БАОК), Байкитский (БК); 4 – контуры алмазонасыщенных субпровинций: Якутской (Я), Ангаро--Тунгусской (АТ), Присянской (П), Байкитской (Б); 5 – алмазонасыщенные минерогенетические зоны: Присянская (П), Удино-Тунгусская (УТ), Лено-Тунгусская (ЛТ), Вилуйско--Мархинская (ВМ); 6 – Ангаро--Вилуйская алмазонасыщенная минерогенетическая зона (АВ); 7 – кимберлитовые и лампроитовые поля: 1 – Мирнинское кимберлитовое среднепалеозойское, 2 – Чадобецкое и 3 – Тайгино--Тарыдакское кимберлитовые мезозойские, 4 – Ингашинское лампроитовое верхнепротерозойское; 8 – ультраосновные интрузии и карбонатиты Белозиминского комплекса венда; 9 – прогнозируемые перспективные площади, адекватные кимберлитовому или лампроитовому полю: 1 – Ингашетская, 2 – Тангуй-Удинская, 3 – Андочинская, 4 – Чукшинская, 5 – Бирюсинско-Чунская, 6 – Мурская, 7 – Магдонская, 8 – Илимская, 9 – Тубинская, 10 – Тушамская, 11 – Верхнекатангская, 12 – Чангильская, 13 – Икская, 14 – Немуйская, 15 – Алтыбская, 16 – Ереминская, 17 – Верхнечонская, 18 – Верхнекочемская, 19 – Нижнекочемская, 20 – Верхнеапкинская, 21 – Нижнеапкинская, 22 – Тарыдакская, 23 – Шушукская, 24 – Хушмуканская; интегрированные контуры геологических образований платформенного чехла: 10 – площади, сложенные отложениями рифея – нижнего палеозоя (до силура включительно); 11 – площади распространения образований девона и карбона; 12 – площади, сложенные преимущественно отложениями перми, мезозоя, кайнозоя.

Для построения прогнозно-поисковой модели в Муро-Ковинском и Илим-Катангском районах принята физико-геологическая модель (ФГМ) кимберлитового поля Якутской алмазоносной провинции (рисунок 2).

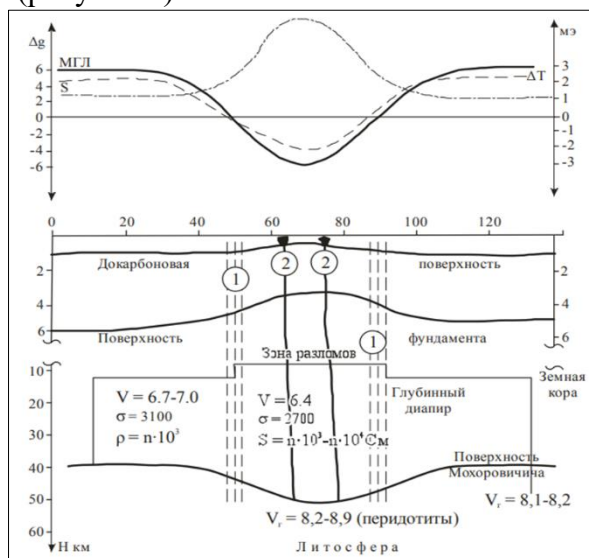


Рисунок 2. Физико-геологическая модель (ФГМ) кимберлитового поля
1 – корово-мантийные разломы; 2 – кимберлитовые тела (См: $\rho = n \cdot \text{Ом} \cdot \text{м}$, $\sigma = n \cdot \text{кг/м}^3$,
 $V = n \cdot \text{км/с}$) [1]

Материальными элементами ФГМ кимберлитового поля являются литосфера, земная кора (со структурными элементами), мантийные диапиры, корово-мантийные разломы, флюидно-магматическая колонна (с телами щелочно-базальтоидного и щелочно-ультраосновного состава), наделенные параметрами намагниченности, плотности, скорости сейсмических волн, электрического сопротивления.

Из анализа ФГМ кимберлитового поля вытекает следующая совокупность его геологических и геофизических прогнозно-поисковых критериев в перспективных алмазоносных районах:

Муро-Ковинская площадь

Структурные критерии: Муро-Ковинская площадь располагается в западной части Бирюсинско-Ангаро-Оленекского кратона, где мощность литосферы превышает 200 км, здесь отмечается понижение уровня Мохоровичича до 42 км. В докарбоновой поверхности структура проявляется в виде двух крупных валов: Ковинский и Верхнековинский. Прослеживается узел пересечения Ковино-Коржинской тектонической структуры с зонами скрытых разломов фундамента (Большепитско-Кислоканской и Ангаро-Сользоводской) северо-восточного простираения.

Магматические критерии: проявление субщелочных базитов среднепалеозойского возраста и траппов Ангаро-Тасеевского комплекса позднепалеозойского-мезозойского возраста; наличие глубинного диапира основного-ультраосновного состава.

Минералогические критерии: в аллювии р. Ковы и р. Муры были обнаружены кристаллы алмазов, а также минералы спутники алмазов часть из которых относится к алмазной ассоциации в отложениях мурской толщи (С1?), катской свиты (С2-3), переяславской свиты (J1) и в русловом аллювии четвертичного возраста (Q).

Геофизические критерии: локальные аномалии пониженных значений Δg и сочетание локальных аномалий пониженных значений Δg и ΔT , а также локальные аэромагнитные аномалии.

Тушамская площадь

Структурные критерии: площадь располагается на сочленении западного борта Ангаро-Непско-Ботуобинской антеклизы с восточным бортом Присяно-Енисейской синеклизы; в рельефе докарбоновой поверхности выделяется крупное Ангаро-Чонское линейное региональное поднятие, имеющее северо-восточное направление; прослеживается узел пересечения субмеридионального и субширотного глубинных разломов.

Магматические критерии: глубинная зона пород основного-ультраосновного состава (по геофизическим данным); субщелочные магматические породы среднего палеозоя и траппы Ангаро-Тасеевского комплекса позднепалеозойского-мезозойского возраста.

Минералогические критерии: обнаружены аллювиальные россыпи алмазов (непромышленные) и находки минералов-спутников алмаза (пироп, хромшпинелиды) в первичном коллекторе (тушамская свита) и современном аллювии водосборного бассейна р. Тушамы. Отмечается присутствие в составе гранатов высокохромистых разновидностей пиропов, в том числе алмазного парагенезиса.

Геофизические критерии: на площади выделено несколько локализованных отрицательных аномалий силы тяжести и локальных аэромагнитных аномалий.

Анализ факторов прогноза в Муру-Ковинской и Илим-Катангском районах показал, что они соответствуют факторам физико-геологической модели (ФГМ), принятой для характеристики кимберлитовых полей (PZ2) Якутской алмазоносной провинции (Таблица 1).

Таблица 1

Критерии выделения площадей, адекватных кимберлитовому полю по ФГМ

Площадь	Критерии									
	Структурные			Магматические		Минералогические			Геофизические	
	Зона глубинного разлома	Локализованные поднятия в фундаменте	Поднятия и выступы в докарбоновой поверхности	Проявления базальтоидного субщелочного магматизма	Глубинные диапиры основного у/осостава	Находки			Понижения магнитного и гравитационного полей	
						Алмазов в аллювии	Индикаторы в аллювии	В осадочных коллекторах		
Муру-Ковинская	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Тушамская	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+

Примечание: Критерий установлен (+), не установлен (-)

4. Обсуждение

Исходя из проанализированных критериев и методических указаний по поискам и прогнозированию коренных месторождений алмазов на Сибирской платформе (И. В. Серов, О. С. Граханов и др.) от АК «АЛРОСА» (ПАО) были составлены рекомендации на поисковые работы в пределах выделенных перспективных площадей: Муруковинской и Тушамской (Таблица 2).

Таблица 2

Геологические задачи на стадии доизучения площадей и основные методы их решения в различных геологических обстановках [5]

Целевое назначение работ	Основные геологические задачи	Методы решения геологических задач
Локализация площадей перспектив- ных на выявление кустов и отдельных кимберлитов ых тел.	Этап I (опережающих геолого-геофизических исследований)	
	Уточнить проявленность, в пределах изучаемого кимберлитового поля (известного или прогнозируемого), региональных и среднемасштабных критериев кимберлитового магматизма	1. Анализ структурно-тектонического строения, литолого-фациальных построений
	Детализировать внутреннюю структуру кимберлитового поля с целью выявления аномальных объектов, соответствующих	1. АМС-25 2. Петрофизические исследования 3. Сейсморазведка МОВ-ОГТ (шаг профилей 0,2-

Уточнение границ изучаемого кимберлитового поля. Оценка прогнозных ресурсов коренной алмазоносности категорий Р3-Р2	кустам и отдельным телам кимберлитов	1 км) 4. Гравиразведка 1:50 000-1:25 000
Локализация площадей перспективных на выявление кустов и отдельных кимберлитовых тел. Уточнение границ изучаемого кимберлитового поля. Оценка прогнозных ресурсов коренной алмазоносности категорий Р3-Р2	Этап II (минералогическое картирование)	
	Уточнить геологическое строение перекрывающей и вмещающей кимберлиты толщи, выявить в подошвенных горизонтах перекрывающей толщи минералогические признаки кимберлитового магматизма, установить литолого-фациальные условия формирования разновозрастных алмазоносных отложений	1. Поисково-картировочное бурение по сети 2×1, 1×1; 1×0,5, 0,5×0,5 км в комплексе с ГИС опробованием 2. Детальное литолого-стратиграфическое расчленение, литолого-фациальный анализ
	Провести комплексное минералогическое картирование изучаемой территории с целью оконтуривания площадных ореолов ИМК и локализацию первичных потоков рассеяния	1. Маршрутные исследования с опробованием промежуточных коллекторов ИМК в естественных обнажениях. 2. Детализация участков, в пределах которых выявлены ореолы ИМК в подошвенных горизонтах континентальных отложений, с доведением буровой сети до 0,5×0,25, 0,4×0,2 км в комплексе с ГИС и опробованием
	Установить геологическую природу, выявленных геофизических аномалий	1. Буровые работы на перспективных объектах
	Этап III (камеральный этап)	
	Выполнить прогнозную оценку изучаемой территории, оценку прогнозных ресурсов коренной алмазоносности. Разработать рекомендаций по направлению дальнейших геологоразведочных работ	1. Комплекс лабораторных исследований 2. Камеральные работы (обработка вновь полученных материалов) 3. Составление специализированных на алмазы карт, в том числе прогнозной Оценка прогнозных ресурсов категорий Р3 по вновь выявленным объектам (прогнозируемым кустам кимберлитов), и категории Р2, в случае выявления ореолов ближнего сноса и аномалий трубчатого типа.

5. Заключение

За последнее время были применены практически все возможные и известные поисковые методы, тем не менее это не привело к существенному повышению эффективности поисковых работ, особенно на «закрытых» территориях. Возможности совершенствования ограничены повышением информативности и надёжности двух основных поисковых методов – шлихо-минералогического и геофизического. При этом следует непременно учитывать, что значительная часть перспективных поисковых площадей на Сибирской платформе, перекрыты трапповыми образованиями, на которых эти методы работают крайне неэффективно, вплоть до полного их отказа (По

методическому пособию по прогнозированию и поиску коренных месторождений алмазов на Сибирской платформе от АК «АЛРОСА» (ПАО)).

Основным выходом из данной ситуации является разработка методов, позволяющая решать поисковые задачи вне зависимости от геологической обстановки.

На наш взгляд, это бурение, которое вскроет трапповые образования и вышележащие отложения, а также усовершенствованные геофизические методы, для которых трапповый магматизм не является преградой.

Библиографический список

- [1] Барышев А.С. Локальный прогноз и поиски коренных месторождений алмазов на юге сибирской платформы / А.С. Барышев, К.Н. Егоров, Д.А. Кошкарев // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. — Иркутск: Изд.-во ИрГТУ. — 2007. — № 5 (31). — С.40–54.
- [2] Денисенко Е.П., Барышев А.С., Егоров К.И. [и др.] Поисково-оценочные работы на алмазы на Магдонском участке Ковинской площади за 2004–2006 гг. Объяснительная записка к Карте прогноза алмазоносности Иркутской области м-ба 1: 1 000 000. ФГУ ИТФГИ, 2006.
- [3] Кириченко В.Т., Зуев В.К., Перфилова О.Ю., Сосновская О.В. [и др.] Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение). Серия Ангара-Енисейская. Лист О-47 — Братск. Объяснительная записка. — СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. — 470 с. + 11 вкл.
- [4] Пермьяков С.А., Денисенко В.П., Попова Т.Д., Куракина А.Н. [и др.] Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение). Серия Ангара-Енисейская. Лист О-48 — Усть-Илимск. Объяснительная записка. — СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. — 433 с. + 23 вкл.
- [5] Серов И. В., Граханов О.С., Кошкарев Д.А. [и др.] Прогнозирование и поиски коренных месторождений алмазов на Сибирской платформе. Методическое пособие. Мирный: АЛРОСА, 2020. — 155 с.: ил.

Сравнительные характеристики самородного золота в аллювиальных и техногенных россыпях долины р. Нойба. Проблемы его образования

Е.П. Ермолаева

Геологоразведочный техникум ИРНИТУ, Иркутск, Россия

Email: lana585858@mail.ru

Аннотация. Авторами проведен анализ условий формирования золотоносности реки Нойба и техногенно-минеральных образований, возникших при разработке россыпи. На формирование золотоносности россыпи и техногенно-минеральных образований оказали влияние процессы разложения золотоносных сульфидов и перераспределение высвобожденного золота из растворов. После отработки россыпи продолжается окисление сульфидов, с высвобождением находящегося в них золота. В кислых техногенных водах происходит перемещение золота в растворенной форме, осаждение и восстановление металлических фаз золота. На основе изучения свободного золота и теоретических предпосылок формирования хемогенно - и биогенно осажженного золота, сделан вывод, что техногенные отвалы месторождения р.Нойба могут иметь зоны повышенной концентрации новообразованного свободного золота.

1. Введение

Самородное золото в техногенных россыпях и хвостах шлихообогатительных фабрик (ШОФ) подвергается определенным изменениям. В последние годы, в связи с ростом практического интереса к техногенным россыпям, данная проблема приобрела актуальность [Фельдбарг, Захарова, 1984; Парий, Амосов, 1998; Мязин, Татауров, 2000; Макаров, 2001; Ковлеков, 2002; Наумов 2010]. Изучение изменения золота в техногенных россыпях чрезвычайно важно как с научной точки зрения, так и с практической, для их повторной отработки. Масштаб и скорость этих преобразований зависят, главным образом, от применяемой технологии отработки россыпей и ландшафтно-климатических условий.

Золото отвалного комплекса техногенных россыпей отличается от металла исходных объектов морфологическими особенностями и гранулометрическим составом.

В эфельных отвалах накапливается более мелкое золото, для галечных отложений характерен тот же гранулометрический состав и весовые характеристики золота, что и для целиковых россыпей. Кроме этого установлено, что в техногенных россыпях (эфелях) наблюдается преобладание пластинчатого золота за счет его более низкой гидравлической крупности и максимального смыва со шлюзов. Считается, что при определенных условиях на золотосодержащих отвалах могут отмечаться процессы высвобождения золота, его укрупнение, а также перераспределение на геохимических барьерах. Высказываются предположения о возможности относительно быстрой естественной регенерации отработанных россыпей [Freise, 1931; Смирнов, 1955]. При этом указывается на положительное влияние органики и бактерий [

Месторождение россыпного золота долины р. Левая Нойба расположено в северной части Енисейского кряжа в верховьях р. Нойба. Месторождение локализовано в долине р. Левая Нойба (левая вершина р. Нойба) и протягивается вверх по долине реки на протяжении 12 км от ее устья. (см. рисунок 1). В административном отношении месторождение находится на территории Северо-Енисейского муниципального района. В долине реки Нойба широко распространены рыхлые образования элювиального, аллювиального, флювиогляциального, делювиального происхождения.

Россыпь золота реки Нойба выделена в пределах эрозионно-аккумулятивных и прислоненных аллювиальных террас. Аллювиальные террасы состоят из нескольких свит с нормальным межледниковым (гумидной обстановки) и перигляциальным (сформированным в период оледенения) аллювием. Основная продуктивная залежь россыпи установлена в нижней части разреза и тяготеет к глубокому тальвегу нормальной (межледниковой) свиты аллювия. Глубокая (тальвеговая) часть россыпи представлена высокоглинистым галечно-валунно-гравийным материалом. Плотик россыпи сложен переслаивающимися метаморфическими сланцами филлитовидными зелеными, зеленовато-серыми хлорит-серицит-кварцевыми тонкополосчатыми с прослоями метаморфизованных известняков и доломитов вкрапленными сульфидами, и тонкими прослоями мраморов [1]. Общая мощность аллювиальных террас золотоносной толщи достигает 50 м.

Россыпь р. Левая Нойба относится к группе долинных, целиковых. Буровыми работами прослежена на протяжении 12100 м начиная от верхней кромки дражного полигона и далее вверх по долине реки до руч. Ланбинский (левый приток р. Левая Нойба). Ширина россыпи варьирует от 20 до 210 м, составляя в среднем 62 м.

Золото в россыпи литологически связано с галечниками русловой фации современного аллювия и локализуется чаще всего в приплотиковой части разреза или верхних горизонтах плотика. Мощность пласта по отдельным выработкам изменяется от 0,5 до 4,0 м, по блокам от 0,5 до 2,3 м. Мощность торфов по выработкам варьирует от 1,0 до 5,5 м.

Распределение концентраций полезного компонента по простиранию россыпи также довольно неравномерно. Наблюдается локальное обогащение фрагментов россыпи ниже впадения ее притоков. Средние содержания по выработкам изменяются в очень широких

пределах от 40 мг/м³ до 10354 мг/м³. Средние содержания по блокам варьируют также в широком диапазоне от 513 мг/м³, до 5608 мг/м³.

Ситовым анализом установлен следующий гранулометрический состав золота россыпи р. Левая Нойба (Таблица 1)

Таблица 1

Гранулометрический состав золота россыпи р. Левая Нойба

Класс крупности, мм	Количество зерен данного класса, шт	Вес золота по классам расситовки, мг	Вес золота по классам в % к общему весу	Средний вес зерна золота, мг	% золота меньше данного класса
+3,0 – 4,0	4	129,46	16,3	32,37	83,7
+2,0 – 3,0	9	116,26	14,6	12,92	69,1
+1,0 – 2,0	48	146,78	18,5	3,06	50,6
+0,5 – 1,0	284	235,80	29,7	0,83	20,9
+0,25 – 0,5	543	112,31	14,1	0,21	6,8
+0,1 – 0,25	814	53,85	6,8	0,07	-
Итого	1702	794,46	100	0,47	

Согласно классификации ЦНИГРИ по классам крупности зерен россыпь р. Левая Нойба характеризуется отсутствием явного преобладания каких-либо классов над другими. Количество крупного (30,9%) и среднего (18,5%) золота, примерно соответствует по массе мелкому (43,8%) золоту. Весьма мелкое и тонкое золото, большей частью, уходящее в хвосты промывки, присутствует в небольших объемах (6,8%).

Самые крупные золотины достигают размера более 3-х миллиметров в поперечнике. Цвет зерен темно-желтый, золотисто-желтый, некоторый с красноватым оттенком.

Золото большей частью полуокатанное, хорошо окатанное отмечается на нижнем отрезке долины, где его количество достигает 50-55%. Преобладают зерна лепешковидной формы, менее распространено комковидное золото. Количество мелких изометричных кристаллов октаэдрической формы достигает 10-15%. Рельеф зерен, в основном, ровный, слабоволнистый. Деформации проявляются в виде изгибания пластинчатых и лепешковидных золотинок. На верхнем отрезке россыпи отмечаются сростки с кварцем. По всей протяженности россыпи отмечаются темно-вишневые окисные «рубашки» на поверхности отдельных хорошо окатанных зерен. В углублениях комковидных золотинок наблюдаются черные пленки гидроокислов марганца.

Добычу золота из россыпи проводили неоднократно. Ранее россыпь отрабатывали дражным способом с проходкой сплошным забоем и переработкой перигляциальной и нормальной части аллювия на объем технических возможностей драги. Работала 600-л драга с глубиной черпания до 50 м. Если продуктивный пласт был глубже 50 м или находился вне зоны технических возможностей работы драги в бортах карьера, он сохранился как нетронутый целик.

Оставшиеся после дражной отработки целики были отработаны гидравлическим прибором ППМ-5 (прибор промывочный модульный с шириной грохота – 5 м) по экскаваторно-транспортной схеме с подвозкой песков на гидравлический прибор. Хвосты гидравлической отработки сформировали техногенные отвалы. Техногенный рельеф речных долин, остающийся после разработки россыпных месторождений, сложен и разнообразен. По своим параметрам он сопоставим с параметрами естественных форм рельефа: высотами речных террас, глубиной вреза в их поверхность долин и ручьев [1]. Глубина карьерной выработки достигает 35 м. Высота отвалов хвостов обогащения при промывке на промывочном приборе ППМ-5 составляет 2-3 м.

Техногенные образования представлены перемывным и насыпным генетическими подтипами. Техноген перемывной сложен валунно-щебнисто-галечниковым материалом с незначительным содержанием песков и гравия. Характеризуется микрогрядовым рельефом при дражном перемиыве и холмисто-западинным – при применении промприбора. Гряды и холмы чередуются с котлованами, заполненными водой, песчано-глинистыми и суглинисто-илистыми осадками.

Техноген насыпной представлен дамбами, сооружаемыми для создания запасов воды (например, в долине р. Безымянки), отстойников мути, возникающей при гидромеханической отработке россыпей. Мощность техногенных образований достигает 30 м. Образования золотonosны. Объектами изучения было золото из природной россыпи и из техногенно-минеральных образований (ТМО), накапливающееся в продуктах разработки россыпи. ТМО – хорошо промытые и отсортированные образования двух литолого-технологических типов (см. рисунок 2). Золотonosность ТМО оценена по материалу валунно-галечных (+50 мм) и гравийно-песчаных (-50 мм) осадков (эфеля), разделенных в результате грохочения и гравитационного обогащения на наклонных шлюзах при гидравлической промывке.

Валунно-галечные осадки представляют собой промытые обломки пород элювиального, аллювиального горизонтов. В них практически отсутствует глинисто-песчаный заполнитель. Гравийно-песчаные комплексы формируются гидронамывом, после отсева класса менее 50 мм и обогащения «песков» на наклонных шлюзовых комплексах. Они образуют своеобразный конус отвалов и характеризуются лито-динамической зональностью и хорошей сортировкой по крупности [11]. Гравийно-галечная часть сложена окатанными обломками песчаников и сланцев, в песчаной присутствует большая доля кварца и сульфидов.

Практический интерес представляют гравийно-песчаные отвалы. В их пределах минеральный состав тяжелой фракции представлен сульфидными (пирротин, пирит, халькопирит), рудными (ильменит, гематит, магнетит), гипергенными (лимонит) минералами, гранатом. Встречается незначительное количество рутила, циркона, эпидота [1]. Среди сульфидов встречаются как окисленные, так и неокисленные разновидности. Глинистая фракция водным потоком с приборов выносится в отстойники, где твердая фаза постепенно осаждается на дно водоема.

Распределение частиц золота ТМО по содержанию, крупности, в плане и по разрезу песчаных отложений неравномерное. Повышенные концентрации более крупного золота находятся вблизи зоны боя потока у прибора, и постепенно снижаются к периферии зоны конуса намыва ТМО. Неравномерность распределения частиц золота в ТМО обусловлена их гравитационной дифференциацией в процессе промывки «песков» и просадкой тяжелой фракции. К сожалению, головная часть гравийно-песчаных отвалов транспортируется бульдозерами в общий отвал. Места его расположения относительно локальны и незакономерны. В отдельных точках на месте сброса пульпы со шлюзов, содержание золота в гравийно-песчаных отложениях достигает десятков граммов на тонну.

2. Методы исследования

В процессе изучения и отработки долинных и техногенных россыпей при изучении проб золота и строения россыпей были выявлены некоторые особенности. Пробы отбирались как из керна скважин колонкового бурения, так и с поверхности техногенных отложений. из закопаш размером 0,3х0,3 м глубиной около 0,2-0,3 м, объемом 20 литров каждая; промыты на лотке до «черного» шлиха. Оптимальный объем шлиховой пробы, и шаг опробования для техногенных россыпей определены на основании ранее проведенных методических работ.

Сокращение концентрата, сушка, отделение магнитной и электромагнитной фракций, рассев по размерным классам, тяжелосредная сепарация и выделение свободного золота, было проведено в лабораториях предприятия АО Прииск Дражный и в минералогической лаборатории Минусинской ГРЭ выполнен полный полуколичественный анализ шлихов,

отобранных из скважин, вскрывших наиболее полный разрез рыхлых отложений. Пробность золота определялась в пробирной лаборатории Северной ГРЭ

. Среднее содержание золота, поступающее с прибора ППМ-5 в ТМО, составило 0,1 г/м³. Определен состав размерных фракций металла, поступающего в ТМО с прибора ППМ-5 путем улавливания его в подшлюзках (см. таблицу 2).

Таблица 2

Распределение содержания золота, полученного с подшлюзков после прибора ППМ-5

Фракция, мм	Масса золота, г	Выход фракции, %	Нормативный коэффициент извлечения	Извлечение золота, %	Потери золота, %
-8,0+4,0	2,2	10,38	0,995	10,325	0,052
-4,0+2,0	2,3	10,85	0,995	10,795	0,054
-2,0+1,0	3,3	15,57	0,980	15,255	0,311
-1,0+0,5	5,3	25,00	0,930	23,275	1,725
-0,5+0,25	4,5	21,23	0,800	16,981	4,245
-0,25+0,1	3,4	16,04	0,500	8,019	8,019
-0,1+0	0,2	0,94	0,500	0,472	0,472
Итого:	21,2	100,00		85,122	14,878

Основное извлечение золота приходится на средний класс крупности (минус 2,0 мм - плюс 0,5 мм). Основные потери золота на приборе ППМ-5 связаны с неудовлетворительным извлечением класса менее 0,25 мм. Определение потерь металла, полученного путем использования подшлюзков, показало, что среднее содержание золота в отвалах может составлять более одного грамма на кубометр. Поэтому необходимо технологическое переоснащение используемой схемы обогащения с учетом более полного извлечения металла класса менее 0,25 мм.

3. Природа россыпного золота

Возникновение россыпей связано с разрушением горных пород и переотложением полезных минералов, устойчивых в экзогенных условиях. Нахождение полезных компонентов в промышленных или близких к ним концентрациях в первую очередь связано с разрушением горных пород, несущих золотое оруденение. На эндогенном этапе рудообразования при орогенезе и сопутствующем ему метаморфизме и гранитизации, в результате температурного прогрева происходит перераспределение и укрупнение первичных золотоносных фаз [6], [7]. Месторождение самородного золота относится к гидротермальному генетическому типу, золото-кварцевой формации, геолого-промышленному типу жильно-прожилково-вкрапленных минерализованных зон. На границе метаморфизованных сланцев и кварцевой и сульфидной фазы из первичных нанообразований золота образуются микро- и макровыделения золота в приконтактовой зоне.

На экзогенном этапе происходит формирование россыпи. Частицы микро- и макроформ золота высвобождается из зон кварц-сульфидных фаз; поступает в аллювий [6]. При этом продолжаются разрушение сульфидной части золотосодержащих минералов. Формируются золотосульфатные растворы. На этапе промораживания осадков в период оледенения формируются прослои перигляциального аллювия [8]. Золотосодержащие растворы существенным образом промерзают, уменьшается объем жидкой части и при этом повышается концентрация золота в раствор. На определенном этапе промораживания (криогенном барьере), золото осаждается из пересыщенных растворов в виде пленок или металлических частиц в межзерновом пространстве или на частицах золота или других минералов.

Образуются микро- и макроформы самородных частиц металла или псевдорудное золото [3]. В процессе промораживания сульфидов до 20 % их массы разлагается [9]. Металл при размораживании переходит в растворы или образует кристаллогидратные соединения сульфатов по металлам первичных сульфидов. Золотосодержащие сульфиды поступают в растворы и могут осаждаться в виде нанопленок золота на других минералах и частицах золота [10]. Свидетельством остаточного эффекта такого взаимодействия могут служить гидроксиды железа в виде пленок и примазок на поверхности частиц золота.

4. Техногенез и новообразования золота в пределах ТМО

После обработки россыпи породы плотика и предплотиковой части россыпи поступают на поверхность. В ТМО проявляются процессы преобразования золота в экзогенных условиях, такие, как и при условиях формирования россыпей [11]. Взаимодействие сульфидов с поверхностными водами приводит к их последующему разложению и переотложению золота, как на частицах золота, так и в виде пленок (примазок) на других минералах [10]. Свидетельством того также служат пленки гидроксидов железа на частицах золота и других минералов. Таким образом, рассмотренные нами процессы преобразования вещества или несколько этапов преобразований вещества, показывают нам, что это золото находящиеся в россыпях реки Нойба, а также золото, поступившее в ТМО, может представлять собой продукт многофазного развития и являться продуктом многократного переотложения.

При этих процессах формируется достаточно большая доля золота мелких и тонких классов крупности, золота «в пленках» на других минералах. Такое золото частично извлекают при лотковом опробовании, и оно поступает в ТМО при разработке россыпи наклонными шлюзами гидравлических приборов.

5. Заключение

На основании проведенных исследований прослежен вероятный механизм формирования первичной золотоносности углеродистых черносланцевых отложений на основе сорбции золота углеродистым веществом. Показано, что процессы новообразования (укрупнения) золота могут протекать достаточно эффективно как на этапе формирования россыпного золота, так и после поступления его в ТМО.

Процессы преобразования золота были изучены на других объектах ТМО. Существует высокая вероятность, что показанные механизмы перераспределения золота более широко распространены в природе. Доказательством укрупнения золота в ТМО являются фактические данные, полученные при изучении новообразованного золота присутствие техногенного новообразованного золота [12].

Необходимы более детальные изучения частиц золота, их внутренней структуры, микро и нанопористости, в результате цикла экспериментальных работ, будут получены дополнительные данные, доказывающие или опровергающие высказанные положения.

Библиографический список

- [1] Борхвальд, О.В. Словарь золотого промысла Российской империи. — М.: Русский путь, 1998. — 239 с.
- [2] Внуковский, В.М. Отчет по статистико-экономическому и техническому исследованию золотопромышленности северной части Енисейского округа. — СПб, 1905. — 454 с.
- [3] Геоморфологическая карта Енисейского края. Масштаб 1:500 000. Ред. С.Ф. Козловская. Объяснительная записка. Л.: ВСЕГЕИ, 1969. — 40 с.
- [4] Гофман, Э. О золотых приисках Восточной Сибири / Э. Гофман // Горный журнал, т. IV, N 11, 1844.
- [5] Латкин, Н.В. Очерк северной и южной систем золотых промыслов Енисейского округа и описание американского способа промывки золота. — СПб., 1869.

- [6] Ли Л.В. Особенности строения и размещения древних россыпей золота в Енисейском крае / Л.В. Ли // Вопросы геологии экзогенного минерального сырья Красноярского края. — Красноярск. — С. 71–77.
- [7] Ли, Л.В. Размещение золотоносных полей и главнейшие типы россыпей золота в Средней Сибири / Л.В. Ли, Г.П. Круглов, В.Г. Михеев // Тр. СНИИГГиМС. — 1974. — Вып. 144. — С. 7–19.
- [8] Некос В.В. К истории открытия россыпного золота в Енисейской губернии / В.В. Некос, С.Г. Рычкова // Минералы и руды Красноярского края. — Красноярск: Изд. КО ВМО, 1999. — С. 26–32.
- [9] Песков Е.Г. О гидротермальной природе некоторых «древних россыпей» золота / Е.Г. Песков // Рудоносные формации гипергенеза. — Л.: Недра, 1990. — С. 82–83.
- [10] Кошкин В.Ф., Медведева Л.П. Составление кадастров разведанности, отработанности россыпных месторождений в Северо-Енисейском районе с прогнозной оценкой оставшихся запасов. Отчет «Сибзолоторазведка», Северо-Енисейский, 1985. С. 217. Инв. № 24108.
- [11] Кулясов А.М., Майорова Л.М. Поисково-оценочные работы на россыпное золото в бассейне р. Нойба, ручьев Огневка, Брусяки. Отчет СГРЭ. Тея, 1987. — С. 80. Инв. № 24513.
- [12] Молчанов И.А. Енисейский золотоносный район (опыт горно-экономической характеристики). Сводный отчет. — Новосибирск, 1925. — С. 649. Инв. № 2828.
- [13] Тагаров А.В., Майорова Л.М. Детальная разведка россыпей в долинах р. Нойба и руч. Финляндский, Отчет СГРЭ. Тея, 1990. С. 140. Инв. № 25593.
- [14] Тагаров А.В. [и др.] Поисково-оценочные работы в бассейне нижнего и верхнего течения р. Нойба. Отчет СГРЭ. Тея, 1992. С. 185. Инв. № 26172.
- [15] Тюкпиеков В.А., Трофимович В.М. Отчет о геологоразведочных работах на россыпное золото в Северо-Енисейском районе (участки Левая Нойба, Дюбкош, Вангаш) за 1974 г., Северо-Енисейский, 1984. С. 43. Инв. № 23248.

Проблемы расчленения каменноугольного периода

Е.П. Ермолаева, Х.Л. Миронова

Геологоразведочный техникум ИРНИТУ, Иркутск, Россия

Email: lena585858@mail@mail.ru, handamironova18190gmail.com

Аннотация. Каменноугольная система (период), карбон, пятая по порядку система палеозойской группы, соответствующая пятому периоду палеозойской эры истории Земли. По характеру геологических процессов и палеогеографической обстановки каменноугольного периода почти на всём земном шаре подразделяется на два этапа: первый из них охватывает ранний карбон, второй — средний и поздний. На обширных площадях геосинклиналей среднего палеозоя в связи с герцинским складкообразованием морской режим после раннего карбона сменился на континентальный. Каменноугольная система установлена в 1822 У. Конибиром и У. Филлипсом в Великобритании. В России изучение каменноугольной системы и её ископаемой фауны и флоры проводилось В. И. Меллером, С. Н. Никитиным, Ф. Н. Чернышевым и др., а в советское время — М. Д. Залесским, А. П. и Е. А. Ивановыми, Д. В. Наливкиным, М. С. Швецовым, М. Э. Янишевским, Л. С. Либровичем, С. В. Семихатовой, Д. М. Раузер-Черноусовой, А. П. Ротам, В. Е. Руженцевым, О. Л. Эйнором и др. В Западной Европе важнейшие исследования выполнены английским учёным А. Воганом, немецким палеоботаником В. Готаном и др. В Северной Америке — Ч. Шухертом, К. Данбаром и др.

1. Введение

Каменноугольная, или карбоновая, система выделена в 1822 г. английскими геологами У. Конибиром и У. Филлипсом в Западной Европе. Современный ее объем установлен в 1839 г. А. Седжвиком и Р. Мурчисоном. Свое название система получила по наличию в ее составе большого количества пластов каменного угля, что явилось следствием определенных физико-географических обстановок и большого наличия представителей флоры и фауны. Каменноугольный период начался 360 млн лет назад и завершился (по схеме французских геологов — 295) млн лет назад, т. е. его продолжительность порядка 70 млн лет. Он охватывает слои пород, находящихся между периодом девона и пермским периодом.

2. Материалы и методы

Подразделение каменноугольной системы на отделы и ярусы в различных странах проведено по-разному ввиду больших отличий в геологической истории и в составе отложений. В Англии, Бельгии, Франции, Германии карбон делится на два отдела. Это обусловлено тем, что нижняя часть системы представлена морскими отложениями, а верхняя — континентальными. В Северной Америке карбон делится на две самостоятельные системы — Пенсильванскую и Миссисипскую, выделенными в Северной Америке соответственно в 1869 и 1891 гг. Обе они рассматриваются в Северной Америке как особые системы, характеризующиеся резкими литологическими отличиями. Но это предложение было отклонено Международным конгрессом по геологии карбона в 1958 г. и не было принято XXI сессией МГК в 1960 г.

3. Результаты исследования и анализ

Согласно предложению французских стратиграфов, граница между нижним — динантским и верхним — силезским отделами проводится между визейским и серпуховским (намюрским) ярусами, а в России между серпуховским и башкирским. Эти различия связаны с тем, что западноевропейская шкала отражает распространение в нижнем карбоне, в динанте, карбонатных фаций, которые протягиваются от Британии через Францию и Бельгию в Германию, и развитие в верхнем карбоне, в силезском отделе, в частности в Силезии, обломочных образований с возрастающей степенью угленосности.

Широкое распространение морских отложений и обилие фауны в России обусловили построение детальной биостратиграфической шкалы карбона с выделением не двух, а трех отделов.

На состояние же американской схемы деления карбона повлияло резкое отличие между морским, в основном карбонатным, миссисипиим и паралическим угленосным пенсильванием. Эта граница совпадает с границей нижнего и среднего карбона в России.

На территории России принято трёхчленное деление каменноугольной системы преимущественно по морским ископаемым организмам.

Во многих регионах России и сопредельных государств каменноугольная система целиком представлена морскими отложениями с богатым комплексом ископаемых остатков. Детальное изучение фаунистических комплексов и их распределения по разрезу позволило выделить в ее составе ряд ярусов, которые получили международное признание. На рисунке 1.

Карбон (каменноугольный) – 360 млн. лет тому назад				
Эпоха	Век	Индекс	Начало млн. лет	Продолж. млн. лет
Поздняя	Гжельский	C _{3g}	296	10
	Касимовский	C _{3k}		
Средняя	Московский	C _{2m}	320	24
	Башкирский	C _{2b}		
Ранняя	Серпуховской	C _{1s}	333	13
	Визейский	C _{1v}	353	20
	Турнейский	C _{1t}	360	7

Рисунок 1. Каменноугольный период

Согласно правилам стратиграфической номенклатуры, отдел является планетарным подразделением единой стратиграфической шкалы. Это положение ни у кого не вызывает сомнений, но тем не менее, до сих пор наблюдается несовпадение взглядов на число отделов в каменноугольной системе и даже на существование карбона как системы. В настоящее время два отдела в карбоне, или соответствующие им подразделения, выделяются в Западной Европе, Северной и Южной Америке и Северной Африке. Кроме того, в Донбассе, Средней Азии, Казахстане, Кузнецком бассейне, на Сибирской платформе, Таймыре и Северо-Востоке России, равно как и в областях с двучленным делением карбона, в истории геологического развития и эволюции органического мира каменноугольного периода различаются два крупных этапа.

Первый из них (ранний карбон) был морским и в нем существенную роль играло карбонатное осадконакопление. В позднем карбоне первостепенное значение имели терригенные морские и континентальные осадки, связанные с усилением герцинских движений. И только на Русской и Китайской платформах, почти повсеместно покрытых в карбоне мелководными морями, осадки представлены главным образом известняками, в которых по фауне различаются три отдела. На рисунке 2.

Общие стратиграфические подразделения каменноугольной системы				
Россия		Западная Европа		Северная Америка
Отдел	Ярус	Отдел	Ярус	Система
Верхний	Гжельский C _{3g} Касимовский C _{3k}	Верхний (силезский)	Стефанский	Пенсиль- ванская
Средний	Московский C _{2m} Башкирский C _{2b}		Вестфаль- ский	
Нижний	Серпуховский C _{1s}	Нижний (динант- ский)	Намюрский	Миссисип- ская
	Визейский C _{1v} Турнейский C _{1t}		Визейский Турнейский	

Рисунок 2. Общие стратиграфические подразделения каменноугольной системы

Поскольку в истории геологического развития большинства областей Земли в каменноугольном периоде выделяется два этапа, но есть области, где он лучше всего представлен и изучен, например в Донбассе и Волго-Уральской области. Таким образом, можно поставить вопрос о возможности не двух, а трехчленного деления карбона

4. Обсуждения

Анализ работы «Основы палеонтологии» позволил ученым-палеонтологам выявить некоторые закономерности развития органического мира в карбоне.

Одной из наиболее важных и характерных групп беспозвоночных животных являлись крупные фораминиферы со сложно построенной спиральнозавитой раковиной, относящиеся к семейству фузулинид (*Fusulina*, *Triticites*). Фузулиниды в каменноугольных отложениях встречаются в массовом количестве, являются породообразующими и имеют большое стратиграфическое значение.

Изучение систематического состава и стратиграфического распространения фораминифер в разнофациальных разрезах Южного Урала и юго-восточной части Русской платформы позволило решить ряд вопросов в рамках проблемы разработки Международной хроностратиграфической шкалы каменноугольной системы. Разрезы Южного Урала по полноте, содержанию ископаемой фауны и степени изученности могут претендовать на роль стратотипов GSSP. Южный Урал является типовым регионом башкирского яруса. Поэтому детальные биостратиграфические исследования башкирских отложений имеют большое значение для включения его в Международную шкалу карбона.

Рубеж окончательного вымирания типичных раннекаменноугольных фораминифер считается важным стратиграфическим репером для установления границ между нижним и средним отделами карбона.

5. Заключение

В 1984 г. Международной подкомиссией по стратиграфии карбона было предложено принять планетарную границу внутри каменноугольной системы в основании подзоны аммоноидей *Homoceras*. По этому уровню с появлением конодонтов проводится граница между миссисипской и пенсильванской подсистемами, принятой в МСШ.

Библиографический список

- [1] Иванова Е.А., Хворострова И.В. Стратиграфия среднего и верхнего карбона западной части Московской синеклизы, «Тр. Палеонтологического института АН СССР», 1955. — Т. 53, Кн. 1.
- [2] Геология угленосных формаций и стратиграфия карбона в СССР. — М., 1965 (Международный конгресс по стратиграфии и геологии карбона, 5 сессия, Париж, 1963).
- [3] Журнал Нефтегазовая геология Теория и практика. — 2016. — Т. 11, № 2. URL: http://www.ngtp.ru/rub/2/15_2016.pdf

Типизация алмазов и их спутников из вторичных коллекторов Муромовского и Илимского-Катангского районов (юг Сибирской платформы)

Д.А. Черкашина, М.А. Лычагин

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

E-mail 201544@list.ru

Аннотация. Рассмотрены минералогические разновидности алмазов и их спутников, для применения минералогического фактора в прогнозно-поисковой модели перспективных районов юга Сибирской платформы.

1. Введение

С момента обнаружения алмазов и их спутников в Муромовском и Илимском-Катангском алмазоносных районах, они уже несколько десятилетий являются предметом изучения как для

выяснения их формационной принадлежности, так и определения потенциальной алмазности районов.

2. Материалы и методы

Использована база данных, которая составлена исследователями разных лет, занимающихся изучением алмазоносных площадей юга Сибирской платформы [1,3,4].

3. Результаты исследования и их анализ

Муро-Ковинский алмазоносный район пространственно сопряжен с южным флангом Ковино-Кординской зоны, которая является основной региональной рудоконтролирующей структурой коренной алмазности юго-западной части Сибирской платформы. В пределах этой зоны установлены проявления среднепалеозойского и позднемезозойского трахибазальтового магматизма. Пространственно к зоне приурочены четыре разновозрастных промежуточных коллектора: нижнекарбоновый (мурская толща), средневерхнекарбоновый (катская свита), нижнеюрский (перяславская свита) и неоген-четвертичный. Наибольшее количество минералов индикаторов кимберлитов (МИК) отмечается в нижнекарбоновых отложениях мурской толщи. Все известные находки алмазов приурочены к современным русловым отложениям [3].

В аллювии р. Кова найдено 26 кристаллов общим весом 263,5 мг. Средний вес кристаллов 10,2 мг, максимальный - 40,6 мг, минимальный - 2,2 мг. Все находки мелкие, алмазы октаэдрической формы составляют 25%, додекаэдрической - 42%, неопределимой формы - 13%. Бесцветные кристаллы преобладают над окрашенными - дымчатыми, желтыми. Количество кристаллов со следами износа составляет 20%. Трещины и каверны выполнены бурыми гидроокислами железа, часть кристаллов содержит включения графита. В русловом аллювии р. Мура найден один алмаз весом 4 мг. Кристалл прозрачный, без включений, имеет слабый зеленоватый оттенок, относится к переходной форме (ближе к ромбододекаэдру).

По типоморфным характеристикам алмазы сопоставимы с алмазами I и II типов (по классификации Ю. Орлова), с вероятным источником – кимберлитовым [5]. Ряд характеристик минералов индикаторов кимберлитов: пиропов, хромшпинелидов и пикроильменитов указывают на их алмазный парагенезис. Поскольку находки алмазов, а также минералов индикаторов кимберлитов являются прямым поисковым признаком на обнаружение коренных источников алмазов считаем, что вероятность их обнаружения в Муро-Ковинском районе достаточно высока.

Данные алмазы схожи с алмазами кимберлитовой трубки «Малокуонапская», расположенной в верхнем течении р. Малая Куонапка. Размеры алмазов трубки Малокуонапская являются обычными для кимберлитовых тел и колеблются в значительных пределах от мельчайших кристаллов массой 0,1 мг до довольно крупных массой свыше 1 кар. Среди изученных алмазов свыше 95% составляют кристаллы 1 разновидности – бесцветные, реже эпигенетические окрашенные в дымчато-коричневые цвета слабой интенсивности. Незначительное содержание желтых кубоидов II разновидности (0,5%), алмазов с оболочкой IV разновидности (0,5%) и поликристаллических агрегатов VIII разновидности (1,3%). Кроме того, алмазы характеризуются высоким содержанием типоморфных для богатых кимберлитовых тел позднепалеозойского возраста ламинарных кристаллов октаэдрического, ромбододекаэдрического и переходного между ними габитусов (в сумме около 65%) при сравнительно низком количестве типичных округлых алмазов «уральского» («бразильского») типа (около 20%) и заметном (до 10%) содержании бесформенных осколков, имеющих в основном техногенный характер [4].

Среди пиропов выявлены все парагенетические типы: от алмазного дунит-гарцбургитового до верлитового, пироксенитового. Число пиропов алмазной дунит-гарцбургитовой ассоциации

составляет 3,8% и сопоставимо с количеством пиропов алмазной ассоциации кимберлитов промышленно алмазоносных трубок [3].

Для детальной характеристики морфологии пиропов и их поверхностей изучена большая (около 1000 зерен) коллекция пиропов на сканирующем микроскопе PHILIPS M525. По результатам исследования выделено несколько характерных морфологических типов пиропов.

1 тип. Угловатые, колотые зерна пиропов со свежими сколами и реликтами первично магматической поверхности (рис. 1, а). При больших увеличениях рельеф сохранившихся скульптурных фрагментов представлен в виде невысоких холмов или извилистых гребней. Этот тип пиропов встречается редко (5%).

2 тип. Округло-овальные зерна пиропов с блестящей зеркально-гладкой поверхностью; при увеличении 6000* на поверхности зерен не фиксируется какой-либо микрорельеф. Такие пиропы составляют не более 15% от общего числа зерен (рис. 1б, в).

3 тип. Отличается интенсивным проявлением на зернах признаков гипергенного растворения (рис. 1, г). Пиропы образуют постепенный морфологический ряд: от совершенных кубоидов до зерен с характерным каплевидным рельефом на ровных площадках и треугольными отверстиями травления по линии швов между формирующимися гранями (10%).

4 тип. Наиболее распространенная (70%) группа зерен, которая характеризуется неправильно-угловатыми, округлоугловатыми, реже овальными очертаниями и грубой неровной поверхностью (рис. 1, д, е). Выступы на зернах имеют матовую, шагреневую поверхность, а в местах углублений и сколов сохраняется прозрачность и глянцевый блеск. При увеличении около 1000% наблюдается постепенное растрескивание и химическое растворение в приповерхностном слое пиропов вначале положительных форм, а затем и поверхности самих сколов [4].

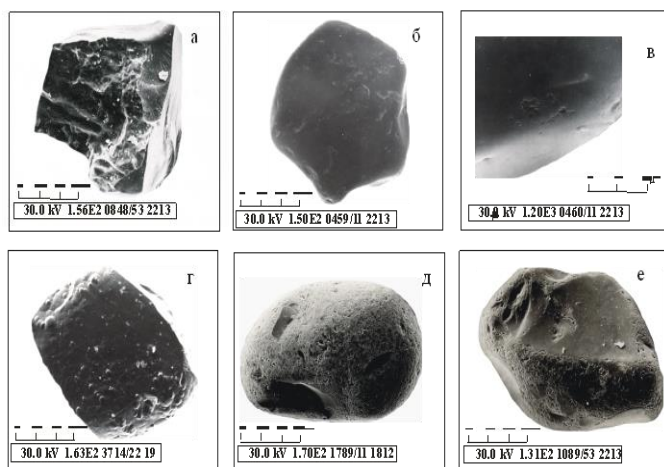


Рисунок 1. Морфологические типы пиропов из мурской толщи [5]:

а — угловатый пироп с реликтами первичной поверхности; б — неправильно-округлый пироп с гладкой полированной поверхностью; в — фрагмент гладкой поверхности; г — пироп кубоидной формы с каплевидной поверхностью; д, е — пиропы округлой, неправильно-округлой формы с комбинационным типом поверхности

Хромшпинелиды в мурском коллекторе встречаются повсеместно, достигая в отдельных пробах весовых процентов. Выделяется несколько морфологических типов хромитов:

- 1) остросереберные, островершинные октаэдры с гладкими гранями;
- 2) октаэдры с притуплёнными ребрами и вершинами, со следами магматической коррозии;
- 3) округлые зерна с неровным, шероховатым микрорельефом, который развит по всей поверхности зерен;
- 4) бесформенные зерна с бугристой поверхностью, не имеющей какой-либо скульптировки.

Среди хромшпинелидов из мурского коллектора отмечаются зерна алмазного парагенезиса.

Пикроильменит представлен крупными зернами размером до 2,5 мм, однако наибольшее его количество встречается в классе -2+0,5. Морфология пикроильменита разнообразная; отмечаются лепешковидные, угловато-округлые, угловатые, остроугольные разности, реже округлые зерна. Часть зерен пикроильменита имеет агрегатное строение. Поверхность пикроильменитов несет незначительные следы механического износа и имеет шероховатую, вплоть до первичной мелкобугорчатой поверхности. По химическому составу пикроильмениты аналогичны таковым из кимберлитовых трубок Мало-Ботубинского района.

Илимо-Катангский алмазоносный район.

Район приурочен к западной части Бирюсинско-Ангаро-Оленекского кратона, где мощность литосферы составляет от 130 км (Тушамская площадь) до 200 км (Икская и Чангильская площади). По отношению к тектоническим элементам земной коры он занимает наиболее погруженную часть Ия-Оленекской депрессионной зоны (и тяготеет к Ангаро-Вилуйской зоне разломов. В своей северо-восточной оконечности Ангаро-Вилуйская зона разломов примыкает к Вилуйско-Мархинской зоне разломов, в пределах которой размещаются известные Мирнинское и Накынское кимберлитовые поля и ряд площадей, перспективных на обнаружение новых кимберлитовых полей [1]. Алмазопромышленными работами в нижнем течении р. Тушамы в русловых отложениях выявлена бедная алмазоносная россыпь. При обогащении 1120 м³ песков было наработано 24 кристалла алмазов общим весом 575,2 мг. Содержание алмазов по россыпи низкое и составляет 0,32 мг/м. Они характеризуются повышенной крупностью и имеют средний вес - 24,0 мг, при наименьшем весе 4,2 мг и наибольшем - 86,6 мг. В ходе гранулометрического анализа были выявлены 2 класса: -4 - +2 мм (83,3 %) и -2 - +1 мм (16,7 %). Габитус: октаэдрические - 16,6 %, ромбододекаэдрические - 75%, переходные формы - 4,2%, бесформенные - 4,2%. Степень сохранности: целые - 75,0%, расколотые - 20,8%, осколки и обломки - 4,2 % [1].

По классификации Орлова найденные алмазы можно отнести к 1 и 2 группам [5]. Так как для алмазов первой группы характерно: преобладание кристаллов, имеющих форму октаэдра с гладкими ровными гранями или со ступенчато-пластинчатым характером их развития.

Алмазы второй группы обычно кубической формы, для которых характерна интенсивная янтарно-желтая и зеленая окраска. В случае воздействия процесса растворения эти кристаллы преобразуются в кубоиды. Кристаллы этой разновидности прозрачны и при наблюдении в микроскопе не обнаруживают зонального строения. Все они содержат примесь азота в существенных концентрациях.

Трубка Сытыканская является классическим примером месторождений, содержащих в кимберлитах различных фаз внедрения резко различающиеся по габитусу и физическим свойствам алмазы. По данным В.И. Коптиля, для кимберлитовых пород промышленного алмазоносного центрального рудного столба типичны повышенные содержания кристаллов октаэдрического и комбинационного габитусов (43,1%) при малом количестве додекаэдрических уральского (бразильского) типа (3,4%), максимально высокие концентрации поликристаллических сростков (до 15%), малое содержание окрашенных кристаллов (менее 1%).

Кимберлиты северо-восточного рудного столба с относительно низкой алмазоносностью имеют пониженное количество кристаллов октаэдрического и комбинационного габитусов (32,1%), повышенное - додекаэдрических (22,3%) с шагренью и полосами пластической деформации.[6]

Более поздними поисковыми работами в бассейне верхнего и среднего течения р. Тушамы при мелкообъемном опробовании (всего 19 проб, суммарным объемом 26 м³) и площадном шлиховом опробовании гидросети рыхлых отложений склонов и водоразделов, а также древних промежуточных осадочных коллекторов выявлены лишь немногочисленные ореолы

рассеяния пиропов с содержанием 1-3 знака на шлих (10 литров) и до 10 знаков из подрешетного материала мелкообъемных проб. Общее количество найденных пиропов незначительное (31 зерно). Пиропы лиловой окраски представлены зернами неправильно-округлой и неправильно-угловатой формы и характеризуются мелкими размерами 0,35-0,7 мм. Пиропы р. Тушамы характеризуются высокой сохранностью. Отмечается присутствие в составе гранатов высокохромистых разностей пиропов, в том числе алмазного парагенезиса.

4. Заключение

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о схожести алмазов найденных в Муромовинском и Илим-Катангском районах с алмазами кимберлитовых трубок «Сытыканская» (Алакит-Мархинское кимберлитовое поле) и «Малокуонапская» (Куранахское кимберлитовое поле) [4]. По классификации Орлова Ю.Л. их можно отнести к 1 и 2 типу алмазов. Это может указывать на схожесть условий образования и перспектив возможного обнаружения коренных источников.

Библиографический список

- [1] Аргунов К.П., Захарова В.Р., Зинчук Н.Н. Методическое руководство по изучению и использованию алмазов при типизации кимберлитовых трубок // Уралгеология. — Свердловск, 1985. — 105 с.
- [2] Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Похиленко Н.П. Поисковая минералогия алмаза. — Новосибирск: Гео, 2010. — 648 с. с ил. и табл.
- [3] Барышев А.С. Локальный прогноз и поиски коренных месторождений алмазов на юге Сибирской платформе / Барышев А.С., Егоров К.Н., Кошкарёв Д.А. // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. — 2007. — № 5 (31). — С. 40–54.
- [4] Зинчук Н.Н. Об особенностях алмазов перспективных территорий Сибирской платформы / Н.Н. Зинчук, В.И. Коптиль // Вестник Пермского университета. Геология. — 2015. — Вып. 2 (27). С. 41–54.
- [5] Орлов Ю.В. Минералогия алмазов / отв. ред. Г.П. Барсанов. — 2-е изд.— М.: Наука, 1984. — 168 с.
- [6] Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / под ред. Л.М. Парфенова, М.И. Кузьмина. — М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. — 571 с.

Сопоставление эффективности мультиэлементного анализа методами ICP-AES и XRF при проведении геопроисловых работ

В.Е. Поздняков, Е.И. Молокова, С.В. Мохосоева, Е.Н. Тайбинова

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Email: venya081004@gmail.com

Аннотация. Авторы статьи сравнивают эффективность мультиэлементного анализа и рентгенофлуоресцентного анализа при проведении геолого-геохимических поисков на примере измерения содержания цинка в пробах почвы.

1. Введение

Одними из основных тенденций развития химического анализа при решении геолого-поисловых задач являются развитие и использование методов и средств внелабораторного (полевого) анализа, подразумевающее использование портативных приборов, развитие прямого (неразрушающего) анализа твердых веществ, повышение экспрессности анализа.

Наиболее распространенным методом мультиэлементного анализа, который используется при химико-аналитическом обеспечении геологопоисковых работ, таких как геохимическая съемка по вторичным ореолам или по потокам рассеяния, является атомно-эмиссионная спектроскопия с индуктивно связанной плазмой (ICP-AES). Это один из самых точных и чувствительных методов, позволяющий определять элементы с концентрацией до 10^{-10} %. Однако этот метод обладает рядом недостатков, таких как длительная пробоподготовка, предусматривающая кислотное разложение, высокая трудоемкость анализа, сложная аппаратура, требующая специальных условий для работы, что определяет невозможность проведения анализа в полевых условиях.

Альтернативой данному методу является рентгенофлуоресцентный (XRF) анализ, который не требует долгой пробоподготовки, специальных лабораторных условий, и при этом позволяет за несколько минут определить содержание 20-50 элементов в пробе. К тому же, портативный рентгенофлуоресцентный анализатор обладает компактными размерами, что значительно облегчает его использование в полевых условиях.

Целью данной работы является сопоставить методы XRF и ICP-AES, сравнить полученные результаты и сделать вывод о возможности применения метода XRF в качестве альтернативы ICP-AES при проведении геолого-геохимических поисков.

2. Экспериментальная часть

Исследование проводилось в химико-аналитической лаборатории института «Сибирская школа геонаук» Иркутского национального исследовательского технического университета, аккредитованной в установленном порядке. Использовался портативный РФА-анализатор SciAps X200 с рентгеновской трубкой мощностью до 5 Вт и напряжением до 50 кВ с Au анодом и кремниевым дрейфовым детектором. Прибор может работать при температурах от -23°C до +55°C и обладает ударопрочным влаго- и пылезащитным корпусом.

Измерения проводились согласно ГОСТ 33850-2016. В ходе работы были проанализированы 4 стандартных образца и 9 литогеохимических проб, отобранных в рамках обычной коммерческой геохимической съемки по вторичным ореолам рассеяния на одном из участков в пределах монголо-охотского орогена. В связи с этим полученные результаты характеризуют возможности обоих методов при решении поисковых задач в пределах одного из наиболее перспективных на обнаружение новых месторождений региона России [1, 2]. Перед измерением пробы расфасовывались в полиэтиленовые пакеты с замком Zip-lock, таким образом чтобы толщина слоя составляла 1 см. Измерения проводились на приборе в режиме «Почвы» [3]. Для каждого образца проводилось по три параллельных испытания, для которых находилось среднее значения и рассчитывалась погрешность.

Для анализа проб методом атомно-эмиссионной спектроскопии были отобраны навески 0,2 г (из стандартной пробы массой около 500 г). Далее навески помещались в реакционные ячейки, к ним добавляли 1 мл азотной кислоты, 3 мл соляной кислоты, 1 мл плавиковой кислоты, 1 мл перекиси водорода и отправляли на разложение в микроволновую печь-минерализатор MC-10 при температуре 210°C и давлении 175 Атм. Время разложения составляет от 30 минут до нескольких часов в зависимости от выбранного режима. После завершения разложения полученные растворы пропускали через фильтр «синяя лента» в колбы на 100 мл. Затем проводили измерения на ИСП спектрометре Thermo Scientific iCAP 6300DUO.

3. Результаты и их обсуждение

В данной работе представлены результаты сопоставления двух методов на примере содержаний цинка. Для начала было определено содержание цинка в стандартных образцах, только потом проводились измерения образцов почвы. Полученные данные представлены в таблице 1 и таблице 2.

Таблица 1

Содержание цинка в стандартных образцах

Стандарт	ИСП	Погрешность ИСП*	Аттестованное значение	РФА	Погрешность РФА**
СЧС-1	78,00	19,50	96,00	100,00	9,68
СГХМ-3	156,00	39,00	140,00	121,00	8,81
СГ-4	154,00	38,50	145,00	136,50	8,31
СГ-3	162,50	40,63	140,00	128,80	8,55

*Согласно методике М-МВИ 80-2008

**Согласно методике ГОСТ 33850-2016

Полученные нами данные при определении количества цинка обладают удовлетворительной сходимостью, при этом нельзя сказать, что ICP-AES обеспечивает большую точность по сравнению с XRF.

В таблице 2 приведены результаты измерений в рядовых литогеохимических пробах.

Таблица 2

Содержание цинка в определяемых образцах

Шифр	Zn, г/т			
	ИСП	Погрешность ИСП	РФА	Погрешность РФА
0250-0060	98,00	19,60	103,00	9,54
0100-0110	122,00	24,40	119,00	8,88
0520-0020	131,50	26,30	117,90	8,93
0150-0150	165,50	33,10	141,00	8,18
0370-0080	108,50	21,70	87,90	10,31
0500-0060	76,00	15,20	66,69	11,80
0650-0170	26,50	5,30	28,14	18,01
0110-0100	53,00	10,60	86,99	10,36
0240-0060	129,50	25,90	124,65	8,69

Результаты измерений являются близкими, можно сделать вывод, что при построении и интерпретации карт распределения концентраций выводы будут совершенно аналогичными.

4. Заключение

На основании проведенных экспериментов можно сделать вывод, что метод рентгенофлуоресцентного анализа обладает рядом преимуществ по сравнению с методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой, так как не требует длительной пробоподготовки, большого количества реактивов, дорогостоящего оборудования, и может быть использован в полевых условиях для экспрессного определения содержания различных элементов в образцах при проведении геологических работ.

Библиографический список

[1] Будяк А.Е. New results of geochemical and geophysical research of the Hadatkandsky fault zone (North Transbaikalian region) / А.Е. Будяк, А.В. Паршин, Б.Б. Дамдинов [и др.] // Тихоокеанская геология. — 2015. — Т. 34, № 5. — С. 54–63.

[2] Горячев Н.А. Эволюция орогенного золотого оруденения в структурах южного и восточного обрамления Сибирского кратона / Н.А. Горячев, А.Е. Будяк, Т.И. Михалицына, Ю.И. Тарасова, И.Н. Горячев, О.Т. Соцкая // Науки о Земле и недропользование. — 2023. — Т. 46, № 4. — С. 374–389.

[3] Кузнецова О.В. Экспрессный рентгенофлуоресцентный анализ как современная альтернатива традиционным спектральным методам при решении задач геохимических поисков / О.В. Кузнецова, О.Л. Качор, И.А. Матюхин // Науки о Земле и недропользование. — 2023. — Т. 46, № 4. — С. 390–401.

Сопоставительное сравнение эффективности атомно-абсорбционного и рентгенофлуоресцентного анализа на содержание серебра при сопровождении эксплуатационной разведки

Е.Н. Тайбинова, С.В. Мохосоева, В.Е. Поздняков

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Email: lento4kato4ka@yandex.ru

Аннотация. В статье оценивается эффективность применения атомно-абсорбционного анализа и рентгенофлуоресцентного анализа для задач сопровождения эксплуатационной разведки.

1. Введение

В настоящее время для определения химического состава горных пород, минералов, почв используют различные методы анализа, такие как пробирный анализ, атомно-абсорбционная спектрометрия, рентгенофлуоресцентный анализ, масс-спектрометрия, атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно связанной плазмой и др. Анализ тысяч проб может быть весьма трудоемким и продолжительным процессом.

При выборе оптимального для решения геологической задачи метода следует учитывать многие факторы. Например, время, затраченное на пробоподготовку и анализ, себестоимость метода, условия проведения анализа, вероятность ошибки, вспомогательное оборудование, расходные материалы и т.д. Данная работа посвящена оптимизации химико-аналитического обеспечения процесса эксплуатационной разведки на одном из крайне удаленных от инфраструктуры месторождений. В рамках такого процесса крайне необходимо очень быстро получать химико-аналитические результаты, позволяющие как минимум определить, является ли каждая проба рудной, и если да – то каковы содержания в ней полезных компонентов. Задержка получения результата заставляет недропользователя временно складировать руду, что технически сложно и дорого.

2. Материалы и методы

Для определения содержания благородных металлов традиционно используют методы пробирного анализа или атомно-абсорбционной спектрометрии. Атомно-абсорбционный анализ — распространенный метод количественного анализа, он основан на поглощении излучения оптического диапазона невозбужденными свободными атомами в газообразном состоянии. Несмотря на высокую избирательность и чувствительность метода, такую лабораторию в полевых условиях организовать невозможно, и тогда приходится искать альтернативные варианты получения результатов. Причины этого связаны с длительной пробоподготовкой, сложностью и продолжительностью анализа данным методом. Так, перед тем как отправить образцы проб серебра на анализ, необходимо провести следующую пробоподготовку: сначала навеску пробы 5 г помещают в стакан и приливают 20 мл царской

водки, далее стакан закрывают крышкой и оставляют на 1 час. Стакан нагревают на плите в вытяжном шкафу в течение одного часа, а после снимают крышку и доливают 5 мл царской водки, упаривая до влажных солей. После этого приливают 10 мл концентрированной соляной кислоты и снова упаривают до влажных солей. Процесс может занимать несколько часов. Затем приливают 20 мл соляной кислоты (1:10) и кипятят еще 2-3 минуты, охлаждают и фильтруют в колбу на 100мл, что может тоже занимает немало времени. Плохо отфильтрованные пробы отправляют на перефильтрацию до прозрачного раствора. Стакан и осадок на фильтре промывают соляной кислотой (1:10) и доливают раствор до метки. Таким же способом готовят градуировочные растворы для построения графика. Только после этого можно отдавать растворы на анализ, где происходит распыление и подача аэрозолей в пламя. Растворитель испаряется, соли разлагаются, а металлы переходят в парообразное состояние. Анализ одной пробы занимает несколько минут, но вместе с пробоподготовкой процесс занимает два-три дня. Кроме того, доставка кислот весьма проблематично, как и организация всей необходимой инфраструктуры.

С другой стороны, одним из наиболее экспрессных и простых методов количественного химического анализа, который можно проводить без вытяжных шкафов, «чистых» комнат с точным поддержанием температуры и влажности и т.д., является рентгено-флуоресцентный анализ (РФА) — это физический метод определения элементного состава вещества по вторичным рентгеновским спектрам. Метод позволяет выполнять анализ пробы без её разрушения, а также определять содержание 20–50 элементов в пробе за несколько минут и минимизировать возможную ошибку оператора при пробоподготовке. Современная аппаратура обладает достаточно высоким напряжением трубки, возможностью самостоятельной калибровки, а также большим потенциалом для решения задач геохимических работ благодаря своей мобильности, скорости, чувствительности и точности.

Если говорить про пробоподготовку, то для этого необходимо только измельчить образец, и аккуратно положить пакетик с пробой в камеру прибора. В этом случае человеческий фактор наносит минимум ошибки.

Однако метод РФА зачастую рассматривается в геологической практике как полуколичественный анализ, и кондиционных в РФ методик для определения содержаний благородных металлов в горных породах просто не существует. В данной работе мы постараемся показать, что на самом деле определение окислительных и рудных концентраций с помощью достаточно экспрессной методики РФА-анализа (Кузнецова и др. 2023) вполне возможно, и метрология такого анализа сопоставима с высокоточной атомной абсорбцией.

3. Результаты исследования

Методами ААС и РФА были проанализированы 273 пробы с одного из рудных объектов на Дальнем востоке России, как уже упоминалось ранее — удаленным от транспортной сети, с доставкой проб до лаборатории не менее одной недели, в связи с чем возможность организации измерений на месте являлась важнейшей задачей.

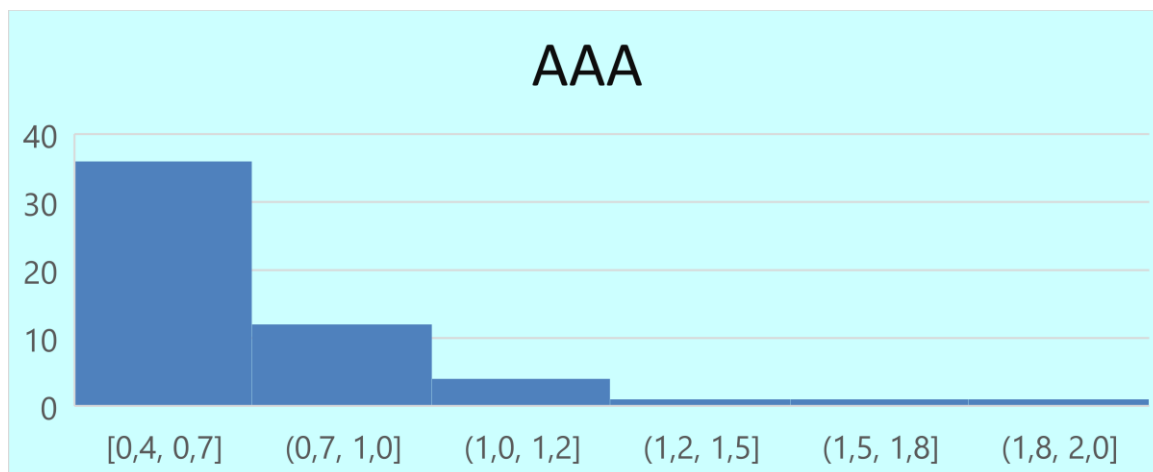


Рисунок 1. Гистограмма частот встречаемости концентраций серебра по результатам ААА

На рисунке 1 и 2 представлены *гистограммы частот* — графическое представление распределений частоты встречаемости определенных концентраций серебра по результатам анализа ААА и РФА по заявленным интервалам, начиная от значимого содержания — 4 г/т. Наглядно видно, что гистограммы распределения частот практически повторяют друг друга, что тоже свидетельствует о высокой сходимости результатов двух методов анализа.

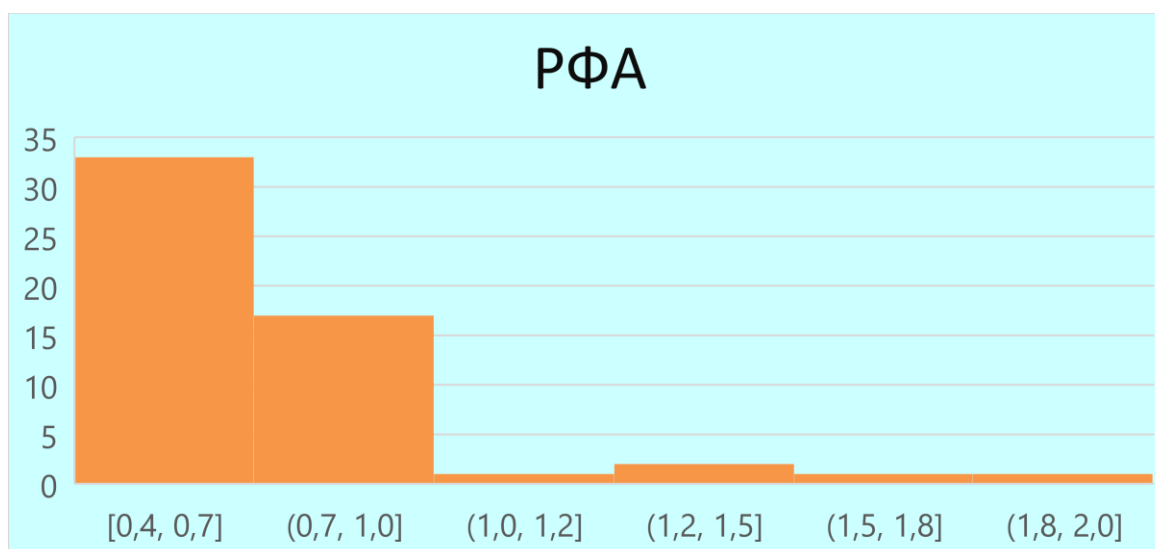


Рисунок 2. Гистограмма частот встречаемости концентраций серебра по результатам РФА

Большинство проб для обоих методов сосредоточено в первом интервале с наименьшими концентрациями от 4,2 до 6,9, что говорит нам о возможности применения РФА для достоверного определения и отбраковки проб по нижнему значимому для заказчика пределу концентраций.

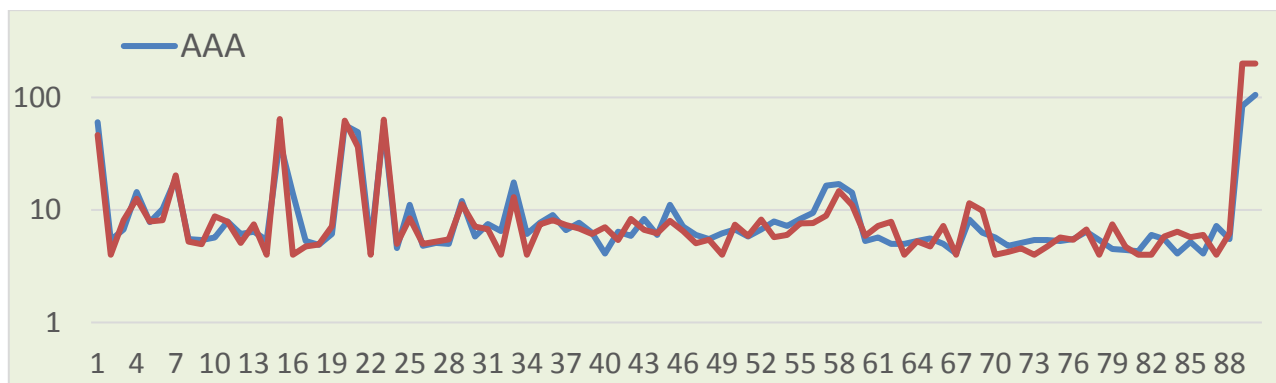


Рисунок 3. Результаты определения серебра по результатам AAA И РФА

На рисунке 3 показана сходимость результатов определения серебра AAA и РФА на 90 пробах. Коэффициент корреляции составил 0,928, то есть нет никакой разницы, каким методом проводить анализ.

Время, затраченное на пробоподготовку при атомно-адсорбционном анализе и РФА, значительно отличаются друг от друга. Можно наглядно увидеть преимущество РФА в экспрессности метода.

4. Заключение

В результате проведенных работ можно сказать, что для задач сопровождения эксплуатационной разведки, можно использовать не только стандартный пробирный или атомно-абсорбционный анализ, лабораторию для выполнения, которого быстро развернуть невозможно, а требования к инфраструктуре очень высоки, но и РФА-анализ с помощью мобильной аппаратуры, поскольку значимые концентрации полезного компонента составляют по крайней мере первые г/т.

С его помощью можно сэкономить не только время, которое обычно уходит на пробоподготовку и доставку проб в лабораторию, но и деньги на транспортировку проб, как минимум проводя с высокой достоверностью разбраковку проб (меньше/ больше минимально необходимо содержания в пробах серебра) непосредственно на фабрике.

Библиографический список:

[1] Кузнецова О.В. Экспрессный рентгенофлуоресцентный анализ как современная альтернатива традиционным спектральным методам при решении задач геохимических поисков / О.В. Кузнецова, О.Л. Качор, И.А. Матюхин, З.Л. Икрамов, А.В. Паршин // Науки о Земле и недропользование. — 2023. — № 46 (4). С. 390–401.

Поиски оптимального способа пробоподготовки для анализа литогеохимических проб их вторичных ореолов рассеяния

С.В. Мохосоева, В.Е. Поздняков, Е.Н. Тайбинова

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

Email: venya081004@gmail.com

Аннотация. В статье приводится сопоставительный анализ трёх способов пробоподготовки литогеохимических проб для проведения РФА-анализа.

1. Введение

Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) — физический метод определения элементного состава вещества по вторичным (флуоресцентным) рентгеновским спектрам. Качественный РФА выполняют на основе исследования положения линий характеристического излучения в спектре изучаемого образца, количественный РФА осуществляют с учётом интенсивностей излучения этих линий. Одним из основных преимуществ данного вида анализа, определившим его всё более широкое использование в практике геологических поисков и разведки, является наличие портативной аппаратуры, которую можно легко привезти на участки работ и выполнять анализ проб на месте, без вывоза многотоннажных проб с участка исследования. Это позволяет сильно повысить оперативность проведения химико-аналитических исследований, становится возможным быстро принимать решения о дальнейшем ходе геологической разведки прямо во время работ.

Несмотря на то, что еще одним преимуществом РФА-анализа является относительно простая (по сравнению с кислотным разложением или пробирной плавкой) методика пробоподготовки, она тем не менее включает в себя несколько процессов и может существенно повлиять на точность результатов. Стандартная подготовка проб почвы на большинство элементов по требованиям ГОСТ включает в себя сушку пробы, просеивание, истирание и прессование, на небольшой перечень металлов допускается выполнять анализ без прессовки. Утвержденных методик подготовки образцов горных пород для портативных РФА не существует вовсе. Поскольку в полевых условиях истирать и прессовать пробы проблематично, для повышения оперативности выполнения анализов «на месте» в данной работе рассмотрена возможность упрощения операций по подготовке проб к исследованиям с сохранением качества анализа.

2. Экспериментальная часть

В ходе проведения эксперимента изучались 10 литогеохимических проб, отобранных из различных породных разностей на участке, локализованном в пределах восточного обрамления Сибирского кратона, и имеющем типичную геохимическую обстановку. Данный регион весьма перспективен на открытие новых рудных месторождений [Горячев и др., 2023], в том числе – с применением методов геохимических поисков, что позволяет применить полученные конкретные выводы на практике. Каждая проба была разделена на несколько частей: во-первых, отситована на несколько фракций (1 мм; 0,5 мм; 0,25 мм), еще одна часть была дополнительно истерта до аналитической крупности, и еще одна – запрессована в таблетки. При помощи РФА-анализатора SciApsX200 GEO, поверенного в установленном порядке, по стандартной методике [Кузнецова и др., 2023], производились определения концентраций мышьяка. Также были измерены государственные стандартные образцы в измельченном и прессованном виде, чтобы выяснить в каком состоянии полученные результаты будут ближе к аттестованному значению.

3. Результаты исследования

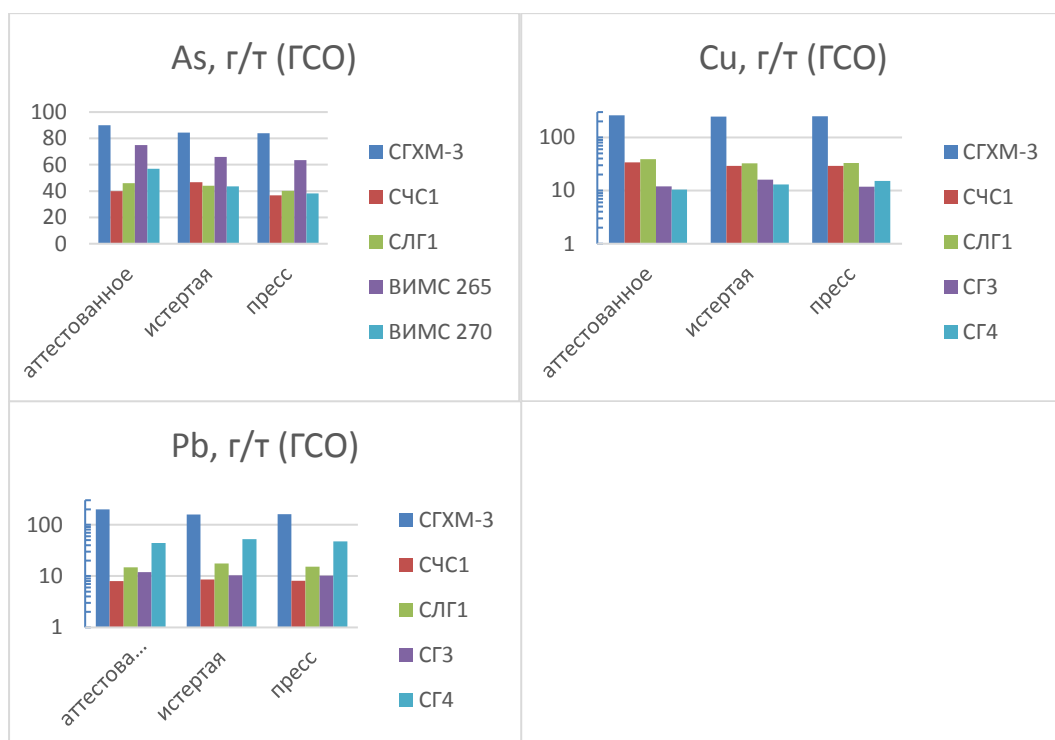


Рисунок 1. Диаграммы содержания элементов в пробах ГСО

На рисунке 1 на диаграмме содержания мышьяка в ГСО имеют тренд на занижение результатов при прессовании, противоположная ситуация наблюдается на диаграмме содержания меди — завышение результатов по СГ-4 (Стандартный образец состава Субщелочного гранита). Все остальные пробы имеют незначительные отклонения в пределах погрешности. Таким образом, мы можем утверждать, что прессование проб не делает результаты анализа лучше и более точными, а времени прессование занимает много.

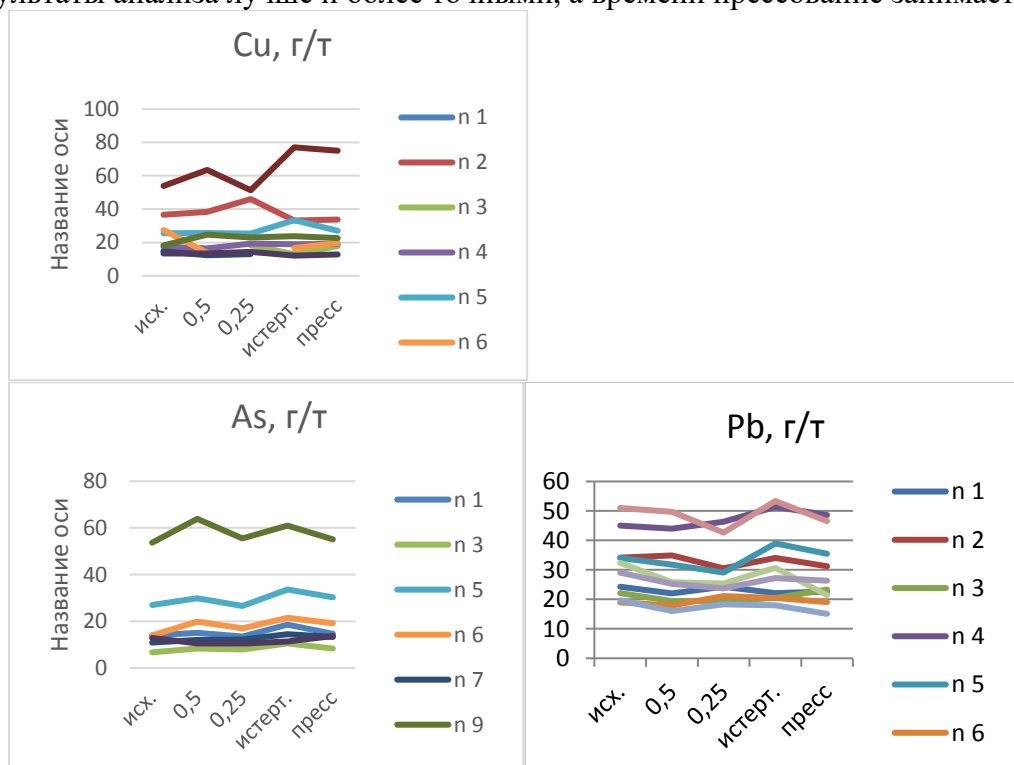


Рисунок 2. Диаграммы содержания элементов в пробах

На рисунке 2 графики содержания As, Cu и Pb имеют однозначное занижение данных при прессовании (кроме нескольких вылетевших проб), а также в большинстве случаев наличие пиков концентраций на 0.5 мм и на 0.1 мм, что свидетельствует о том, что результаты при таких пробоподготовках близки. Как мы видим из графиков исходная проба оказывается недораскрытой (концентрация ниже), а с ситовкой на 0,25 мм зачастую идут явные потери.

4. Заключение

В результате проведенного эксперимента выявлено, что трудоемкая подготовка литохимических проб (истирание, прессование) для исследований в соответствии с ГОСТ не является обязательной, так как с точки зрения получения точного результата: - при прессовании проб происходит искажение результатов анализа (завышение/занижение); - истирание проб до крупности меньше 0,5 мм не улучшает результат исследования.

Таким образом, можно заключить, что измерение проб с помощью портативного РФА можно проводить на месте (в поле), отситовывая пробы до крупности 0,5 мм, без дорогостоящего их вывоза в лабораторию.

Библиографический список

- [1] Горячев Н.А. Эволюция орогенного золотого оруденения в структурах южного и восточного обрамления Сибирского кратона / Н.А. Горячев, А.Е. Будяк, Т.И. Михалицына, Ю.И. Тарасова, И.Н. Горячев, О.Т. Соцкая // Науки о Земле и недропользование. — 2023. — Т. 46, № 4. — С. 374–389.
- [2] Кузнецова О.В. Экспрессный рентгенофлуоресцентный анализ как современная альтернатива традиционным спектральным методам при решении задач геохимических поисков / О.В. Кузнецова, О.Л. Качор, И.А. Матюхин, З.Л. Икрамов, А.В. Паршин // Науки о Земле и недропользование. — 2023. — Т. 46, № 4. — С. 390–401.

Структурное положение месторождения «Заявка 13» в золотоносном Огневском рудном поле (Северо-Енисейский район Красноярского края)

А.А. Жарикова А.А., Р.Н. Иванова

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

E-mail ivanova_rn@ex.istu.edu

Аннотация. На основе анализа собственных полевых наблюдений, опубликованных и фондовых источников установлено, что основными структурными особенностями золоторудного месторождения Заявка 13 (Северо-Енисейский район Красноярского края) являются приуроченность оруденения к фронтальной зоне надвига, и одновременно нахождение его в зоне влияния субвертикального Центрального разлома взбросо-сбросовой морфологии.

Такое положение оруденения обусловлено тектонической подготовленностью горных пород зоны влияния этих разрывных нарушений, которая способствовала увеличению проницаемости среды и создало благоприятную обстановку для внедрения гидротермальных золотоносных растворов, проводником которых, скорее всего, послужил Центральный разлом. Морфология таких тектонически подготовленных зон определила контуры и положения оруденения и является одним из факторов выделения блоков для подсчета запасов.

1. Введение

Актуальность данного исследования связана с необходимостью ежегодного пополнения запасов минерального сырья (золота) Российской Федерации. Научная новизна заключается в оценке структурного положения одного из золоторудных месторождений, которое позволяет оптимизировать проведение геологоразведочных и добычных работ.

В качестве ожидаемого образовательного результата реализации данного исследования, значатся получение студентом знаний методики и основных приемов анализа тектонических карт и схем.

В качестве объекта исследования была выбрана территория месторождение рудного золота Заявка 13 расположено в северо-восточной части Енисейского Кряжа (Северо-Енисейский район Красноярского края) в левом борту руч. Мясниковский, левого притока р. Огня. Оно, вместе с проявлением Новое, входит в состав Огневского рудного поля, которое в свою очередь является частью крупного Советского рудного узла. В административном отношении это территория входит в Северо-Енисейский район Красноярского края

2. Материалы и методы

В основу исследования положены полевое геологическое наблюдение и фотодокументация отдельных структурных форм, образцов горных пород и руд проведенные летом 2023 года. Полевые геологические наблюдения проводились в рамках производственной полевой практике на предприятии ООО «Соврудник» – динамично развивающейся золотодобывающей компании, специализирующейся на добыче рудного золота в Северо-Енисейском районе.

Основные этапы исследования включают:

- ✓ Полевые наблюдения.
- ✓ Поиск информации по вопросу исследований в опубликованных и фондовых материалах для интересующей нас территории.
- ✓ Анализ полученных данных и выделение наиболее характерных структурных особенностей месторождения Заявка 13.

3. Результаты исследования и их анализ

Советский узел выделен в окрестностях рудного поля Советского золоторудного крупного месторождения, открытого в 1907 г. и расположенного за восточной рамкой листа. В пределах узла развиты преимущественно породы рифейского возраста.

Характерны типичны жильные и жильно-прожилковые объекты золото-кварцевой формации, есть проявления тонкопрожилковых золотоносных березитов, а также признаки золото-серебряного оруденения.

В тектоническом отношении территория расположена в северной части Енисейского кряжа, который как структура горстового типа, представляет выступ фундамента Сибирской платформы и входит в складчато-надвиговый пояс байкалид, обрамляющий платформу [1].

Территория представляет сложную блоковую мозаику тектонических фрагментов. Строение этих зон и крупных структур в их пределах определяется сочетанием горизонтальных и вертикальных перемещений блоков и пластин, обусловленных различными причинами в длительной истории тектонического развития кряжа. Краевые блоки рифейских пород, осложненные надвиговыми зонами, представляют параавтохтонные блоки с широким проявлением бластомилонитов, метасоматитов и минерализованных зон во фронтальных участках надвигов.

В геологическом строении Советского рудного узла принимают участие породы рифея, мел-палеогенового возраста и четвертичной системы. В южной части площади отмечаются мелкие выходы высокометаморфизованных образований архея. Метаморфизованные породы нижнего и среднего рифея смяты в сложные складки, прорваны дайками базальт-андезит-риолитовых магматитов орловского комплекса ($v\beta R_{30}$) и гранитоидными массивами

двухфазного татарско-аяхтинского комплекса ($\gamma_2 R_3 ta$), осложнены многочисленными разрывными нарушениями и зонами рассланцевания.

Кроме процессов регионального метаморфизма зеленосланцевой фаций в них проявлены наложенные динамотермальные и метасоматические преобразования. Диагенетически измененные осадочные породы верхнего рифея смяты в простые линейные и коробчатые складки, кайнозойские отложения залегают горизонтально. Рифейские породы вмещают зоны золотоносных метасоматитов, месторождения, проявления и пункты минерализации золота, четвертичные образования вмещают россыпи золота.

Последовательность формирования развитых на площади стратифицированных и метаморфических образований, наличие перерывов, этапов складкообразования и метаморфизма позволяют выделить в пределах площади три структурных этажа: карельский, байкальский и альпийский отвечающих крупным тектономагматическим циклам [2].

Разрывные нарушения широко развиты в пределах площади. Выделяются зоны нарушений взбросо-сбросового типа и зоны надвигов [3].

Взбросы и сбросы выделяются как зоны (от сантиметров до десятков метров) пород, перетертых в тектоническую глинку. Они расщепляются, ветвятся, линзуются или образуют серию тонких параллельных блоков дробленных и ненарушенных пород. Расчетная амплитуда перемещения блоков по ним колеблется от сотен метров до 2 километров. Серия мелких взбросов и сбросов осложняет крупные структуры, определяя блоковое строение территории. Преобладают зоны СЗ простираения. Основные разломы были подновлены в неоген-четвертичное время при росте горстового поднятия Енисейского кряжа.

Основные надвиговые зоны представляют собой серию параллельных чешуйчатых надвигов, проявленных в породах аллохтона и параавтохтона. Углы наклона плоскостей надвигов, определяемые по углам наклона наложенной вторичной сланцеватости на фронте, составляют 40-65°, мощность шовных зон составляет 10-30 м. В процессе перемещения покровов происходило их смятие, а затем усложнение поздней складчатостью и разрывами взбросо-сбросовой кинематики. В постюрский период происходило подновление надвиговых зон.

Огневское рудное поле тянется узкой полосой северо-западного направления от верховьев руч. Мясниковский, через нижнее течение р. Огня к истокам правого притока руч. Досеровский. Протяженность его около 6 км, при ширине до 1 км.

Месторождение Заявка 13 имеет гидротермально-метасоматическое происхождение и относится к золотокварцевой малосульфидной формации, пирит-пирротиновому минеральному типу. Промышленный тип кварцево-жильно-прожилковый в березитизированных породах [4].

Месторождение Заявка 13, как и все Огневское рудное поле в целом, приурочено к фронтальной зоне крупного надвига, по которому сланцы кординской свиты надвинуты на сланцы и метаалевролиты горбилокской свиты. Вдоль надвига в породах автохтона отмечается полоса (шириной 200-400 м) развития бластомилонитов, в которую попадает южная часть месторождения Заявка 13.

Основу геологического строения месторождения составляют слабо рассланцованные метаалевролиты горбилокской свиты в различной степени, затронутые процессами гидротермального метасоматоза и кристаллобластеза. Залегание пород в целом моноклинальное с падением на юго-запад (Азимут падения=215-230°), под углом 40-70°. Моноклинальное залегание пород осложнено мелкой дисгармоничной микроскладчатостью, а также многочисленными мелкими (преимущественно до 1 м) участками дробления и катаклаза пород.

Главным структурным элементом Огневского рудного является Центральный разлом, который тянется в 200-400 м западнее оруденения параллельно минерализованным зонам и является рудоконтролирующим золотую минерализацию. На месторождении Заявка 13 (по

керну скважин С-1508, С-1509) Центральный разлом проявлен в виде мощной (около 120 м) зоны смятия, трещиноватости, милонитизации пород (рисунок, а).

По своей морфологии Центральный разлом, по всей видимости, относится к сбросо-взбросовому типу. Его плоскость сместителя имеет крутое падение 65-75° на юго-запад.

Центральный разлом разбит серией небольших трансформенных разломов сдвигового характера северо-восточного направления, по которым отмечается его смещение с горизонтальной амплитудой 100-200 м.



Рисунок 1. Примеры полевых наблюдений структурных форм месторождения Заявка 13: а – одно из субвертикальных нарушений из зоны динамического влияния разлома Центральный; б– кварцевая жила в борту карьера

Золотое оруденение месторождения Заявка 13 приурочено к широкой 200–300 м полосе гидротермально измененных пород, ориентированной параллельно линии надвига и субсогласно простиранию вмещающих пород. Протяженность зоны гидротермального метасоматоза по геохимическим и геофизическим данным оценивается в 1 км. Скважинами она прослежена на глубину до 300 м без признаков затухания.

В целом зона гидротермального метасоматоза представляет собой *линейно вытянутый мелкопрожилковый штокверк*, ориентированный в направлении близком напластованию пород и под углом к вторичной сланцеватости. Гидротермально-метасоматические образования в пределах штокверка представлены линзовидными и линейными, сложно ветвящимися, телами кварцевого прожилкования (рисунок, б), сульфидной минерализации, общего окварцевания пород и серицит-кварцевого метасоматоза.

4. Обсуждение

По данным поисково-оценочных работ 2014 года Межубовского В.В., Шрайнера А.Д. [5] и других исследователей *последовательность формирования золотого оруденения* Огневского рудного поля и, в частности, месторождения Заявка 13 представляется в следующем виде.

На начальном этапе происходило заложение субвертикального Центрального разлома. В последующем, в связи с абдукцией Исаковского террейна на Сибирскую платформу, произошло надвигание пород кординской свиты на образования горбилковской свиты.

В процессе горизонтального перемещения тектонической пластины перед фронтом надвига в зоне сжатия происходит динамотермальное преобразование пород – образуются бластомилониты и мелкие трещинно-сколовые нарушения. Так же в результате сдвиговых смещений в автохтоне перед фронтом надвига происходит деформация Центрального разлома.

Затем в результате снятия горизонтальной нагрузки в зоне Центрального разлома возникла область растяжения и приоткрывания мелких трещин, что способствовало *увеличению проницаемости среды и создало благоприятную обстановку для внедрения гидротермальных золотоносных растворов.*

Проводником золотоносных гидротерм, скорее всего, послужил сам Центральный разлом. Плоскость надвига и породы автохтона могли послужить *геохимическим и структурным барьером* на пути гидротерм, о чем косвенно свидетельствует нарастание концентрации золота в минерализованной зоне *при ее приближении к зоне надвига.*

Углеродистый метасоматоз по времени проявления был самым ранним и, вероятно проявился в обоих крыльях Центрального разлома. А вот последующий кварцевый и сернистый метасоматоз наиболее интенсивно проявился в юго-западном крыле разлома, в результате чего здесь произошел вынос углерода и формирование золотой минерализации.

По мнению многих исследований основным факторами рудолокализации месторождения Заявка 13 являются тектонически и литолого-стратиграфический [2-6].

К *тектоническим факторам* как уже было сказано ранее следует относить приуроченность оруденения к фронтальной зоне надвига, и одновременно зоне влияния субвертикального Центрального разлома взбросо-сбросовой морфологии.

Литолого-стратиграфический выражен в том, что большинство рудных зон их локализовано в породах сухопитской серии (горбилоской и кординской свит). В пределах месторождения установлены и оконтурены 7 рудных зон (три крупные зоны и четыре мелкие зоны-сателлиты).

Однако литологический фактор не может быть напрямую использован для оконтуривания рудных зон, поскольку значительные участки сульфидно-кварцевых метасоматитов *не содержат золота*, а в пределах практически неизменных участков пород нередко отмечаются пробы с кондиционными содержаниями золота.

Таким образом, конкретные размеры и форма рудных тел на месторождение Заявка 13 определяются *только по данным опробования- по уровню содержаний золота в пробах*, исходя из принятых кондиций и правил геометризации рудных зон. Литологический фактор можно использовать только в качестве выбора направления объединения рудных интервалов в рудные зоны по соседним выработкам.

5. Заключение

Основные структурные особенности месторождения Заявка 13 — это приуроченность оруденения к фронтальной зоне надвига, и одновременно нахождение его в зоне влияния субвертикального Центрального разлома взбросо-сбросовой морфологии.

Тектоническая нарушенность горных пород зоны влияния этих разрывных нарушений способствовала увеличению проницаемости среды и создало благоприятную обстановку для внедрения гидротермальных золотоносных растворов, проводником которых, скорее всего, послужил Центральный разлом. Источником растворов, кроме проницаемой зоны Центрального разлома, вполне возможно могли быть гранитоиды двухфазного татарско-аяхтинского комплекса (γ_2R_3ta), расположенные в юго-западном направлении от территории месторождения Заявка 13.

Плоскость надвига и породы автохтона дополнительно могли послужить *геохимическим и структурным барьером* на пути гидротерм.

Таким образом тектонический фактор во многом определил *контуры и положение зон* золотой минерализации. Данный факт напрямую влияет на отрисовку рудных зон как в плане

для добычного карьера, так и на глубину для сгущения сети разведочных скважин, которые предполагается пробурить для изучения глубоких горизонтов, с последующей подземной их отработкой.

Библиографический список

- [1] Константинов М.М. Глубинное строение и закономерности размещения месторождений Северо-Енисейского золоторудного района (Россия) / М.М. Константинов, Р.Ф. Данковцев, Г.С. Симкин, С.В. Черкасов // Геология рудных месторождений. — 1999. — Т. 41, № 5. — С. 425–436.
- [2] Тектоника и металлогения Нижнего Приангарья : монография / под ред. А.И. Забияки ; М-во природ. ресурсов Рос. Федерации [и др.]. — Красноярск: КНИИГиМС, 2004 (РИЦ КНИИГиМС). — 321 с.
- [3] Сазонов А.М. Золоторудная металлогения Енисейского кряжа: геолого-структурная позиция, структурные типы рудных полей / А.М. Сазонов, А.А. Ананьев, Т.В. Полева, А.Н. Хохлов, В.А. Власов, Е.А. Звягина, А.В. Федорова, П.А. Тишин, С.И. Леонтьев // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. — 2010. — V.4, No. 3. — Pp. 371–395.
- [4] Тюкпиеков В.В., Макаров В.А. Отчет «Разведка рудного золота на месторождение. Заявка 13» (Отчет с подсчетом запасов и ТЭО постоянных разведочных кондиций по разведочным работам на месторождении. Заявка 13 на 01.01.2020). — Красноярск, 2020.
- [5] Межубовский В.В., Шрайнер А.Д. [и др.]. Поиски и оценка рудного золота на Дюбкошской площади (Месторождение Заявка-13 с подсчетом запасов на 01.01.2014). — Красноярск, 2014.
- [6] Черняева Е.И. Новый золоторудный узел «Бурный» Енисейского кряжа / Е.И. Черняева, Е.В. Черняев, В.Л. Кошкарев // Известия Томского политехнического университета. — 2002. — Т. 305, № 6. — С. 268–287

СЕКЦИЯ 3. ЮВЕЛИРНЫЙ ДИЗАЙН И ТЕХНОЛОГИИ

Дизайн асимметричных ювелирных украшений на основе кружевного декора усадьбы А.И. Шастина в Иркутске

Р.М. Лобацкая, Е.В. Лукьянова

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

E-mail lob.@ex.istu.edu

Аннотация. Рассмотрены возможности использования архитектурных элементов деревянного резного декора застройки Иркутска XIX века на примере усадьбы А.И. Шастина. Изучены и систематизированы рисунки и техники выполнения деревянного пропильного и прорезного узора. Проведена их последовательная систематизация для дальнейшего использования в ювелирном дизайне. Показаны возможности ее стилизации для создания эскизов ювелирных изделий и их выполнения в материале.

1. Введение

Иркутск является одним из ярчайших примеров сохранения и реставрации деревянного зодчества, что является проявлением национальной культуры и исторического наследия. Доходный дом купца А.И. Шастина, расположенный по адресу ул. Фридриха Энгельса, 21 – является «визитной карточкой» города Иркутска, дающей представление о том, каким Иркутск был в XVIII-XIX вв. Изначально Аполлон Иванович Шастин планировал построить два доходных дома, однако свою задумку ему осуществить не удалось. «Кружевной дом» получил своё название за искусную резьбу, покрывающую его сверху донизу. Чаще всего в деревянном декоре Сибири встречается сочетание нескольких стилей. Дом А.И. Шастина выполнен в стиле сибирского барокко.

Сибирское барокко – это термин, который используется в обозначении щедро декорированных оконных проемов в барочном стиле. Лишь небольшая часть деревянных домов Иркутска несет в декоре фасадов элементы сибирского барокко, что придает большую уникальность доходному дому А.И. Шастина (см. рисунок 1).



Рисунок 1. Зарисовка доходного дома А.И. Шастина. Рисунок Е.В. Лукьяновой

2. Систематизация элементов деревянного декора

Деревянный декор делится на 2 типа: глухая и пропильная резьба (см. таблицу 1).

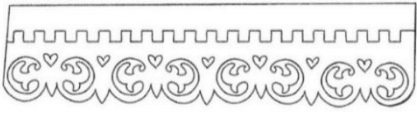
Глухая или рельефная резьба выполняется с непрорезным, глухим, фоном и высоким рельефом узора. Мотивами резьбы чаще всего являлись растительные орнаменты, где листья

завиваются крутыми встречными спиралями. Некоторые исследователи считают, что резные украшения на жилые постройки перешли с деревянных кораблей, поэтому домовую рельефную резьбу иногда называют корабельной.

Пропильная резьба основана на пропиливании основного узора, расположенного в одной плоскости, и выполняется сверлением и выпиливанием. Декоративный строй пропильной резьбы создается многократно повторяющимся орнаментом – растительным, геометрическим и знаковым.

Таблица 1

Типы деревянного декора

Тип декора	Предметы (экспонаты) из фондов МБУК «МИГИ им. А.М. Сибирякова»	Зарисовки декора для стилизации
Глухой	 МИГИ НВФ 2336-49 Накладное украшение наличника	 Накладное украшение наличника
Пропильной	 МИГИ НВФ 2336-26 Подзор дома купца А.И. Шастина, растительный орнамент	 Фрагмент пропильного подзора карниза

Орнаменты пропильного декора деревянных домов основаны на рисунках, созданных профессиональными архитекторами и художниками в соответствии с народными традициями. Источником орнаментов пропильной резьбы послужили мотивы, заимствованные из мебельного, ткацкого, печатного искусств, а также рисунки, украшавшие бытовые предметы. Деревянный декор можно условно разделить на следующие основные виды: геометрический, растительный, зооморфный, орнитоморфный и знаковый. В декоре доходного дома А.И. Шастина встречаются три вида орнаментов: геометрический, растительный, знаковый (см. таблица 2). Зооморфный и орнитоморфный отсутствуют.

Результаты изучения деревянного декора доходного дома А.И. Шастина с точки зрения возможности его использования для стилизации, формообразования и декорирования ювелирных украшений показан в таблице 3. Приведены некоторые примеры возможных ювелирных украшений на основе глухой и пропильной резьбы.

Таблица 2

Виды деревянного декора доходного дома А.И. Шастина

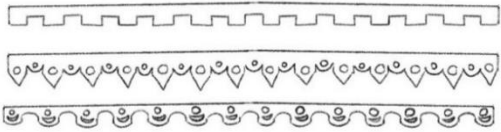
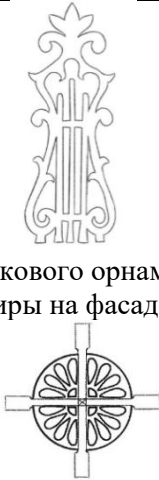
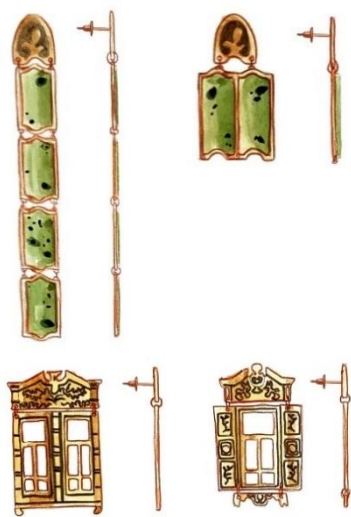
Вид	Фото автора	Рисунок автора
Геометрический	 Пример геометрического пропильного орнамента на подзоре карниза	 Варианты геометрических орнаментов на подзорах карнизов
Растительный	 Пример растительного глухого декора на ставне	 Пример растительного орнамента с цветами тюльпана на карнизе Пример растительного орнамента на ставне
Знаковый	 Пример знакового орнамента в виде лиры на фасаде	 Пример знакового орнамента в виде лиры на фасаде Пример веерообразного орнамента на фасаде

Таблица 3

Деревянный декор доходного дома А.И. Шастина в стилизации, формообразовании и декорировании ювелирных украшений

Тип декора	Формообразование	Декорирование	Эскизы ювелирных украшений
Пропильный декор с доходного дома А.И. Шастина	Данный декор можно использовать в качестве формообразующей основы для одноплановых, плоских серег, колец, браслетов и шпилек при помощи пропиливания	Растительный, знаковый и геометрический орнамент можно использовать в качестве акцентных элементов для серёг, колец, брошей и других ювелирных изделий при помощи травления и патинирования	
Глухой декор с доходного дома А.И. Шастина	Данный декор можно использовать в качестве формообразующей основы для объемных, многоплановых серег и колец при помощи отливок и пайки	Растительный орнамент и силуэтные формы окон можно использовать в качестве акцентных элементов для серёг, колец, брошей и других ювелирных изделий при помощи травления, чернения, гравирования и патинирования	

Все представленные образцы деревянного декора дома А.И. Шастина, архитектурного образца, выполненного в стиле сибирского барокко, имеют свой неповторимый образ, именно эти элементы резьбы вдохновили на создание собственного композиционного решения серии ювелирных изделий, часть эскизов которых представлена в таблице 3.

Дизайн асимметричных ювелирных украшений даёт возможность экспериментировать с формами и размерами изделий, а также сочетать представленные типы и виды деревянного декора застройки Иркутска XIX века на примере усадьбы А.И. Шастина.

Библиографический список

- [1] Зарубина Н.А., Меерович М.Г. «Сибирское барокко» в деревянной гражданской архитектуре Иркутска XIX века / Н.А. Зарубина, М.Г. Меерович // Баландинские чтения : Сборник статей VIII научных чтений памяти С.Н. Баландина. — Новосибирск, 2014. — №1. — С. 149-153.
- [2] Меерович М.Г. 2014 Деревянное наследие архитектуры г. Иркутска — уникальная историко-культурная и художественная ценность.
- [3] Кружевной дом // Официальный интернет-портал правовой информации Иркутской области. — URL: <https://www.ogirk.ru/2010/12/10/eurohouse> (дата обращения: 06.13.2024).

Дизайн ювелирных изделий на основе буддистской символики отражённой в архитектурных объектах Иркутской области

Т.В. Анисимова, Д.Т. Карпова

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Email: mozya.1302@mail.ru

Аннотация. Работа предполагает исследование и анализ архитектурных элементов буддийских храмов, ступ лотоса и других религиозных сооружений, находящихся в Иркутской области. Особое внимание уделяется символам, орнаментам и формам, составляющих основу данных сооружений, и их последующим воплощению в украшениях.

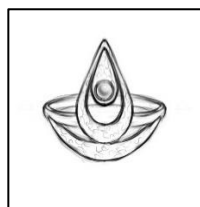
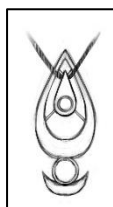
1. Введение

Буддизм, будучи одной из древнейших и широко распространенных религий мира, оказал глубокое влияние на различные аспекты человеческой культуры, включая искусство и архитектуру. В Иркутской области, расположенной в Восточной Сибири, буддизм оставил свой след в виде архитектурных памятников, таких как Иркутский и Усть-Ордынский дацаны. Эти сооружения украшены символами, имеющими духовное значение в буддистской традиции. Объединение традиционных буддийских мотивов с современными материалами и техниками позволяет создавать уникальные изделия с собственной локальной идентичностью и оригинальностью. О символике, изображенной в архитектурных объектах, и пойдёт речь. Главным образом были затронуты основные символы Буддизма: Колесо Дхармы, цветок лотоса и ступы лотоса. В эскизах для будущих изделий были также использованы и стилизованы орнаменты со стен Шелеховского дацана и его многоярусной пагоды.

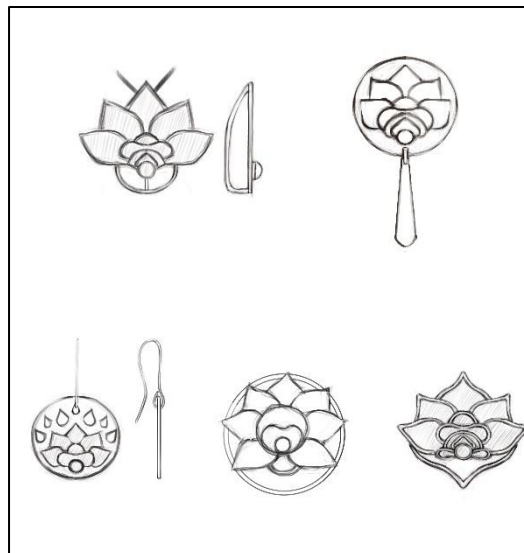
Колесо Дхармы представляет собой символ учения Будды о пути к просветлению, освобождению от кармических перерождений в сансаре (см. рисунок 1 г, 2 в). Согласно буддийскому учению, все живые существа заключены в круге бесконечных перерождений, именуемым сансарой и главной целью буддистов является выход из этого цикла. Будда открыл своим первым слушателям четыре благородные истины и проповедовал путь из восьми этапов, который приводит к освобождению от сансары. Именно поэтому Колесо Дхармы обычно изображают с восемью спицами. [3]

Ступы лотоса — культовые сооружения, представляющие собой реликварии или мемориалы, рассматриваемые как символическая вертикальная модель Вселенной. [1] Разные части ступы имеют свою символику. В эскизах для стилизации были принято взять не весь объект целиком, а только навершие ступы, которое состоит из полумесяца, круга и самоцвета в виде каплевидной формы. Полумесяц символизирует устранение всякого страдания, круг — сияние тысячи светил сострадания, а венчающий конструкцию самоцвет — исполнение всех желаний (см. рисунок 1 а, 2 а).

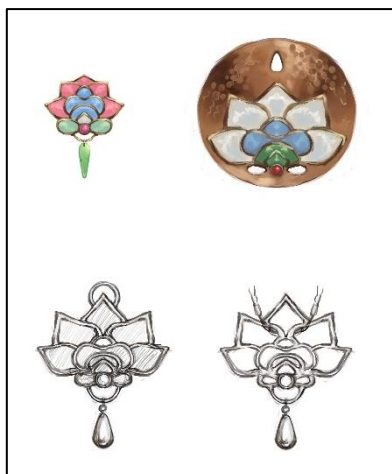
Цветок лотоса в буддизме символизирует воды, духовное раскрытие и нирвану. [2] Это образ чистоты и совершенства, потому как вырастая из грязи, он остается чистым. В тибетских учениях бутон и его общая природа рассматриваются как жизненный цикл. В архитектурных объектах лотос представлен как часть орнамента на пагоде и во внутренней части храма (см. рисунок 1 а, 1 б, 2 б, 2 в, 2 г).



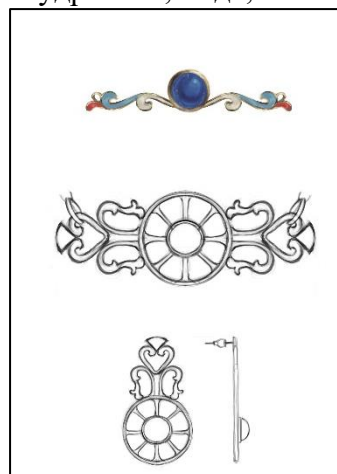
а) Подвес «Чистота лотоса», мельхиор, лазурит; моно-серьга «Лепестки», мельхиор, лазурит; подвес «Капля», мельхиор, кварц; кольцо «Сияние сострадания», мельхиор, кварц



б) Подвес «Расцвет», медь, стекло, эмаль; подвес «Пробуждение весны», медь, эмаль, нефрит; моно-серьга «Капли расцвета», медь, эмаль; подвес «Небесный цветок», медь, эмаль; подвес «Лепестки мудрости», медь, эмаль



в) Подвес «Водный цветок», медь, эмаль, нефрит; подвес «Круг на воде», медь, эмаль; подвес «Цвет лотоса» медь, эмаль, кварц; подвес «Слеза лотоса», мельхиор, кварц



г) Подвес «Завитки», медь, эмаль, лазурит; подвес «Вращение Дхармы», латунь, нефрит; серьги «Колесо закона», латунь, нефрит

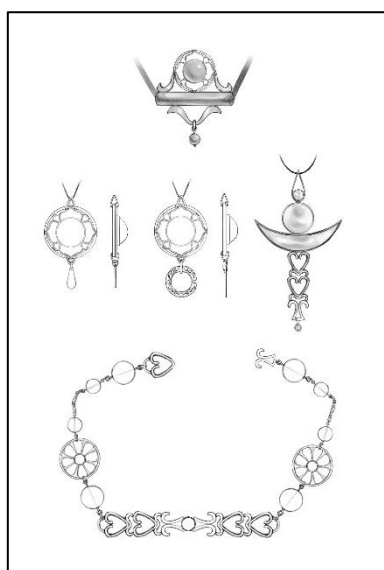
Рисунок 1. Эскизы украшений на основе стилизации буддистской символики Шелеховского дацана



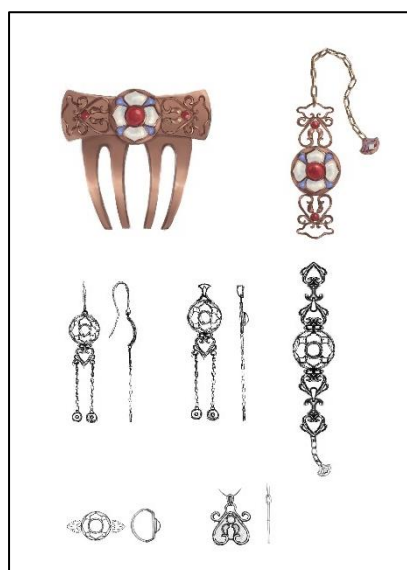
а) Подвес «Стремление к истине», медь, эмаль, патинирование; шпилька «Самоцвет желания», медь, эмаль; подвес «Вершина ступы», мельхиор, кварц; подвес «Дорога к ступе», мельхиор, кварц



б) Подвес «Лепесток истины», мельхиор, кварц, патинирование; подвес «Пагода в цветении», мельхиор, кварц, нефрит



в) Подвес «Лотос над водой», мельхиор, кварц; подвес «Росинка», мельхиор, кварц; подвес «Свет мудрости», мельхиор, кварц; подвес «Путь», медь, эмаль; кольцо «Перерождение», мельхиор, кварц, нефрит

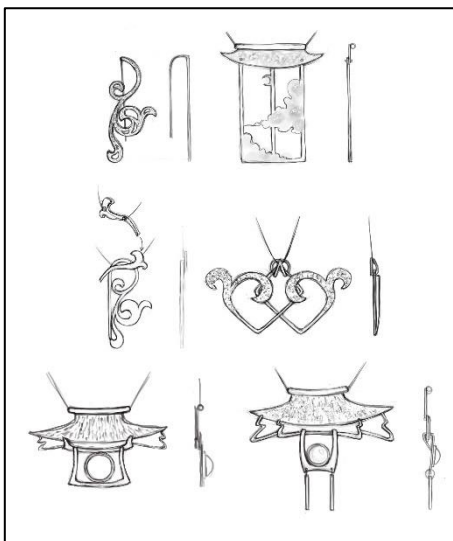


г) Гребень «Цвет жизни», медь, эмаль; браслет «Водяной цветок», медь, эмаль; серьги «Перезвон весны», медь, эмаль; подвес «Перезвон весны», медь, эмаль; браслет «Рождение», медь, эмаль; кольцо «Глаз лотоса», мельхиор, нефрит; подвес «Ростки», медь, эмаль

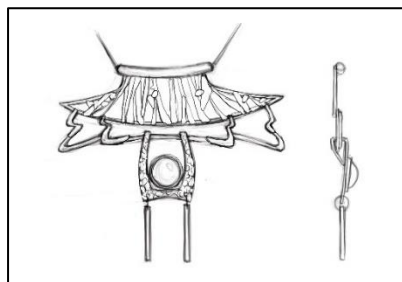
Рисунок 2. Эскизы украшений на основе стилизации буддистской символики пагоды Шелеховского дацана

2. Эскизирование и технология изготовления ювелирных изделий

Из эскизов было выбрано несколько вариантов по образу и стилистике подходящие в серию ювелирных украшений. В качестве апробации технологии изготовления был выполнен пробный образец со стилизацией общего силуэта дацана и характерными символами буддизма - пагодой и многослойностью. Изделие было выполнено из мельхиора с использованием техники фактурирования. Данная ювелирная технология позволяет выполнить рельефную поверхность на металле созданное при помощи пуансонов и молотка, выбивая фактуру на поверхности пластины. Трубка, находящаяся в верхней центральной части, служит способом крепления подвеса. Кабошон округлой формы выполнен из стекла красного цвета.



а) Серьги «Завитки», латунь; подвес «Изнутри», латунь; подвес «Ростки», латунь; подвес «Равновесие», мельхиор; подвес «Пагода и солнце», мельхиор, стекло; подвес «Обитель солнца», мельхиор, стекло



б) выбранный эскиз для воплощения творческого замысла, подвес «Обитель солнца», мельхиор, стекло

Рисунок 3. Эскизы украшений на основе стилизации буддистской символики для апробации в материале



Рисунок 4. Итоговый эскиз подвеса «Обитель солнца», мельхиор, стекло

Библиографический список

- [1] Ханда О.Ч. Обзор буддийского духовного искусства // Искусство Евразии [Электронный журнал]. — 2019. — № 4 (15). — С. 219-245. URL: <https://doi.org/10.25712/ASTU.2518-7767.2019.04.015>.
- [2] Почему для буддистов так важен лотос, и какие символы скрыты в этом цветке / сайт Культурология.РФ. — URL: <https://kulturologia.ru/blogs/191221/51972/>
- [3] Дхармачакра // электронный журнал Arzamas. — URL: <https://arzamas.academy/micro/symbol/17>
- [4] Галанин С.И. Рельеф, фактура и текстура в дизайне ювелирных изделий / С.И. Галанин, О.А. Трошина // Дизайн и технологии. — 2020. — № 77 (119). — С. 14–23.
- [5] Основы дизайна. Художественная обработка металла : учеб. пособие / М.П. Ермаков. – М. : ЛитераФорте, 2014. – 460 с.
- [6] Рисунок: учеб. пособие / Е.Г Павлова. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2008. – 272 с.

Скарн в дизайне ювелирных украшений

А.С. Лютиков, М.А. Буйволова

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

E-mail: aliutikov2005@gmail.com

Аннотация: Рассмотрены способы образования и виды скарна, его практическое значение и отрасли применения как поделочного камня. Кратко описаны основные свойства. Изучены и исследованы макроскопические свойства образцов скарна Дальнегорского месторождения. Приведен процесс изготовления кабошонов. Разработан дизайн и изготовлено изделие со вставками из скарна. О результатах работы сделаны выводы.

1. Введение

Многие видели известняк, однако у этого минерала есть родственник из метаморфических пород, очень интересный и красивый камень под названием «Скарн». Его также называют «Приморский малахит» из-за необычного рисунка в основном зелено-белых тонов (может быть, розовых, серых, коричневых цветов) рисунок напоминает горные ландшафты или волны в море (рис.1, а). Сувениры из «приморского малахита» пользуются широким спросом, как в нашей стране, так и за рубежом. Из скарна изготавливают: настенные и настольные панно, сувенирные изделия, шкатулки, вставки из скарна нередко используют ювелиры при изготовлении колец (рис.1, б), подвесок, браслетов и серёжек.



Рисунок 1. Образцы скарна различных тонов и рисунков (а), кольцо со вставкой из скарна (б)

Скарны образуются под действием горячих водных растворов. Эти растворы поднимаются вдоль контакта из глубинных частей еще кристаллизующегося очага магмы. Они смачивают все горные породы. Из гранитов в сторону известняков и доломитов медленно мигрируют Si, Al, Na, K и другие химические компоненты гранитов. В противоположном направлении перемещаются Ca, Mg и др. Происходят обменные химические реакции и образуются новые

метасоматические минералы на месте полевых шпатов в гранитах и на месте кальцита и доломита в известковистых горных породах. Зоны скарнов, развитые по граниту, называют эндоскарновыми, а развитые по осадочным карбонатным горным породам - экзоскарновыми (рис 2, а). Они имеют свой особый минеральный состав. Главными минералами эндоскарнов являются сложный по составу Ca-Na алюмосиликат скаполит и реликтовые (остаточные) минералы гранитов — полевые шпаты и др. Скаполит как бы вобрал в себя вещество из гранитов (Na, Al, Si) и известняков (Ca).



Рисунок 2. Схема образования скарнов (а), виды скарнов магнезиальные (б) и известковые (в)

Магнезиальные скарны образуются при реакционном взаимодействии доломитов с внедряющейся магмой или в условиях больших глубин (свыше 10-12 км) в контакте с алюмосиликатными породами в послемагматический этап. Для этих скарнов характерны магнийсодержащие минералы. В первую очередь это диопсид, шпинель, форстерит, флогопит и доломит. Из аксессуарных наиболее часто встречается апатит, нередко образующий крупные кристаллы голубовато-зеленого цвета. Могут встречаться сфен и радиоактивный ортит (рисунок 2, б).

Известковые скарны состоят из новообразованных преимущественно кальциевых и кальциево-алюминиевых силикатов волластонита, диопсида, гроссуляра, андрадита, эпидота и кальцита. Образуются известковые скарны в условиях малых и средних глубин (около 3-7 км) в послемагматический этап в контактах известняков с алюмосиликатными породами. Силикаты кристаллизовались за счет Ca известняков Si и Al, мигрировавших из гранитов (рисунок 2, в).

Экзоскарны в доломитах состоят из силикатов и алюмосиликатов магниевое состава: форстерита, хондродита, флогопита. Часто присутствует оксид магния и алюминия — шпинель. Скарны имеют промышленное значение как среда образования рудных минералов железа, олова, свинца, цинка, меди, бериллия, минералов бора, слюды флогопита и других полезных ископаемых. С известковыми скарнами связаны месторождения железа, меди, вольфрама-молибдена (Тырныауз на Сев. Кавказе), свинца и цинка, бора. Месторождения железа скарнового типа характеризуются обычно не очень большими запасами.

Термин «скарн», означающий «дрянь, пустая руда», ввёл в геологическую литературу шведский учёный А. Э. Тёрнебом (1875) — это старо-шахтерский термин, при добыче железной руды вмещающую породу, скарн, выбрасывали. Но на самом деле, скарн, далеко не пустая порода, а иногда можно сказать даже драгоценная и золотая. Например, в таких странах, как Мексика, Корея и Бразилия, скарны богаты золотом и у нас в Кузнецком Алатау и в Якутии месторождения являются скарно-золоторудными, что считается большой редкостью. В Турции, Индонезии, Боливии и Аргентине в скарносодержащих пластах обнаруживается много как поделочных, так и драгоценных камней (аргентинские и индонезийские изумруды). Скарновые месторождения встречаются на всех континентах их добывают в Швеции, Норвегии, Северной Америке, Казахстане, Австралии. В России известны Дальнегорское месторождение Приморского края, скарновое месторождение

лазуритовой формации Южного Прибайкалья. Помимо Урала и Кольского полуострова месторождения минерала разрабатывают в Иркутской области.

2. Результаты исследования и изучение материала

Исследуемые образцы скарна из Дальнегорского месторождения, район Приморья (рисунок 3, а). Рудоносная площадь составляет около 70 км². Скарн состоит из чередующихся слоёв минералов датолита и геденбергита:

Датолит - распространенный минерал, исключительные кристаллы встречаются в России (Дальнегорск, Приморский край). Вторичный минерал изверженных магматических пород преимущественно основного состава; образует жилы и заполняет пустоты в туфах; широко распространен в известковых скарнах; встречается в гидротермальных жилах; породах регионального метаморфизма (рисунок 3, б).

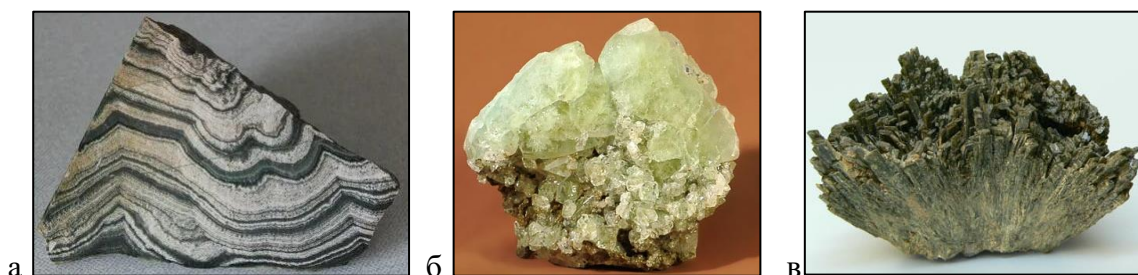


Рисунок 3. Образца минералов: а – скарн; б – датолит; в – геденбергит

Геденбергит - минерал класса силикатов, клинопироксен из обширного семейства пироксенов. Образует серии твёрдых растворов с диопсидом и йохансенитом. Встречается главным образом в контактово-метаморфических породах и месторождениях магнетита, в железомagneзиальных и известковых скарнах (самый распространённый минерал скарновых месторождений Дальнегорска), в щелочных гранитах и в сиенитах, в ксенолитах кимберлитов. Под влиянием процессов выветривания может превращаться в кремнистые железные охры.

Скарн из Дальнегорска — это очень красивый поделочный камень с красивым и разнообразным рисунком. Из него изготавливают украшения, сувениры, предметы интерьера. Так же дальнегорский скарн использовался для отделки московской станции метро Петровско-Разумовская.

3. Разработка дизайна изделия и этапы изготовления

Чередование волнистых полос в скарне, формирует в голове ассоциации с образом бабочки капустницы, который решили воплотить в изделии. Было разработано несколько вариантов эскизов, они отличались положением и размерами крыльев бабочки (рисунок 5).

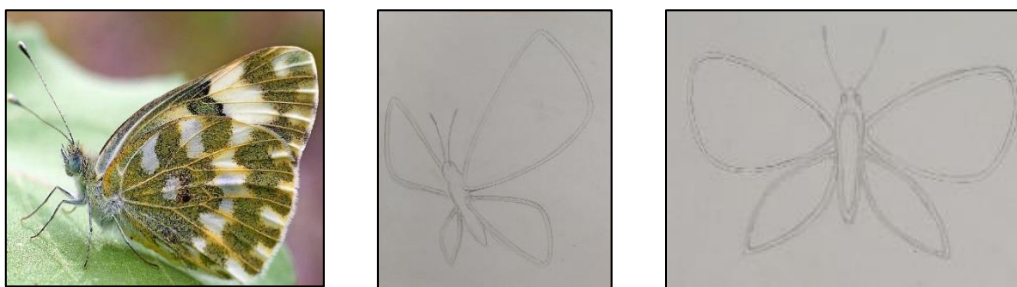


Рисунок 5. Бабочка капустница и эскизы будущего украшения.

Второй этап в изготовлении изделия после выбора эскиза - изготовление кабашонов. Технологический процесс включал в себя следующие операции: разметить и распилить

пластины скарна для изготовления 4 кабошонов; ободрать по контуру придав нужную форму кабошону (крыло бабочки); ободрать кабошон придав ему округлую форму; выполнить тонкое шлифование, чтобы удалить глубокие риски и небольшие плоскости на поверхности кабошона; полировать кабошоны (рисунок 6).



Рисунок 6. Этапы изготовления кабошонов (а) и готовое изделие (б)

Далее изготавливаем из серебра касты для дальнейшей закрепки в них камней. Создаём туловище бабочки и напаиваем все её части на серебряную пластину - основу, для соединения и придания прочности конструкции изделия. Обрабатываем поверхность изделия и производим закрепку камней, полируем (рисунок 7).

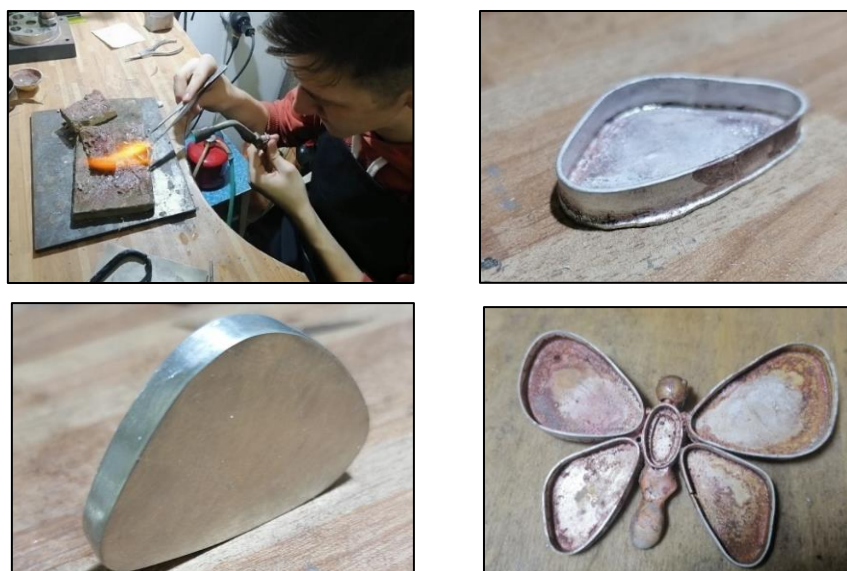


Рисунок 7. Этапы изготовления бабочки

4. Заключение

1. Наиболее декоративным является скарн, образованный по известняку Дальнегорского месторождения, благодаря небольшой твердости он легок в обработке (рисунок 8).

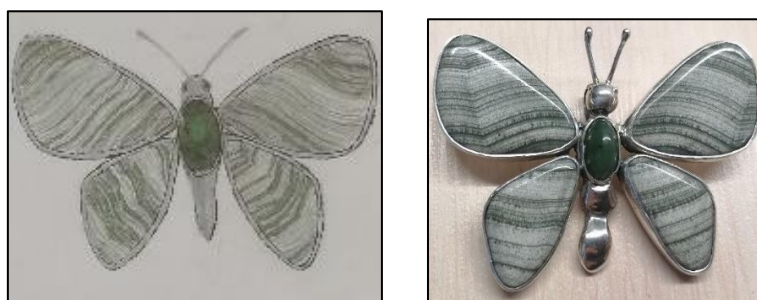


Рисунок 8. Эскиз изделия (а) и готовое изделие Подвеска (б)

2. Исследовать макроскопические свойства минералов очень познавательно и увлекательно. На внешний вид и свойства камня влияют много факторов. Каждое месторождение и отдельно взятый минерал с данного месторождения не бывают похожи друг на друга, так как могут отличаться по рисунку, цвету, размеру зерен и т.д.

3. Скарн, имея небольшую твердость, хорошо поддается обработке алмазным инструментом. Несмотря на некоторые недостатки, неоднородность структуры, хрупкость, его можно успешно применять для изготовления кабошонов и сувенирной продукции.

4. Работать с каменным материалом оказалось не совсем просто, во - первых работа с камнем велась впервые, не было ни опыта, ни навыков; и следственно, во – вторых, присутствовал небольшой страх при его обработке, что камень треснет или сколется, и придется искать новый образец.

5. Работать с металлом еще сложнее, его можно перегреть, не допаять детали, швы, окислить, но металл хотя бы всегда можно переплавить, если что-то пойдет не так в отличие от камня.

Библиографический список

- [1] Минералогия : учебник для студ. учреждений высш. проф. образования // А.Г.Булах. – М.: Издательский центр «Академия», 2011. – URL: https://portal.tpu.ru/SHARED/I/LGA/ssilki/%D0%91%D1%83%D0%BB%D0%B0%D1%85_%D0%9C%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F_0.pdf
- [2] Скарн // сайт «Ювелирная энциклопедия Sunlight». – URL: <https://sunlight.net/wiki/udivitelnyiy-kamen-skarn.html?ysclid=lufapx70kq106484552>
- [3] Скарн / научно-образовательный портал «Большая российская энциклопедия». – URL: <https://bigenc.ru/c/skarn-2f877c?ysclid=luf9lvfzz5123563276>
- [4] Лабораторная работа № 4 «Скарновые месторождения» // сайт кафедры геологии Уфимского государственного нефтяного технического университета. – URL: <https://geology.rusoil.net/distsipliny/mestorozhdeniya-poleznykh-iskopaemykh/60-laboratornaya-rabota-3-gruppa-skarnovykh-albitit-greizenovykh-i-gidrotermalnykh-mestorozhdenij>
- [5] Датолит // сайт «Каталог Минералов». – URL: <https://catalogmineralov.ru/mineral/datolite.html?ysclid=luo5c056df38876049>

Технология создания инталий

А.А. Анисимова, А.А. Севастьянова. О.В. Ершова

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

E-mail: aleksanisimova@mail.ru

Аннотация. В статье обобщается теоретический и практический опыт создания инталии. Описываются характерные особенности технологического процесса создания кабошона и последующей резьбы, исходя из физических свойств материала. Изучены свойства хрустального стекла. Проведен эксперимент по созданию инталии на стеклянном кабошоне. Особое внимание уделяется ключевым этапам технологического процесса. Целью данной работы является изучение теоретической и практической части создания инталии.

1. Введение

Миниатюрная резьба на драгоценных камнях — «глиптика», одно из древнейших искусств. Этим искусством в древности увлекались практически все народы мира. Еще в IV веке до нашей эры были сделаны первые попытки вырезать объемные изображения, уходящие вглубь плоской поверхности камня, так называемые инталии. Изначально они использовались в качестве именной печати её обладателя, поскольку в мягкой глине или воске инталия

оставляет рельефный оттиск. Такие печати накладывались на официальные и частные документы, письма, ларцы с драгоценностями, амфоры с вином и маслом, двери домов. Благодаря необычайной прочности драгоценных минералов, из которых выполнялись инталии, до наших времен дошли шедевры древних мастеров в отличной сохранности.

Техника создания инталии крайне сложна: требуется виртуозное мастерство и высочайшее художественное дарование, а также невероятное упорство резчика, ведь на создание одной инталии уходят многие месяцы, а иногда и годы. Коллекционированием инталий увлекались коронованные особы, аристократы, ученые, художники. Те, кто не имел возможности купить оригиналы, собирали хотя бы их слепки. Так, великий Гёте мог позволить себе только коллекцию слепков с античных инталий, но утверждал, что это одно из лучших его приобретений. Одним из самых страстных коллекционеров инталий была императрица Екатерина II. И по сей день в Эрмитаже хранится примерно 20 тысяч изделий с резными драгоценными камнями. Особенно популярны инталии стали в эпоху правления английской королевы Виктории. Необычайная строгость нравов тех времён не позволяла дамам носить слишком яркие украшения, а инталии давали возможность продемонстрировать богатство, роскошь и великолепный вкус обладательницы этого ювелирного произведения искусства, не вызывая осуждения со стороны светского общества.

В середине XIX века основные направления искусства стали отдаляться от классической ориентации. Глиптика лишилась традиционных покровителей и заказчиков, и была практически забыта. Сегодня этим искусством владеет считанное число мастеров, что придает особую ценность их работам. В отличие от древних мастеров, современные интальеры работают в технике «инверсной инталии» на прозрачном камне. Изображение гравировается на обратной стороне камня, что намного усложняет работу, так как мастер работает практически «вслепую».

Наиболее красиво инталия выглядит в зеркальном отображении, когда сам рисунок выполнен на прозрачном камне, а лицевая сторона изделия представляет собой площадку, сквозь которую можно наблюдать всю красоту замысла резчика (см. рисунок 1).

Для создания и тех и других гемм требовалось несложное оборудование: станок с приводом, набор резцов и обязательно абразивы, так как минералы употреблялись настолько твёрдые (агат, сердолик, гранаты, гематит, сардоникс), что металлический инструмент не мог оставить на них даже царапин. Особая трудность резьбы инталий, помимо их миниатюрности, состояла в том, что мастер постоянно должен был иметь в виду обратное изображение. Покрытую абразивным материалом, углублённую, как бы негативную, инталию было необходимо время от времени очищать и делать пробные оттиски [1].



Рисунок 1. Изображение императора Каракаллы на аметисте

Различные виды резьбы по камню актуальны и сейчас. Благодаря научному прогрессу технология глиптики сильно изменилась, в результате этого время, затрачиваемое на изготовление изделия, значительно уменьшилось.

2. Материалы и методы

В качестве материала мы использовали хрустальное стекло. Хрустальное стекло — это свинцово-силикатное стекло, содержащее 13—23 % оксидов свинца и до 17 % оксидов калия. Оно обладает повышенными плотностью, прозрачностью и блеском, но меньшей термостойкостью по сравнению с другими видами стекол. Обладают красивым звоном. Хрусталь имеет устойчивость к сколам больше, чем у стекла [2].

3. Результаты исследования и их анализ

Из хрустального стекла производят высококачественную посуду и декоративные изделия. Добавка оксида свинца увеличивает показатель преломления стекла и дисперсию света в нём (с ювелирной точки зрения — «игру цвета», «огонь»). Добавка оксида бария в основном увеличивает только показатель преломления. Добавка оксида свинца также увеличивает пластические свойства стекла и, соответственно, возможности по его обработке — огранке, резьбе и т. п. Огранка хрусталя, подобно огранке драгоценных камней, позволяет хрустальному в полной мере проявить свойства, обусловленные большим показателем преломления и дисперсией. Название было дано по аналогии с горным хрусталем [3].

Процесс создания инталии из стекла состоит из нескольких этапов:

1. Выбор сырья и подготовка.

В качестве материала для обработки было выбрано хрустальное стекло. Стекло является доступным материалом. Оно не имеет природных включений и трещин в отличие от натуральных камней.

2. Изготовление кабошона.

Создание кабошона включает в себя несколько этапов:

А) Выбор формы кабошона.

Б) Шлифовка и формообразование, то есть придание изделию округлой формы, характерной для кабошона. Здесь используют шлифовальный круг (см. рисунок 2). Процесс позволяет сгладить неровности и придать элементу определенную форму (см. рисунок 3).

В) Выравнивание поверхности изделия на планшайбах (шлифовальных станках) с использованием абразивных порошков с частицами разного размера (см. рисунок 4) [4].



Рисунок 2. Шлифовальный круг



Рисунок 3. Формообразование



Рисунок 4. Выравнивание поверхности

3. Нанесение разметки на кабoшон

После выбора изображения наносим его на кабoшон перманентным маркером (см. рисунок 5).

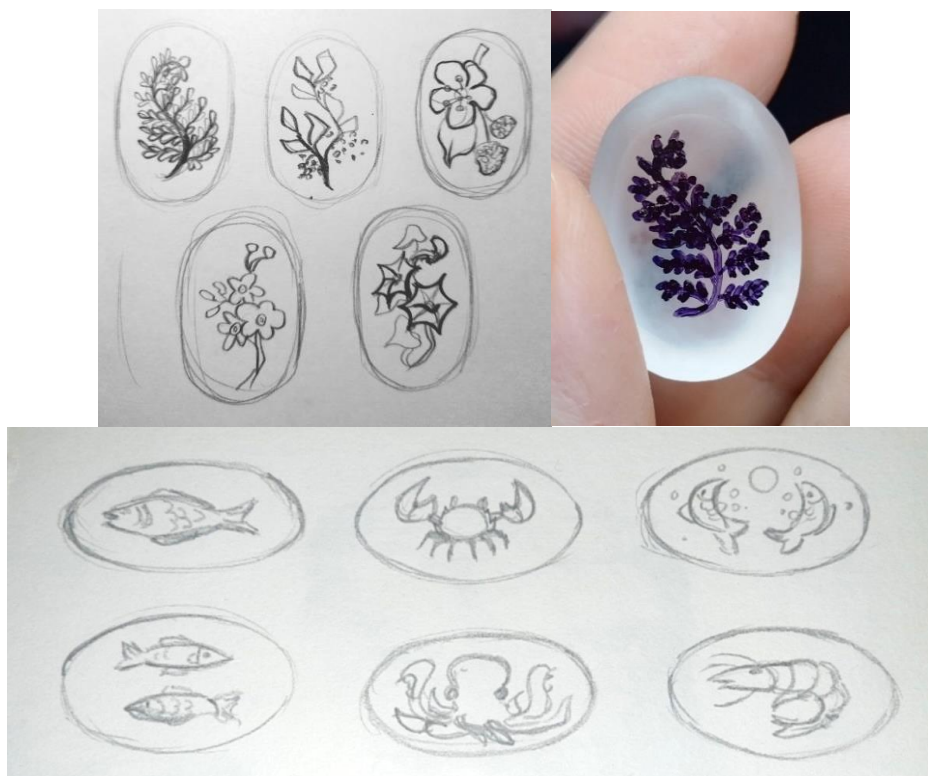


Рисунок 5. Выбор изображения и его нанесение

4. Нанесение рельефа.

Нанесение углублений на кабошон производится алмазными фрезами различных форм. Сам процесс выполняется за специально оборудованным рабочим местом. Необходимо соблюдение техники безопасности и средства индивидуальной защиты (см. рисунок 6).



Рисунок 6. Оборудованное рабочее место

5. Полировка.

Полировка на полировальном станке с применением различных суспензий и паст для обработки камня (см. рисунок 7). После тщательной работы необходимо протереть кабошон тканью или мыльным раствором.



Рисунок 7. Полировальный станок

4. Обсуждение результатов

В результате были изготовлены 2 кабошона из стекла с инталиями. При этом в ходе работы не возникло проблем с материалом (не было сколов и кабошоны не сломались в результате обработки). Рисунок получился четким и рельефным, как и было задумано (см. рисунок 8).



Рисунок 8. Готовые инталии

5. Заключение

Традиционная для ювелирного искусства техника изготовления инталий может помочь заиграть новыми красками ювелирным вставкам из стекла, придавая рядовому изделию оригинальность и новизну дизайна. В ходе работы была изучена технология создания инталии и выполнены два кабошона с вогнутыми изображениями флоры и фауны. Были изучены свойства хрустального стекла, что позволило выполнить изделия качественно и на высоком уровне.

Библиографический список

- [1] Инталия украшение вечности // сайт «Ювелирная энциклопедия Sunlight». – URL: <https://sunlight.net/wiki/intaliya-ukrashenie-vechnosti.html> (дата обращения: 02.04.2024).
- [2] Свойства хрусталя // сайт компании «Технопарк». – URL: <https://zavodstekol.ru/news/svoystva-khrustalya/> (дата обращения: 08.04.2024).
- [3] Хрусталь // сайт «Википедия». – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Хрусталь> (дата обращения: 03.04.2024).
- [4] Как изготавливают кабошоны. Методы крепления кабошона // Интернет-магазин Lucita. – URL: <https://www.luciastonespb.ru/product/kak-izgotavlivayut-kaboshony-metody-krepleniya-kaboshona> (дата обращения: 04.04.2024).

Безэскизное моделирование ювелирных украшений по форме природных кристаллов

М.Д. Литвинова, Т.В. Анисимова

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

E-mail a.t.v.999@mail.ru

Аннотация. В статье обобщается теоретический и практический опыт создания ювелирных украшений путем безэскизного воскового моделирования с использованием природных кристаллов. Описываются характерные особенности ювелирного воска, исходя из физических свойств и его оптимального применения при создании подобного рода украшений. Проведен эксперимент по созданию восковых моделей исходя из размера и формы природного кристалла. Особое внимание уделяется ключевым этапам технологического процесса.

1. Введение

В качестве исследовательской цели была определена попытка осуществить создание ювелирных украшений путем безэскизного воскового моделирования с применением формы природных кристаллов в изделии.

Восковая модель или восковка, применима не только к тиражированным изделиям, но и к эксклюзивным. Для изготовления подобных моделей применяется ювелирный воск, который обладает целым рядом свойств, таких как прочность, легкость плавления и сгорание без остатка. Это очень важные свойства, так как даже мельчайшие детали на изделии должны выдерживать определенные нагрузки (обработка надфилями, резаками, бормашиной; заливка формовочной смесью в опоку и т.д.) [1].

2. Материалы и методы

В начале необходимо разобраться с видами и свойствами ювелирного воска. Воск обладает рядом следующих свойств: температура плавления, твердость, пластичность и т.д. Для лучшего понимания физических свойств модельного воска был проведен анализ. Так воск бренда Ferris был взят трёх видов, отличающихся между собой температурой плавления (см. рисунок 1), твердостью (см. рисунок 2) и пластичностью.[2]

1. Зеленый воск имеет самую высокую твердость. И именно это свойство позволяет делать из этого воска изделия с филигранной резьбой и высокой детализацией. Очень важной особенностью зеленого воска является простота его обработки надфилями, напильниками и бормашиной даже на высоких оборотах и без оплавления. Температура плавления составляет 110 (см. рисунок 3).

2. Фиолетовый воск имеет среднюю твердость. Его уже можно резать ножом. Данный воск отлично подходит для изделий более крупных размеров, для украшений с изгибами и с воздушными пространствами. Также из него лучше получаются фигурки мелкой пластики. Температура плавления составляет 107.

3. Синий воск имеет самую низкую твердость относительно двух выше перечисленных. При этом он очень гибок, то есть если при резке ножом фиолетовый и зеленый воск собираются в опилки, то синий падает стружкой. Для его обработки подойдут напильники и надфили с крупной насечкой. Также возможна обработка бормашиной, но на медленной скорости и с грубыми борами и фрезами. Температура плавления составляет 104.[3]

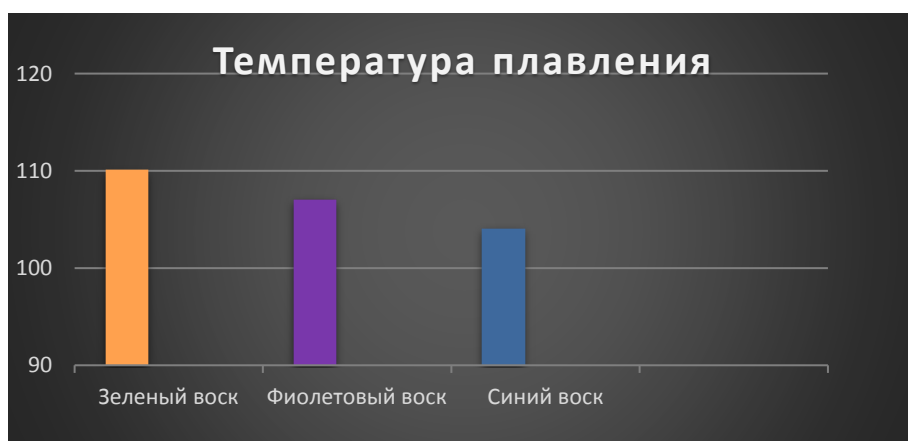


Рисунок 1. График температуры плавления трёх видов воска

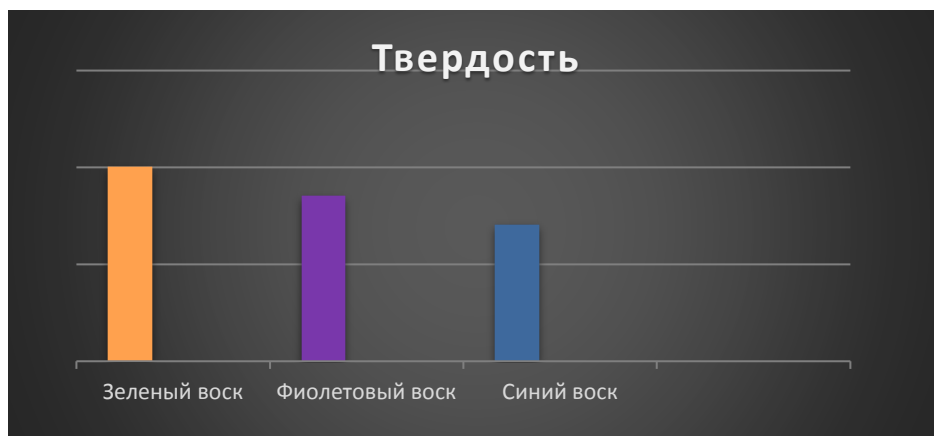


Рисунок 2. График твердости трех видов воска

Эти модельные воски выпускаются в листах, в брусках, в печатках, в сплошных кругах и т.д. исходя из заданных целей будущего изделия [4].

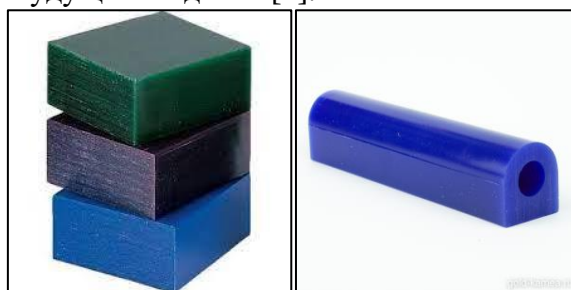


Рисунок 3. Виды форм воска: зеленый, фиолетовый, синий

3. Результаты исследования и их анализ

Изучив лично свойства воска, приступила к технологии изготовления ювелирных украшений- колец безэскизным способом. Для обработки и придания воску нужной формы использовался термошпатель, так как его использование позволяет быстро и легко работать с воском. Принципом моделирования в воске с использованием термошпателя является набор формы будущего изделия, его наплавление на основу, в отличие от моделирования с использованием резачков, напильников, фрез, где основным принципом образования формы является высекание или вырезание формы из заготовки. Как правило, в моделировании используются оба приема. Основа создается термошпателем, а мелкие детали прорабатываются фрезами или другим ручным инструментом.

Технология изготовления восковой модели поэтапно:

1. Включаем термошпатель разогреваться до 110 градусов.



Рисунок 4. Термошпатель и восковая модель будущего украшения



Рисунок 5. Восковая «ёлка»

2 Далее термошпатель вводим в выбранный воск и насадкой набираем небольшую расплавленную часть.

3. Подносим термошпатель на то место, где в после отливки должен быть металл.

4. Повторяя прошлые этапы, необходимо наплавить воск на место шинки кольца и крапанов для закрепки камня.

5. Лишний воск нужно убрать резаками или борами, используя бор-машинку.

Процесс отливки будущих изделий

1. Для отливки готовой восковой модели необходимо собрать «ёлку» и подготовить формовочную смесь. «Ёлка» это – восковой стержень, на который наплавляются с помощью литников восковые модели. Восковая «ёлка» после отливки становится полностью из сплава серебра 925 пробы.

2. Опоку вместе с формовочной смесью и восковыми моделями отправляют в муфельную печь на определенное время (см. рисунок 6).



Рисунок 6. Опока с формовочной смесью



Рисунок 7. Плавильная печь

3. Опоку с готовой застывшей смесью помещают в вакуумную машину и заливают заранее расплавленный металл в плавильной печи (см. рисунок 7) (см. рисунок 8).

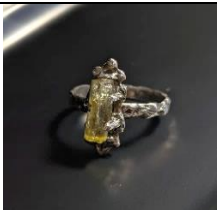
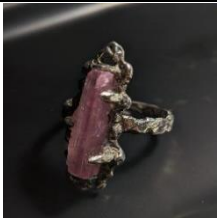


Рисунок 8. Заливка металла из тигля в вакуумную машину

После отливки готовые модели необходимо обработать: удалить литники, отшлифовать, вставить камень и отполировать.

После всех этапов, перечисленных выше, получились такие ювелирные изделия:

Таблица 1

Название изделия	Год создания	Технология создания	Используемый материал	Форма природного кристалла	Фотография изделия
1. Кольцо с аквамарин	2024	Безэскизное восковое моделирование с последующей отливкой в металле и вставка самоцвета	Аквамарин, сплав серебра 925 пробы		
2. Кольцо с гелиодором			Гелиодор, сплав серебра 925 пробы		
3. Кольцо с турмалином			Турмалин, сплав серебра 925 пробы		
4. Кольцо с аметистом			Аметист, сплав серебра 925 пробы		
5. Кольцо с крупным кристаллом турмалина			Турмалин, сплав серебра 925 пробы		

Аналогичные разработки создавались и ранее другими авторами. Подобная техника очень удобна в изготовлении изделий с плавными формами и округлыми элементами (см. рисунок 9) (см. рисунок 10).



Рисунок 9. Пример модели из воска



Рисунок 10. Пример литья украшений, выполненный аналогичным способом

4. Заключение

Таким образом, попытка осуществить создание ювелирных украшений путем безэскизного воскового моделирования с применением формы природных кристаллов в изделии состоялась. В результате были исполнены модели колец из серебра с применением природной формы кристаллов камней аметиста, турмалинов, гелиодора. При наличии опыта выполнять подобного рода украшения можно достаточно быстро, причем каждое изделие будет со своим не повторимым дизайном.

Библиографический список

- [1] Бреполь Э. Теория и практика ювелирного дела / Э. Бреполь. – 13-е изд-е, доп. – СПб: Изд-во «Соло», 2000. – 530 с.
- [2] Калленберг Л. Моделирование из воска для ювелиров и скульпторов / Л. Калленсберг. – 2-е изд-е. – Омск: Дедал-пресс, 2004. – 256 с.
- [3] Freeman Manufacturing & Supply Company. URL: <http://www.freemanwax.com/ferris-file-a-wax-carving-milling-waxes.html>
- [4] Ювелирный воск – сердце дорогих украшений // сайт FB. – URL: <https://fb.ru/article/455713/yuvelirnyiy-vosk>

Дизайн ювелирных изделий на основе социальной проблематики

А.А. Анисимова, О.В. Мищенко

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Email: aleksanisimova@mail.ru

Аннотация: Социальные проблемы – это негативные явления и ситуации, которые возникают в обществе. В мире существует множество социальных проблем и решение их требует комплексного подхода. В статье освещаются такие социальные проблемы, как: проблема с бездомными животными и загрязнения окружающей среды. Приведены эскизы ювелирных украшений с дизайном, основывающимся на социальных проблемах с бездомными животными и загрязнения окружающей среды.

1. Введение

Социальные проблемы — это негативные явления и ситуации, которые возникают в обществе и оказывают отрицательное влияние на его функционирование и благополучие. Они связаны с нарушением социальных норм, неравенством, конфликтами, недостатком ресурсов и т.д. и возникают из-за несоответствия между потребностями и возможностями общества. Они могут быть вызваны экономическими, политическими, культурными и социальными факторами. Важно отметить, что социальные проблемы не являются индивидуальными проблемами, а имеют общественный характер и требуют коллективных усилий для их решения [1].

Социальные проблемы представляют широкий спектр вопросов, касающихся общества и его членов, которые требуют внимания, анализа и решения. В данной статье рассмотрены следующие из них:

1. Бездомные животные – проблема не сегодняшнего дня. Собаки и кошки, свободно обитающие на улицах городов, всегда были привычной частью городской экосистемы. Большинство из них — брошенные или потерявшиеся – некогда любимые домашние питомцы и их потомки. Еще одним источником пополнения бездомных животных является бесконтрольная деятельность заводчиков. Но за всеми этими причинами скрывается то главное, о чем все мы стыдливо умалчиваем – безответственное отношение к домашним

животным. За последние 25-30 лет ситуация с бездомными животными в России еще более обострилась. В крупных городах их количество удвоилось и, по разным оценкам, составляет от нескольких до десятков тысяч особей [2].

2. Проблема загрязнения окружающей среды. Жизнедеятельность человека тесно связана с возникновением большого количества отходов, к которым относят пищевой и производственный мусор. Большинство отходов должны правильно обрабатываться, чтобы исключить нанесение серьезного вреда экосистеме. Время распада некоторых веществ может превышать 100 лет. Мусор и его утилизация является глобальной проблемой всего населения планеты. Скопления большого количества утильсырья отрицательно влияет на существование живых организмов. Еще не придумано решение проблемы по 100% переработке отходов [3].

Решение социальных проблем требует комплексного подхода, включающего участие государства, общественных организаций, бизнеса и каждого отдельного человека. Важно осознавать и анализировать социальные проблемы, чтобы находить эффективные пути их решения и стремиться к улучшению жизни и благополучия общества в целом.

Решение социальных проблем через дизайн — это увлекательный и перспективный подход, который позволяет использовать креативные методы для создания решений, способствующих улучшению социальной обстановки. Не исключение и ювелирный дизайн — многие мастера-ювелиры поддерживают современные тренды, создавая украшения из вторсырья или выпуская специальные благотворительные коллекции для привлечения внимания к острым социальным вопросам (рисунок 1).



Рисунок 1. Ювелирные изделия с использованием вторсырья: а – Трансформаторные пеллеты. Автор Людвиг Менцель. Броши. Серебряный столовые приборы прессуются в «schmucktransformator» [4]; б – МарионДеларю. Фенхуан. Брошь. Утиные перья, рисовая бумага, папье-маше, серебро, сталь [4]; с – Украшение марки AnimalCharms, выпустившей благотворительную коллекцию в поддержку бездомным животным [5]

2. Материалы и методы исследований

Для решения поставленных задач использовались различные методы исследования и анализа современного состояния проблемы. В качестве материала для изготовления разработанных украшений предполагается использовать переработанные пластиковые отходы класса ПП, ПНД, АБС. Также используется сталь, латунь, нейзильбер, дерево.

3. Результаты и их анализ

Определившись с основными темами социальной проблематики, было выбрано две концепции дизайна ювелирных изделий. Первая предполагает использование вторсырья или переработанных материалов для привлечения внимания к состоянию экологии нашей планеты и загрязнению окружающей среды. В результате была создана серия эскизов ювелирных украшений где за основу взяты основные положения данных проблем (рисунок 2):

Дизайн подвеса «Современная природа» предполагает использование нетрадиционного для ювелирного дела материала, а именно переработанного пластика. В пластиковую основу вплавляется или вклеивается металлическая пластина с нанесённой на неё гравировкой. Также поверх пластины наплавляется или наклеивается ветка из пластика.

Дизайн браслета «Живое и не живое» предполагает использование нетрадиционных для ювелирного дела материалов: кожи и пластика. Пластик может быть как переработанным, так и нет. В кожаном браслете проделываются отверстия под проволоку, что будет закреплять цветные пластинки пластика. Изделие является простым способом использования пластиковых отходов.

Дизайн пусеты «Флора» поддерживает экологические инициативы. Оно олицетворяет состояние природы. На эскизе изображено почти мёртвое дерево. Большая его часть без листьев и чёрное, загубленное деятельностью человека, но оно ещё живое, что показывает наличие листвы. Также на нём растёт яблоко, что даёт понять, что ещё не всё потеряно, и нужно помочь дереву (природе) восстановиться.

Кольцо «Новый взгляд» предполагает использование нетрадиционного для ювелирного дела материала, а именно дерева. Это деревянное кольцо, пропитанное морилкой и покрытое лаком и обмотанное металлической проволокой. Задумка поддерживает экологические инициативы, ведь для изготовления изделия можно использовать и вторсырьё.

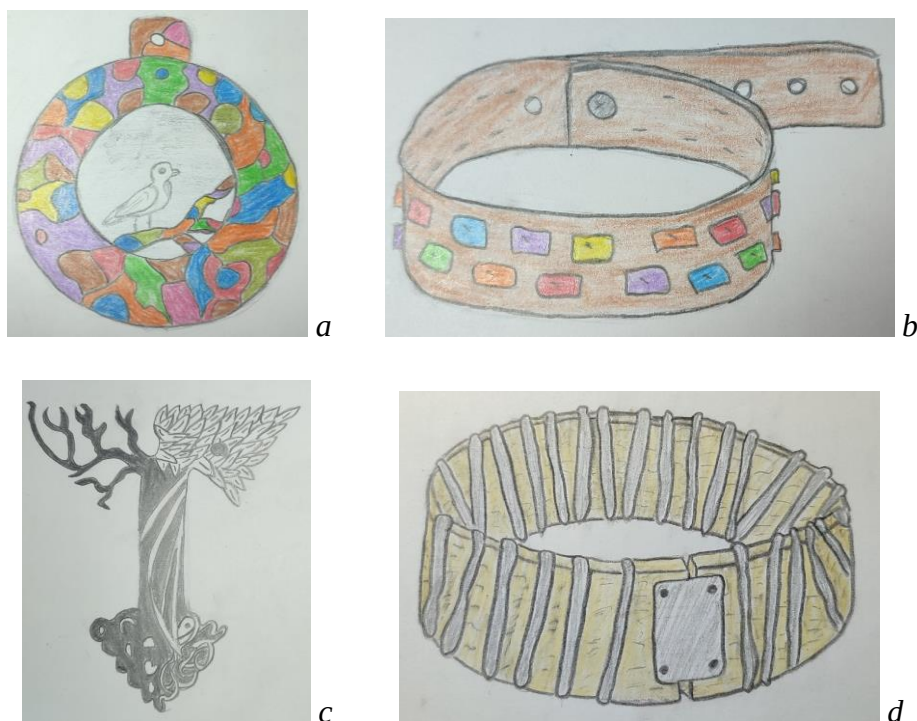


Рисунок 2. Ювелирные украшения: а – подвес «Современная природа»; б – браслет «Живое и не живое»; с – пусета «Флора»; d – кольцо «Новый взгляд»

Вторая концепция основана на использовании узнаваемых образов животных в поддержку бездомных животных и проблемы сокращения биологических видов. Серия украшений создана с использованием стилизованных образов кота и собаки (рисунок 3):

Дизайн подвеса «Кот» предполагает, что на изделие будет с помощью гравировки нанесено изображение двух котов. Один кот – весёлый и имеет ошейник, это символизирует, что он домашний и счастлив. Второй кот – ощерившийся и не имеет ошейника, так как он уличный и агрессивный. Какое изображение показывать решает владелец украшения, потому что гравировка нанесена с двух сторон украшения.

Кольцо-подвес «Пёсель» является трансформером, его можно использовать по-разному. На шинке есть отверстия, для того чтобы в них можно было продеть цепь или шнурок. На украшение с помощью гравировки нанесено изображение двух собак. Также шинка кольца имеет дизайн ошейника. Одно изображение пса имеет ошейник и весёлое выражение морды, потому что у неё есть хозяин и дом. Вторая собака – грустная и пускает слёзы, ведь у неё нет любящего хозяина. Какое изображение показывать решает владелец украшения, потому что деталь изделия, на которой нанесена гравировка, подвижна.

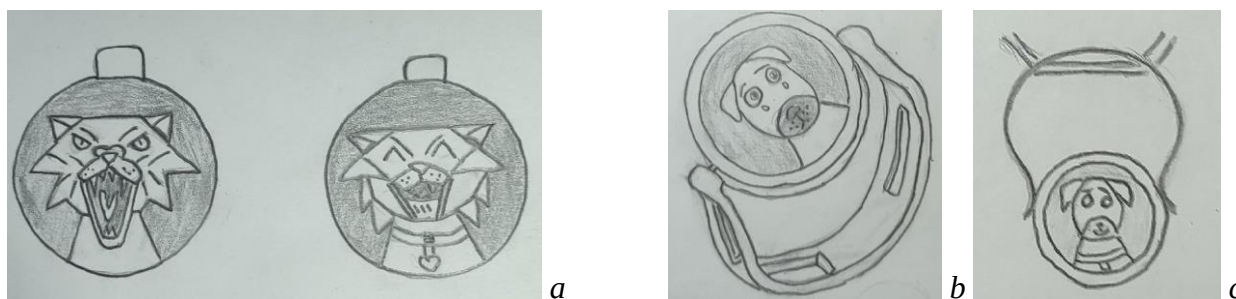


Рисунок 3. Ювелирные украшения: а – подвес «Кот»; b1, b2 – кольцо-подвес «Пёсель»

4. Обсуждение результатов

В данной статье затронуты такие социальные проблемы как бездомные животные и загрязнение окружающей среды. Представлены дизайны ювелирных украшений, акцентирующих внимание на необходимости срочного решения данных социальных вопросов. В некоторых эскизах из предложенных изделий заложен концепт использования вторсырья как часть решения проблемы утилизации.

5. Заключение

Украшения на основе социальной проблематики в современном мире скорее исключение, чем правило. Подобного плана изделий крайне мало на ювелирном рынке. Применение вторсырья в ювелирной деятельности безусловно востребовано среди простых потребителей и ценителей ювелирного искусства и придает украшениям необычность и универсальность. Потенциал представленных идей не вызывает сомнения и дает возможность для реализации их в серийном производстве, что является доказательством практической значимости предлагаемого проекта.

Библиографический список

- [1] Социальные проблемы // сайт «Научные Статьи.Ру». – URL: <https://nauchniestati.ru/spravka/soczialnye-problemy/?ysclid=lus02vjemb753746677> (дата обращения 08.04.2024).
- [2] Мальцева А.П. Бездомные животные — проблема каждого из нас // IX Международный конкурс научно-исследовательских и творческих работ учащихся «Старт в науке». – URL: <https://school-science.ru/9/23/44087?ysclid=lusl3cct9o233530109> (дата обращения 08.04.2024).

- [3] Проблема утилизации мусора // сетевое издание «ЭКОПОРТАЛ ИНФО». – URL: <https://ecoportal.info/problema-utilizacii-musora/> (дата обращения 08.04.2024).
- [4] WERT/voll – Schmuck als Kunst der Nachhaltigkeit // сайт немецкого агентства по охране окружающей среды UmweltBundesamt. – URL: <https://www.umweltbundesamt.de/wertvoll-schmuck-als-kunst-der-nachhaltigkeit> (дата обращения 08.04.2024).
- [5] Украшения Animal Charms помогут бездомным животным // Интернет-журнал GEMS News. – URL: https://gemsnews.ru/public_card/1565/?ysclid=lut0j5mx8b518298912 (дата обращения 08.04.2024).

Проектирование ювелирных изделий на основе стилизации Иркутского областного краеведческого музея с применением техники гравировки

Е.А. Берман, А.М. Пшеничников

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Email: pshenichnikov_2009@mail.ru

Аннотация. Работа предполагает исследование и анализ архитектурного стиля Иркутского краеведческого музея. Особое внимание уделяется символам, орнаментам и формам, составляющих основу данного сооружения, и их последующим воплощению в украшениях.

1. Введение

Создание 3D моделей входит в современную жизнь быстро, и профессия ювелира не остаётся в стороне. Трёхмерное моделирование помогает в короткие сроки спроектировать будущие изделия, а благодаря принципу наглядной визуализации, можно убедиться в сочетании материалов и конструкционных элементов.

2. Материалы и методы

Для создания поисковых эскизов и трёхмерной визуализации был выбран Иркутский областной краеведческий музей

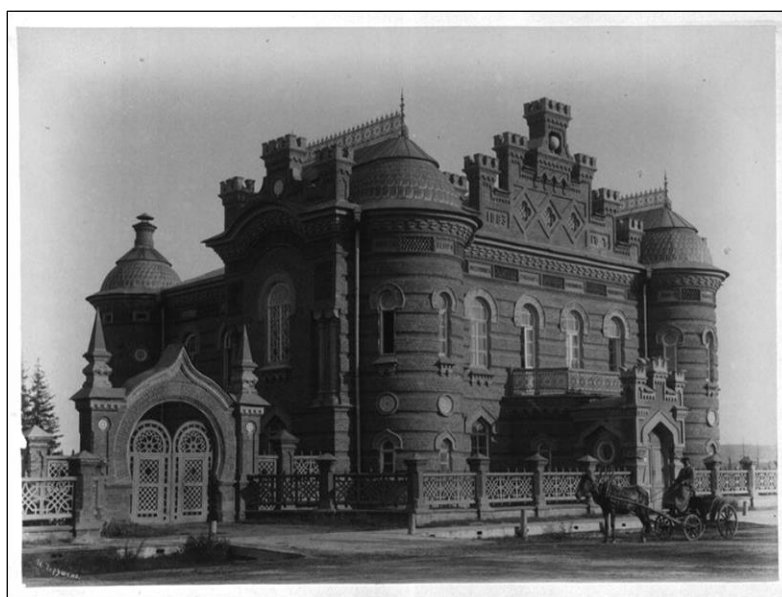


Рисунок 1. Краеведческий музей, год создания 1883 г.

Первым делом выбираются характерные черты объекта, так как методология стилизации требует вдумчивой и кропотливой наблюдательной работы. Стилизация является незаменимым этапом в разработке дизайна ювелирной продукции. Результатом композиционных поисков могут оказаться множество решений, с подчеркнутой функцией и узнаваемостью образа. После утверждения удачных композиционных вариантов начинается разбор их технологического выполнения в материале. Затем основных ключевых функциональных элементов в формообразовании изделий (рисунок 2). Далее процесс ручного эскизирования переходит в более точный процесс проектирования изделий

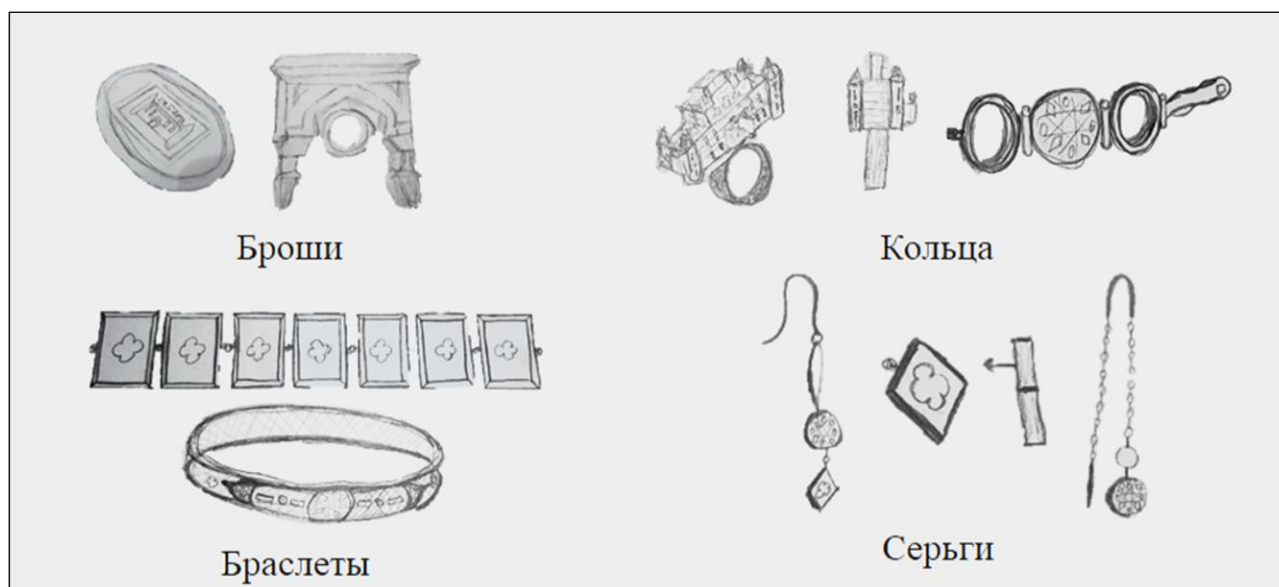
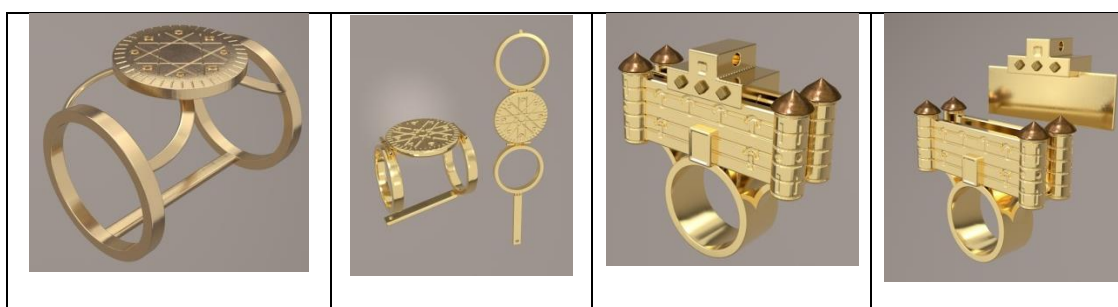


Рисунок 2. Эскизные поиски дизайна изделий

3. Результаты исследования и их анализ

Из эскизов было выбрано несколько вариантов по образу и стилистике подходящие в серию ювелирных украшений, которые в последующем были доработаны и исполнены в трехмерных моделях при помощи программы Cinema 4D R25 (рисунок 3).



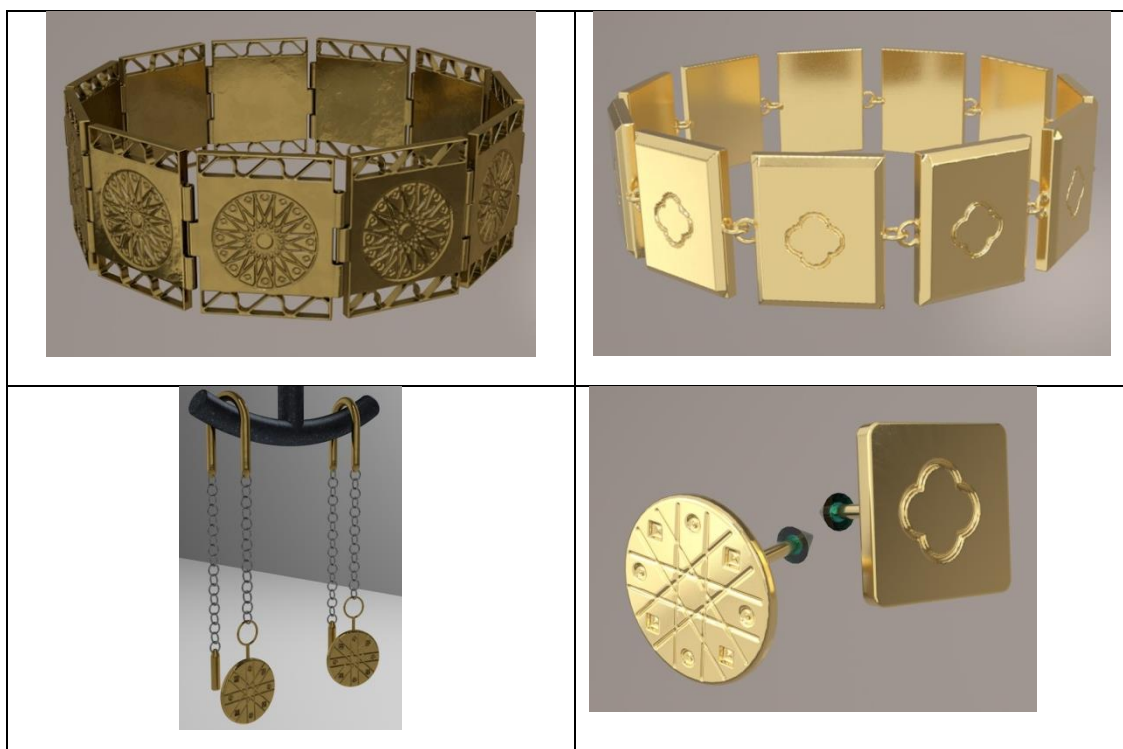


Рисунок 3. Эскизные решения на основе стилизации Иркутского областного краеведческого музея

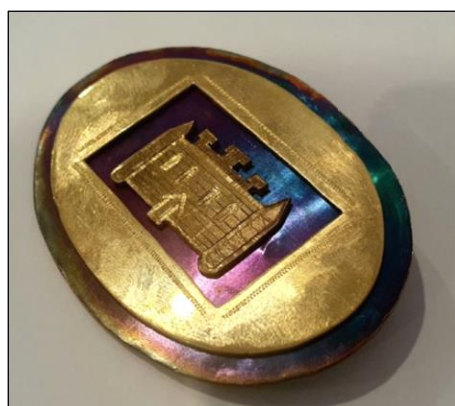
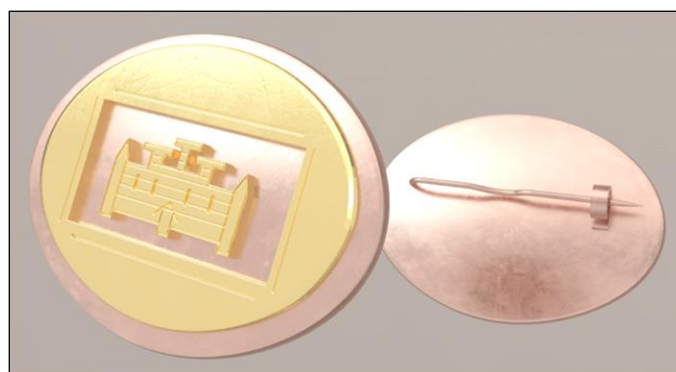


Рисунок 4. Итоговая брошь в материале «Северное сияние»

4. Обсуждение

Созданные модели отвечают образцам узнаваемого объекта, которые актуальны по задумке и оптимальны по исполнению. Все созданные модели адаптированы для мобильного преобразования редакторами в различные формы и виды ювелирной продукции. Визуализатор позволяет применять к изделиям различные материалы и апробировать технические возможности сборки еще на стадии проектирования.

5. Заключение

В результате стилизации объекта были выполнены: 1) эскизные решения ювелирных изделий с узнаваемым образом характерного архитектурного сооружения города, 2), 3) исполнены визуализации трехмерных моделей образцов ювелирной продукции с образом Иркутского областного краеведческого музея «Северное сияние», 5) описан процесс изготовления ювелирного изделия.

На примере создания броши были рассмотрены основные методы воплощения 3D моделей для их последующей реализации с учетом технологических возможностей выбранного материала.

Библиографический список

- [1] Лобацкая Р.М., Князев А.Д. Кольцо Прометея. Ювелирные коллекции Иркутска : монография / Р.М. Лобацкая А.Д. Князев Л. Заступова. – Иркутск: ИРНИТУ, 2011 – 304 с.
- [2] Декоративная композиция: учеб. пособие/ Г.М. Логвиненко, И.Ю. Степанова. – М.: ВЛАДОС, 2005. – 144 с.
- [3] Компьютерное проектирование ювелирных изделий. Трехмерная графика: учеб. пособие/ Т.В. Анисимова, Н.В. Грогуль. – Иркутск: ИРНИТУ, 2011 – 140 с.
- [4] Компьютерное проектирование камнерезных изделий. Трехмерная графика: учеб. пособие/ Т.В. Анисимова, Н.В. Бычкова. – Иркутск: ИРНИТУ, 2017. – 130 с.
- [5] Клайн Л.С. Fusion 360. 3D-моделирование для мейкеров: монография / Л.С. Клайн, М.А. Рейтман. – СПб: BHV-СПб, 2021. – 288 с.

Дизайн ювелирных изделий с использованием цветных покрытий

М.Д. Новицкая, В.Е. Сорокина

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Email: masha.novitskaya@bk.ru, vs_kina@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается первый этап экспериментального исследования, направленного на выявление износостойкого, безопасного и технологичного декоративного покрытия для имитации ювелирной эмали. Определены критерии оценивания свойств испытуемых материалов, важные для ювелирного дизайна, на основе которых в ходе сравнительного анализа было определено наиболее подходящее цветное покрытие. Проведена апробация его использования, для которой было изготовлено ювелирное украшение, декорированное данным материалом.

1. Введение

Воссоздать красоту горячей ювелирной эмали с меньшими трудозатратами позволяют ее имитации. В серийном производстве ювелирных изделий для этого используют так называемые холодные эмали. Как правило, это двухкомпонентные составы на эпоксидной основе: перед применением основа смешивается со специальным катализатором (отвердителем). Отверждение эмалей производится при комнатной температуре или при

небольшом нагреве (до 70-80 °С). Также существуют фотополимерные эмали – составы, полимеризующиеся под ультрафиолетовым излучением. В настоящее время стоимость таких холодных эмалей довольно высока, т.к. производятся они соответственно в Италии (эмали NICEM) и Германии (эмали COLORIT) [1]. При этом стоит отметить, что современный рынок наполнен большим разнообразием различных декоративных покрытий, производимых для других сфер деятельности человека, и некоторые из них могут стать достойной альтернативой специализированным холодным эмалям.

Целью данной исследовательской работы является поиск износостойких, безопасных, технологичных декоративных покрытий, которые можно будет использовать в ювелирном дизайне в качестве альтернативы дорогостоящей холодной эмали. Для этого были поставлены следующие задачи: 1. Сбор и анализ информации о свойствах холодной эмали; 2. Сбор и анализ информации о свойствах декоративных покрытий строительной и косметической отраслей; 3. Проведение экспериментального исследования с целью выявления наиболее подходящего для ювелирного дизайна покрытия; 4. Апробация выбранного покрытия.

2. Материалы и методы

В экспериментальном исследовании и сравнительном анализе были использованы 3 вида покрытий: акриловая эмаль, гель для моделирования и эпоксидный клей. На этапе апробации для изготовления ювелирного изделия использовался нейзильбер. Изготовление проводилось вручную с применением специализированного оборудования, такого как бормашина Foredom, паяльный аппарат JX5-8, полировальный станок ARBE DS-204.

3. Результаты исследования и их анализ

При выборе покрытий для дальнейшего сравнительного анализа были определены следующие критерии: безопасный состав, цветовая палитра, способ и скорость отверждения, способ нанесения на металл, низкая цена. В результате сравнительного анализа характеристик покрытий с учетом перечисленных критериев, были выявлены три основных вида, наибольшим образом подходящих в качестве имитации эмали (рисунок 1).



Рисунок 1. Три вида покрытий, подходящие в качестве имитации эмали

Дальнейшее исследование заключалось в сравнении техники нанесения покрытия, скорости высыхания (отверждения), качество покрытия и другие сопутствующие характеристики. Первый материал — акриловая эмаль — наносится на металл тонким слоем, который не перекрывает основу, для нанесения более плотного слоя потребовалось наслаивать эмаль несколько раз, что значительно увеличивает время нанесения. В процессе работы с данным составом ощущается неприятный запах. Акриловая эмаль используется в декоративно-оформительских работах, строительстве и ремонте. Вторым материалом был моделирующий

гель, который является покрытием из косметической отрасли. Гель наносился на металл и сушился в специальной LED-лампе в течение двух минут. Таким образом, главное преимущество геля для моделирования ногтей — это быстрое высыхание. Третьим материалом является эпоксидный клей. Благодаря отличной адгезии клей подходит для разных материалов и используется в авиа-, судо-, машиностроении, строительстве и творчестве. Для получения большой цветовой палитры, клей смешивался с масляной краской. Было установлено, что эпоксидный клей на металле будет более прочным, чем моделирующий гель. Клей начинает застывать спустя пять минут, поэтому для нанесения эмали на крупные участки изделия, он будет не пригоден. На данном этапе исследования в результате сравнительного анализа был сделан вывод о том, что с точки зрения нанесения и сушки (отверждения) наиболее подходящим покрытием, имитирующим ювелирную эмаль, является моделирующий гель. Все сравнительные характеристики, полученные в результате анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты сравнительного анализа декоративных покрытий

Номер и наименование	Время и условия отверждения	Выявленные преимущества	Выявленные недостатки	Фото материала
Материал № 1. Акриловая эмаль	Без спец. условий, 24 часа	Отсутствуют	Имеет неприятный запах. Неравномерно покрывает металл.	
Материал № 2. Гель для моделирования	LED лампа, 60-120 секунд	Легко и быстро самовыравнивается на металле. Быстро сохнет в спец. LED лампе.	Отсутствует	
Материал № 3. Эпоксидный клей	Высокая прочность склеивания достигается через 8 часов. Конечная прочность склеивания достигается через 24 часа.	Прочное сцепление с металлом	Изменяет изначальный цвет на несколько тонов темнее	

4. Обсуждение

Проведенный сравнительный анализ не является заключительным. Следующий этап исследования будет заключаться в сравнении износостойкости данных покрытий. Также потребуются провести анализ стоимости в сравнении со стоимостью холодной эмали. На данном этапе исследования можно сделать вывод, что по способу нанесения, безопасности (отсутствию запаха), по скорости и условию застывания наиболее подходящим для ювелирного дизайна декоративным покрытием является моделирующий гель.

Для первой апробации этого покрытия был разработан дизайн асимметричных серег, в которых отображен силуэт фасада комплекса «Точка будущего». Проект включает эскиз в цвете и технический рисунок, демонстрирующий устройство конструкции украшения (см. рисунок 2, а). Для реализации проекта был использован нейзильбер – белый сплав меди, никеля и цинка. Все детали были выпилены вручную, затем спаяны. После шлифовки, полировки и отмытки на ровную поверхность внешней части серег, а также в ячейки, образованные припаянной деталью, был нанесен моделирующий гель (см. рисунок 2, б). На прямой поверхности из моделирующего геля удалось сформировать ровное яркое глянцевое покрытие, граница двух цветов получилась четкой, цвета не смешиваются благодаря поочередному отверждению. В ячейках ровной поверхности заподлицо с металлом на данном этапе достичь не удалось, видны следы «усадки».

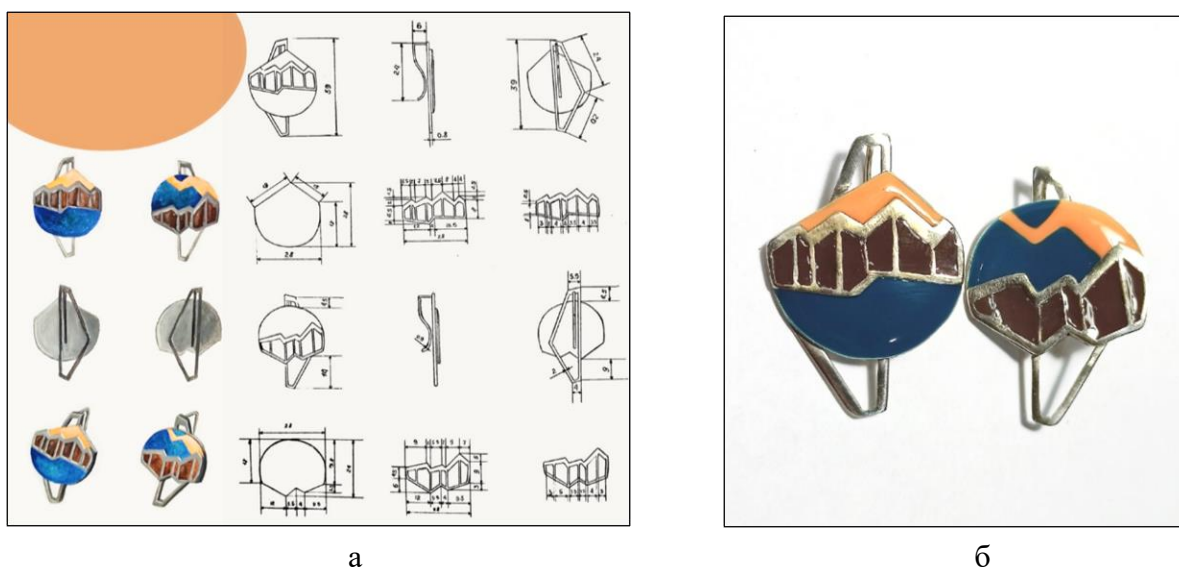


Рисунок 3. Проект серег с декоративным покрытием из моделирующего геля: а - эскиз и технический рисунок; б – готовые серьги «Сердце комплекса». Материал: нейзильбер, гель для моделирования. Технологии: выпиливание, пайка, шлифовка, полировка, эмалирование

5. Заключение

В ходе первых этапов экспериментального исследования удалось выявить наиболее пригодное покрытие, которое можно использовать в качестве альтернативы холодной эмали в ювелирном дизайне - гель для моделирования. Этот материал показал себя наилучшим образом в сравнении с акриловой краской и эпоксидным клеем в части техники нанесения, отсутствия запаха, времени отверждения. В дальнейшем предстоит испытать данные покрытия на качество образуемой поверхности и износостойкость. Также планируется увеличить количество испытываемых видов покрытий.

Результатом первой апробации стал вывод о том, что для проведения более качественного сравнительного анализа необходимо провести еще ряд экспериментов, в которых покрытия будут наноситься не только на ровную поверхность, а также в ячейки, на объемные и изогнутые формы и нанесение с образованием границы двух разных цветов.

Библиографический список

- [1] Эмали // интернет-магазин ювелирного технопарка «Сапфир». – URL: <https://www.sapphire.ru/categories/emali> (дата обращения 11.03.2024).
- [2] Чем отличается эмаль от краски? Правильный выбор лакокрасочного покрытия // интернет-магазин «Мир красок 161». – URL: <https://mirkrasok161.ru/blog/2019/11/27/chem->

otlichaetsya-emal-ot-kraski-pravilnyy-vybor-lakokrasochnogo-pokrytiya/ (дата обращения 11.03.2024).

- [3] Конструирование и дизайн ювелирных изделий : учеб. пособие / В.П. Луговой. – Минск: Высшая школа, 2017. – 192 с. (дата обращения: 20.03. 2024).
- [4] Ювелирное дело / С.В. Простаков. – Ростов-на-Дону, 1999. – 348 с.
- [5] Датское бюро CEBRA // сайт archi.ru. – URL: <https://archi.ru/architects/worldstudios/1145/cebra> (дата обращения: 12.02.2024).
- [6] Ювелирное дело : учеб. пособие для сред. проф.-техн. учеб. заведений / В.И. Марченков. – М.: Высшая школа, 1975. – 186 с.
- [7] Рисунок : учеб. пособие / Е.Г. Павлова. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2008 г. – 272 с.
- [8] Проектирование и изготовление ювелирных изделий : учеб. пособие / И.А. Груздева, Е.В. Денисова, О.И. Ильвес, В.М. Карпов. — Екатеринбург : Изд-во Урал. Ун-та, 2021. — 124 с.
- [9] Новиков В.П. Ручное изготовление ювелирных украшений: практ. руководство / В.П. Новиков, В.С. Павлов. СПб: Политехника, 1991. – 205 с.
- [10] Технология изготовления ювелирных изделий : учеб. пособие. Ч. 1. / Н.В. Воронцова, М.А. Буйволова – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. – 215 с.
- [11] Имитация эмали или немного брошек / Запись пользователя Алёнки Витюговой : сайт Live Journal. 2014-12-09 10:43:00. – URL: <https://polymerclayfimo.livejournal.com/5126434.html> (дата обращения 28.02.2024).

Дизайн и технология ювелирных изделий с горячей эмалью на меди

Р.Е. Паньков, В.Е. Сорокина

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Email: rusya.pankov.00@mail.ru, vs_kina@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены преимущества меди в качестве основы под горячую ювелирную эмаль, предложены способы ее использования в дизайне ювелирных украшений. Разработаны варианты конструкций для различных видов украшений, в которых можно закрепить медную пластину, покрытую эмалью. Для апробации данных конструкций разработаны эскизы и 3D-модели ювелирных изделий, один из которых реализован в материале.

1. Введение

Горячая ювелирная эмаль — это древняя техника, сложная и трудоемкая, но не теряющая ценность и в современном ювелирном дизайне. С ее помощью создаются эксклюзивные ювелирные украшения. Каждое изделие, выполненное в технологии ювелирной эмали, является образцом тонкой и трудоемкой работы. Поскольку ювелирная эмаль, как материал, относится к стеклам, из-за ее соответствующих физических свойств наилучшей основой для эмалевого покрытия являются драгоценные металлы. Это связано с близким по значению коэффициентом теплового расширения двух материалов, что обеспечивает целостность стеклянного покрытия при остывании, и способностью драгоценного металла не окисляться при нагреве, а значит не темнеть и не менять цвет прозрачной эмали. Сочетание трудоемкой кропотливой работы с дорогостоящими материалами рождает изделия высокой стоимости, порой и при отсутствии качественного дизайна. Бюджетной альтернативой в качестве основы под эмаль является медь. Она также хорошо подходит по коэффициенту теплового расширения — эмали на ней не растрескиваются. Проблема с сильным окислением и, соответственно, порчей цвета прозрачных эмалей решается использованием тончайшей серебряной подложки или наложением только глухих, т.е. непрозрачных эмалей. Такой прием

чаще используется в декоративно-художественных изделиях: декоративных панно, небольших картинах и пр. При внедрении его в ювелирный дизайн важно учитывать низкие литейные качества чистой меди, плохую паяемость и неудовлетворительную носибельность этого металла, а значит медная основа по эмали в ювелирном украшении может быть только вставкой, заключенной в основу, выполненную из другого металла или сплава [2].

Целью данной работы является разработка конструкции ювелирных изделий, позволяющей закреплять медные вставки, покрытые горячей ювелирной эмалью.

Для этого были поставлены следующие задачи: 1. Сбор и анализ информации по технологии горячего эмалирования. 2. Проанализировать информацию среди металлов, какой наиболее выгодно использовать при эмалировании. 3. Разработать новую универсальную конструкцию закрепки эмалевых вставок в ювелирных изделиях. 4. Создать поисковые эскизы ювелирных украшений в стилизации Собора Непорочного Сердца Божией Матери. 4. Выполнить ювелирное изделие в материале.

2. Материалы и методы

Для создания эмалевой вставки были использованы следующие методы и оборудование: вырезка лобзиком медной пластины, прокатка в вальцах проволоки для перегородок, измельчение эмали в ступке, её промывка, сушка, наложение шпателем и отжиг в муфельной печи. Для апробации предлагаемого метода закрепки и изготовления ювелирного изделия были использованы: горячая эмаль белого, голубого и синего цветов, медь, нейзильбер, клей БФ и эпоксидный клей.

3. Результаты исследования и их анализ

Эмалирование — это один из видов декоративной обработки ювелирных украшений, путем нанесения тонкого слоя стеклянного сплава различных цветов. Процесс нанесения эмали на ювелирные украшения включает в себя следующие этапы: подготовку эмали, подготовку изделий, наложение эмали, сушку и обжиг. В результате первого этапа работы экспериментально было подтверждено, что медь устойчива к высоким температурам при обжиге эмали. На медных пластинах можно получать разные художественные эффекты. Медь подходит только для непрозрачных эмалей, чтобы сохранить цвет прозрачных, нужно предварительно нанести фондон или использовать подложку из серебряной фольги.

Результатом первых экспериментов также стал вывод о том, что медные эмалевые вставки могут быть любых форм, их сложность ограничена лишь конструкцией закрепляющих элементов в изделии. В качестве наиболее универсальной закрепки автором предлагается делать в конструкции украшения подобие традиционного каста для кабошона более широкого (до 1,5-2 мм) и плотно прилегающего к эмалевой вставке. Высота бортика такого каста должна равняться или быть чуть меньше толщины всей вставки. Плотное прилегание без каких-либо зазоров обеспечит надежную вклейку вставки и скроет возможные открытые торцевые участки медной пластины.

Для апробации предлагаемой конструкции был разработан эскиз броши, дизайн которой основан на стилизации здания Собора Непорочного Сердца Божией Матери. Конструкция украшения простая: глухой каст в форме пятиугольника, в котором находится главный центральный элемент изделия в виде митры, выполненной в технике перегородчатой эмали на медной пластине также в форме пятиугольника. На оборотной стороне каста крепится булавка для крепления броши к одежде. Цветовое решение изделия: белый металл основы изделия в сочетании с эмалью белого, голубого и синего цветов (см. рисунок 1, а). Конечный результат представлен на рисунке 1, б. Основа броши выполнена вручную из нейзильбера, однако такая конструкция подразумевает реализацию и при помощи литья, а значит есть возможность внедрения в серийное производство.

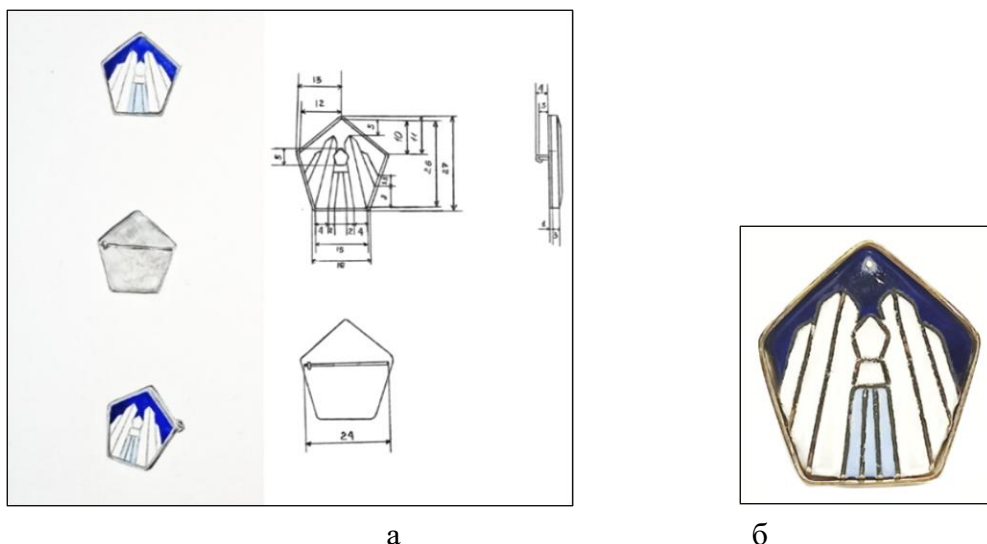


Рисунок 1. Апробация предлагаемого метода закрепки:

а - итоговой эскиз и технический чертёж будущего изделия; б – готовая брошь «Башни».

Материалы: нейзильбер, медь, горячая эмаль

В процессе работы над представленным выше изделием возникла идея о создании более сложной, но при этом универсальной конструкции украшений. Универсальность заключается в возможности менять эмалевые вставки в изделии. Это можно обеспечить конструкцией типа «медальон». Нижняя часть закрепляющего элемента выполняется аналогично глухому касту, описанному выше, но высота его бортика должна быть меньше, т.е. должна находиться примерно на уровне медной пластины без учета эмалевого слоя. К этому бортику при помощи шарнирного соединения крепится верхняя часть, внешняя линия которой не должна выходить за внешний контур нижнего бортика, а внутренняя линия должна немного заступать на эмалевую вставку. Таким образом внешняя часть будет выполнять роль закрывающейся рамы, удерживающей при этом вставку. Для фиксации этой рамы в закрытом положении предлагается сделать накидную петлю с противоположной от шарнира стороны. Предлагаемая конструкция представлена на рисунках 2 и 3. Она может быть применена в разных видах украшений: в брошах, кулонах, кольцах.

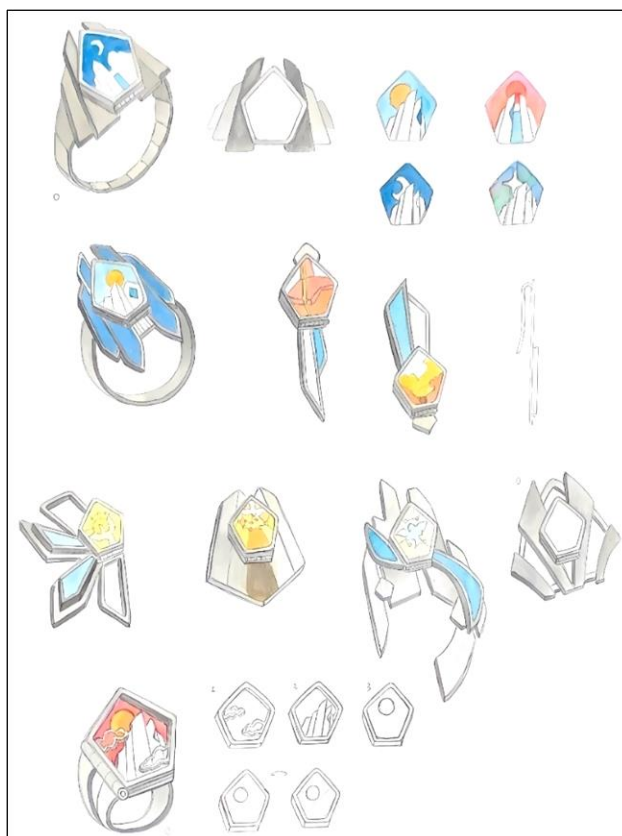


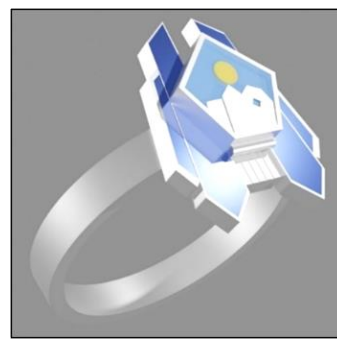
Рисунок 2. Эскизы будущих ювелирных изделий с универсальной конструкцией, выполненных в технике горячей эмали



а)



б)



в)

Рисунок 3. 3D-модели колец серии «Башни». Редактор Blender

3. Обсуждение

Предложенная для закрепки медных эмалевых вставок конструкция в виде простого каста позволяет создать минималистичное обрамление металлом, без нагромождения дополнительных элементов типа крапанов, часто нарушающих художественную композицию рисунка, выполненного эмалью. Такой способ закрепки может подойти для любого вида украшений и позволит закрепить любую форму эмалевой вставки. Второй способ закрепки имеет ряд преимуществ: во-первых, ее зарывающаяся конструкция, позволит обладателю такого украшения менять вставки под гардероб или настроение, во-вторых, изделия с такой конструкцией также можно изготавливать литьем, в-третьих, такой «каст» может быть внедрен в дизайн практически любого украшения. Стоит отметить также, что для серег этот

вариант скорее не применим, т.к. при его многослойной конструкции становится практически невозможно соблюсти эргономичность этого вида украшений.

4. Заключение

В ходе проделанной работы была изучена технология нанесения горячей эмали на медные вставки. Были разработаны варианты закрепки таких вставок в ювелирных украшениях. Для апробации одного из них, была изготовлена брошь в материале. В дальнейшем на основе идеи конструкции открывающегося каста будет разработана коллекция украшений со взаимозаменяемыми модулями.

Библиографический список

- [1] Ювелирное дело / С.В. Простаков. – Ростов-на-Дону, 1999. – 348 с.
- [2] Особенности работы с горячей эмалью. – URL: http://www.jewel.ru/technique/osobennosti_raboty_i_s_goryachey_emalyu_med_i_tompak.html# (дата обращения: 11.03.2024).
- [3] Конструирование и дизайн ювелирных изделий : учеб. пособие / В.П. Луговой. – Минск: Высшая школа, 2017. – 192 с.
- [4] Новиков В.П. Ручное изготовление ювелирных украшений: практ. руководство / В.П. Новиков, В.С. Павлов. СПб: Политехника, 1991. – 205 с.
- [5] Чем отличается эмаль от краски? Правильный выбор лакокрасочного покрытия // интернет-магазин «Мир красок 161». – URL: <https://mirkrasok161.ru/blog/2019/11/27/chem-otlichaetsya-emal-ot-kraski-pravilnyy-vybor-lakokrasochnogo-pokrytiya/> (дата обращения 12.03.2024).
- [6] Ювелирное дело : практ. пособие. / В.И. Марченко. – 3-е изд. – М.: Высшая школа, 1992. – 188 с.
- [7] Бреполь Э. Теория и практика ювелирного дела / Э. Бреполь, пер. с нем. В. П. Кузнецов; ред.: Л. А. Гутов, Г. Т. Оболдуев. – Л.: Машиностроение, 1982. – 384 с.
- [8] Ручное изготовление ювелирных украшений: практ. руководство / В.П. Новиков, В.С. Павлов. СПб: Изд-во «Политехника», 1991. – 205 с.
- [9] Ювелирное дело : учеб. пособие для сред. проф.-техн. учеб. заведений / В.И. Марченков. – М.: Высшая школа, 1975. – 186 с.
- [10] Художественное материаловедение: по видам материалов : учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 656700 «Технология художественной обработки металлов» : [учебник для вузов] / В.И. Куманин [и др.] ; под общ. ред. Михайлова Б. М. – М. : МГАПИ, 2005. – 182 с. [11] Ювелирное дело: практ. пособие / В.И. Марченков. – М. : Высшая школа, 1992. – 255 с.
- [12] Художественное материаловедение: ювелирные изделия : учеб. пособие / В.Б. Лившиц, В. И. Куманин, М. Л. Соколова, 2018. – 208 с.
- [13] Технология изготовления ювелирных изделий : учеб. пособие. Ч. 1. / Н.В. Воронцова, М.А. Буйволова – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. – 215 с.
- [14] Технология изготовления ювелирных изделий : учеб. пособие. Ч. 2. / Н.В. Воронцова, М.А. Буйволова – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013. – 207 с.
- [15] ГОСТ 7.32-2001. Международный стандарт. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.

Дизайн сувенирно-ювелирных колец на основе силуэтов каменной застройки Иркутска XIX века

Р.М. Лобацкая, А.А. Зайцева

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail lob.@ex.istu.edu

Аннотация. Рассмотрены возможности использования архитектурных элементов каменной застройки Иркутска XIX века на примере архитектурных сооружений на ул. К. Маркса. Изучены и систематизированы элементы декора разных архитектурных стилей. Проведена их последовательная систематизация для дальнейшего использования в ювелирном дизайне. Показаны возможности создания ювелирных изделий на основе модульных конструкций.

1. Введение

Улица Карла Маркса (ранее Большая) является одной из главных и старейших улиц Иркутска. Она имеет протяжённость более двух километров, от набережной р. Ангары до пересечения с улицей Декабрьских Событий. Эта улица начала застраиваться после опустошительного пожара в июне 1879. Здесь сохранились постройки с 80-х годов XIX, часть из которых сейчас находятся на реконструкции. Встречаются такие стили как неоклассицизм, модерн, конструктивизм, «сталинский ампир». Высота зданий от 1 до 5 этажей.

Белый дом расположен на пересечении улиц К. Маркса и Бульвара Гагарина. Здание, построенное в стиле ампир в начале 19 века (1800-1804) по проекту итальянского архитектора Джакомо Кваренги, принадлежало купцам Сибириковым, а затем в 1830-е годы было продано в казну и использовалось в качестве резиденции генерал-губернатора, после 1918 национализировано и отдано созданному в городе университету. Сейчас здесь располагается научная библиотека и центр историко-культурного наследия Иркутского государственного университета (ИГУ) [1] (рисунок 1 а).

Иркутский областной краеведческий музей им. Н.Н. Муравьева-Амурского, отдел истории расположен по правую сторону на Карла Маркса 2, построено в период с 1882 по 1891 годы по проекту архитектора Г.В. Розена в мавританском стиле. Сейчас в здании выставлена экспозиция «История Иркутской области с древнейших времен до конца XX в.» [3] (рисунок 1 б).

Иркутский академический драматический театр имени Н.П. Охлопкова, К.Маркса,14, является одним из старейших театров России. Здание в стиле неоклассицизма строилось в период восстановления города после пожара с 1894 по 1897 годы под руководством архитектора Виктора Шрётера) [6] (рисунок 1 в).

Здание Александро-Мариинского училища, расположенное на пересечении улиц К.Маркса 9 (особняк Ларионова и Зицермана) и Ленина 11 к2. Построено в 1894-1895 годы по проекту иркутского архитектора В.А. Рассушина в стиле модерн. Сейчас в здании располагается Иркутская детская городская поликлиника №3) [4] (рисунок 1 г).

Здание Иркутского областного краеведческого музея им. Н.Н. Муравьева-Амурского, расположенное по улице Карла Маркса 13, где находится отдел природы и музейная студия, также относится к памятникам культуры. Строительство здания велось архитектором А.И. Кузнецовым с 1899 по 1903 для типографии и книжного магазина П.И. Макушина и В.М. Посохина [4] (рисунок 1 д)

Двухэтажное каменное здание в стиле модерн по улице К. Маркса 23, в постройке которого участвовали архитекторы Г.В. Розен, В.А. Рассушин, В.А. Кудельский и другие, принадлежало первоначально купчихе, почетной гражданке Иркутска, благотворительнице Юлии Кельх. Затем, с 1920 по 1934 годы располагалось Иркутское отделение Государственного банка.

Сегодня здесь разместился Отдел сибирского искусства Иркутского областного художественного музея имени В.П. Сукачева [3] (рисунок 1 е).

Соседнее с упомянутым здание также в стиле модерн, К. Маркса, 25, было построено в 1894 году промышленником А.Б. Воллернером и сдавалось им в аренду Забайкальской железной дороге. В настоящее время оно также принадлежит Отделу сибирского искусства ИОХМ им. В.П. Сукачева [4] (рисунок 1 ё).

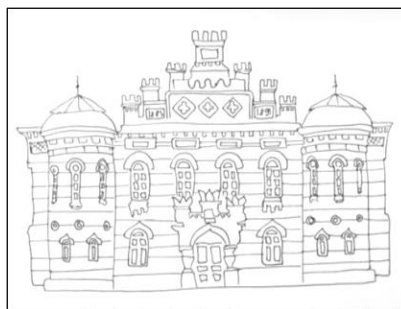
Здание Восточно-Сибирского окружного управления материально-технического снабжения МВД России, К. Маркса 27, было построено в 1870-1878 годах в стиле неоклассики и принадлежало первоначально купцам И.А. Мыльникову и В.В. Зазубрину. В 1883 году куплено купцом В.В. Жарников, где им была открыта третья частная аптека [5] (см. рисунок ё ж).

Следующее здание по ул. К. Маркса, 29, было построено в 1879 также в стиле неоклассики и принадлежало купцам И.А. Мыльникову и В.В. Зазубрину. В 1883 году иркутский меценат И.С. Хаминев приобрёл здание для открытия в нем Мариинского приюта, в котором до 1920 года воспитывалось от 40 до 90 девочек-сирот. В настоящее время здесь размещается Министерство здравоохранения Иркутской области [2] (рисунок 1 з).

Здание Восточно-Сибирского института МВД РФ, построено в 1879-1895 годы и располагается по улице Карла Маркса 33). Ранее здесь находился магазин купца С.Ларионова [2] (рисунок 1 и).



а)



б)



в)



г)



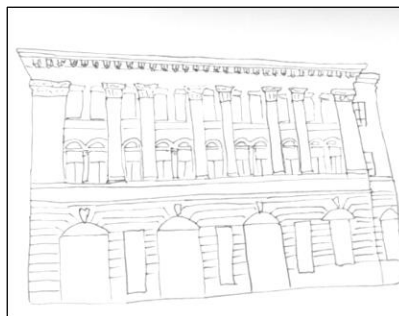
д)



е)



ё)



ж)



з)



и)

Рисунок 1. Зарисовки автора силуэтов каменных сооружений: а – Белый дом; б – Иркутский областной краеведческий музей им. Н.Н. Муравьева-Амурского; в – Иркутский академический драматический театр им. Н.П. Охлопкова; г –Александро-Мариинское училище; д –Отдел природы Иркутского краеведческого музея; е, ё –Отдел Сибирского искусства Иркутского областного художественного музея имени Сукачева; ж – Восточно-Сибирское окружное управление материально-технического снабжения МВД России; з –Министерство здравоохранения Иркутской области; и – Восточно-Сибирский институт МВД РФ

2. Эскизирование и технология изготовления ювелирных изделий

Прежде всего, весь процесс проектирования строился на исследованных объектах: обязательных натуральных зарисовках самого здания и его элементов для будущих стилизаций. Это помогает выявить характерные черты, доминирующие элементы и динамику форм. В результате поиска идей и эскизирования было создано множество модулей, при комбинации которых создается уникальный образ ювелирных изделий.

Все эскизы созданы на основе Иркутского академического драматического театра им. Н.П. Охлопкова. В процессе поиска эскизного решения была нарисована серия ювелирных изделий (рисунок 2), связанных одним стилем и технологией изготовления. Эскизы представляют собой модульные конструкции, комбинация которых многочисленна (рисунок 3). Все формы и модули функциональны, могут быть изготовлены как кольца, серьги, браслеты, подвесы, броши.

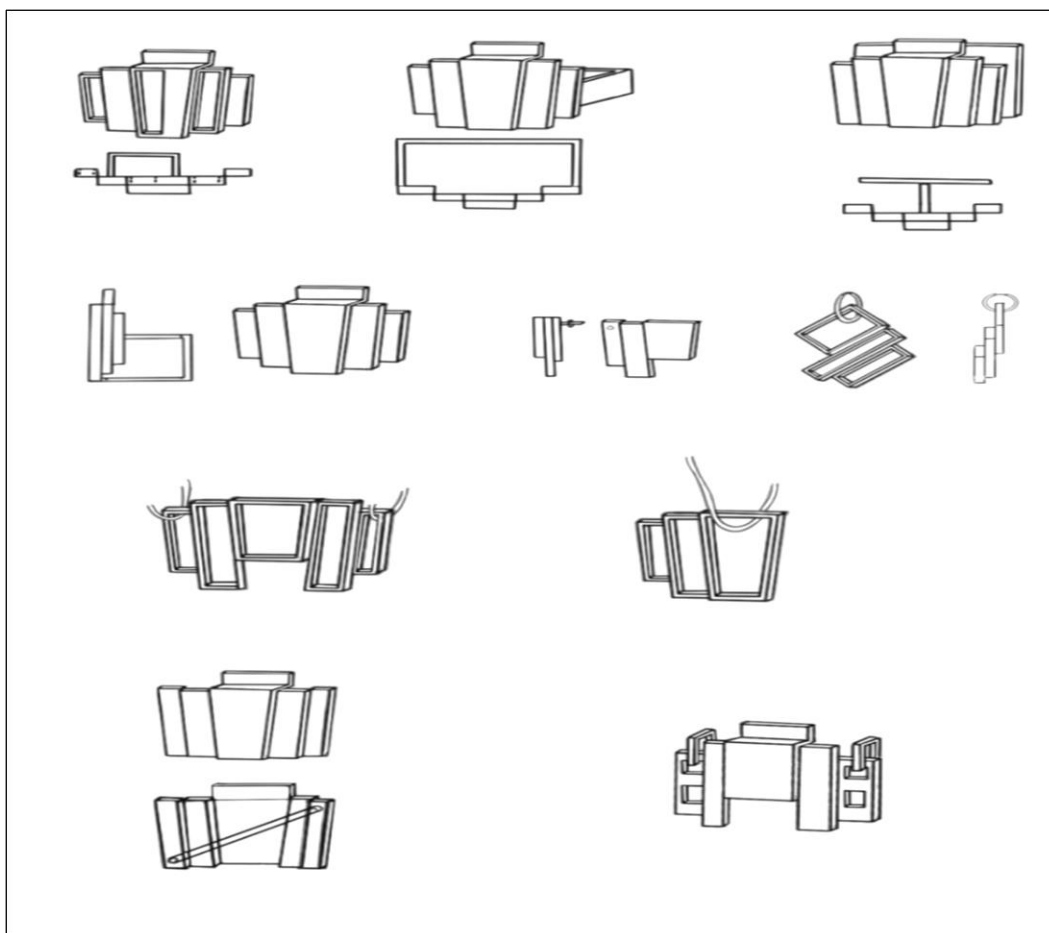
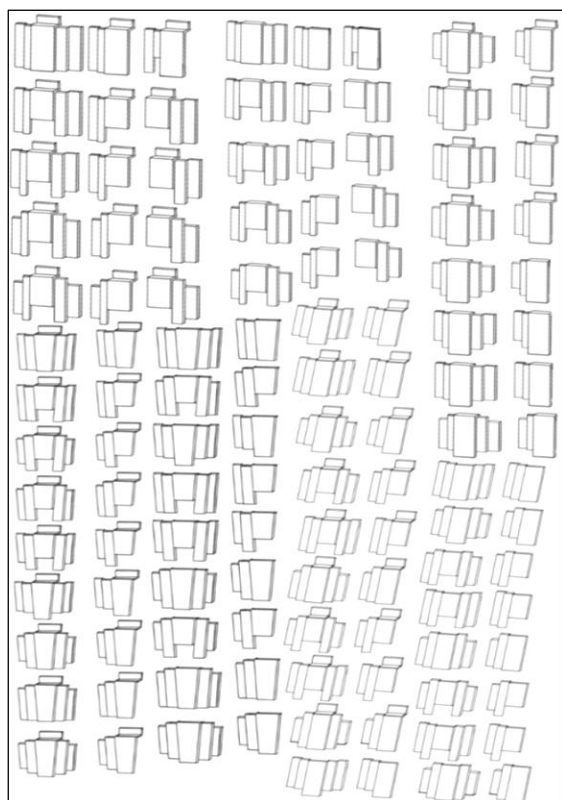
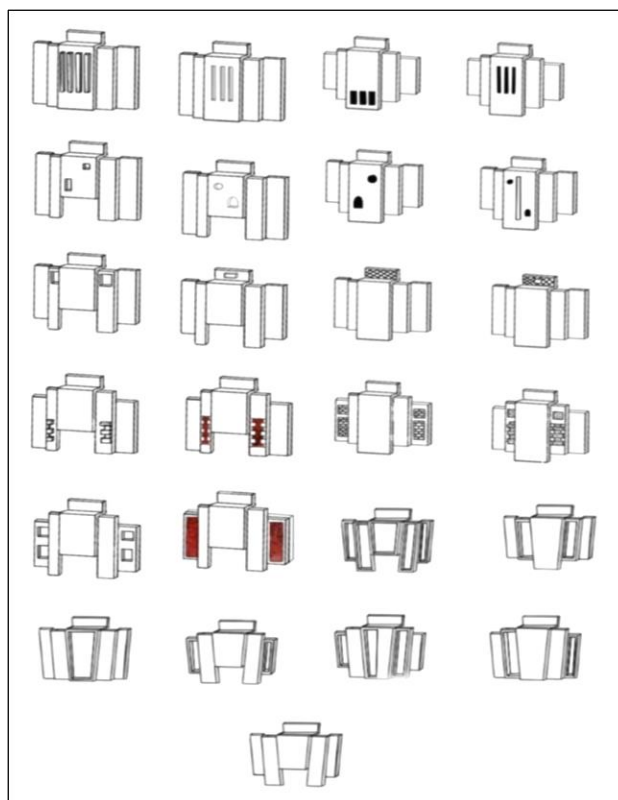


Рисунок 2. Эскизы авторских ювелирных изделий на примере стилизации Иркутского Академического драматического театра

На рисунке 3 а представлены варианты формы изделия в количестве 120 штук. Они имеют прямоугольную и трапециевидную форму. На рисунке 3 б изображены варианты декоративного наполнения формы дабы лучше передать образ Иркутского театра в количестве 25 штук. Предполагается изготавливать путем выпиливания, травления, пайки, также рассмотрен вариант с возможностью применения камня.



а)



б)

Рисунок 3. Модули: *а* – варианты форм; *б* – варианты декоративного наполнения

Библиографический список

- [1] Дулов А.В., Колмаков Ю.П. Белый дом // Памятники истории и культуры Иркутска. — Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1993. — С. 208–214. — 448 с.
- [2] Козлов И.И. Путеводитель по Иркутску. — Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1982. — С. 72–78. — 192 с.
- [3] Ладейщиков А.Ю., Ладейщикова Е.Р. Каменное жилое зодчество XIX — начала XX вв. // Памятники истории и культуры Иркутска. — Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1993. — С. 333–336. — 448 с.
- [4] Полунина Н.М. У истоков каменного града. — Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1979. — 128 с.
- [5] Распутин В. Иркутск с нами // Тобольск и вся Сибирь : альманах ; под ред. Ю.С. Осипова — Иркутск, Тобольск. — № 9. — 2007. — С. 26–29.
- [6] Русский драматический театр: Энциклопедия / под общ. ред. М.И. Андреева, Н.Э. Звенигородской, А.В. Мартыновой и др. — М.: Большая Российская энциклопедия, 2013. — 632 с.
- [7] Иркутский академический драматический театр им. Н.П. Охлопкова. — URL: <https://www.dramteatr.ru/seasons>. (дата обращения 15.03.2024)
- [8] Драматический театр им. Охлопкова — URL: <https://www.irkutsk.lusya.com/ru/pages/arc-stone08.htm> (дата обращения 10.03.2024).
- [9] Устин В.Б. Композиция в дизайне. Методические основы композиционно-художественного формообразования в дизайнерском творчестве: учеб. пособие. — 2-е изд., уточненное и доп. / В.Б. Устин. — М.: АСТ: Астрель, 2007. — 239 с.
- [10] Рисунок: учеб. пособие/ Е.Г Павлова. — Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2008. — 272 с.

Дизайн ювелирных колец на основе силуэта Иркутского драматического театра

Р.М. Лобацкая, А.А. Зайцева

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail lob.@ex.istu.edu

Аннотация. Собрана и проанализирована информация об Иркутском драматическом театре. Разработаны поисковые эскизы, основанные на силуэте Иркутского драматического театра. И в материале создано кольцо.

1. Введение

Статья разделена на 5 частей. В первой части описывается история здания драматического театра. Далее я расскажу вам об особенностях здания. В третьей части представлены разработанные эскизы ювелирных изделий. Далее приводится информация о материалах, используемых для создания украшений. А на конце в материале есть кольцо.

Актуальность проекта заключается в создании уникального дизайна ювелирных колец, поскольку данный вид украшений привлечет внимание потребителей своей необычной образностью и узнаваемостью того или иного историко-архитектурного памятника и заинтересует многочисленных гостей города в качестве памятного сувенира.

Целью данной исследовательской работы является создание дизайна серии ювелирных колец, основанного на силуэте Иркутского драматического театра, с реализацией прототипа в материале. С этой целью были поставлены следующие задачи. 1. Сбор и анализ информации об Иркутском драматическом театре. 2. Разработка поисковых эскизов на основе силуэта Драматического театра. 3. Создание серии ювелирных колец.

2. История здания

Иркутский академический театр драмы имени Н.П. Охлопкова (рисунок 1) - один из старейших театров России, основанный в 1850 году под руководством генерал-губернатора Николая Муравьева-Амурского. Здание простояло 10 лет, а затем сгорело. После того, как сгорело третье деревянное здание, было решено построить каменное. К 1897 году строительство здания было завершено, согласно проекту главного архитектора Дирекции императорских театров Виктора Шретера

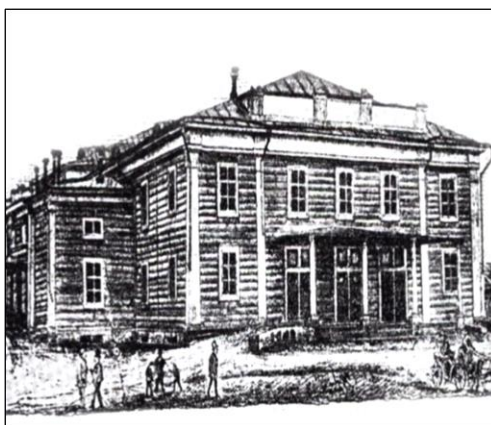


Рисунок 1. Деревянное здание Иркутского драматического театра 1851

3. Особенности здания

Театр расположен в Иркутске по адресу улица Карла Маркса, 14. Высота здания составляет 24 метра 20 сантиметров. В здании 3 этажа. Крыша и купол в форме корыта зеленого цвета, украшенные терракотовым алтарем. Стены облицованы оштукатуренным кирпичом. Кирпич

окрашен в четыре цвета: первый этаж - желтый, стены второго и третьего этажей окрашены в коричнево-красный и светло-желтый цвета (рисунок 2).

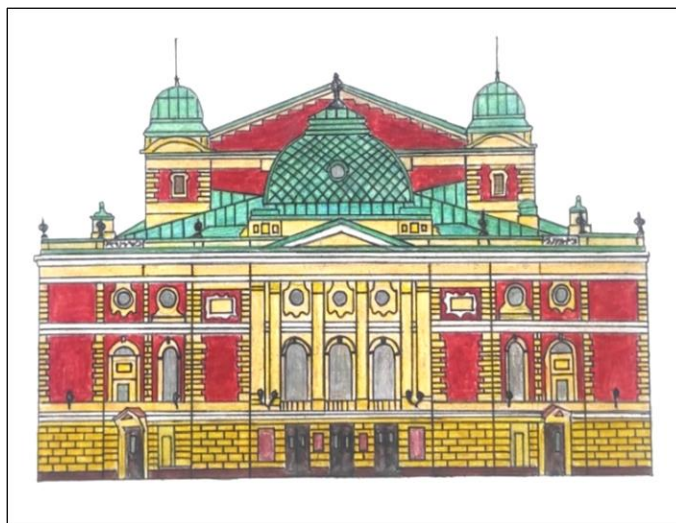
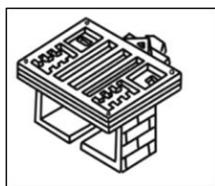


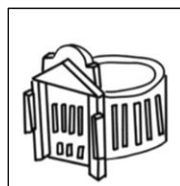
Рисунок 2. Иркутский академический театр драмы имени Н.П. Охлопкова. Зарисовка автора

4. Эскизы украшений

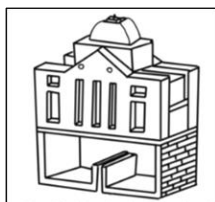
На рисунке 3 представлено несколько эскизов колец. Все кольца массивные и предназначены для ношения на одном или двух пальцах. Эскиз под буквой г был выбран для изготовления в материале.



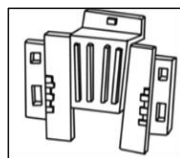
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3. Эскизы колец

5. Диаграмма состава материалов

В качестве материалов для изготовления кольца были выбраны латунь и нейзильбер. На схеме слева показан состав латуни, а справа - нейзильбера (см. рисунок 4). Латунь - металл желтого цвета, а нейзильбер - белого, это связано с разным содержанием компонентов. Латунь состоит из двух веществ, а именно меди и цинка, содержание которых составляет 60 и 40 процентов соответственно. Мельхиор состоит из трех веществ. В его состав входит 65 процентов меди, 20 процентов никеля и 15 процентов цинка. Поскольку латунь не содержит никеля, она имеет ярко-желтый цвет, в отличие от нейзильбера.

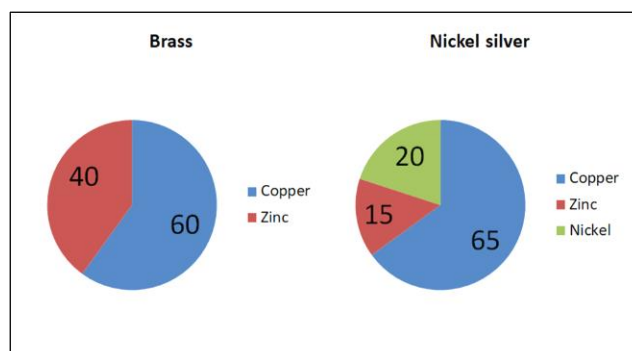


Рисунок 4. Диаграмма состава используемых материалов

6. Готовое изделие

На рисунке 5 показано кольцо из латуни и нейзильбера. Оно надевается на один палец. Кольцо большое, но не доставляет дискомфорта.



Рисунок 5. Кольцо «Театр», материалы: латунь, нейзильбер. Технологии: выпиливание, пайка, шлифовка, полировка, электрохимическое патинование

7. Заключение

В заключение можно сказать, что история строительства театра изучена. Рассмотрены особенности здания. Разработаны собственные эскизы. И кольцо выполнено в материале. Такие украшения можно использовать в качестве сувенира, подарка кому-то или просто носить для удовольствия.

Библиографический список

- [1] Драматический театр им. Охлопкова. – URL: <https://www.irkutsk.lusya.com/ru/pages/arc-stone08.htm> (дата обращения 10.02.2024).
- [2] Дулов А.В., Колмаков Ю.П. Белый дом // Памятники истории и культуры Иркутска. — Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1993. — С. 208–214. — 448 с.
- [3] Хохрин Е.В., Кулеш А.Д. История строительства и особенности архитектуры Иркутского драматического театра имени Н.П. Охлопкова (дата обращения: 15.02.2024).
- [4] Иркутский академический драматический театр им. Н. П. Охлопкова. – URL: <https://www.dramteatr.ru/seasons>. (дата обращения 15.02.2024).
- [5] Козлов И.И. Путеводитель по Иркутску. — Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1982. — С. 72–78. — 192 с.
- [6] Рисунок: учеб. пособие / Е.Г. Павлова. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2008. – 272 с.
- [7] Проектирование и изготовление ювелирных изделий : учеб. пособие / И.А. Груздева, Е.В. Денисова, О.И. Ильвес, В.М. Карпов. — Екатеринбург : Изд-во Урал. Ун-та, 2021. — 124 с.
- [8] Кислица Д.В. Стилизация как художественный метод обучения школьников средних классов искусству декоративной живописи на внеклассных занятиях по изобразительной

деятельности // Актуальные исследования. —2021. — № 30 (57). — С. 58-60. URL: <https://apni.ru/article/2723-stilizatsiya-kak-khudozhestvennij-metod-obuch> (дата обращения 25.02.2024)

[9] Технология изготовления ювелирных изделий : учеб. пособие. Ч. 1. / Н.В. Воронцова, М.А. Буйволова – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. – 215 с.

[10] Здание Иркутского драматического театра. – URL: http://irkipedia.ru/content/zdanie_irkutskogo_dramaticheskogo_teatra (дата обращения 10.02.2024).

Designing of jewelry based on stylization of historical building Russian-Asian bank in Irkutsk

V.E. Sorokina, A.S. Chichigin

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

E-mail: adfg.addg@inbox.ru

Annotation. The research work contains brief historical information about the building of Russian-Asian bank, information about jewelry technologies and decoration techniques. Sketches of jewelry have been developed, and photos of completed pieces of jewelry based on stylization of the architectural construction are also provided.

1. Introduction

The article contains 4 parts. The first part includes relevance, purpose, tasks, methods. The second part presents the history of the building, jewelry technologies, sketches. The third part comprises information about patination and electrochemical patination technology. The fourth part contains conclusions, completed jewelry, reference list.

The relevance of the topic is the building is an object of cultural heritage with grate historical past. The building, namely Russian-Asian Bank is located in the center of the city, in a tourist place. A piece of jewelry with stylization, but recognizable images of Russian-Asian Bank will be a demand among tourists, some local designers, in jewelry industry, in souvenir products.

The purpose of research work is creation a jewelry design based on architectural features of the building of Russian-Asian Bank in Irkutsk. In according with the goal, the tasks were set: 1. Find and study the history of the building. 2. Study technologies and decorative techniques used for making jewelry. 3. Make sketches. 4. Create a flow-chart diagram (working process diagram). 5. Create a piece of jewelry.

2. Materials and method

1. Search information about the building. 2. Analysis architecture features of the building. 3. Sketching of the building elements and jewelry. 4. Working with metal which will be used for jewelry.

3. The history of the building Russian-Asian Bank

This architectural construction was built in 1912 year, more than 100 years ago, and the building is a symmetrical two-storey stone building in the Viennese Art Nouveau style. The project of this building was developed by a principal engineer and an architect V. Kolyanovsky. The building has complex spatial volumes connected to each other.

4. Jewelry technologies

There are many jewelry metalworking technologies, the most basic ones are for example metal sawing (cut the metal). For this processing method you will need a jigsaw, wax, a file, possibly the stencil. Soldering involves fusing metal parts with a soldering machine with a burner, solder is also

used. With the help of bending, we can bend the metal with different bending tools (by pliers, round pliers, etc.), give it a certain shape. By grinding and filing, we remove defects from the surface using filings are different in size, sandpaper, diamond cutters, drill. By the polishing we bring the surface to shine by polishing paste, polishing wheel, polishing machine.

5. Developed sketches of jewelry

Figure 1 shows the finished sketches of jewelry based on the stylization of the building of Russian-Asian Bank, its architectural elements and the urban environment. For instance, a ring, a modular bracelet, a suspension, round and square modules, earrings with stylized shape of left tower of Russian-Asian Bank with a congo lock, a rectangle module, a brooch.

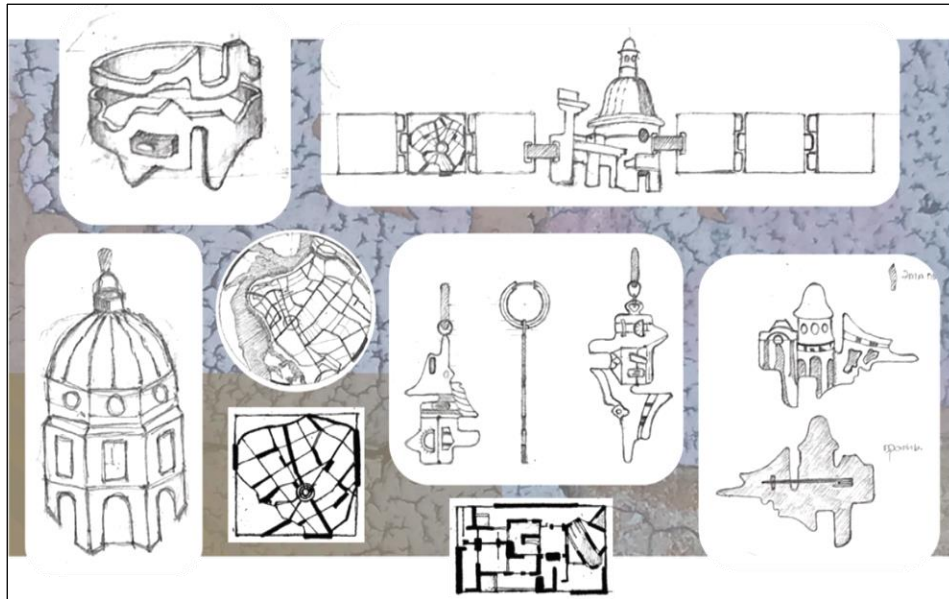


Figure 1. Sketches of jewelry with stylization of architectural construction

Figure 2 shows the pieces of jewelry, mainly brooches based on stylization of the top view of the building and the district.

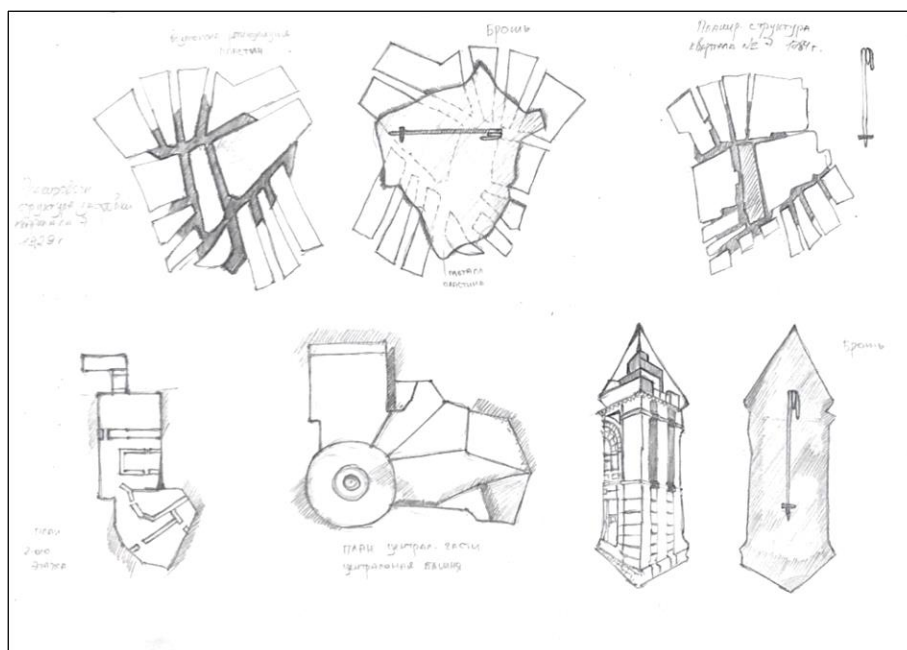


Figure 2. Sketches of brooch. Stylization of the top view of the district

6. Metal patination technique

In this work, 2 types of metal were used: brass and nickel silver. Electrochemical patination was used for nickel silver, and patination with sulfur ointment was used for brass, followed by heating the metal in a thermal furnace.

Patination is an ancient metalworking method, the process of decorative treatment of a metal surface, which is used to give a metal product a special color shade and texture.

Patina is a layer of oxide and sulfide coating that are formed on the metal surface as a result of applying a chemical composition and heating it.

7. Conclusion

In conclusion of research work, the history of the building has been studied. The sketches of jewelry have been developed and provided, also jewelry technologies and metal patination technique have been considered.

Figures 3, 4, 5 show photos of the completed pieces of jewelry.

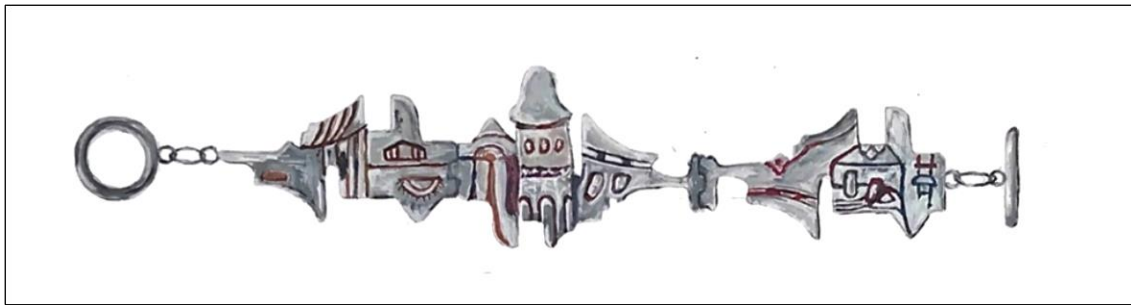


Figure 3. The bracelet “Venmodern”. Materials: nickel silver. Technologies: **electrochemical patination**, sawing, soldering, etching technology, bending, polishing



Figure 4. The brooch “Modly”. Materials: brass. Technologies: **patination with sulfur ointment**, metal sawing, soldering, etching technology, bending, riveting fastening



Figure 5. The 3d model of a brooch “Modly”

References

- [1] Elements of an architectural construction. URL: [https://nts-tv.ru/news/75551 elementy zdaniya](https://nts-tv.ru/news/75551_elementy_zdaniya) (in Russian).
- [2] Historical information of the building. URL: <https://baikalgo.ru/where/russko-aziatskij-bank/> (in Russian).
- [3] The history of the construction. URL: <https://www.ogirk.ru/2011/03/18/rusaziabank/> (in Russian).
- [4] Product design. URL: http://www.tehinfor.ru/s_18/juvelir_38.html (in Russian).
- [5] Definition of design. URL: <https://media.contented.ru/osnovy/napravleniya/chto-takoe-dizajn-prostyimi-slovami/?ysclid=loh6pf7o0331819344> (in Russian).
- [6] Historical information. URL: <https://dragzoloto.ru/ukrasheniya-iz-nejzilbera-preimushhestva-i-nedostatki-osobennosti-pravila-uhoda/?ysclid=lnm2mkwi3q569166093> (in Russian).
- [7] Properties of nickel silver. URL: <https://vplate.ru/metally-i-splavy/nejzilber-kak-otlichit-ot-melhora/?ysclid=lnm2prug6e821460621> (in Russian).
- [8] Definition of a brooch. URL: <https://tkaner.com/aksessuary/brosh/vidybroshej/?ysclid=li4lc98xle952188166> (in Russian).
- [9] Definition of patina. URL: <https://dekonte.ru/blog/sovety/o-patinirovanii-effekt-stariny/> (in Russian).
- [10] Patina for nickel silver. URL: <https://wire.ru.livejournal.com/823750.html?ysclid=lnne4vcsev662569710> (in Russian).
- [11] Patination technique. URL: <https://www.livemaster.ru/glossary/45-patinirovanie?ysclid=lnndoa7zn9747456363> (in Russian).

Stylization of Irkutsk urban landscape as a basis for designing jewelry by oxidation and whitening technologies

E.A. Berman, O.E. Kostenko

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

E-mail: opel139@mail.ru

Annotation. This research is based on idea mining method, data selection method, information analysis method, comparison method and production processes such as wax modeling, metal machining, metal chemical processing, lost wax casting.

1. Introduction

The presentation is divided into 5 parts. The first part describes the Moodboards. Next I will see you about the sketches. The third part presents the technical drawing. Next is provided wax model. And at the end there is result.

The purpose of this project is developing a jewelry design based on the plants and landscape of Irkutsk. To achieve this goal, we need to develop a series of sketches, and having chosen the best one, apply sculptural cutting of wax.

2. Moodboards



Figure 1. The moodboard of jewelry in the theme of the interaction of nature and urban urban environment. All decorations presented on the board with silver oxidation and bleaching



Figure 2. The moodboard with floral motifs in jewelry



Figure 3. The moodboard using mushrooms in jewelry

Plants, namely flowers and mushrooms, can be contrasted with angular, rough motifs of the urban landscape in the best possible way with their shapes. It is the oxidation and bleaching of silver with its contrasting colors that will reflect this conflict and contrast the selected images.

3. Research methods

Our research is based on methods of oxidation and bleaching of silver. Oxidation is the surface treatment of metal with a special solution, giving it a black color. Whitening is the surface treatment of metal with acid, giving it a white color. These types of metal processing can help identify what is important and what is secondary in a piece of jewelry. Our research is based on idea mining method, data selection method, information analysis method, comparison method and production processes such as wax modeling, metal machining, metal chemical processing, lost wax casting. As a result, we created a decoration that corresponded to the theme of our thesis. During the process, we tested various shades and chose the ones that suited us.

4. Sketches

A sketch of the ring was developed the manufacture is supposed to be made of silver size 19 the predominant colors are white, gray and black (see pictures 4, 5).



Figure 4. Visualization of the ring using the Adobe Fresco graphic editor

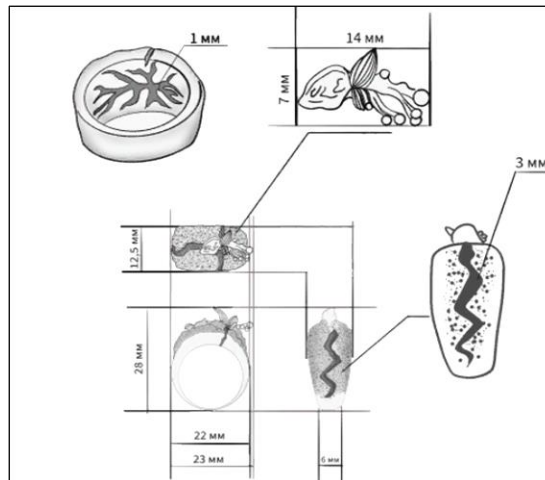


Figure 5. The technical drawing

5. Wax model

After waxing the metal is cast and processed



Figure 6. Wax model

6. Results

1) The geometric appearance of the ring product is a splint in the form of a flat cylinder and a decorative part, in the form of a rectangular shape with a relief image of a plant.

2) There is a clear asymmetry in the product. The flower grows from the right side of the ring, as well as the crack from which it grows is not symmetrical, on the one hand it is longer, and on the other it is shorter. In turn, the inner pattern of the ring is quite symmetrical (figure). The "roots" grow in both directions almost mirrorily, forming an integral, strong system symbolizing the resistance and support of the plant.

3) The ring element in the form of a crack in the plane of the "asphalt" is a dynamic. It is made in the form of a narrow metal slot, on the wrong side of the ring, which grows into a wide large depression. The crack is zigzagged, which adds dynamics to the composition. The dominant element, a flower, is inserted into the slots. The inner part of the ring – with the symbolism of the "roots", is also dynamic. The drawing shows the growth, from large to small, from the thickest root to the thinnest, all this can be traced on the tire of the ring.

4) The rhythm of the composite elements is noticeable in the zigzags of the cracks. The repeated bends are also executed in a rhythmic pattern.

5) The accent in the composition is the imitation of the road surface, it occupies a large area and is distinguished by a wide variety of colors - from silver-gray to matte black. The dominant element in the compositional solution is flowering, which is small in size and has curved outlines corresponding to natural silhouettes, in contrast to the strict geometricism of man-made shapes - in this case, a piece of pavement in the form of a rectangle. The flower is executed in white.

6) Color and texture in the product

Thanks to the creation of the asphalt texture, cracks in it and plants with its stylized roots, it was possible to work perfectly with the oxidation and bleaching of silver, which made it possible to "paint" the ring in different monochrome colors. All the depressions, namely the surface texture of the decorative part, cracks and roots took on a matte black color due to the thick oxide film. All the polished parts turned silver-gray, and the flower itself turned matte white.

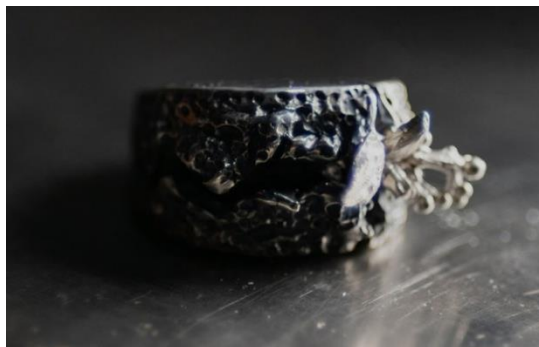


Figure 6. The finish ring

7. Conclusion

As a result of using these technologies, we received a multi-level monochrome colored product with a clearly defined composition. We made a brooch with a floral theme in the city landscape in the form of sidewalk tiles. The flowers received a snow-white color and became dominant in the composition, all the recesses in the sidewalk became black due to oxidation, the remaining parts of the decoration were polished and acquired a gray color. The decoration is ergonomic and lightweight, which allows it to become both an exhibition model and a brooch for everyday wear

References

- [1] Vlasov V.G. The theory of shaping in the visual arts. Saint Peterburg, 2017. 264 p. (in Russian).
- [2] Lobatskaya R.M., Zhukova L.T. Jewellery materials, design and technologies of the 20th-21st centuries. and their role in changing the conceptual framework of personal jewellery. Design. Materials. Technologies. Saint Peterburg, 2018. Vol. 2 (50). P. 64–71. (in Russian).
- [3] Lobatskaya R.M., Anisimova T.V., Berman E.A., Voytyuk A.A., Pavlova E.G. Stone and wooden architecture in the modern jewellery art of Irkutsk. Fine art of the Urals, Siberia and the Far East. 2021. (in Russian).
- [4] Trash Art. URL: <https://ecology.aonb.ru/trash-art.-musornoe-iskusstvo.html> (in Russian).
- [5] Prostakov S.V. Jewellery manufacturing. Rostov-na-Donu, 1999. 348 p. (in Russian).
- [6] Brepol E. Theory and practice of jewelry making. Leningrad. 1982. 384 p. (in Russian).
- [7] Novikov V.P., Pavlov V.S. Handmade jewellery. Saint Petersburg, 1991. 205 p. (in Russian).
- [8] Marchenkov V.I. Jewellery manufacturing. Moscow, 1975. 186 p. (in Russian).
- [9] Kumanin V.I. [et al.] Technology of artistic processing of materials. 2005. 182 p. (in Russian).
- [10] Marchenkov V.I. Jewellery manufacturing. Moscow, 1992. 255 p. (in Russian).
- [11] Livshits V.B. Artistic materials science: artistic products (in Russian).
- [12] Vorontsova N.V., Buyvolova M.A. Jewelry manufacturing technology. Ch.1. Irkutsk, 2012. 215 p. (in Russian).

Дизайн изделия на основе элемента иркутского герба «Бабр» в технике камнерезной пластики

Р.М. Лобацкая, А.Д. Отморская

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

E-mail lob.@ex.istu.edu

Аннотация. Собрана и проанализирована информация об элементе герба Иркутска «Бабр». Разработаны поисковые эскизы и технический рисунок на основе образа исследуемого объекта. Изучены особенности художественной резьбы по камню. В результате спроектированный дизайн изделия воплощён в материале.

1. Введение

Ювелирные изделия по мотивам городской среды Иркутска, выполненные из поделочных камней, не столь разнообразны и особенно ценятся как местными жителями, так и гостями города, поскольку поддерживают локальную идентичность. Поэтому разработка уникального дизайна украшения, посвящённого истории и культуре города, в технике художественной резьбы по камню может послужить решением актуальной проблемы.

Целью данного проекта является разработка дизайна украшения на основе образа Бабра и реализация прототипа изделия в материале.

2. История Бабра как элемента герба Иркутска

Образ Бабра, оказавшийся в конечном итоге на современном гербе Иркутска, утверждённом Президентом России в 1997 году (рисунок 1), прошел долгий путь изменений. Сибирские печати XVII–XIX веков позволяют проследить историю преобразований этого зверя.

Впервые Бабр появился на иркутской печати в 1696 году. А в 1764 году из-за путаницы в документах Сибирского приказа в описании городской печати вместо «Бабр» появилось слово «бобр». 28 августа того же года это описание было утверждено Екатериной II, и на гербе Иркутского полка появилось изображение бобра. Он также изображался на гербах Иркутска до 1878 года. Затем новый герб Иркутской губернии был утвержден Александром II.

Предполагается, что барон Борис Васильевич Кёне совместно с геральдическим отделом Правительствующего Сената и художником Александром Александровичем Фадеевым специально оставил образ Бабра мифическим существом, совмещающим в своём облике внешние черты бобра и больших кошек. И именно поэтому герб Иркутска столь уникален.



Рисунок 1. Современный герб Иркутска, 1997 год

3. Аналоги скульптур и камнерезных изделий с бабром

4 октября 2012 года в 130-м квартале Иркутска была установлена известная всем иркутянам бронзовая скульптура, посвященная символу города (рисунок 2). Её авторы — скульптор Наталья Бакут и архитектор Ольга Смирнова. До этого памятника, для конкурса скульптурных эскизов Бабра «Градостроительство. Иркутск – 2011», были созданы и другие небольшие скульптуры, посвящённые этому зверю. Помимо скульптур, изображение Бабра также часто встречается в сувенирной продукции Иркутска. Однако украшений с этим мифическим зверем очень мало.



Рисунок 2. Скульптура «Бабр», Наталья Бакут, Ольга Смирнова, 2012, бронза

4. Разработанные эскизы ювелирных изделий

На рисунке 3 изображены поисковые эскизы ювелирных изделий, предполагающие использование камня. Данные эскизы разработаны на основе образа Бабра и архитектурных элементов 130-го квартала Иркутска. Они выполнены графитными карандашами и гуашью на белых листах бумаги формата А4.

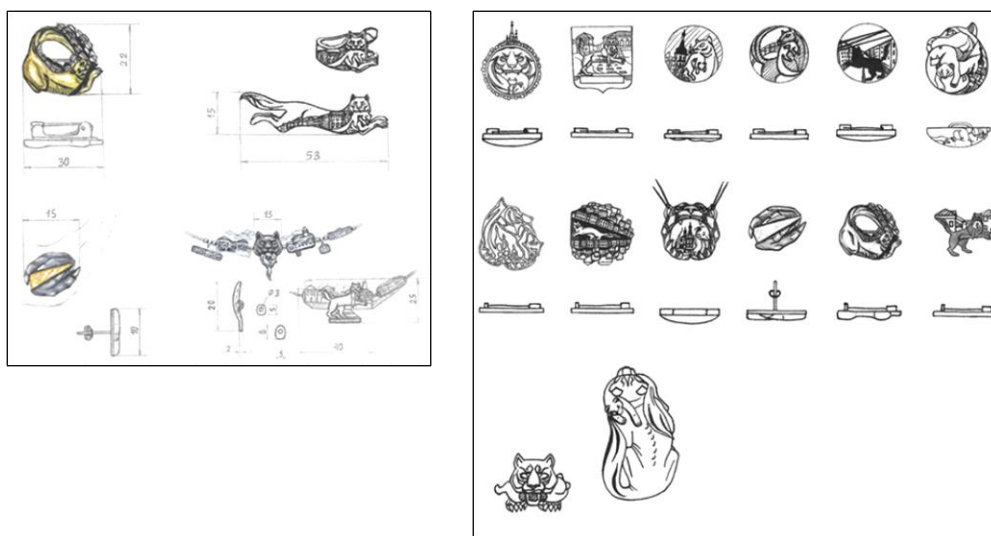


Рисунок 3. Поисковые эскизы ювелирных изделий

С целью отточить навык работы в технике художественной резьбы по камню для дальнейшего изготовления украшения в материале был выбран эскиз, представленный ниже (рисунок 4).

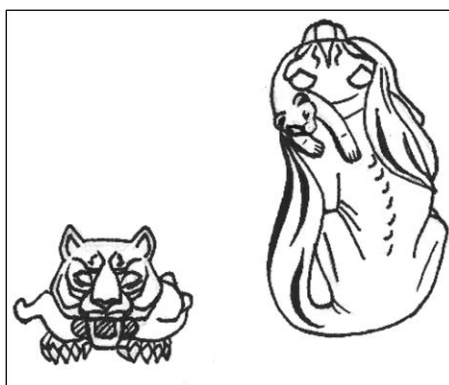


Рисунок 4. Эскиз подвеса

Затем был разработан технический рисунок на основе данного эскиза (рисунок 5).

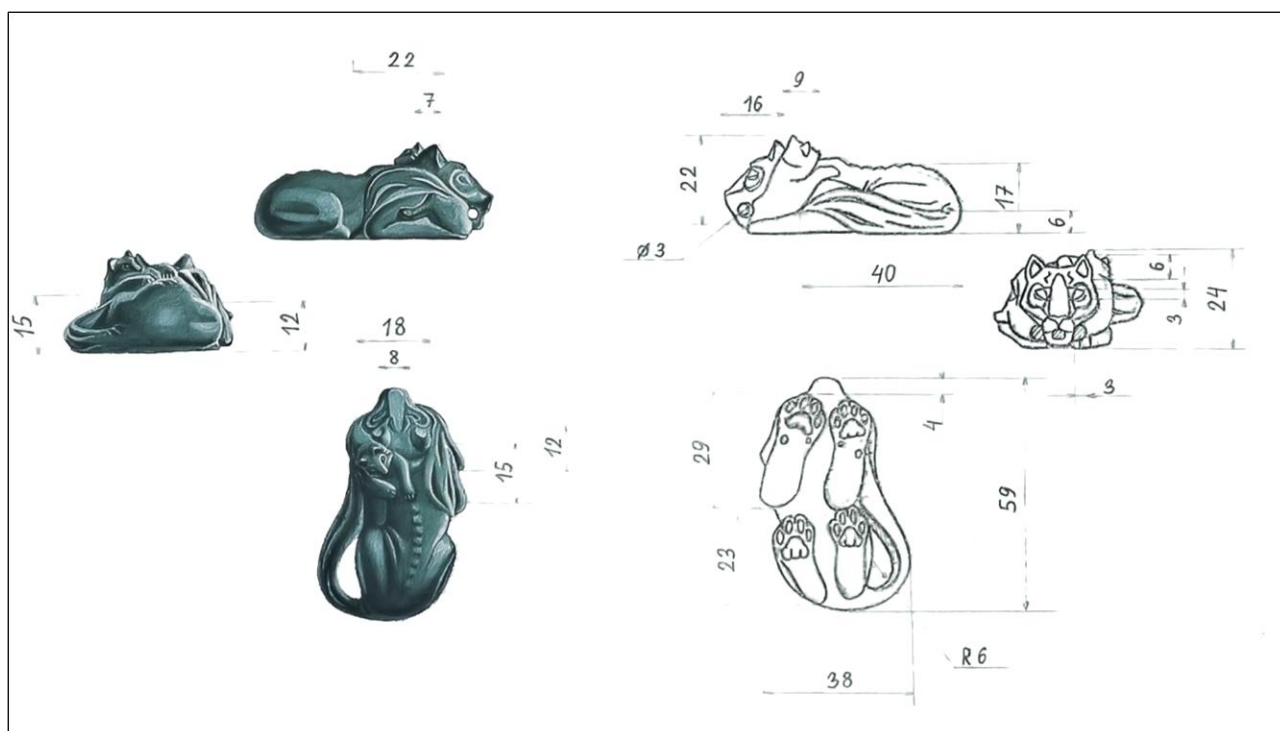


Рисунок 5. Технический рисунок подвеса «Легенда Сибири»

5. Процесс создания изделия в материале

В качестве материала для подвеса была выбрана зелёная яшма. Этот камень достаточно прочный, чтобы на нём можно было продемонстрировать все детали изделия. Также на камне однородного цвета рельеф и детали изображённых предметов будут выделяться и отчётливо читаться.

Для изготовления камнерезного изделия предварительно была выполнена пластилиновая модель (рисунок 6). Затем на основе этой модели была произведена художественная резьба на яшме (рисунки 7).

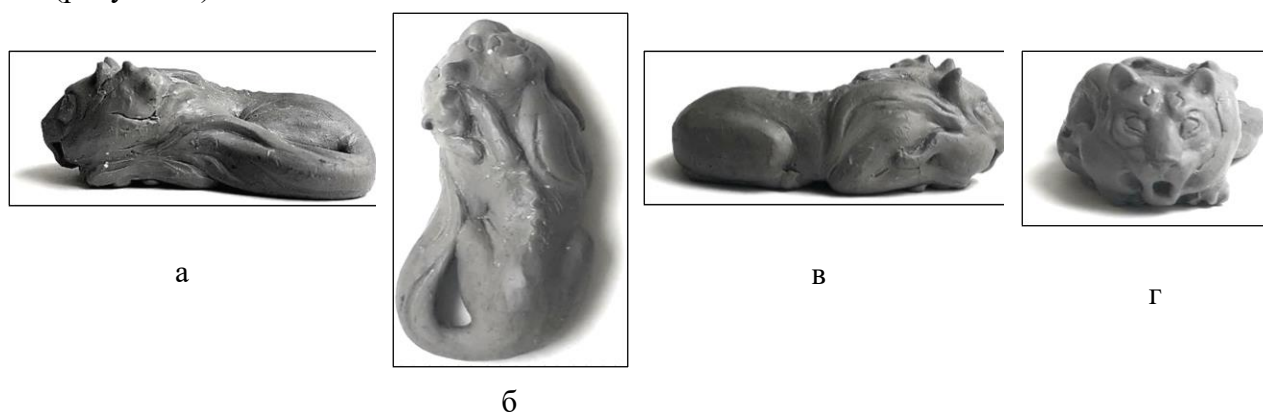


Рисунок 6. Пластилиновая модель подвеса: а – вид слева; б – вид сверху; в – вид справа; г – вид спереди



Рисунок 7. Процесс художественной резьбы по камню

6. Готовое изделие

На рисунке 8 изображён подвес «Легенда Сибири», изготовленный из яшмы в технике художественной резьбы по камню. Данное изделие представляет собой одновременно и подвес, и скульптуру и предназначено для подвешивания на ювелирном тросе через отверстие в пасти животного или для украшения интерьера комнаты в виде небольшой скульптуры.



Рисунок 8. Подвес «Легенда Сибири» в материале: а – вид слева; б – вид сверху; в – вид справа; г – вид спереди; д – вид сзади

7. Заключение

В результате работы была создана подвесная скульптура из яшмы «Легенда Сибири», которая может быть использована в качестве сувенира. Данный проект — это продолжение популяризации городской среды Иркутска. А поскольку тема городской среды особенно актуальна в ювелирной отрасли и всё больше развивается в настоящее время, мы считаем этот проект перспективным и планируем продолжать работу по данной теме в будущем.

Библиографический список

- [1] Соколов А. Пожар 1897 года // Копейка. – 2011, 8 июня – № 22.
- [2] Суходолов А.П., Атанов А.А., Колесникова А.В. Социокультурные аспекты городской геральдики: история символики города Иркутска / Известия Байкальского государственного университета. – 2020. – Т. 30. – № 2. – С. 174-184.

- [3] Откуда пришел Бабр? История герба города Иркутска // Сибирячок. – 2002. – № 5 (62). – С. 40
- [4] Суворов А. История герба Иркутска и ее продолжение // Газета «Восточно-Сибирская правда», № 241, 8 октября 1966 г. – С. 4.
- [5] Гасельник В.В. Детектив с Бабром, или новый взгляд на историю иркутских печатей и гербов / В. Гасельник; [научный редактор А.В. Дулов]. – Иркутск: Принт Лайн, 2017. – 166 с.
- [6] Куренная И.Г. Генезис и основные признаки символики бабра в гербе Иркутской области // Известия Иркутского государственного университета / Серия «История». – 2012. – № 1 (2). – С. 40–51
- [7] Приложение № 1 к решению Городской Думы г. Иркутска от 27 февраля 1996 г. N 165-гД. Положение о гербе города Иркутска // Деловая электронная газета «Бизнес Online». URL: <https://www.business-gazeta.ru/article/56760> (дата обращения 20.03.2024)
- [8] Орлова Е. Фантастический образ Иркутска // Областная газета. – 2009, 3 апреля – № 36 (461)
- [9] Дежавю: как «фантастического зверя» Даши Намдакова не оценили в Сибири // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/440522129> (дата обращения 29.03.2024)
- [10] Байбородина А. Где стоять Бабру? // СМ номер один. – 2012, 4 октября. – № 39.

Дизайн сувенирно-ювелирных колец на основе силуэтов каменной застройки Иркутска XIX века

Р.М. Лобацкая, А.А. Зайцева

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

E-mail lob.@ex.istu.edu

Аннотация. Рассмотрены возможности использования архитектурных элементов каменной застройки Иркутска XIX века на примере архитектурных сооружений на ул. К. Маркса. Изучены и систематизированы элементы декора разных архитектурных стилей. Проведена их последовательная систематизация для дальнейшего использования в ювелирном дизайне. Показаны возможности создания ювелирных изделий на основе модульных конструкций.

1. Введение

Улица Карла Маркса (ранее Большая) является одной из главных и старейших улиц Иркутска. Она имеет протяжённость более двух километров, от набережной р. Ангары до пересечения с улицей Декабрьских Событий. Эта улица начала застраиваться после опустошительного пожара в июне 1879. Здесь сохранились постройки с 80-х годов XIX, часть из которых сейчас находятся на реконструкции. Встречаются такие стили как неоклассицизм, модерн, конструктивизм, «сталинский ампи́р». Высота зданий от 1 до 5 этажей.

Белый дом расположен на пересечении улиц К. Маркса и Бульвара Гагарина. Здание, построенное в стиле ампи́р в начале 19 века (1800-1804) по проекту итальянского архитектора Джакомо Кваренги, принадлежало купцам Сибиряковым, а затем в 1830-е годы было продано в казну и использовалось в качестве резиденции генерал-губернатора, после 1918 национализировано и отдано созданному в городе университету. Сейчас здесь располагается научная библиотека и центр историко-культурного наследия Иркутского государственного университета (ИГУ) [1] (рисунок 1 а).

Иркутский областной краеведческий музей им. Н.Н. Муравьева-Амурского, отдел истории расположен по правую сторону на Карла Маркса 2, построено в период с 1882 по 1891 годы по проекту архитектора Г.В. Розена в мавританском стиле. Сейчас в здании выставлена

экспозиция «История Иркутской области с древнейших времен до конца XX в.» [3] (рисунок 1 б).

Иркутский академический драматический театр имени Н.П. Охлопкова, К.Маркса,14, является одним из старейших театров России. Здание в стиле неоклассицизма строилось в период восстановления города после пожара с 1894 по 1897 годы под руководством архитектора Виктора Шрётера) [6] (см. рисунок 1 в).

Здание Александрo-Мариинского училища, расположенное на пересечении улиц К.Маркса 9 (особняк Ларионова и Зицермана) и Ленина 11 к2. Построено в 1894-1895 годы по проекту иркутского архитектора В.А. Рассушина в стиле модерн. Сейчас в здании располагается Иркутская детская городская поликлиника №3) [4] (см. рисунок 1 г).

Здание Иркутского областного краеведческого музея им. Н.Н. Муравьева-Амурского, расположенное по улице Карла Маркса 13, где находится отдел природы и музейная студия, также относится к памятникам культуры. Строительство здания велось архитектором А.И. Кузнецовым с 1899 по 1903 для типографии и книжного магазина П.И. Макушина и В.М. Посохина [4] (см. рисунок 1 д)

Двухэтажное каменное здание в стиле модерн по улице К. Маркса 23, в постройке которого участвовали архитекторы Г.В. Розен, В.А. Рассушин, В.А. Кудельский и другие, принадлежало первоначально купчихе, почетной гражданке Иркутска, благотворительнице Юлии Кельх. Затем, с 1920 по 1934 годы располагалось Иркутское отделение Государственного банка. Сегодня здесь разместился Отдел сибирского искусства Иркутского областного художественного музея имени В.П. Сукачева [3] (см. рисунок 1 е).

Соседнее с упомянутым здание также в стиле модерн, К. Маркса, 25, было построено в 1894 году промышленником А.Б. Воллернером и сдавалось им в аренду Забайкальской железной дороге. В настоящее время оно также принадлежит Отделу сибирского искусства ИОХМ им. В.П. Сукачева [4] (см. рисунок 1 ё).

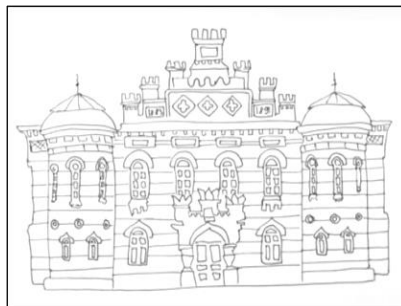
Здание Восточно-Сибирского окружного управления материально-технического снабжения МВД России, К. Маркса 27, было построено в 1870-1878 годах в стиле неоклассики и принадлежало первоначально купцам И.А. Мыльникову и В.В. Зазубрину. В 1883 году куплено купцом В.В. Жарников, где им была открыта третья частная аптека [5] (см. рисунок ё ж).

Следующее здание по ул. К. Маркса, 29, было построено в 1879 также в стиле неоклассики и принадлежало купцам И.А. Мыльникову и В.В. Зазубрину. В 1883 году иркутский меценат И.С. Хаминов приобрёл здание для открытия в нем Мариинского приюта, в котором до 1920 года воспитывалось от 40 до 90 девочек-сирот. В настоящее время здесь размещается Министерство здравоохранения Иркутской области [2] (см. рисунок 1 з).

Здание Восточно-Сибирского института МВД РФ, построено в 1879-1895 годы и располагается по улице Карла Маркса 33). Ранее здесь находился магазин купца С.Ларионова.[2] (см. рисунок 1 и).



а)



б)



в)



г)



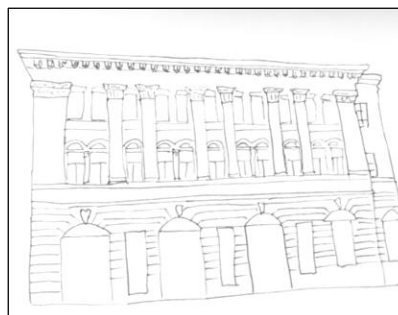
д)



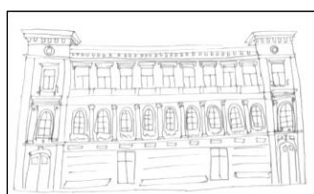
е)



ё)



ж)



з)



и)

Рисунок 1. Зарисовки автора силуэтов каменных сооружений: а – Белый дом; б – Иркутский областной краеведческий музей им. Н.Н. Муравьева-Амурского; в – Иркутский академический драматический театр им. Н.П. Охлопкова; г –Александро-Мариинское училище; д –Отдел природы Иркутского краеведческого музея; е, ё –Отдел Сибирского искусства Иркутского областного художественного музея имени Сукачева; ж – Восточно-Сибирское окружное управление материально-технического снабжения МВД России; з –Министерство здравоохранения Иркутской области; и –Восточно-Сибирский институт МВД РФ

2. Эскизирование и технология изготовления ювелирных изделий

Прежде всего, весь процесс проектирования строился на исследованных объектах: обязательных натуральных зарисовках самого здания и его элементов для будущих стилизаций.

Это помогает выявить характерные черты, доминирующие элементы и динамику форм. В результате поиска идей и эскизирования было создано множество модулей, при комбинации которых создается уникальный образ ювелирных изделий.

Все эскизы созданы на основе Иркутского академического драматического театра им. Н.П. Охлопкова. В процессе поиска эскизного решения была нарисована серия ювелирных изделий (см. рисунок 2), связанных одним стилем и технологией изготовления. Эскизы представляют собой модульные конструкции, комбинация которых многочисленна (см. рисунок 3). Все формы и модули функциональны, могут быть изготовлены как кольца, серьги, браслеты, подвесы, броши.

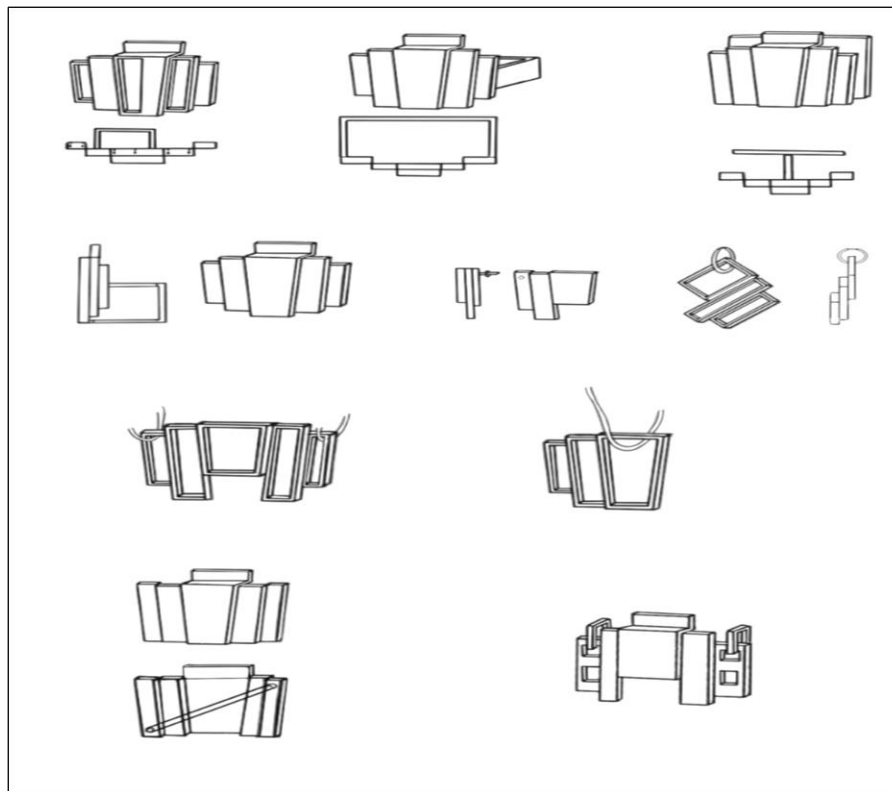
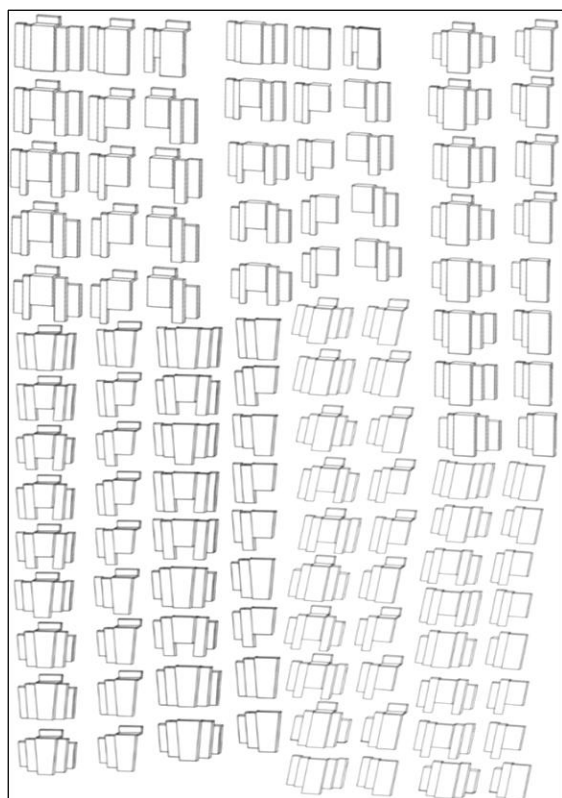
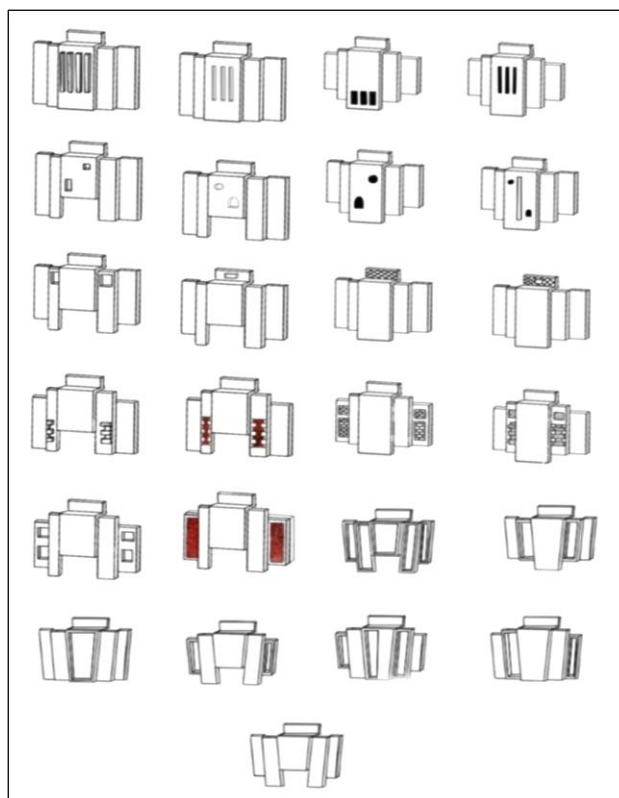


Рисунок 2. Эскизы авторских ювелирных изделий на примере стилизации Иркутского Академического драматического театра

На рисунке 3 а представлены варианты формы изделия в количестве 120 штук. Они имеют прямоугольную и трапециевидную форму. На рисунке 3 б изображены варианты декоративного наполнения формы дабы лучше передать образ Иркутского театра в количестве 25 штук. Предполагается изготавливать путем выпиливания, травления, пайки, также рассмотрен вариант с возможностью применения камня.



а)



б)

Рисунок 3. Модули: *а* – варианты форм; *б* – варианты декоративного наполнения

Библиографический список

- [1] Дулов А.В., Колмаков Ю.П. Белый дом // Памятники истории и культуры Иркутска. — Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1993. — С. 208–214.
- [2] Козлов И.И. Путеводитель по Иркутску. — Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1982. — С. 72–78.
- [3] Ладейщиков А.Ю., Ладейщикова Е.Р. Каменное жилое зодчество XIX — начала XX вв. // Памятники истории и культуры Иркутска. — Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1993. — С. 333–336.
- [4] Полунина Н.М. У истоков каменного града. Иркутск: Восточно-Сибирское книжное издательство, 1979.
- [5] Тобольск и вся Сибирь : альманах. — Иркутск, Тобольск. — №9. — 2007. Под ред. Ю.С. Осипова. Распутин В. Иркутск с нами. — С. 26–29
- [6] Русский драматический театр: Энциклопедия / под общ. ред. М.И. Андреева, Н.Э. Звенигородской, А.В. Мартыновой и др. — М.: Большая Российская энциклопедия, 2013. — 632 с.
- [7] Официальный сайт Иркутского академического драматического театра им. Н.П. Охлопкова. — URL: <https://www.dramteatr.ru/seasons>. (дата обращения 15.03.2024)
- [8] Драматический театр им. Охлопкова. — URL: <https://www.irkutsk.lusya.com/ru/pages/arcstone08.htm> (дата обращения 10.03.2024)
- [9] Устин В.Б. Композиция в дизайне. Методические основы композиционно-художественного формообразования в дизайнерском творчестве: учебное пособие. - 2-е изд., уточненное и доп. / В.Б. Устин. — М.: АСТ: Астрель, 2007. — 239 с.: илл.
- [10] Рисунок: учеб. пособие/ Е.Г Павлова. — Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2008. — 272 с.

СЕКЦИЯ 4. ГОРНОЕ ДЕЛО. МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО, ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ И КАРТОГРАФИЯ

Георадарное зондирование для решения задач геомеханического мониторинга

М.А. Назырова, Д.А.Пожарин, М.Р. Скоробогатько

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

E-mail qwertyhlower3@gmail.com

Аннотация. Описан основной принцип работы интерферометрического радара с синтезированной апертурой (SAR) и радара CHCNAV PS-SAR2000, в частности. Проанализированы данные, полученные с этого радара на пункте мониторинга. Рассмотрены зависимости смещений от времени.

1. Введение

Основной принцип работы интерферометрических радаров заключается в передаче радиоволны (высокочастотной электромагнитной энергии) в направлении изучаемого объекта, после чего происходит регистрация отраженной от него радиоволны. Антенна радара является активным датчиком и излучает импульс в направлении наблюдаемого объекта с частотой 10–17 ГГц. Электромагнитные волны взаимодействуют с наблюдаемым объектом: одна часть поглощается, а другая отражается в сторону радара. Зафиксировав отраженные волны, можно произвести интерферометрический анализ. Он позволяет получить данные о смещении наблюдаемого объекта путем сравнения информации, собранной в разное время, о сдвиге фаз отраженного от объекта сигнала. Величина смещения прямо пропорциональна величине разности фаз. [1]

В России все больше используется наземная интерферометрическая радарная технология для мониторинга состояния откосов и бортов карьеров. Она основана на сканировании обширных зон на безопасном расстоянии от объекта наблюдения в режиме реального времени с высокой точностью даже при плохих погодных условиях. Несмотря на то, что эта технология является относительно новой, она уже успешно применяется для контроля устойчивости бортов карьеров в России и за рубежом [2].

2. Материалы и методы

Данные были получены с помощью интерферометрического радара PS-SAR2000. Это новая радиолокационная система, которая предназначена для мониторинга деформации поверхности бортов карьеров. Ее основа - широкополосная система непрерывного волнового сигнала, дифференциальная интерферометрия и метод получения изображений с помощью круговой синтезированной апертуры. Для перемещения антенны, которая имеет низкий коэффициент усиления на конце рычага, используется вращающийся рычаг, который движется горизонтально по круговой траектории. Затем система синтезирует луч радиочастотного сигнала с высоким разрешением, используя принцип синтезированной апертуры по круговой траектории. Каждая точка, которая измеряется в процессе сканирования и обработки, преобразуется в пиксель. Каждый пиксель является независимой единицей для измерения деформации и ее скорости. Погодные условия практически не влияют на результаты мониторинга.



Рисунок 1. Интерферометрический радар PS-SAR2000

Анализ данных был проведен с помощью ПО GB-SAR. Данное ПО обрабатывает, управляет, отображает и хранит результаты сбора данных с контроллера радара. Программа обеспечивает мониторинг деформации в реальном времени, то есть картирует любую амплитуду сигнала, смещение и скорость смещения. Основные инструменты в ПО – карта деформации (как с привязкой, так и без привязки к 3D модели) и графики деформации, скорости, ускорения по выбранным точкам или зонам.

Анализ позволяет определить наличие тенденции или изменение, которые могут предвещать опасность обрушения. Также данные радаров могут использоваться для отслеживания процессов просадки грунта, где измеряется смещение в направлении от радара [3].

3. Результаты исследования и их анализ

За промежуток, указанный на рисунке, наблюдалось максимальное значение накопленной деформации по направлению к радару, которое составило 58,6 мм. В целом, тренд деформации за этот период был регрессирующим, однако в течение определенного периода был замечен прогрессирующий тренд, что говорит о ускорении деформационного процесса в данной области.

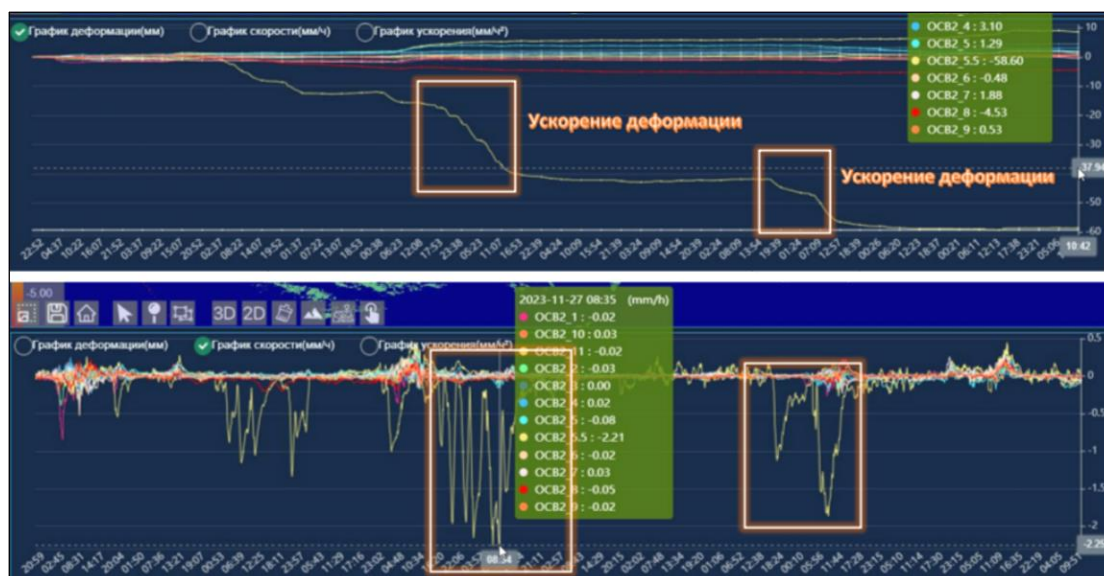


Рисунок 2. Сопоставление графиков деформации и скорости

Тепловая карта в пункте мониторинга в данной зоне показывает, что деформация в основном происходила в направлении от радара, что указывает на просадку грунта. Цветовая гамма карты варьируется от синего (45 мм) к красному (-45 мм). Максимальное значение деформации за заданный период было зарегистрировано во всех точках, кроме Б2_7. Тенденция к деформации оставалась стабильной, за исключением 21 октября, когда наблюдалось небольшое увеличение скорости, составляющее не более 1,17 мм/ч. [4]

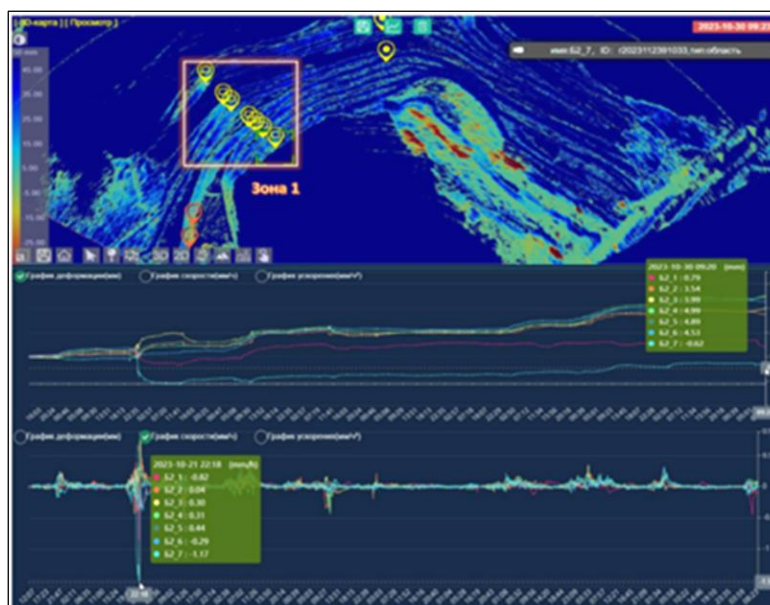


Рисунок 3. Данные с пункта мониторинга. Тепловая карта деформации

4. Обсуждение

Вследствие анализа постоянного мониторинга данных, можно выделить четыре вида графиков деформаций (Рисунок 4).

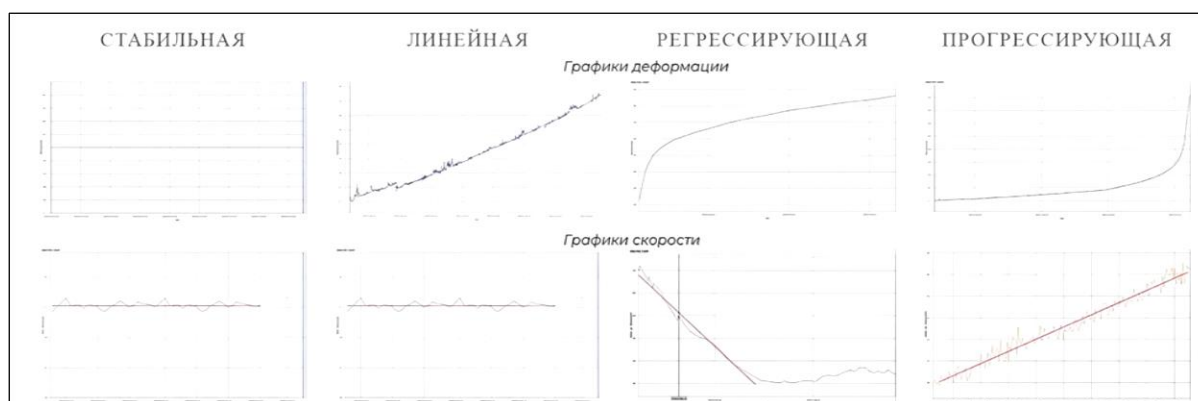


Рисунок 4. Графики деформаций и их скоростей

Таким образом тенденция стабильности на первых графиках означает, что сдвигение на участке отсутствует и причин для беспокойства нет.

Линейная тенденция на вторых графиках означает, что участок сдвигается, но с постоянной скоростью. Хотя признаков обрушения на данном участке нет, очевидно, что он сдвигается, следует продолжать мониторинг, так как сдвигение может ускориться.

Регрессирующая тенденция на третьих графиках означает, что скорость снижается. Часто наблюдается после воздействия внешних факторов, например, после проведения взрывных работ.

Прогрессирующая тенденция на четвертых графиках сигнализирует о том, что поверхность выработки определённо движется, и сдвигение может приобрести критический характер. Если степень нарастания скорости прогрессирует, вероятнее всего, случится обрушение. [3]

5. Заключение

Каждый год количество компаний, использующих интерферометрические наземные радары для мониторинга горных деформаций, увеличивается, что подтверждает целесообразность их применения для геомеханического мониторинга. В данной статье была рассмотрена система мониторинга деформаций с использованием интерферометрического радара PS-SAR2000, а также ПО GB-SAR. В дальнейшей перспективе интерферометрические радары будут находить применение в различных сферах, так как использование данного вида радаров имеет доказанную эффективность.

Библиографический список

- [1] Шаворин В.А. Современные методы наземной интерферометрии при мониторинге прибортовых массивов на открытых горных работах / В.А. Шаворин, А. Е. Кулешов // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2021. – Т. 1. – С. 111-118. – DOI 10.33764/2618-981X-2021-1-111-118.
- [2] Шаворин, В.А. К вопросу об актуальности импортозамещения в сфере гражданского наземного интерферометрического сканирования / В. А. Шаворин // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2023. – Т. 1, № 1. – С. 154-161. – DOI 10.33764/2618-981X-2023-1-1-154-161.
- [3] Геотехнические радары, Geosupport : официальный сайт. – Москва, 2023 -URL: https://drive.google.com/uc?export=download&id=1Fwn8ev-vBbs8eLmJm6_K2NKVsOt4TxMe (дата обращения 10.04.24).
- [4] Гуров, И. П. Анализ методов обработки интерферометрических данных в спектральной оптической когерентной томографии / И. П. Гуров, А. Х. Киракозов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2012. – № 2(78). – С. 21-24.

Зависимость высоты полета на качество аэрофотосъемки квадрокоптера «Phantom 4» при съёмке неглубоких карьеров

Д.А. Кириков, А.М. Калугина, А.И.Тюменцев, В.С.Фёдоров

Центр маркшейдерско-геодезических инноваций, Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Email: qwertyhlower3@gmail.com

Аннотация. технология аэрофотосъёмки активно набирает обороты в горном деле. При съёмке площадных объектов с использованием беспилотных летательных аппаратов стоит учитывать высоту, с которой производится полёт. В статье рассмотрена зависимость ошибок аэрофотоплана от увеличения высоты, а также рассчитана оптимальная высота полёта для съёмки неглубоких карьеров.

1. Введение

В последние годы ведение съёмки объектов с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) получили особое внимание в горном деле и геодезии. Данная методика съёмки позволяет оптимизировать работу инженеров, в частности позволяет производить съёмку объектов быстро и качественно, что, во-первых, снижает время на выполнение работ, а во-вторых, экономит деньги предприятия [1].

С помощью технологии аэрофотосъёмки можно выполнять работы, связанные с: подсчётом объёмов складов, построением топографических планов, проектированием развития горных работ, наблюдением за геомеханическими и геодинамическими изменениями в горном массиве и т.д [2]. При выполнении той или иной работы необходимо учитывать ряд факторов и подбирать оптимальные параметры, которые будут в лучшей мере влиять на конечный результат съёмки.

2. Материалы и методы исследования

Одним из параметров аэрофотосъёмки является высота полёта, от которой зависит качество аэрофотоплана и цифровая модель местности (ЦММ). ЦММ имеет в своей сущности две ошибки: плановую (по осям X и Y) и высотную (H). Далее мы рассмотрим, как изменяются эти ошибки при разной высоте полёта, в конечном итоге необходимо выявить оптимальную высоту полёта для данного объекта исследования.

Объектом исследования стал неглубокий карьер Иркутской области. В процессе аэрофотосъёмки использовался летательный аппарат — квадрокоптер Phantom 4. Технические характеристики квадрокоптера представлены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики Phantom 4

Технические характеристики	Значение
Масса (с аккумулятором и пропеллерами)	1388 г
Максимальная высота полёта	6000 м
Максимальное время полёта	10 м/с
Спутниковые системы позиционирования	Около 30 минут

На точность аэрофотосъёмки кроме высоты полёта влияют и другие факторы, такие как характер рельефа местности, масштаб съёмки, влияние погодных условий, а также степень экранирования поверхности водосборов растительного покрова. Все они в соизмеримой степени воздействуют на результат съёмки [3].

Большое внимание уделяется выбору вида съёмки. Существует три метода съёмки – это плановая, перспективная и маршрутная. Выбор того или иного вида съёмки зависит от объекта и целей, которые мы хотим достичь. Плановая аэрофотосъёмка, позволяет производить фотографирование в вертикальном направлении с отклонением 3° , благодаря этому захватываются большие территории. Плановая применяется при съёмке больших наклонных участков, так как в случае с этим видом, съёмка осуществляется под острым углом к горизонту. Маршрутная, представляет собой вид аэрофотосъёмки, при котором фотографирование производится вдоль определенных направлений [4]. В нашем случае мы использовали плановую и перспективную виды аэрофотосъёмки, аргументируя это тем, что карьер имеет достаточно обширные границы и определённую глубину, поэтому применение в совокупности этих двух методов даст нужный результат. Аэрофотосъёмку будем осуществлять с трёх разных высот: 110, 122 и 141 метров.

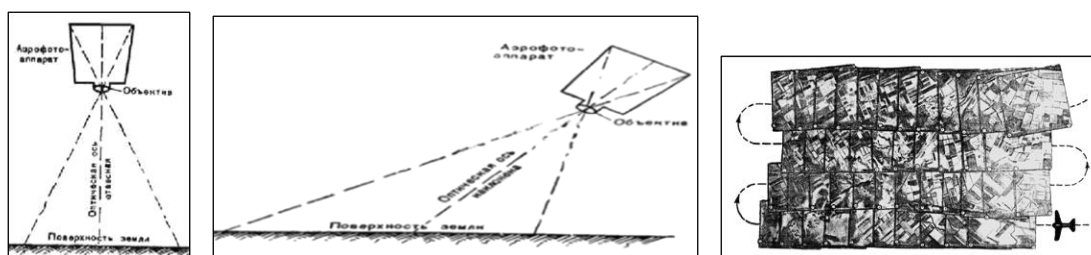


Рисунок 1. Виды аэрофотосъёмки

На квадрокоптере Phantom 4 установлена камера L1D-20с. Её технические характеристики представлены в таблице 2.

Таблица 2

Технические характеристики камеры L1D-20с.

Модель камеры	Разрешение	Фокусное расстояние	Размер пикселя
L1D-20с (10.26mm)	5472 x 3648	10.26 мм	2.41 x 2.41 мкм

После проведения съёмки данные необходимо обработать. Для этого использовалось программное обеспечение ПО Agisoft Metashape. По результатам обработки мы получаем цифровую модель местности (Рисунок 2).

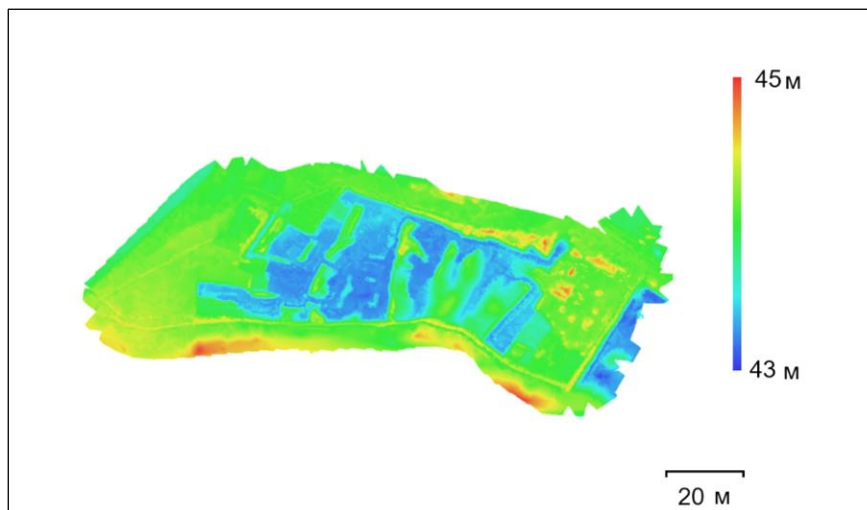


Рисунок 2. Цифровая модель местности

3. Результаты исследования и их обсуждение

Указанное выше программное обеспечение имеет огромный рабочий функционал, одним из которых является автоматический расчёт плановой и высотной ошибок. Зависимость плановой ошибки аэрофотоснимков в проекте от высоты полета БПЛА представлена на рисунке 3.

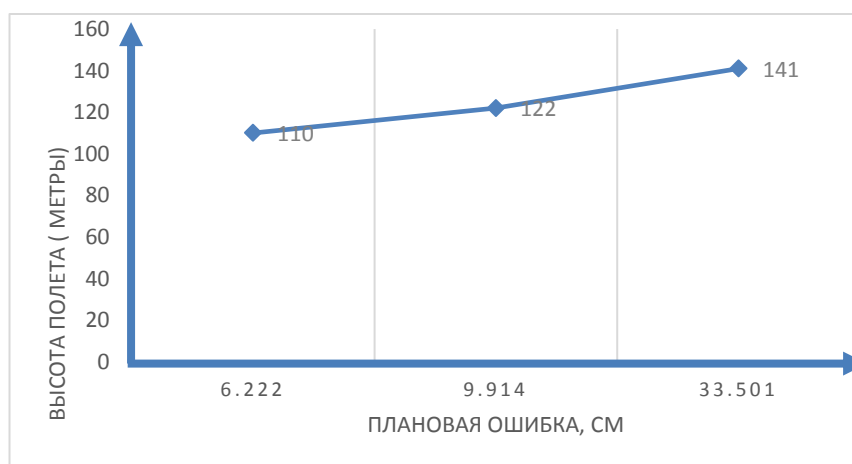


Рисунок 3. График зависимости изменения плановой ошибки от высоты полёта

Изменение высотной ошибки от высоты полёта представлена на рисунке 4.

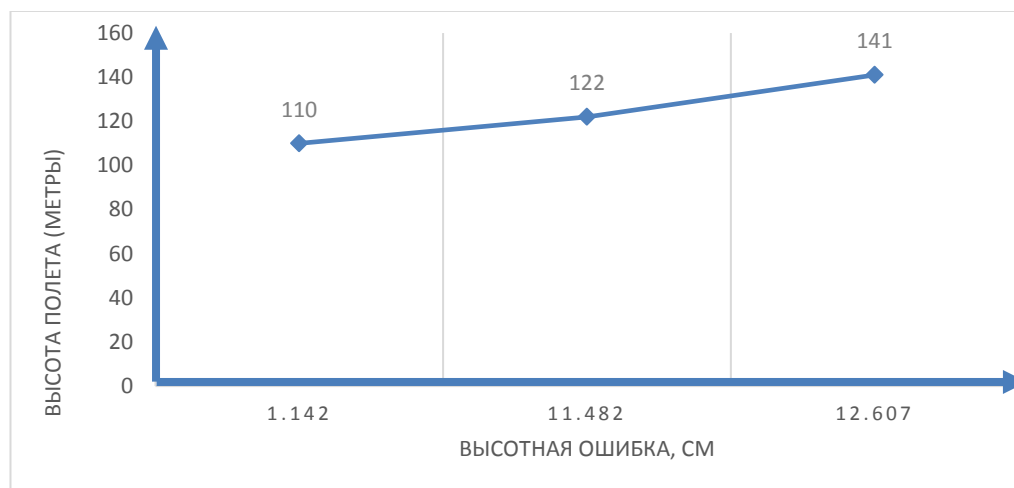


Рисунок 4. График зависимости изменения высотной ошибки от высоты полёта

По графикам видно, что увеличение плановой и высотной ошибок имеет прямую зависимость от высоты полёта. В виду того, что большинство специалистов стремятся как можно быстрее выполнить работу, но при этом не пренебречь точностью полученных результатов, отсюда возникает необходимость определить оптимальную высоту полёта, при которой получится качественный аэрофотоснимок.

Для расчета максимальной высоты полёта воспользуемся формулой [5]:

$$H = \frac{F_r \times l_m \times W \times GSD}{S_w} = \frac{10,26 \times 3078 \times 0,07}{13,2} = 167,47 \text{ м.}$$

4. Заключение

По результатам исследования можно говорить о том, что при съёмке малых карьеров не стоит увеличивать высоту полёта с целью того, чтобы обеспечить быстроту выполнения съёмки, а лучше придерживаться высоты близкой к 167 метрам, именно на этой высоте может получиться качественный результат. Также стоит взять во внимание тот факт, что эти расчёты применимы для камер с технической характеристикой близкой к характеристикам камеры L1D-20с. В случае с камерами другого типа необходимо проводить перерасчёт. Так же рекомендуется перед началом выполнения съёмки произвести предварительный расчёт высоты полета, чтобы минимизировать плановую и высотную ошибки.

Библиографический список

- [1] Смоленцева А.М. Использование беспилотных летательных аппаратов в горном деле / Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet». – № 7 – 2021.
- [2] Кириков Д.А, Фёдоров В.С, Калимуллина Д.И, Охунов Ш.Р. Анализ данных аэрофотосъёмки с беспилотных летательных аппаратов для изучения состояния бортов угольного разреза / Известия Тульского Государственного Университета. Наука о Земле. – № 2. – С. 236-249.
- [3] Аникеева И.А. Факторы, критерия и требования к изобразительному качеству материалов аэрофотосъёмки, получаемые для целей картографирования / Картография и геоинформатика. – № 25(4). – 2020.
- [4] Костюк А.С. Особенности аэрофотосъёмки со сверхлёгких беспилотных летательных аппаратов / Омский научный вестник. – №1. – 2011.
- [5] Аэрофотосъёмка топографическая. Технические требования / ГОСТ Р 59328- 2021.

Исследование методов обратных расстояний

Е.С. Новиков, В.Л. Рупосов

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail: novicor2002@gmail.com

Аннотация. Целью исследования являлся анализ метода обратных расстояний и его использование при ассиметричных радиусах поиска. Были проведены исследования различных вариантов интерполяции методом взвешенных квадратов обратных расстояний. Проанализированы различные поверхности, полученные в результате интерполяции с заданными размерами полуосей эллипса поиска. Анализ проводился по данным опробования на россыпном месторождении золота. По результатам анализа были построены эллипсы анизотропии на основании среднеквадратической ошибки (СКО).

1. Введение

Метод обратных расстояний показывает, что объекты, находящиеся поблизости более подобны друг другу, в отличие от объектов, находящихся в удалении друг от друга. Для интерполяции некоторого значения используют измеренные значения вокруг интерполируемого значения. Значения, находящиеся поблизости, от интерполируемого оказывают большее влияние на прогнозируемое значение, чем значения, которое удалены на большое расстояние.

Метод обратных взвешенных расстояний — это детерминированный алгоритм, в основе которого лежит предположение о том, что значения в ближних точках сильнее оказывают влияние на прогнозируемое значение, нежели значения в точках, которые расположены дальше.

Для вычисления используются формулы:

$$Z_{S0} = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_{Si} \quad (1)$$

Z_{S0} — искомое значение для точки;

n — число опорных точек, находящихся в окрестности искомой точки и используемых в вычислениях;

λ_i — весовой коэффициент;

Z_{Si} — измеренное значение в точке

$$\lambda_i = d_{i0}^{-p} / \sum_{i=1}^n d_{i0}^{-p} \quad (2)$$

d_{i0} — расстояние между искомой точкой и опорной точкой;

p — показатель степени.

Целью исследования являлся анализ метода взвешенных обратных расстояний и его использование при ассиметричных радиусах эллипса поиска. Были проведены исследования различных вариантов интерполяции изучаемого рудного поля методом взвешенных квадратов обратных расстояний. Проанализированы различные поверхности, полученные в результате интерполяции с заданными размерами полуосей эллипса поиска.

Объектом исследования является россыпное месторождение золота в Монголии, которое ранее было отработано (рисунок 1).



Рисунок 1. Россыпное месторождение золота

2. Методы исследования

Для начала обработки данных было взято месторождение россыпного золота, у которого была произведена разведка, по данной карте можно определить номер скважины, абсолютную отметку и мощность пласта.

Для обработки данных сначала нужно выполнить оцифровку данных с карты (Рисунок 1), для этого карта была оцифрована и ее скан импортирован в паpоСАD, где был отмасштабирован для получения координат всех скважин.

После оцифровки данных переходим к интерполяции данных методом обратных расстояний. Подгрузили данные и методом обратных расстояний выполнили интерполяцию абсолютной отметки (рисунок 2).

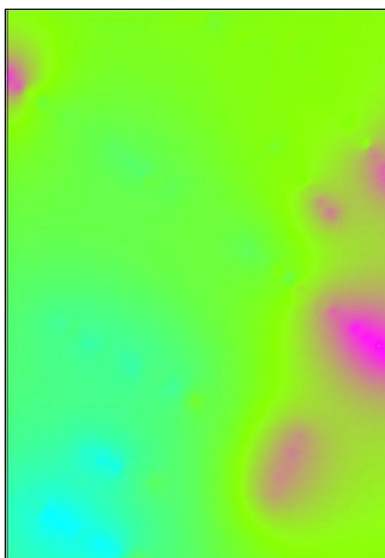


Рисунок 2. Результат интерполяции методом обратных расстояний

Для проверки правильности выполнения интерполяции методом обратных расстояний выполним интерполяцию в программе Surfer (Рисунок 3).

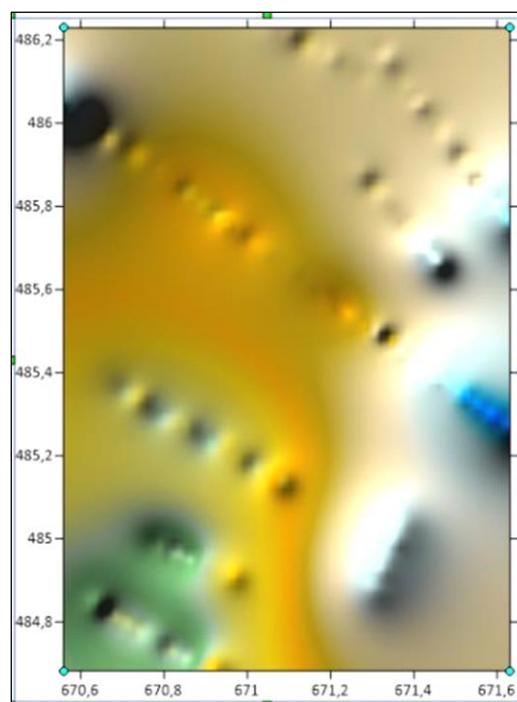


Рисунок 3. Результат выполнения интерполяции в программе Surfer

Далее построим 3D-модель для визуализации полученных результатов (рисунок 4).

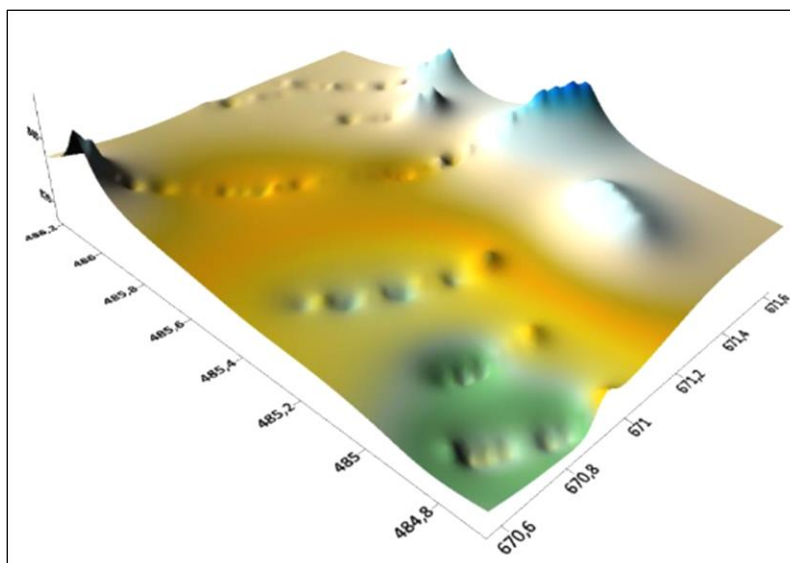


Рисунок 4. 3D-модель месторождения

Анализ заключается в сравнении метода обратных расстояний с разными заданными радиусами при разных углах наклона от 0 до 360 градусов. Далее выполнили интерполяцию методом обратных расстояний с разными заданными радиусами. Для сравнения были взяты эллипсы с радиусами:

- 1) $R=0,6$ км; $r=0,2$ км.
- 2) $R=0,8$ км; $r=0,2$ км.
- 3) $R=0,6$ км; $r=0,1$ км.

Где R -радиус большой полуоси, r - радиус малой полуоси. Угол поворота большой полуоси от 0 до 360 градусов. После выполнения расчетов были построены эллипсы погрешностей (рисунок 5, 6, 7).



Рисунок 5. Эллипс погрешности при $R=0,6$ км; $r=0,2$ км

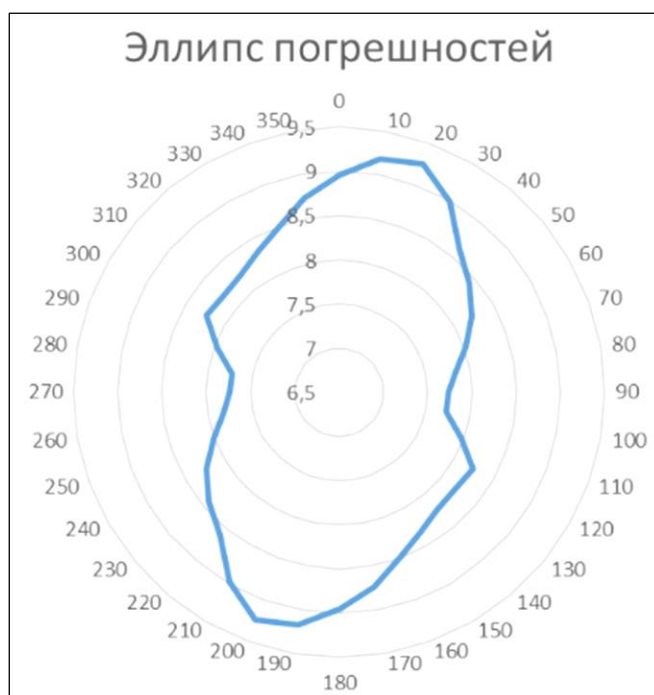


Рисунок 6. Эллипс погрешности $R=0,8$ км; $r=0,2$ км.

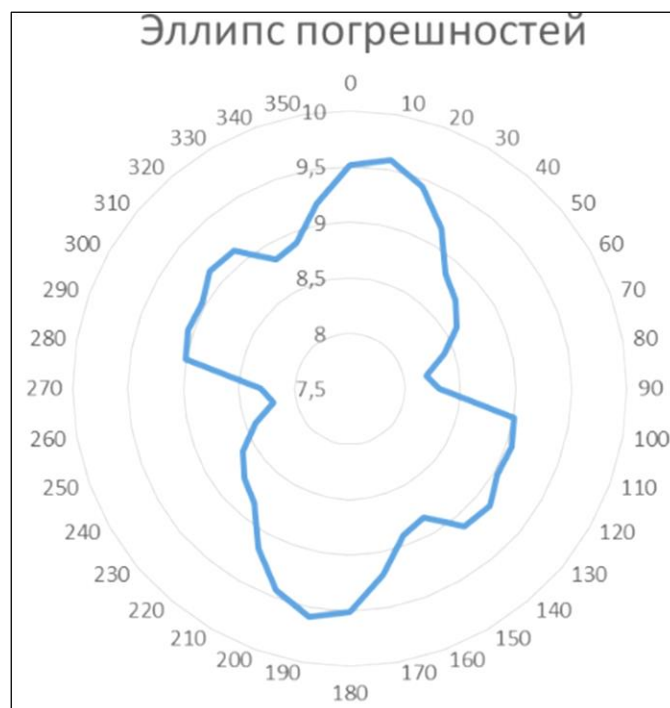


Рисунок 7. Эллипс погрешности при $R=0,6$ км; $r=0,1$ км.

После построения эллипсов погрешности мы можем наблюдать максимум и минимум среднеквадратических ошибок, которые связаны с количеством данных, что попали в область эллипсов. Далее представлены результаты интерполяции с заданными радиусами большой и малой полуоси с углом наклона большей полуоси, где наблюдались максимумы и минимумы среднеквадратических ошибок.

В первом эллипсе с радиусами $R=0,6$ км; $r=0,2$ км наблюдаются две точки максимума и две точки минимума. Максимальное значение СКО при угле наклона 10° (рисунок 8), а минимум при 90° (Рисунок 9).

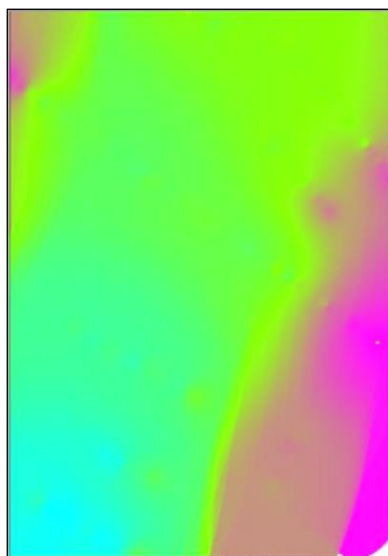


Рисунок 8. Результаты интерполяции при максимальном СКО

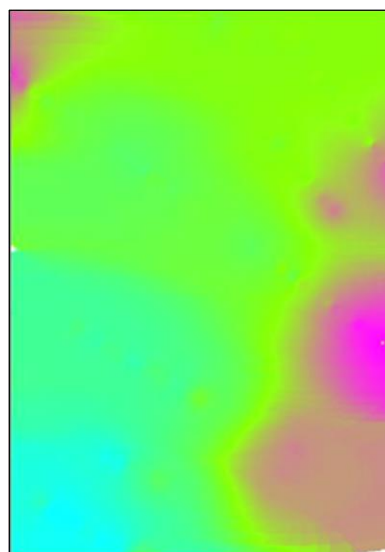


Рисунок 9. Результаты интерполяции при минимальном СКО

Во втором эллипсе с радиусами $R=0,8$ км; $r=0,2$ км наблюдаются две точки максимума и две точки минимума. Максимальное значение СКО при угле наклона 20° (рисунок 10), а минимум при 100° (рисунок 11).

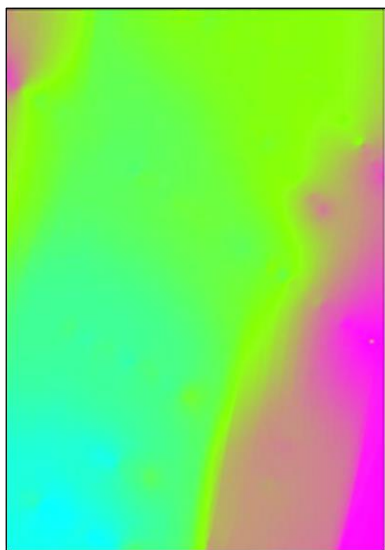


Рисунок 10. Результаты интерполяции при максимальном СКО

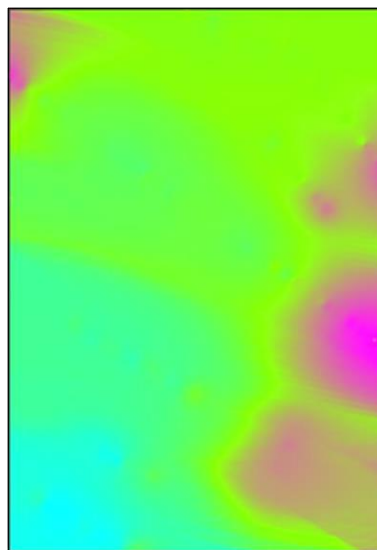


Рисунок 11. Результаты интерполяции при минимальном СКО

В третьем эллипсе с радиусами $R=0,6$ км; $r=0,1$ км наблюдаются две точки максимума и две точки минимума. Максимальное значение СКО при угле наклона 10° (рисунок 12), а минимум при 80° (рисунок 13).

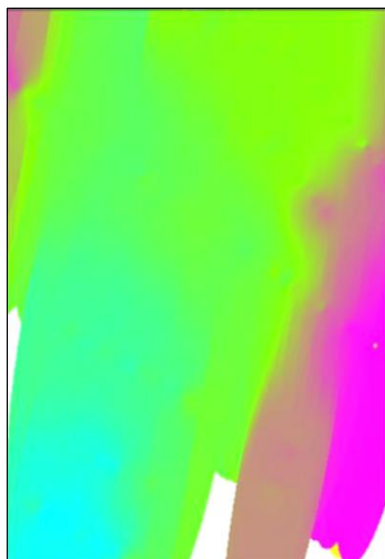


Рисунок 12. Результаты интерполяции при максимальном СКО

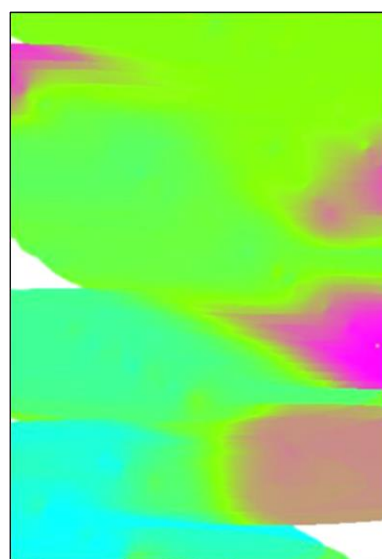


Рисунок 13. Результаты интерполяции при минимальном СКО

Так же стоит обратить внимание на четыре точки в эллипсе при $R=0,6$ км; $r=0,1$ км, при углах наклона 110° , 290° с СКО равным 9,049 (Рисунок 14) и при углах наклона 130° , 310° с СКО равным 9,144 (Рисунок 15), в этих точках также наблюдается большое количество данных, которые попали в область эллипса.

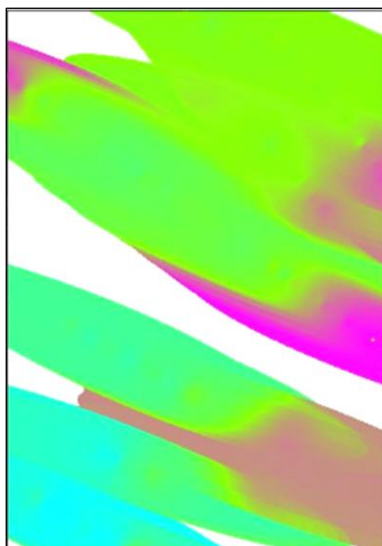


Рисунок 14. Результаты интерполяции при углах наклона 110°, 290° с СКО равным 9,049

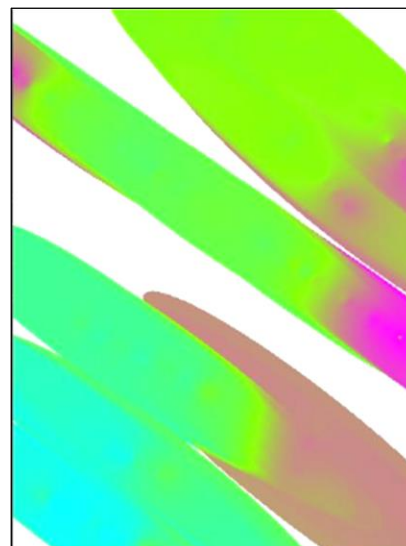


Рисунок 15. Результаты интерполяции при углах наклона 130°, 310° с СКО равным 9,144

Из этого следует, что наиболее рационален эллипс с радиусами $R=0,8$ км; $r=0,2$ км, при этих радиусах выполняется наиболее полная и точная интерполяция. При эллипсе с радиусами $R=0,6$ км; $r=0,1$ км, наблюдается большое количество пустот и неточностей.

3. Заключение

В результате анализа можно предложить использовать метод обратных взвешенных расстояний для определения анизотропии исследуемых пространственных данных на основании расчет среднеквадратической ошибки полученной интерполированной карты. Радиусы полуосей поиска, для данного метода, зависят от исследуемых данных и должны подбираться для каждого исследуемого месторождения.

Библиографический список

- [1] Как работает метод обратных взвешенных расстояний. – URL: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/extensions/geostatistical-analyst/how-inverse-distance-weighted-interpolation-works.htm>
- [2] Inverse distance weighting. – URL: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.072020e7-6618b782-e9f43fa4-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Inverse_distance_weighting?__ya_mt_enable_static_translations=1

Сравнение систем автоматизации с традиционными методами в подземных горных выработках

А.С. Лаптев, Н.А. Найденко, Ш.Р. Охунов

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Email: laptev_alexander_69@mail.ru, nna.tulun@yandex.ru, ochunov-88@mail.ru

Аннотация: В статье представлено сравнение систем автоматизации с традиционными методами в подземных горных выработках. Основной акцент исследования сделан на повышении производительности и обеспечении безопасности работников компаний, добывающих полезные ископаемые в

подземных условиях. Рассмотрены инженерные аспекты горного производства, включая важность маркшейдерского дела для обеспечения точности измерений, необходимой для оптимальной работы горнопромышленных предприятий.

1. Введение

Основной целью компаний, добывающих полезные ископаемые и работающих в подземных условиях, является повышение производительности и обеспечение безопасности сотрудников. Для достижения этих целей необходимо эффективное взаимодействие служб компании и использование современных автоматизированных систем. Особое внимание уделяется инженерным аспектам горного производства, включая маркшейдерское дело, которое должно обеспечивать точность измерений для оптимальной работы горнопромышленных предприятий. Важность точности маркшейдерских измерений существенно влияет на работу горнопромышленных предприятий, ведь маркшейдерская служба – это словно нервная система кипящего предприятия. Недавно многие специалисты изучают новейшие методы проходческих работ, направленные на автоматизацию и повышение эффективности разведки подземных месторождений. Тем не менее, традиционные методы также обладают своими преимуществами. Возникает вопрос, какие методы наиболее оптимальны и эффективны для проведения горных выработок?

Цель исследования

Цель нашего исследования является сравнить инновационные методы, а именно системы автоматизации с традиционными методами в подземных горных выработках, выявить преимущества и недостатки каждого из них, и определить, какие из данных методов являются наиболее эффективными и качественными. Вся работа была разделена на три этапа.

2. Нетрадиционные методы

Благодаря внедрению современного оборудования и программных продуктов, появились различные методы для автоматизации процесса маркшейдерских работ. Одним из таких методов является использование «МАРК-1».

«МАРК-1» – это автономный роботизированный маркшейдерский комплекс, разработанный для автоматизации процессов маркшейдерского наблюдения и контроля в горнодобывающей промышленности. Комплекс представляет из себя подвижную установку, на которой установлены стабилизатор, газоанализатор, лидар, лазерные дальномеры, датчики уровня и скорости, GPS-приемник для определения местоположения объекта, а также специализированное программное обеспечение для анализа и визуализации данных.

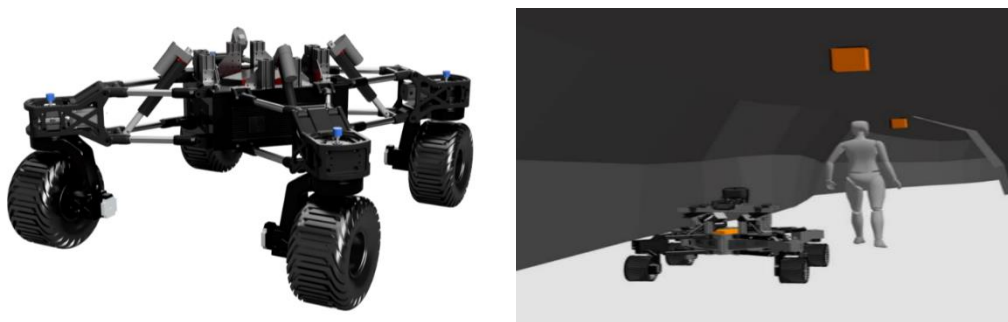


Рисунок 2. Модель робота «МАРК-1»

Основные задачи комплекса «МАРК-1»:

- постоянный мониторинг состояния шахты в режиме реального времени, в том числе обновление меток, модели пространства после каждой буровзрывной работы;
- мониторинг состояния воздуха в шахте после взрывных работ и аварий в дистанционном режиме, без присутствия человека;

К основным преимуществам «МАРК-1» относятся:

- Съемка лидаром на автоматизированной установке будет производиться с более высокой точностью;

- Постоянное обновление модели шахты без присутствия человека;
- Повышение уровня безопасности;

Также стоит выделить недостатки, а именно:

- Комплекс сможет заменять маркшейдера только на 60%, так как есть ограничения из-за необходимости использовать развитую опорную сеть отмеченных твердых точек RFID-метками для съёмки и ориентирования;
- Комплекс находится на стадии MVP и требует дополнительных испытаний.

3. Роботизированные наблюдения

Существуют модели Leica TM60, Trimble R6, FOIR RTS005A(R1000), представляют собой электронные устройства с автоматической системой контроля деформаций различных конструкций и сооружений. Они обладают угловой точностью измерений на уровне 0.5" или 1". Оснащены встроенными пьезоприводами, позволяющими бесшумно вращать прибор со скоростью до 180°/с в течение 24 ч. Модели с индексом I обладают двумя камерами: обзорной и оптической с 30-кратным увеличением и автофокусом. Для мониторинга оператором потребуются блок автоматического наведения, и канал телеметрической связи. Приборы автоматически наводятся на отражатель. Все команды подаются с пульта управления, закрепленного на вехе.



Рисунок 2. Роботизированный тахеометр Leica TM60

Преимущества:

- Высокая точность измерения
- Технология SurePoint для надежного отслеживания призмы
- Широкий диапазон рабочих условий
- Возможность подключения к GNSS-приемнику
- Автоматическое выравнивание
- Быстрое и точное наведение

Недостатки:

- Необходимость регулярного обслуживания и калибровки
- Ограниченный диапазон измерения для безотражательного режима
- Зависимость от погодных условий при работе в режиме безотражательного измерения

4. Традиционные методы

Съемка в шахтных условиях представляет собой особый вид геодезических работ, требующих применения специализированных инструментов и методик измерений. Одним из ключевых инструментов, применяемых при выполнении таких работ, является тахеометр.

Однако работа с тахеометром в шахте имеет свои особенности и требует специальной подготовки оператора, а также применения определенных методов и техник. В качестве примера разберем такую тахеометр «Sokkia iM-105».



Рисунок 3. Тахеометр Sokkia iM-105

Преимущества:

- **точность:** Тахеометры Sokkia известны своей высокой точностью измерений, что особенно важно при работе в ограниченном пространстве шахты.
- **Быстрота:** Современные тахеометры Sokkia обеспечивают быструю съемку и обработку данных, что позволяет сократить время выполнения работ.
- **Удобство использования:** Современные модели тахеометров Sokkia обладают удобным интерфейсом и множеством функций, что облегчает работу оператора в условиях шахты.

Недостатки:

- **необходимость подготовки:** для работы тахеометра требуется установка и калибровка, что может занять время и требовать специальных навыков.
- **Уязвимость оборудования:** Шахтная среда может быть агрессивной для оборудования, поэтому необходимо обеспечить защиту тахеометра от пыли, влаги и других внешних воздействий.
- **Ограниченная видимость:** Измерения могут быть затруднены из-за ограниченной видимости маркеров или отражателей в условиях шахты.

5. Лазерная съемка

Наблюдение в шахтных условиях с применением оператора и лидара — это современный подход, объединяющий преимущества традиционной геодезической съемки и технологии лидарного сканирования. В данном методе оператор проводит съемку с помощью традиционного тахеометра, а также сопровождает работу автономного лидара, который выполняет сканирование окружающей среды.

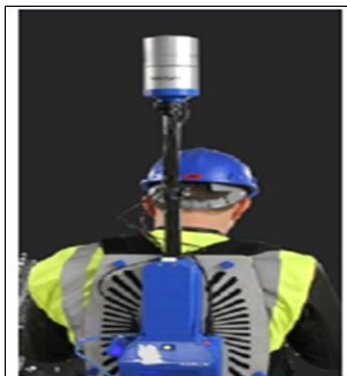


Рисунок 4. Использование лидара сотрудником

Оператор выполняет следующие шаги:

Подготовка к работе. Оператор подготавливает тахеометр и другие инструменты к работе, устанавливает при необходимости дополнительные маркеры или отражатели для обеспечения точности измерений. Также осуществляется настройка и калибровка лидара.

Сопровождение лидара. Параллельно с измерениями тахеометра, оператор сопровождает работу лидара, контролируя его положение и обеспечивая необходимую область покрытия сканирования. Лидар автоматически сканирует окружающую среду, собирая точки данных о поверхности шахты.

Обработка данных. Полученные данные от тахеометра и лидара обрабатываются и объединяются в единую трехмерную модель шахты. Эта модель может использоваться для анализа геометрических характеристик шахты, контроля деформаций или планирования строительства.

Преимущества:

- **Гибкость и адаптивность:** Оператор лидара может быстро реагировать на изменения в окружающей среде и внести коррективы в процесс съемки в реальном времени.
- **Улучшенная точность:** Оператор может использовать свой профессиональный опыт и интуицию для более точного определения местоположения и ориентации лидара, что может улучшить качество получаемых данных.
- **Лучшая оценка качества данных:** Оператор может визуально оценить качество данных во время работы и сделать необходимые коррекции, чтобы улучшить точность и полноту собранных данных.

Недостатки:

- **Ограниченная скорость работы:** Работа с лидаром может быть медленнее, чем автоматическое сканирование, поскольку оператор должен перемещать оборудование вручную и принимать решения в процессе работы.
- **Риск для безопасности оператора:** Работа в шахте всегда связана с определенными опасностями, такими как падающие камни, опасные газы или нестабильные условия, и оператор лидара должен быть особенно внимателен, чтобы избежать потенциальных опасностей.
- **Физические ограничения:** Некоторые области шахты могут быть недоступны для оператора или труднодоступны из-за их размера, формы или других факторов, что может снизить общую эффективность работы лидара.

6. Заключение

Таким образом, внедрение современных методов проходческих работ в маркшейдерии является актуальным и перспективным направлением развития отрасли. Они позволяют улучшить качество и эффективность исследований, повысить безопасность и снизить затраты, что в итоге положительно отразится на всей деятельности предприятия. Важно помнить, что

современные методы не должны полностью вытеснять традиционные, а использоваться в сочетании с ними для достижения оптимальных результатов.

Библиографический список

- [1] Смит Дж. Современные тенденции в автоматизации горных выработок // Журнал «Горная промышленность». – 2020.
- [2] Ли Ч. Инновационные подходы к повышению эффективности горнопромышленного производства // Международная конференция по горному делу. – 2018.
- [3] Браун М. Технологии безопасности в подземных условиях // Горный журнал. – 2019.
- [4] Марс. Робот для маркшейдерских работ и исследований: офиц. сайт. URL: <https://incmisis.ru/marc>
- [5] Бурцев А.В. Инновационные технологии для автоматизации маркшейдерских работ при строительстве подземных сооружений // Научно-технический журнал по геодезии, картографии и навигации Геопрофи. – № 5. – 2011. – С 26-29.
- [6] Мацко Н.А. Опыт и перспективы использования цифровых технологий в добывающих отраслях // Имущественные отношения в Российской Федерации. – 2020. – № 6 (225). – С. 7-13.
- [7] Алтухова Ю.И., Атаманкина А.Ю. Инновации в маркшейдерском деле // Сборник материалов Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспектив Свободный-2016», посвящённой Году образования в Содружестве Независимых Государств. – Красноярск, 2016. – С. 4-8.

Исследование динамичных пространственных данных на примере анализа передвижений городских жителей на такси

Ченгян Мэн, Цзюшенг Ду, В.Л. Рупосов, А.А. Ицков

Хэнаньский политехнический университет, Цзяоцзуо, Китай

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Email exchangestudent00@gmail.com , ruposov@istu.edu

Аннотация. В данной статье представлен алгоритм кластеризации слиянием, повышающий точность кластеризации данных траекторий. Данный подход объединяет алгоритм пространственной кластеризации приложений с шумом на основе иерархической плотности (HDBSCAN), модифицированный с учетом временных факторов, с анализом плотности ядра. Возможность значительно снизить влияние шума при анализе плотности ядра.

1. Введение

Пространственные данные, окружающие жизнь человека, могут быть связаны с различными аспектами, включая городскую инфраструктуру, транспортные сети, земельные участки, архитектурные объекты и другие. Эти данные не всегда имеют прямую связь с природными ресурсами, но их анализ является важным инструментом как для геодезии, так и для картографии. Использование классических методов анализа данных позволяет лучше понимать и визуализировать пространственную информацию, что в свою очередь помогает принимать более обоснованные решения в области географии, городского планирования, сельского хозяйства, транспорта и других смежных отраслях.

2. Материалы и методы

Как показано на рисунке 1, в исследовании представлен четырехэтапный процесс анализа моделей поездок жителей и «горячих точек» с использованием данных о траекториях движения такси. Первый этап посвящен предварительной обработке данных, включая

удаление значений по умолчанию, дубликатов, избыточных значений, шума и выбросов. На втором этапе проводится анализ временных характеристик, сегментирование данных на большие и меньшие временные интервалы для выделения точек отправления и назначения (OD) и определения временных характеристик поездок жителей. На третьем этапе проводится кластерный анализ на основе плотности (с использованием алгоритма HDBSCAN) и ядерный анализ плотности (с использованием метода, основанного на функции Гаусса) для выбранных точек OD такси, чтобы определить области высокой активности поездок. На заключительном этапе мы углубляемся в эти «горячие точки», выполняя такие задачи, как сопоставление дорожной сети, выявление "горячих точек" и визуализация для определения путей "горячих точек".

3. Результаты исследования и их анализ

3.1 Предварительная обработка траекторных данных

(1) Удаление значений по умолчанию и дубликатов: В таблице 1 показаны данные по умолчанию (первая строка) и типичные дубликаты записей (вторая и третья строки). Кроме того, отсутствие данных в каком-либо столбце может быть названо значением по умолчанию.

Таблица 1

Основные и дублированные данные

id	широта	долгота	статус	время
5912	30.631813	104.030495	Null	2014/8/3 21:51:07
6313	30.631852	104.035066	1	2014/8/3 22:58:45
6313	30.631852	104.035066	1	2014/8/3 22:58:45

(2) Удаление избыточных значений: Данные о траектории часто накапливают избыточные значения, когда такси останавливается на заправках, в магазинах, на светофорах или в пробках (как показано в таблице 2).

Таблица 2

Ограничения скорости на дорогах

Типы дорог	Средняя скорость
Внутригородские дороги	40-50 км/ч
Платные внутригородские дороги	60 км/ч
Жилые районы	30 км/ч
Дворы	20 км/ч

(3) Устранение шумовых точек: Шумовые точки, обычно возникающие в результате аномалий сигналов терминала сбора такси, отказов оборудования или необычного поведения водителя, заметно отклоняются от нормальной траектории. Эти точки идентифицируются и удаляются, как показано на рисунке 1.

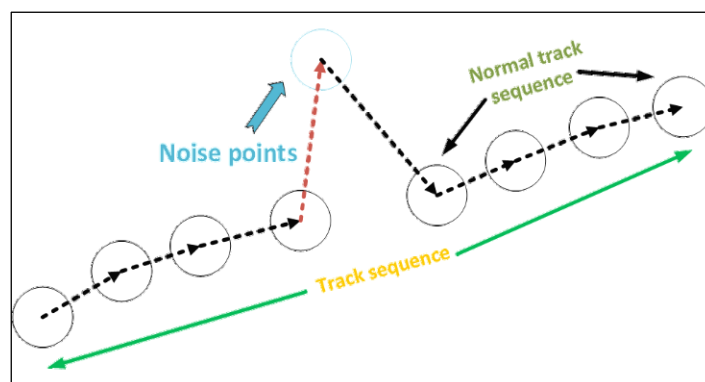


Рисунок 1. Схематическая диаграмма шумовых точек

3.2 Извлечение и визуализация точек посадки и высадки пассажиров

Процесс посадки и высадки пассажиров, показанный на рисунке 2, включает в себя:

Такси начинает свою работу с начальным статусом 0.

Такси забирает пассажира А, изменяя свой статус на 1, отмечая начальную точку О1.

Проехав некоторое расстояние, пассажир А высаживается, и статус возвращается к 0, обозначая конечную точку D1.

Проехав определенное расстояние, такси забирает пассажира В, меняя статус на 1, обозначая другую начальную точку O2.

Достигнув места назначения, пассажир В высаживается, и статус возвращается к 0, обозначая конечную точку D2.

Этот процесс повторяется в течение всего рабочего дня такси.

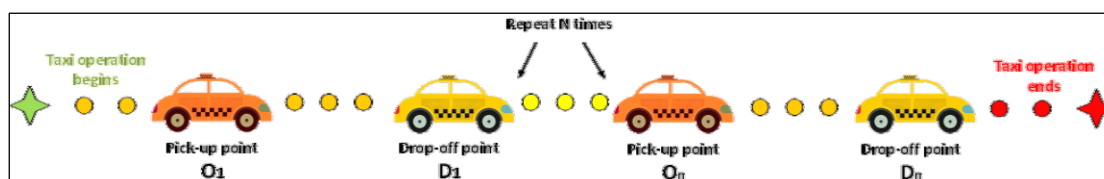


Рисунок 2. Схема работы такси

Все точки OD вместе образуют полную траекторию движения такси, которая точно фиксирует информацию о поездках всех пассажиров в городе за день. Эти точки OD в траекторных данных программно разделяются, сохраняются и визуализируются, как показано на рисунке 3:

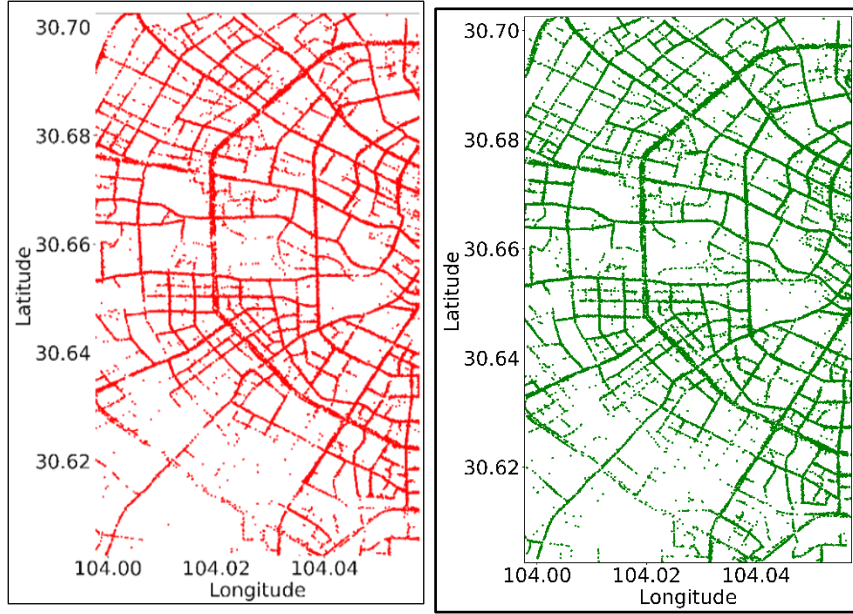


Рисунок 3. Визуализация точек OD. Точки посадки (слева); Точки высадки (справа)

3.3 Согласование дорожной сети

Для сопоставления дорожной сети используется скрытая марковская модель. Процесс включает в себя:

(1) Вычисление вероятностей перехода: Этот шаг включает в себя вычисление вероятностей перехода между точками траектории такси и несколькими путями-кандидатами на карте.

$$Pr(rss_{t,j}|path_{t-1,i}) = e^{-|Dist(prj_t, prj_j) - Dist(P_{last}, P_{frist})|} \quad (1)$$

где P_{frist} представляет собой первую запись точки пути, P_{last} представляет собой запись последней точки пути, prj_t представляет собой точку проекции данных траектории на траекторию карты, $Dist(prj_t, prj_j)$ представляет собой кратчайшее расстояние между точками проекции prj_t and prj_j на дорожной сети, и $Dist(P_{last}, P_{frist})$ представляет собой евклидово расстояние между начальной точкой траектории и конечной точкой траектории определенного пути.

(2) Расчет вероятности наблюдения: здесь определяется вероятность наблюдения между точками траектории такси и несколькими соответствующими путями.

$$Pr(traj_t|rss_{t,j}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{Dist(traj_t, rss_{t,j})}{\sigma_z}\right)^2} \quad (2)$$

где $Dist(traj_t, rss_{t,j})$ расстояние между точкой траектории и соответствующей точкой пути, и σ_z стандартное отклонение расстояния между точкой траектории и соответствующей траекторией.

(3) Совпадение с максимальной вероятностью: на этом этапе вычисляется максимальная вероятность совмещения точек траектории движения такси с маршрутами на карте.

$$\prod_{t=1}^m Pr(traj_t|path_{t,j}) * \prod_{t=2}^m Pr(path_{t,j}|path_{t-1,i}) \quad (3)$$

где $traj_t$ представляет собой различные сегменты траектории, $path_t$ представляет собой путь-кандидат, $Pr(traj_t|path_{t,j})$ представляет собой вероятность наблюдения между

траекторией такси и траекторией карты, $Pr(path_{t,j}|path_{t-1,i})$ представляет собой вероятность перехода между соседними точками траектории такси и маршрутами карты. Концепция, лежащая в основе этой формулы, показана на рисунке 4:

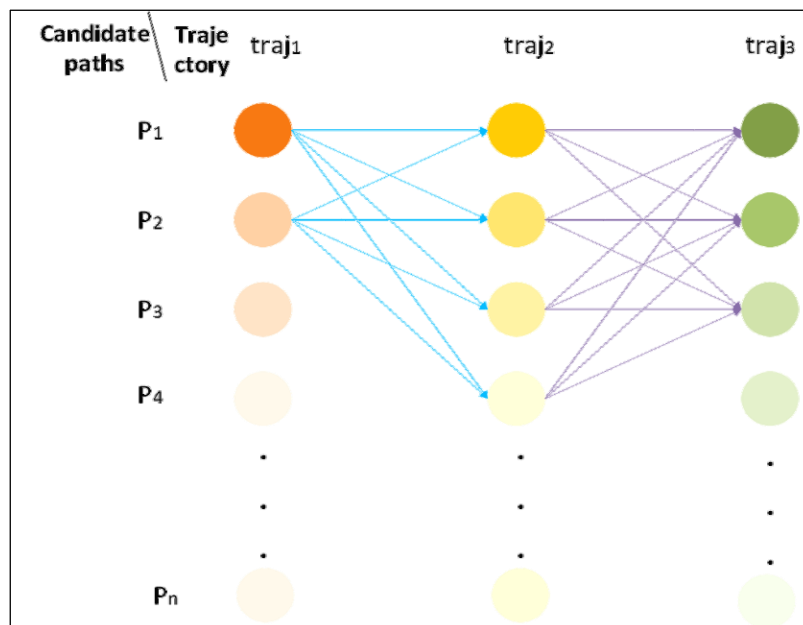


Рисунок 4. Схема согласования траекторий

3.4 Кластерный анализ алгоритма HDBSCAN

Алгоритм HDBSCAN, являющийся усовершенствованием алгоритма DBSCAN, отлично справляется с кластеризацией в областях с различной плотностью. Чтобы продемонстрировать эффективность, часть данных траектории подвергается кластеризации с помощью DBSCAN и HDBSCAN для сравнения (рисунок 5).

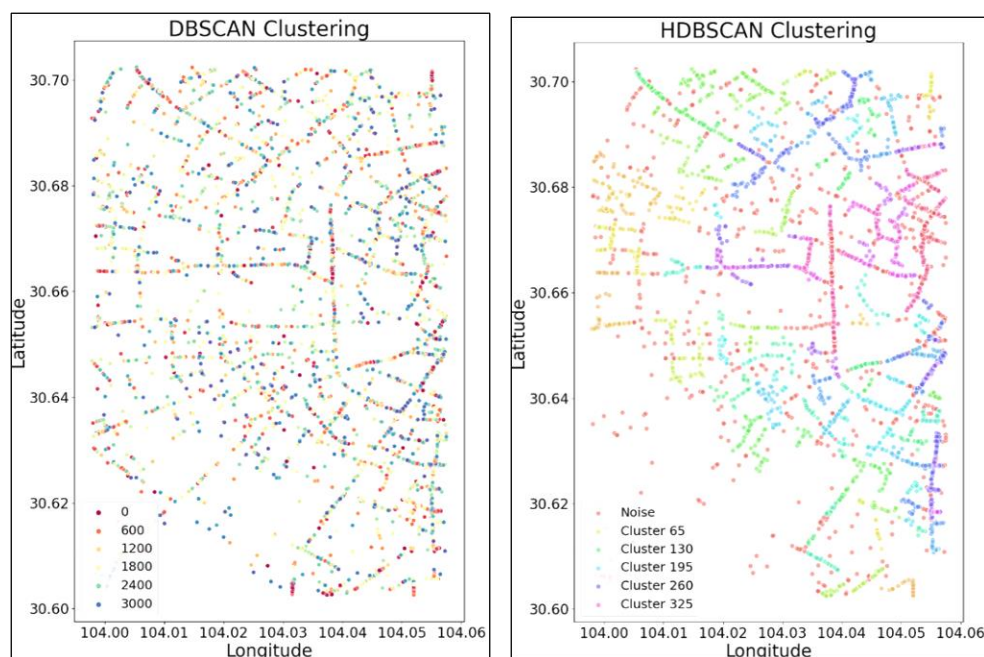


Рисунок 5. Сравнение различных результатов агрегирования. кластеризация DBSCAN (слева); кластеризация HDBSCAN (справа).

Доля обнаружения шумовых точек при использовании этих двух методов кластеризации составляет 15,85% и 7,31% соответственно. Это сравнение подчеркивает превосходные возможности алгоритма HDBSCAN по подавлению шума.

4. Заключение

Данное исследование основывается на обширных данных о траекториях движения такси и использует различные методы анализа, включая математическую статистику, алгоритм кластеризации HDBSCAN, анализ плотности ядра и скрытую марковскую модель сопоставления дорог. Исследование начинается с двух измерений: времени и пространства, изучает поведение жителей в разные периоды времени и в разных географических районах, а также выделяет ключевые "горячие точки" и предпочтительные маршруты жителей в исследуемом районе.

Библиографический список

- [1] Sun J., Dong H., Qin G., Tian, Y. Quantifying the Impact of Rainfall on Taxi Hailing and Operation. *Journal of Advanced Transportation*. 2020. 7081628.
- [2] Wang H., Huang H., Ni X., Zeng W. Revealing Spatial-Temporal Characteristics and Patterns of Urban Travel: A Large-Scale Analysis and Visualization Study with Taxi GPS Data. In *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2019. Vol. 8.
- [3] He Q., Li X., Li A. Traffic intersection flow prediction model based on graph convolutional network. *Computer Application Research*. 2023. Vol. 40. P. 440-444.
- [4] Zheng Z., Rasouli S., Timmermans H. Modeling taxi driver anticipatory behavior. *Computers, Environment and Urban Systems*. 2018. Vol. 69. P. 133-141.
- [5] Safikhani A., Kamga C., Mudigonda S., Faghieh S.S., Moghimi B. Spatio-temporal Modeling of Yellow Taxi Demands in New York City Using Generalized STAR Models. *International Journal of Forecasting*. 2017.
- [6] Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G. ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2012. 25. P. 1-9.
- [7] Xu J., Rahmatizadeh R., Bölöni L., Turgut D. Real-Time Prediction of Taxi Demand Using Recurrent Neural Networks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2018. 19. P. 2572-2581.
- [8] Ma S., Zhang J., Chen X., Liao G. Identification of Urban Functional Zones Using Taxi Temporal Data. *Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition)*. 2023.
- [9] Luo Y. Analysis of Urban Residents' Spatio-Temporal Characteristics of Travel Based on Chongqing Taxi Trajectory Data. *Jiangxi Science*. 2023. 41. P. 895-901.
- [10] Yu Q., Wang Z., Song Y., Shen X., Zhang H. Potential and flexibility analysis of electric taxi fleets V2G system based on trajectory data and agent-based modeling. *Applied Energy*. 2024. 355. 122323.
- [11] Du J., Meng C., Liu X. Analysis of Urban Residents' Travelling Characteristics and Hotspots Based on Taxi Trajectory Data. *Appl. Sci*. 2024. 14. 1279.

Модели вариограмм на основе периодических функций

В.Л. Рупосов, Е.В. Рупосова

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

E-mail ruposov@istu.edu

Аннотация. Проведен анализ различных моделей вариограмм на основании гармонических и периодических математических функций. Проведена корректировка моделей вариограмм для использования на экспериментальных и

сглаженных вариограммах. Апробация моделей произведена на примере россыпного золоторудного месторождения

1. Введение

Для описания пространственного изменения геологического показателя используется методика поиска квадратов значений, смещенных на определенный шаг в пространстве. Результаты расчета таких показателей обычно визуализируются в виде вариограмм, которые позволяют оценить пространственную изменчивость дисперсии. Такие вариограммы могут быть экспериментальными, то есть построенными по всем наборам пар точек и представлять из себя вариограммное облако. Для использования в различных геостатистических вычислениях само облако точек вариограммы затруднительно применять, поэтому используют модели вариограмм. Данное исследование направлено на проведение анализа существующих моделей вариограмм, основанных на периодических математических функциях.

2. Материалы и методы

В исследовании применены материалы по опробованию россыпного месторождения золота в Монголии, месторождение в основном было отработано в прошлом веке. Для построения вариограммного облака и анализа моделей вариограмм использовалась программа для ЭВМ, написанная автором.

3. Результаты исследования и их анализ

По ранее полученным данным опробования россыпного месторождения золота строилось вариограммное облако. Вариограммное облако может быть сглажено и приведено к классической вариограмме, как было показано в предыдущих исследованиях [1]. Для всех этих случаев необходимо подбирать модели вариограмм. В литературе встречается большое количество моделей вариограмм, наиболее известными являются: сферическая, экспоненциальная, гауссова, кубическая, степенная модель [2]. В данном исследовании был проведен анализ моделей вариограмм на основе периодических и гармонических математических функций. Наиболее часто в литературе встречаются следующие подобные модели: периодическая модель (hole effect), основная синусоидальная модель, затухающая периодическая модель (dampened Hole effect model), двухмерная модель скважинного эффекта.

Проведем исследование периодической модели (hole effect). Классической формулой является следующая:

$$\gamma(h) = 1 - \cos((2\pi h)/a) \quad (1)$$

где $\gamma(h)$ – полувариограмма, h – шаг полувариограммы, a — период периодической структуры, эквивалентный радиусу корреляции.

Эта модель (рисунок 4.16) используется для периодических структур. Периодическая модель работает только в одном направлении. Для использования на экспериментальной вариограмме проведем преобразование формулы (1) в следующий вид:

$$\gamma(h) = C_0 + C(1 - \cos((2\pi h)/a))$$

Используя данную функцию, построим вариограмму для участка россыпного месторождения золота, по содержанию в мг/м³. Результаты для разных параметров порога и радиуса корреляции представлены на рисунке 1. На рисунках для сравнения представлен красным цветом полином 3 порядка, вертикальная ось является полувариограммой $\gamma(h)$, горизонтальная ось — это шаг h .

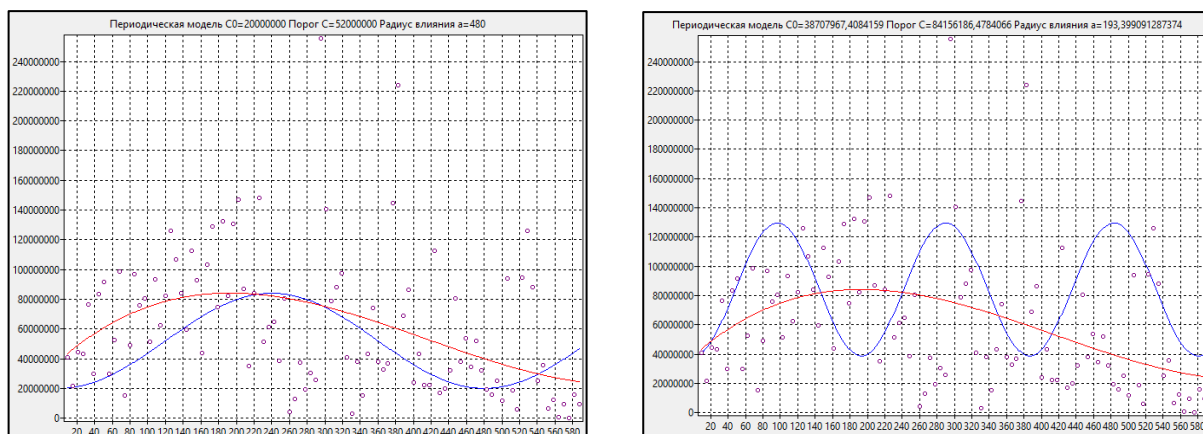


Рисунок 1. Периодическая модель вариограммы (синим цветом) для различных параметров

Следующей рассмотренной моделью является затухающая периодическая модель (dampened Hole effect model), представленная формулой 2.

$$\gamma(h)=1-\exp(-h/a)\cos((2\pi h)/a) \quad (2)$$

Данная модель представляет собой произведение экспоненциальной модели ковариации и периодической функции. Для использования с экспериментальной вариограммой также преобразуем формулу 2.

$$\gamma(h)=C_0+C(1-\exp(-h/a)\cos((2\pi h)/a))$$

Исследователи считают, что затухающая периодическая структура встречается чаще, чем чисто периодическая [2]. На основании данных опробования были построены вариограммы с различными параметрами модели (см. рисунок 2).

В литературе встречается так называемая основная синусоидальная модель. Данная модель одна из редких моделей со скважинным эффектом в трехмерном пространстве. Она соответствует очень непрерывным структурам, выражена уравнением 3, которое можно использовать для экспериментальной вариограммы.

$$\gamma(h)=C_0+C(1-\sin(r)/|r|) \quad (3),$$

где показатель $r=h/a$.

Использование данной модели на данных реального россыпного месторождения представлено на рисунке 3.

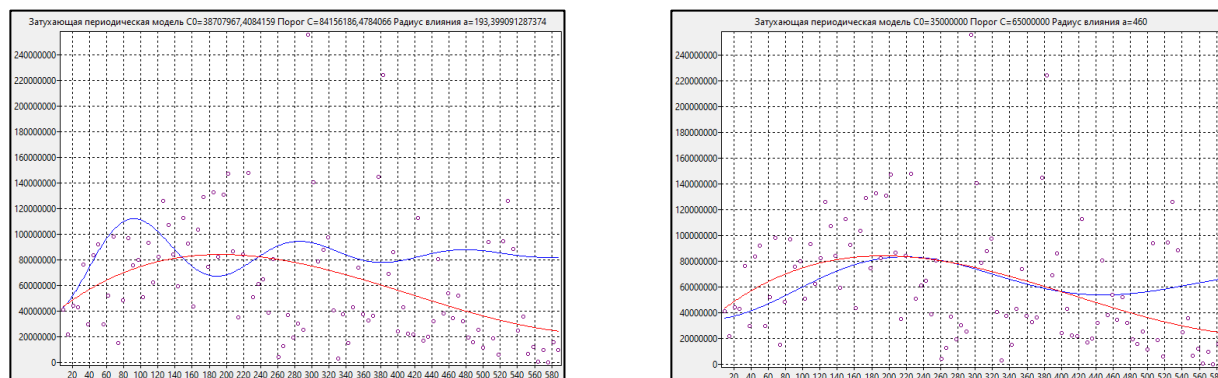


Рисунок 2. Затухающая периодическая модель вариограммы (синим цветом) для различных параметров

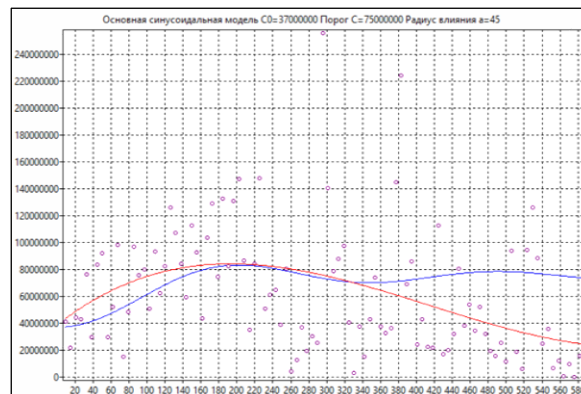
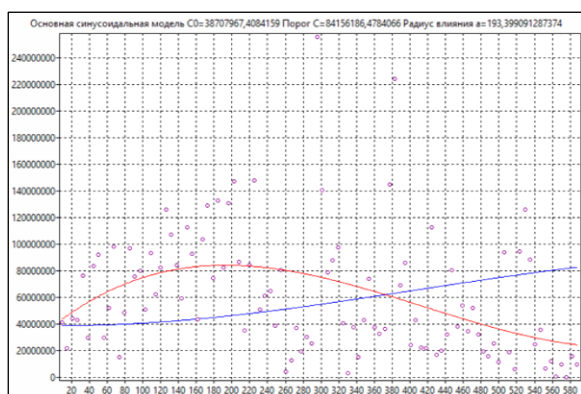


Рисунок 3. Основная синусоидальная модель вариограммы (синим цветом) для различных параметров

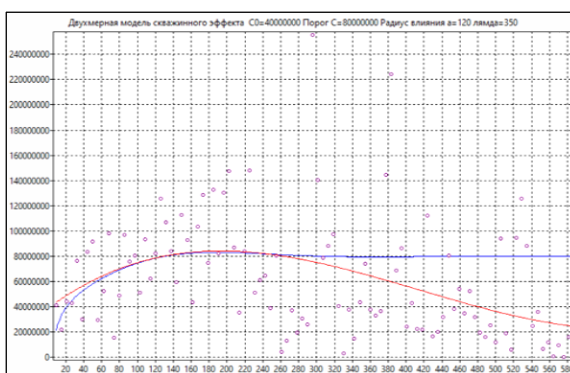
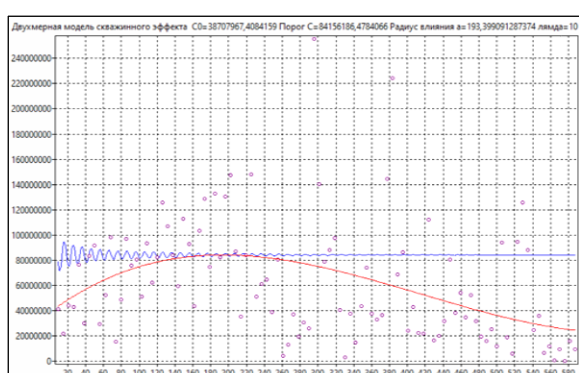


Рисунок 4. Двухмерная модель скважинного эффекта вариограммы (синим цветом) для различных параметров.

Двухмерная модель скважинного эффекта представлена формулой 4.

$$\gamma(h) = C_0 + C(1 - \exp(-|r|))J_0(2\pi r_2), \quad (4)$$

где $r=h/a$, $r_2= h/\lambda$, λ – контролирует значительность эффекта. J_0 – функция Бесселя. Функцию Бесселя можно использовать на основе асимптотики представленной формулой 5.

$$J_0(x) \approx \sqrt{2/\pi x} \cos(x-\pi/4) \quad (5)$$

Результат построения модели скважинного эффекта на месторождении россыпного золота представлен на рисунке 4.

4. Обсуждение

Оценка эффективности применения той или иной периодической модели вариограммы проходила на основании расчета среднеквадратического отклонения точек экспериментальной вариограммы от линии модели. В результате самое низкое стандартное отклонение, для данной вариограммы россыпного месторождения золота, получилось у затухающей периодической модели (dampened Hole effect model). При этом нужно помнить, что самый низкий показатель был получен по полиному третьего порядка. Наиболее высокий показатель у двухмерной модели скважинного эффекта.

5. Заключение

В результате исследования были сделаны выводы, что использование периодических и гармонических моделей вариограммы возможно и даже применимо для сложных месторождений, которыми являются месторождения россыпного золота. Эффективность использования таких моделей может зависеть от большего числа параметров, чем у классических, что повышает сложность подбора модели.

Библиографический список

- [1] Ruposov, V.L. Using experimental variograms for analyzing survey data during construction / Ruposov, V.L., Gavrilenko, V.V., Litonin, V.A.// AIP Conference Proceedings, 2022.
- [2] Геостатистика: теория и практика / В. В. Демьянов, Е. А. Савельева ; под ред. Р. В. Арутюняна; Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики РАН. — М. : Наука, 2010. — 327 с.
- [3] Армстронг М. Основы линейной геостатистики / Издание: Фонтанебло, 1998 г., 148 стр.

СЕКЦИЯ 5. ГОРНОЕ ДЕЛО. РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Совершенствование конструкции породоразрушающего инструмента для бурения скважин, сложенных угольными пластами

Е.В. Кускаева, М.С. Попова

Сибирский Федеральный Университет, Красноярск, Россия

E-mail elizavetakuskaeva.1@gmail.com

Аннотация. Рассмотрены осложнения, возникающие в процессе бурения и отбора проб каменного угля и известные методы их устранения. Представлены варианты усовершенствованных конструкций промывочной части породоразрушающего инструмента и обоснована их теоретическая эффективность при бурении и отборе кернового материала.

1. Введение

Каменный уголь – это полезное ископаемое, которое образуется вследствие длительного метаморфизма растительных остатков. Уголь является легкоразмываемым и легкоистирающимся, мягким полезным ископаемым. При бурении угольных разрезов наибольшее отрицательное воздействие на разрушение породы и ее сохранность оказывает геологический фактор. Осложняет процесс необходимость сохранности выбуренной породы в естественном состоянии и получения высокого процента выхода керна. 100% выход керна позволяет с полной достоверностью изучить горные породы, пересеченные скважиной, и определить запасы полезного ископаемого с наибольшей достоверностью. Достигается сохранность выбуренной легкоразрушаемой и легкоразмываемой породы в естественном состоянии за счет сведения к минимуму контакта пробы с промывочной жидкостью в призабойной зоне.

Имеется несколько путей решения задачи защиты керна от потока промывочной жидкости. Известны конструкции двойных колонковых снарядов, например таких, как «Донбасс НИЛ», за счет которых угольные пакки пластов сложного строения разрушаются путём их штампования не вращающейся внутренней керноприёмной трубой с коронкой, а прослои твердых пород разрушаются за счет вращения наружной трубы. Переход от одного способа бурения на другой осуществляется фрикционным механизмом или пружиной (в зависимости от модификации ДКС) изменением осевой нагрузки на снаряд. Недостатком способа бурения с использованием ДКС «Донбасс НИЛ» является отсутствие возможности быстро и оперативно извлекать керн из скважины из-за затрат времени на спускоподъемные операции, что ведет к снижению производительности всего процесса бурения.

Рациональным решением является использование снаряда со съёмным керноприемником с применением коронок, конструкция которых предполагает наличие промывочных каналов внутри корпуса, через которые подается промывочный раствор к забою, предохраняя керн от размывания [1]. Однако, в процессе бурения с использованием коронки данной конструкции возникают осложнения в виде засорения каналов.

2. Материалы и методы

Объектом исследования послужила конструкция серийно-выпускаемой коронки EPIROC с торцевой промывкой (Рисунок 1, б). Конструкция промывочной системы с торцевой

промывкой предполагает наличие последовательно связанных между собой каналов различного диаметра.

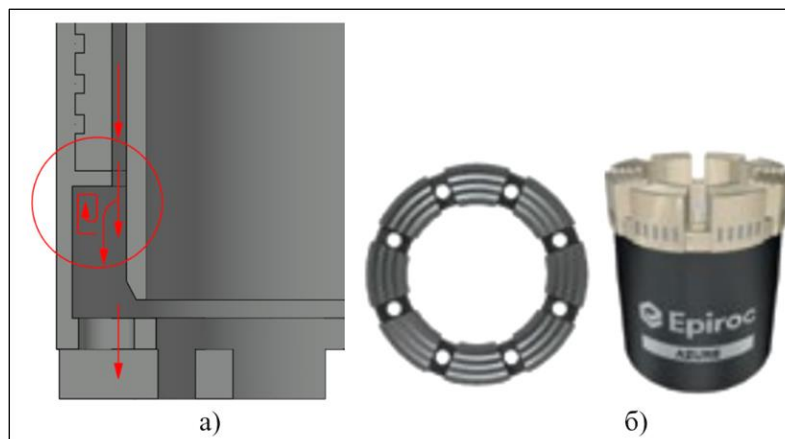


Рисунок 3. Конструкция помывочной системы серийно-выпускаемой коронки с торцевой промывкой

Такие конструктивные особенности внутренней части коронки ведут к возникновению застойной зоны 1 (рис.1, а), в которой жидкость находится в состоянии медленного циркуляционного движения, не участвуя в главном движении потока, способствуя ухудшению промывания каналов вследствие потери напора жидкости. Данный вид движения создает повышение местных сопротивлений, вызывает значительные потери энергии струи, т. к. в нем происходят отрыв потока и вихреобразования. При этом потери энергии тем больше, чем больше угол «колена», омываемого жидкостью. Так как поток между рассматриваемыми сечениями расширяется, то скорость его уменьшается, а давление возрастает [2]. Местные потери напора на расширение потока при этом можно определить по формуле 1:

$$h_{\text{рас}} = \varepsilon^2 \cdot \frac{v_1^2}{2g} \quad [1]$$

где $\varepsilon = (1 - \frac{S_1}{S_2})$ — коэффициент потерь энергии потока; S_1 и S_2 — площадь поперечного сечения промывочных каналов; v_1 — скорость течения жидкости.

3. Результаты исследования

Результаты исследования показали, что для обеспечения оптимальных параметров напора и скорости потока промывочной жидкости с целью предотвращения засорения фронтальных промывочных каналов необходимо использовать коронку с усовершенствованной конструкцией промывочной системы. Усовершенствованные конструкции предполагают наличие наплавов 1 различной формы сечения во внутренней части ПРИ, установленные с целью стабилизации течения жидкости в узких промывочных каналах системы коронки, торцевые каналы 2 и разрушающую часть 3.

Для стабилизации напора и сохранения скорости потока при попадании его в зону коронки, необходимо предотвратить внезапное увеличение сечения и скруглить омываемые жидкостью внутренние элементы промывочной системы. Для устранения выявленного недостатка предложены конструкции промывочной системы, приведенные на рисунке 2.

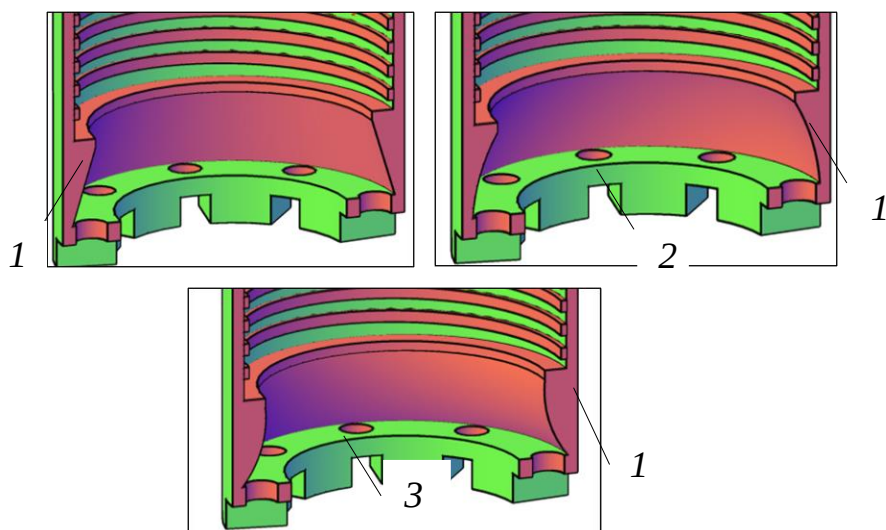


Рисунок 2. Усовершенствованные конструкции промывочной системы

Местная потеря напора на расширение при этом рассчитывается по формуле 2 с учетом коэффициента «смягчения» потока, зависящего от угла расширения [3] (рисунок 3).

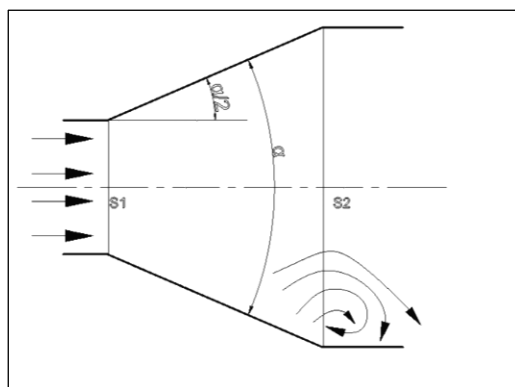


Рисунок 3. Угол расширения α

$$h_{\text{рас}} = k \cdot \varepsilon \cdot \frac{v_1^2}{2g} \quad [2]$$

где $k = \sin \alpha$ — коэффициент смягчения потока

Предложенные конструкции позволяют устранить резкий перепад давления жидкости при ее перетоке из канала меньшего сечения в канал большего сечения и, как следствие, сохранить скорость течения жидкости, предотвращая засорение промывочных каналов. К тому же плавный переход из канала в канал поможет устранить потери скорости течения на преодоление сопротивлений в «мертвых» зонах, возникших в результате огибания прямых углов конструкции.

5. Заключение

Разработанная конструкция промывочной системы коронки с торцевой промывкой служит для предотвращения возможных осложнений, возникающих при разрушении угля и отборе керна с угольными включениями. Соответственно, производительность процесса бурения возрастает. За счет особенностей конструкции промывочной системы происходит эффективная очистка как забоя, так и самих торцевых каналов коронки, а керн защищен от размывания.

Библиографический список

- [1] Принципы конструирования и эксплуатации алмазного породоразрушающего инструмента / А.А. Буканов, Л.К. Горшков, А.И. Осецкий, Н.В. Соловьев // Разведка и охрана недр. – 2013. – № 7. – С. 44–49.
- [2] Пушмин П.С. Факторы регулирования гидродинамических показателей для оптимизации процесса алмазного бурения // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. – 2010. – №2 (37) – С. 167 – 172.
- [3] Рабинович Е.З. Гидравлика. Москва.: «Недра». – 1987. – 304с.

Состав, свойства и области применения водоземulsionных взрывчатых веществ

Е.В. Иванов, В.М. Лысков

Иркутский национальный исследовательский технический университет

Email: nikonalis@yandex.ru

Аннотация. Эмульсионные взрывчатые вещества (ЭВВ) являются одним из наиболее важных и широко используемых типов промышленных взрывчатых веществ. Они представляют собой смесь воды, масла и различных твердых веществ, которые образуют эмульсию. ЭВВ были разработаны как альтернатива традиционным взрывчатым веществам, таким как гранулированный или чешуйчатый тротил. В этой статье мы рассмотрим основные свойства, преимущества и недостатки эмульсионных взрывчатых веществ.

1. Введение

Взрывные работы являются применяются в различных сферах деятельности человека, особенно при добычи полезных ископаемых. С каждым годом всё больше и больше исследований проводятся в направлении улучшения технологии ведения взрывных работ, а также модификация как известных способов управления энергией взрыва, так и открытие новых.

Безопасность и эффективность БВР зависят от свойств применяемых взрывчатых материалов. Различия в химическом составе, физических и взрывных свойств обусловлены техническими требованиями к промышленным ВВ, поэтому существуют различные по условию применения ВМ.

За последние годы появилось множество типов ВВ, особенно интересны водосодержащие взрывчатые вещества (ВВВ), а именно эмульсионные взрывчатые вещества, получаемые на основе эмульсии обратного типа в виде капелек водного раствора аммиачной селитры в масле.

Эмульсионные взрывчатые вещества (ЭВВ) – это тип промышленных взрывчатых веществ, которые состоят из смеси воды, масла и твердых частиц, таких как нитроамин, нитраты аммония или нитраты натрия. Эти взрывчатые вещества были разработаны в качестве альтернативы традиционным взрывчатым веществам на основе гранулированного или чешуйчатого тротила.

ЭВВ имеют ряд преимуществ перед традиционными ВВ:

1. Более высокая плотность энергии по сравнению с традиционными взрывчатыми веществами, что позволяет им обеспечить большую мощность взрыва при меньшем объеме.
2. Меньшая чувствительность к ударам и трению, что делает их безопасными в использовании.
3. Сохраняют свою стабильность при хранении и не требуют специальных условий хранения.
4. Не образуют пыли, что снижает риск взрыва и облегчает их транспортировку и хранение.

5. ЭВВ производятся из экологически безопасных материалов, и их использование не приводит к загрязнению окружающей среды.

Однако у ЭВВ есть и некоторые недостатки:

1. Более высокая стоимость по сравнению с традиционными взрывчатыми веществами.
2. Меньшая химическая стабильность, что может привести к снижению мощности взрыва.
3. Ограниченная совместимость с некоторыми типами взрывных устройств и методов взрывания.
4. Необходимость специального оборудования для приготовления и использования ЭВВ.

2. Изготовление

Изготовление эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ) на производстве включает в себя несколько этапов. Сначала подготавливаются все необходимые компоненты, такие как вода, масло и твердые частицы. Затем они смешиваются в определенных пропорциях в специальных смесителях. После этого смесь проходит через гомогенизатор, где она становится однородной. Затем эмульсия проходит через фильтры для удаления возможных примесей. Готовый продукт упаковывается в специальные контейнеры и отправляется на хранение или на место использования.

В зависимости от соотношения эмульсии и сухой фазы (гранулированной аммиачной селитры) может изготавливаться множество марок указанных составов. На практике используют соотношения в пределах от 30 до 70% массы, эмульсии и от 70 до 30% - гранулированной аммиачной селитры, соответственно [1].

По опыту работы установлено, что смеси с содержанием более 70% эмульсии не экономичны в применении, т.к. в составе эмульсии содержится вода (от 13 до 18% массы), которая химически не участвует во взрыве, является балластом и снижает теплоту взрыва [1].

Составы с содержанием эмульсии менее 30% также неэкономичны: для заполнения свободного межгранульного пространства селитры требуется 30-35% жидкой фазы (эмульсии). Дальнейшее уменьшение содержания в смеси эмульсии приведет к появлению между гранулами незаполненных воздушных промежутков, из-за чего уменьшится объемная концентрация энергии такого взрывчатого вещества. Для достижения эффекта стопроцентного заполнения эмульсией межгранульного пространства необходимо каждый раз определять свободный объем данного пространства.

3. Пример применения на предприятиях

Кузбасс

В Кузбассе на сегодняшний день применяются два основных вида взрывчатых веществ для БВР – гранулированные взрывчатые вещества и эмульсионные взрывчатые вещества (ЭВВ). Первые более дешевые и идеально подходят для сухих скважин, вторые же отличаются эффективными основными характеристиками. Ключевым компонентом обоих видов взрывчатых веществ выступает недорогая и производимая в больших объемах аммиачная селитра или её подвид – пористая аммиачная селитра. Ниже выявлены главные достоинства и недостатки каждого вида взрывчатых веществ.

Эмульсионные взрывчатые вещества в зависимости от технологии приготовления представляют собой жидкие смеси. Составы первого типа называют прямой эмульсией. Горючим компонентом здесь является эмульсия жидкого топлива в водном растворе нитрата аммония или иной соли с сильными окислительными свойствами. Стабильность эмульсии сохраняется соответствующим эмульгатором. Составы второго типа (обратная эмульсия) представляют собой эмульсию очень концентрированного водного раствора

Обратные эмульсии обладают лучшей водостойкостью чем прямые эмульсии: мельчайшие капли раствора окислителя окружены тонкой водонепроницаемой плёнкой горючего топлива или масла. Данная плёнка препятствует кристаллизации солей, что увеличивает срок

сохранения эмульсии и позволяет использовать даже пересыщенные растворы и эвтектические смеси. Для обоих типов ЭВВ характерно равномерное распределение компонентов по всей массе вещества, а также большая по сравнению с гранулированными ВВ площадь соприкосновения окислителя и горючего [3].

По консистенции ЭВВ могут быть почти твердыми, пастообразными и текучими в зависимости от своего состава и типа эмульгатора. Вязкость ЭВВ определяется в основном вязкостью используемого горючего компонента. Наиболее распространены текучие ЭВВ с содержанием воды от 12% до 20%. Такое процентное содержание позволяет изготавливать взрывчатые вещества непосредственно на месте применения с помощью смесительно-зарядных машин [3].

Особенности, выявленные на предприятии:

1) Сокращение объема вредных выбросов в атмосферу, фактические измерения показали уменьшение концентрации СО в 5 раз, NO₂ в 2 раза, NO в 20 раз от уровня ПДК.

2) Снижается вероятность образования пылегазовых облаков желтобурого цвета (смесь оксидов азота, в большей степени NO₂) после выполнения взрыва.

3) Компоненты ЭВВ не пылят и не электризуются при заряджении скважин, устойчивы к различным физическим воздействиям (удару, трению и т.п.), отсутствует любая вероятность самодетонации.

4) Несмотря на повышенную себестоимость по отношению к гранулированным взрывчатым веществам, суммарно эмульсионные ВВ обладают более высокой технико-экономической эффективностью применения (расход вещества на одну единицу взорванной массы) [3].

Карьеры Урала

В начале 90-х был разработан проект о постройки завода по производству эмульсии порэмита. В 2000 году введен в эксплуатацию завод по производству эмульсии порэмита на Качканарском горно-обогатительном комбинате. Расчетная производительность завода 30-35 тыс. т эмульсионных ВВ в год.

В настоящее время практически 100 % обводненных пород на Качканарском ГОКе и карьерах ОАО «Ураласбест» разрабатываются с применением эмульсионных ВВ. Использование ЭВВ собственного приготовления позволило снизить затраты на взрывной передел на карьерах Качканарского ГОКа в 2006 году в 3,6 раза.

Применение эмульсионных ВВ позволяет улучшить экологическую обстановку в местах ведения взрывных работ за счет снижения количества вредных продуктов взрыва.

Исследования показали, что продукты детонации и количество вредных газов ЭВВ по сравнению со штатным ВВ (гранулотол, граммонит 30/70) в разы снижается. А также, что применение данных ВМ позволило снизить затраты на БВР в 2,5 раза и улучшить экологическую обстановку и повысить безопасность рабочих [4].

Гайский ГОК

Разнообразие условий ведения взрывных работ в промышленности с целью разрушения горных массивов определяет необходимость поиска наиболее эффективных типов ВВ.

Для повышения эффективности взрывных работ необходима точная оценка результатов ранее проведенных взрывов и проектирование параметров буровзрывных работ на основе имеющихся ВВ.

Гайский ГОК построен на базе крупнейшего медно-колчеданного месторождения и занимается добычей руд и их обогащением. Это самое крупное предприятие сырьевого комплекса Уральской горно-металлургической компании.

ПАО «Гайский ГОК» при отработке глубоких горизонтов для зарядки скважин с повышенной температурой массива применяет ЭВВ марки «Сабтэк».

Анализ фракционного состава отбитой руды показал, что в результате отбойки с использованием ЭВВ «Сабтэк» получена лучшая дробимость руды. Преобладающий размер

отбитого куска руды составляет менее 500 мм, при использовании Граммонита ТММ – менее 750 мм.

4. Заключение

В таблице 1 в качестве сравнения приведены характеристики ВВ различных видов, в том числе и ЭВВ.

В результате изучения опыта применения на производстве, ЭВВ показали, что они хоть и дорогие, но имеют ряд преимуществ в применении на горных предприятиях и ведении буровзрывных работ.

Таблица 1

Сравнение взрывчатых веществ

Характеристика	Водоустойчивые ВВ				Водонаполненные			Эмульсионные		
	Гранулоотол	Алюмотол	Граммонит		Акватол			Нобелит 20/30	Гранэмит	
			50/50-В	30/70-В	65/35	М-15	АВ		30/70	50/50
Кислородный баланс, %	-74	-76,25	-27,15	-45,9	-12,5	-21,0	-25	-2,1	-1,1	-0,3
Объем газов, л/кг	750**	875	810	800	925	990	-	-	-	-
Температура взрыва, °С	3400	4510	3000	3150	-	-	-	-	-	-
Теплота взрыва, ккал/кг	810-995	1340	980	990	910	1398	-	693	763	779
Скорость детонации в сухом состоянии, км/с	4,5-5,0	4,3-4,8	3,6-4,2	3,8-4,5	3,2-3,5	3,0-3,5	3,0-3,5	4,5	4,8-5,2	4,2-5,0

Библиографический список

- [1] Патент на изобретение №2388735 RU. «Способ изготовления эмульсионного взрывчатого вещества и эмульсионное взрывчатое вещество, изготовленное этим способом». / Маслов И.Ю. Роспатент, 2009 г. С 2;
- [2] Кутузов Б.Н. Проектирование взрывных работ. – М. : Недра, 1974;
- [3] Гусаренко А.А., Золотухина Н.А. Эффективность применения эмульсионных взрывчатых веществ для буровзрывных работ в Кузбассе // Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции молодых учёных «РОССИЯ МОЛОДАЯ» 19-22 апреля 2022 г. – Кемерово: КузГТУ, 2022. –
- [4] Опыт применения эмульсионных взрывчатых веществ на карьерах Урала / А.А. Котышев, А.С. Маторин, В.Г. Шеменев. – С. 6-8;
- [5] Опыт применения эмульсионных взрывчатых веществ при отработке глубоких горизонтов подземного рудника «Гайский ГОК» - Скворцов М.В., Красавин А.В. с 153.

Применение электронных и оптоволоконных систем инициирования взрыва

В.В. Власенко, В.М. Лысков

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Email: shtainervalter@yandex.ru

Аннотация. В работе рассматриваются основные принципы работы электронных и оптоволоконных систем инициирования зарядов ВВ, их преимущества и недостатки, а также особенности их использования в различных условиях. Особое внимание уделено вопросам безопасности при использовании таких систем. Приведены примеры успешного применения электронных систем инициирования на различных горных предприятиях, что позволяет оценить их эффективность и надёжность.

1. Введение:

В последние десятилетия связано с широким развитием средств и систем инициирования зарядов при проведении взрывных работ на карьерах и на подземных горных работах. Современным направлением развития систем инициирования взамен или в дополнение инициированию с использованием детонирующих шнуров и ударно-волноводным системам связано с появлением электронного инициирования. Первоначально в России появилась некоторое время назад компания ORICA, которая использовала собственные разработки IKON и процессе эксплуатации доказала эффективность. Как отмечают специалисты, одно из главных преимуществ этой технологии взрывания является минимальное воздействие на окружающую среду из-за высокой точности замедления первичной детонации.

Для решения этих задач используются электронные системы инициирования (ЭСИ), которые позволяют контролировать и управлять процессом взрыва. В данном рассматриваются основные принципы работы ЭСИ и оптоволоконные системы инициирования (ОВСИ), их преимущества и недостатки, а также особенности их использования в горном деле.

2. Основные принципы работы электронных систем инициирования

Электронные системы инициирования представляют собой устройства, которые преобразуют электрический импульс в тепловой или механический импульс, вызывающий взрыв ВВ. Они состоят из следующих основных компонентов:

- источник электрического импульса (например, конденсатор или батарея);
- иницирующий элемент (например, электродетонатор или электронный детонатор);
- система соединительных проводов.

Принцип работы ЭСИ заключается в следующем: после заряжания скважин оператор взрывным прибором «программирует» каждый детонатор, задавая ему индивидуальное замедление. Далее проводится проверка каждой скважины на наличие ошибок (неправильного соединения, обрыва или утечки тока), которые могли произойти в процессе заряжания. На последнем этапе взрывным прибором подаётся необходимое для детонации взрывчатых веществ напряжение на детонаторы. Преимущества электронных детонаторов по сравнению с традиционными неэлектрическими системами инициирования заключаются в высокой точности инициирования взрыва: погрешность не превышает 0,005%. Кроме того, оператор может задать каждому детонатору своё замедление и менять его до производства взрыва.

Преимущества и недостатки электронных систем инициирования:

Преимущества включают в себя:

- высокая точность и контроль над процессом взрыва;
- возможность дистанционного управления;

- снижение риска несанкционированного взрыва;
- повышение безопасности работ;
- сильное уменьшение сейсмического воздействия взрыва и выбросов в атмосферу;
- технологичность;
- существенное улучшение качества взрывания;
- сокращение времени вынужденного простоя людей и техники.

Недостатки связаны с их стоимостью и необходимостью квалифицированного персонала для обслуживания и настройки. Основной недостаток электронных СИ – высокая стоимость (до 5 % от всей стоимости взрыва).

Пример электронной системы взрывания:

Наиболее эффективным и перспективным направлением в данных условиях является применение различных систем электронного взрывания. ООО «ВЗРЫВ ГРУПП» совместно с ООО «АЗОТТЕХ» при поддержке предприятий-недропользователей ООО «Инвест-Углесбыт» и ООО «Ресурс» приступили к проведению приемочных испытаний системы электронного взрывания Hitronic II, разработанной корейской фирмой «HANWHA CORPORATION».



Рисунок 1. Система электронного взрывания Hitronic II

Система Hitronic II устанавливает закодированное двустороннее соединение между электронными детонаторами и взрывным программным оборудованием. Такой способ связи между детонаторами Hitronic II и оборудованием:

- позволяет программировать время задержки для каждого детонатора с шагом в 1 мс;
- дает возможность распределения времени срабатывания электронных детонаторов в диапазоне 0-30000 мс с точностью срабатывания +/-0,01;
- гарантирует контролируемость при взрыве и со станции управления пуском;
- контролирует запас энергии каждого детонатора вплоть до момента взрыва;
- сигнализирует о любых отклонениях;
- не допускает инициирования сети до подключения взрывной машинки Hitronic.

В настоящее время проведены опытные взрывы в сложных условиях, в том числе в непосредственной близости от охраняемых объектов на расстоянии менее 500 м. Совместно разработанные технические решения в части параметров БВР и инновационные методы подбора интервалов замедлений при производстве опытных взрывов привели к значительному снижению уровня сейсмического воздействия, а также уровня воздействия ударно-воздушной волны. Аналогичные системы инициирования представлены в таблице 1.

Таблица 1

Применяемые электронные СИ

Электронная система инициирования	Максимальное время замедления	Шаг замедления	Точность взрывания	Одновременный подрыв	Температура эксплуатации
Hitronic II	50 000 мс	1 мс	0,02%	До 63 000 детонаторов	-40+60°C
AVidet	30 000 мс	1 мс	0,02%	До 10 000 детонаторов	-40+85°C
«Нефрит»	30 000 мс	1 мс	0,01%	До 10 000 детонаторов	-40+85°C
I-kon™ III	30 000 мс	1 мс	0,01%	До 21 000 детонаторов	-20+70°C

4. Электробезопасная лазерная световолоконная система инициирования ВВ

Альтернативой электрическому способу инициирования ВВ может стать мощное лазерное излучение, канализируемое к месту подрыва с помощью световолоконного кабеля. Такой способ абсолютно электробезопасен, так как никакие наводки или иные внешние воздействия не могут создать в волокне необходимый импульс света.

Преимущества оптоволоконных систем инициирования высокоэнергетических веществ:

- возможность формирования линий задержки;
- высокая безопасность и нечувствительность к внешним электромагнитным полям;
- малое затухание сигнала (0,4...5) дБ/км;
- нечувствительность к электромагнитным помехам;
- низкая стоимость; малые габаритные размеры и масса кабелей (диаметр кабелей при наличии 4...8 световодов 14...22мм, масса 140...380 кг/км);
- кабель защищен от механических и др. внешних воздействий (температура, агрессивная среда, влажность, грунтовые воды, грызуны);
- более безопасные по сравнению с электрическими линиями передачи для обслуживающего персонала (по опасности поражения электрическим током, взрыво- и пожароопасности).

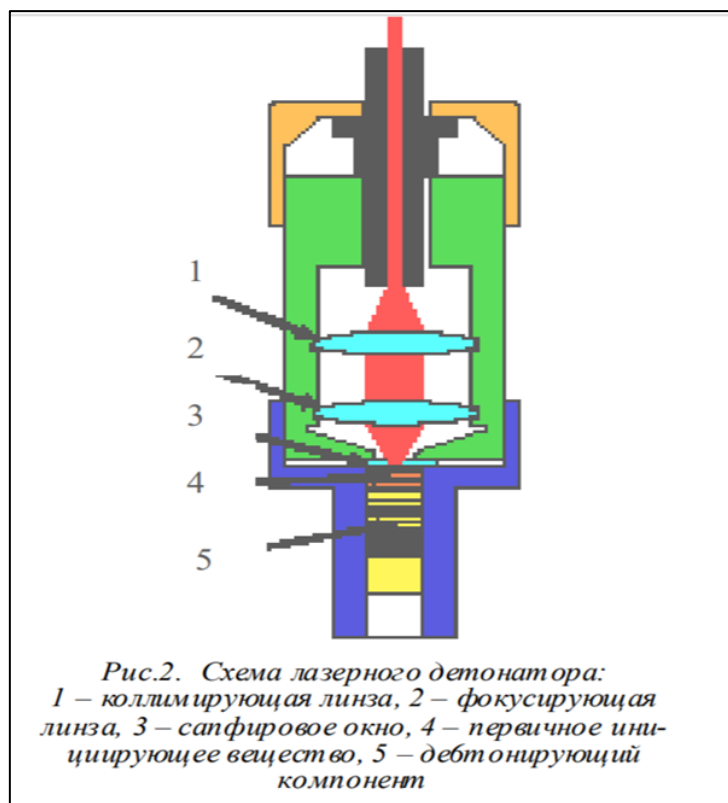


Рисунок 2. Схема лазерного детонатора

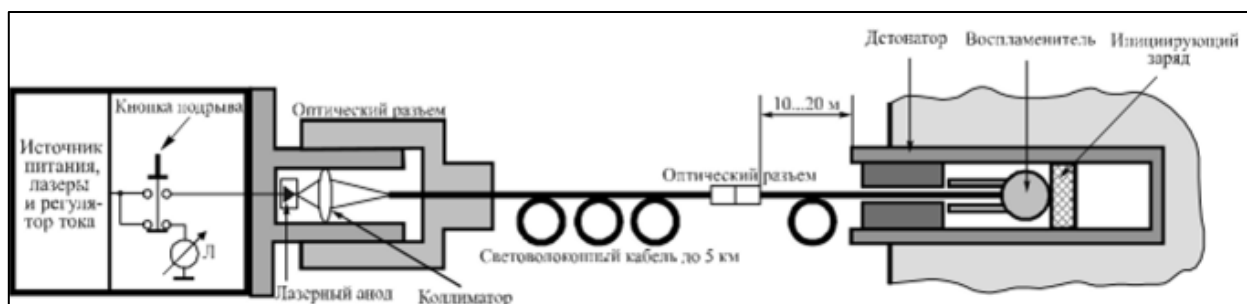


Рисунок 3. Функциональная схема световолоконной системы подрыва ВВ

Совместными усилиями ИАиЭ СО РАН и Новосибирского механического завода «Искра» разработана электробезопасная лазерная система инициирования ВВ (рис. 3). Ее основу составляет мощный отечественный полупроводниковый лазер, снабженный коллиматором и фокусирующей линзой для ввода оптического излучения в световолокно. Импульс света через оптический разъем проходит в световолоконный кабель длиной до 5 км. Кабель оканчивается вторым оптическим разъемом, к которому подсоединен небольшой (10... 20 м) отрезок кабеля, герметично соединенный с капсулом-детонатором, обеспечивающим инициирование детонации в зарядах геофизических или иных взрывных устройств. Подрыв осуществляется с помощью пульта управления, который содержит источник питания лазера, регулятор тока и кнопку подрыва.

Таблица 2

Технические характеристики световолоконной системы подрыва ВВ

Технические характеристики	Значение параметра
Максимальное расстояние до точки подрыва	5 км
Мощность лазерного диода	1 Вт
Минимальная мощность подрыва	100 мВт

Минимальный диаметр световолокна	50 мкм
Потери в световолокне	2,03 дБ/км

Области применения:

- взрывные работы в горнодобывающей промышленности. Перфорация нефтяных и газовых скважин.
- Геофизические разведочные работы.
- Прочие ответственные электробезопасные взрывные работы.

5. Заключение

Таким образом, электронные системы инициирования взрыва являются важным инструментом в горном деле, обеспечивающим безопасность и эффективность взрывных работ, что способствует повышению производительности и снижению рисков.

Оптоволоконные системы позволяют передавать сигнал на большие расстояния без потери качества. Развитие и дальнейшее применение является перспективным направлением развития технологий в горном деле, которое может привести к дальнейшему повышению эффективности и безопасности работ.

Библиографический список

- [1] Теория горения и взрыва: высокоэнергетические материалы : учебник для вузов / В. В. Андреев, А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, Е. Ю. Слесарева. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 325 с.
- [2] Теория горения и взрыва: высокоэнергетические материалы : учебник для вузов / В. В. Андреев, А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, Е. Ю. Слесарева. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 325 с.
- [3] Мордасов В.И., Пойлов В.В., Галимова Г.А., Хайрутдинов М.Р. Оптоволоконные системы инициирования высокоэнергетических веществ // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. - 2006. - Т. 5. - №2-2. - С. 23-26. doi: 10.18287/2541-7533-2006-0-2-2(10)-23-26.
- [4] Внедрение современных электронных средств инициирования Nitronic URL: <https://vgroup.one/media-centr/vnedrenie-sovremennykh-elektronnykh-sredstv-initsirovaniya-hitronic>

УДК 550.822.7

Разработка методики исследования поля напряжений в горной породе при бурении коронками типа TSD

М.И. Попенко, Д.В. Вельш

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

Email: maxipopenko@yandex.ru

Аннотация. Авторы статьи рассматривают влияние раскладки резцов на создание напряженного состояния горной породы и определяют рациональную схему расположения резцов, повышающую работоспособность бурового инструмента и минимизирующей затраты сырья на его изготовление.

1. Введение

Современные направления разработки бурового инструмента неразрывно связаны с развитием материаловедения. Так, достижения в синтезе алмазного сырья позволяют изготавливать резцы различной прочности, размеров и формы. Резцы типа *PDC* отличаются повышенной износостойкостью и прочностью, что дает возможность использовать их для

разработки конструкций бурового инструмента, отличающегося широкой областью применения. Режущие вставки *Tripax* и *Diapax* при этом отличаются повышенной термостойкостью. Резец из поликристаллического алмаза может быть выполнен в форме цилиндра, пластины или конуса. Такие особенности резцов из поликристаллического сырья позволяют успешно использовать их при армировании не только долот, но и коронок. В отличие от мелкого алмазного резца, крупные резцы работают одновременно и обеспечивают равномерное распределение нагрузки на забой.

В тоже время большую роль при разрушении горных пород играет количество резцов, их местоположение на рабочей поверхности бурового инструмента. Групповое внедрение резцов в забой должно создавать такое поле напряжений в горной породе, при котором осуществлялось бы эффективное ее разрушение. Рациональное расположение резцов способно снизить энергоемкость разрушения горных пород. Согласно ранее проведенным исследованиям [1], резцы должны располагаться так, чтобы поля напряжений, создаваемые каждым резцом, суммировались в достаточное для разрушения горной породы, при этом расстояние между резцами обеспечивало наличие свободных поверхностей, необходимых для развития напряжений растяжения при действующей нагрузке сжатия.

Целью работы является изучение влияния раскладки резцов на создание напряженного состояния горной породы, а также определение рациональной схемы расположения резцов, повышающей работоспособность бурового инструмента и минимизирующей затраты сырья на его изготовление.

2. Результаты исследования и их анализ

На первом этапе разработана параметрическая модель буровой коронки в программе Компас 3D, позволяющая легко и быстро провести исследования в системе Ansys и осуществить сравнительный анализ результатов.

За основу принята конструкция коронки “ТЕРЕКАЛМАЗ” “07КС-О”. В качестве изменяемых параметров приняты: количество, диаметр, ориентация режущих вставок. В качестве области применения бурового инструмента рассматривались горные породы V-VIII категории по буримости.

Полученные результаты, представленные на рисунке 1, подтверждают адекватность разработанной методики.

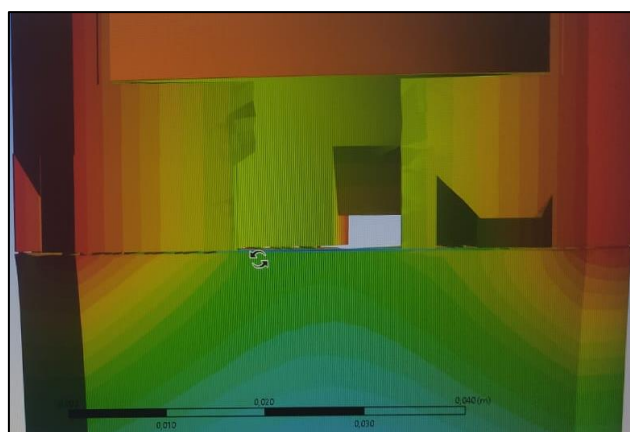


Рисунок 1. Результаты компьютерного моделирования поля напряжений в горной породе при бурении коронкой 07КС-О

Компьютерное моделирование позволяет детально изучить характер и область распространения поля напряжения от каждого резца коронки. Так, например, конструкция коронки с резцами диаметром 0,5мм с передним углом установки 20° создает более

рациональное поле напряжений при бурении в горной породе V-VIII категории по буримости, чем коронки с резцами диаметра 0,5мм, передний угол установки которых 10°

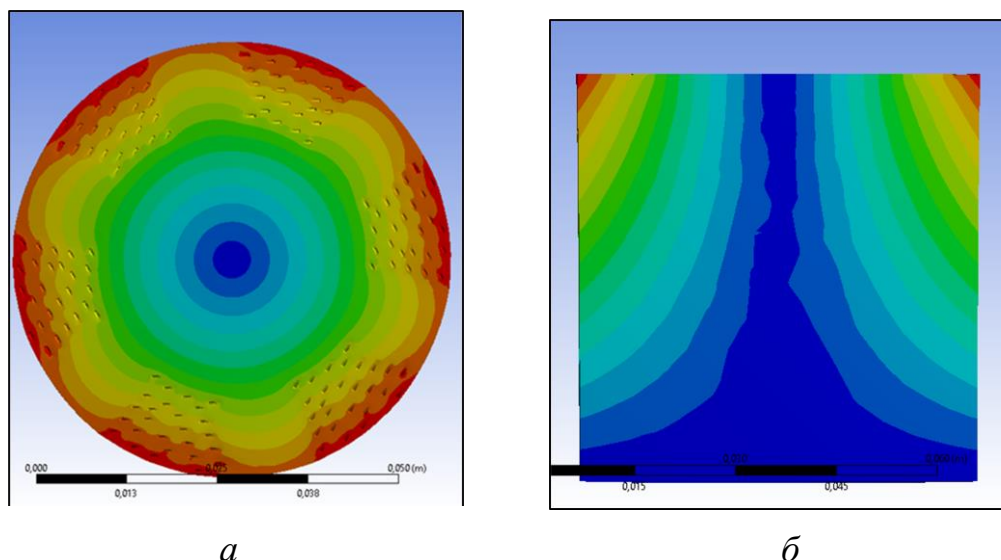


Рисунок 2. Результаты моделирования: *a* – поле напряжений в горной породе на забое скважины; *б* – в массиве горных пород

3. Заключение

Полученные результаты компьютерного моделирования по представленной схеме могут быть использованы для оптимизации процесса бурения и дальнейших исследований, позволят создать новые технологий, способствующих снижению затрат на создание бурового инструмента и повышению эффективности процесса бурения.

Библиографический список

- [1] Нескоромных В. В. Разрушение горных пород при бурении скважин алмазным буровым инструментом : монография / В. В. Нескоромных, М. С. Попова, Л. Баочанг. – Красноярск : Сибирский федеральный университет. – 2020. – 268 с. ISBN 978-5-7638-4413-9
- [2] Попова, М. С. Особенности проектирования работы режущей части алмазного бурового инструмента / М. С. Попова, А. Ю. Харитонов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2023. – № 2(362). – С. 5-10. – DOI 10.33285/0130-3872-2023-2(362)-5-10.
- [3] Попова, М. С. Комплексный подход к разработке алмазного породоразрушающего инструмента / М. С. Попова // Молодые - Научкам о Земле : Тезисы докладов X Международной научной конференции молодых ученых. В 7-ми томах, Москва, 31 марта – 01 2022 года / Редколлегия: Ю.П. Панов, Р.Н. Мустаев. Том 4. – Москва: Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, 2022. – С. 275-278.

Методы повышения эффективности контурного взрывания при проведении подземных горных выработок

И.В. Перелыгин, В.М. Лысков

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Email: Perelygin31102008@mail.ru, go_gor@istu.edu

Аннотация. В работе рассматривается проблема повышения эффективности контурного взрывания при проведении подземных горных выработок, путём анализа и изучения научной литературы в данном направлении. Приведен

краткий обзор методов повышения эффективности контурного взрывания при разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом.

1. Введение

Одной из проблем с которой сталкиваются при проведении горных выработок является излишняя отбойка отбиваемого пространства. При этом существенно возрастают объемы работ по забутовке и тампонажу закрепленного пространства, ухудшаются эксплуатационные возможности и устойчивость горных выработок, увеличиваются расходы средств на их поддержание. Неправильное оконтуривание горной выработки с образованием значительных объема впадин и выступов на стенках и в кровле, глубокое трещинообразование в массиве — главные причины возникновения высоких концентраций напряжений на крепь, приводящих к деформациям и необходимости перекрепления горных выработок [1]. Применение в оконтуривающих зарядах больших зарядов ВВ приводит к более интенсивному трещинообразованию, в том числе к трещинам, направленным параллельно контуру и слоистости пород, являющейся главной причиной расслоения и вывалов пород в горных выработках. При этом глубина образующихся после взрывных работ трещин зависит от физико-технических свойств пород, типа применяемых ВВ, конструкции зарядов, интервалов замедления, величины давления газов взрыва в зарядной камере и других факторов. Одним из методов введения взрывных работ при проведении подземных горных выработок в этих условиях является метод контурного взрывания, который существенно сокращает негативное воздействие на законтурное пространство и сокращение объемов переборок. Метод контурного взрывания позволяет уменьшить затраты на возведение крепей а, также поддерживать их прочность в процессе эксплуатации. Несмотря на все преимущества данного метода, он будет иметь свои проблемы и недостатки, актуальной проблемой метода на сегодняшний день является – повышение эффективности контурного взрывания, при проведении подземных горных выработок.

Данный метод взрывания используется в различных сферах горное промышленности, в строительстве, при возведении камер и тоннелей. Существует 2 вида контурного взрывания метод предварительного щелеобразования (МПЩ) и метод последующего оконтуривания (МКО), которые также могут подразделяться на различные виды. Классификация методов контурного взрывания представлена на рисунке 1 [2].

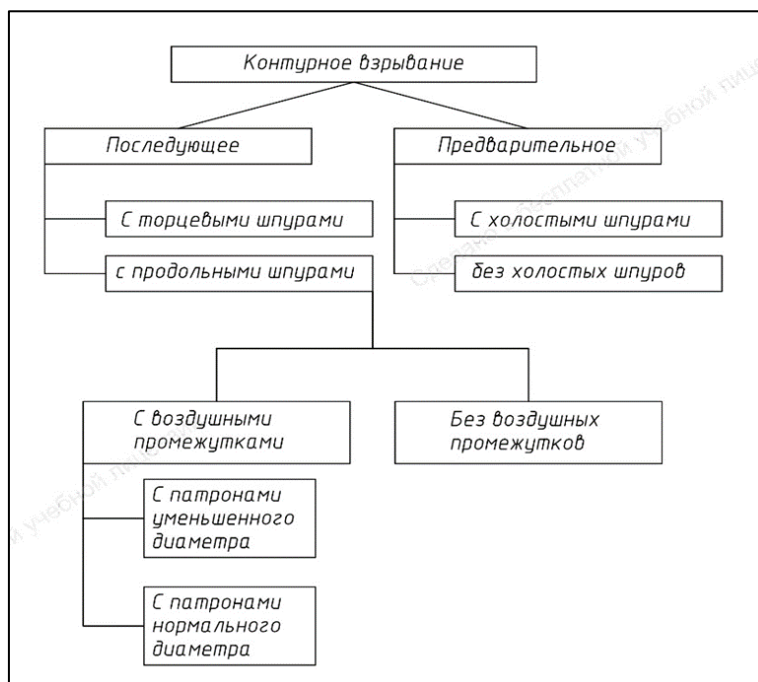


Рисунок 1. Классификация методов контурного взрывания

При предварительном оконтуривании (предварительном щелеобразовании, предварительном раскалывающем взрывании) вначале взрывают заряды ВВ в оконтуривающих шпурах (скважинах), а затем основные, расположенные по всему сечению выработки. Вдоль контура пробуривают сближенные шпуры, зачастую между заряжаемыми шпурами помещают холостые того же или большего диаметра. При одновременном взрывании всех заряженных шпуров по линии их расположения образуется щель (происходит раскол). Щель служит границей раздела массива и предотвращает распространение взрывных волн от взрыва основных зарядов, разрушающих массив внутри заданного контура, за контуры выработки. Схема расположения шпуров в забое при методе предварительного щелеобразования приведена на рисунок 2.

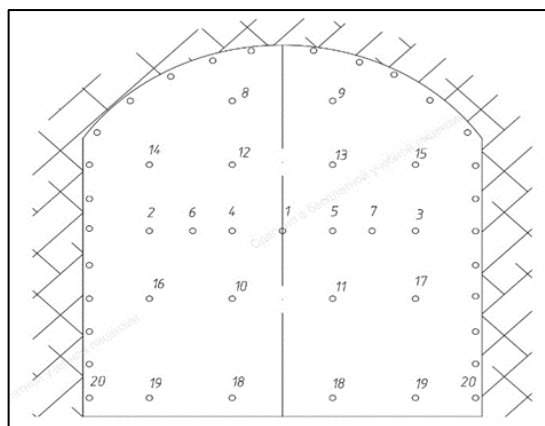


Рисунок 2. Расположение шпуров в забое при методе предварительного щелеобразования

При последующем оконтуривании заряды ВВ в шпурах (скважинах), расположенных по контуру, взрывают после взрыва зарядов основного комплекта шпуров. Заряды в контурном слое располагают так, что расстояния между оконтуривающими шпурами меньше, чем толщина контурного слоя. Одновременное взрывание всех оконтуривающих зарядов приводит сначала к образованию щели по контуру, а затем происходит разрушение контурного слоя отраженными от свободной поверхности взрывными волнами. Усилия, направленные вглубь окружающего массива, встречая неограниченное сопротивление, затухают. Взрывание оконтуривающих шпуров осуществляют после разрушения центральной части забоя с определенным интервалом замедления, но в едином взрыве [2]. Приведен пример расположения шпуров в забое при методе последующего оконтуривания (рисунок 3) [3].

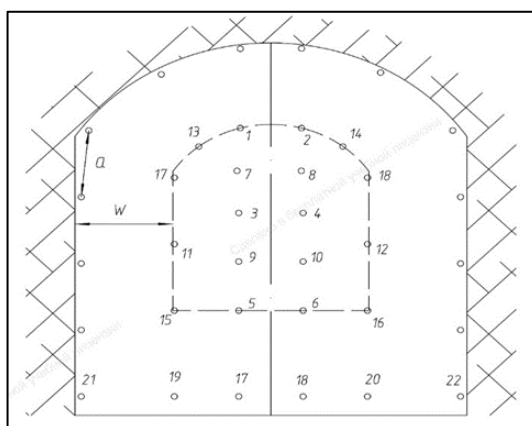


Рисунок 3. Расположение шпуров в забое при методе последующего оконтуривания:
 a — расстояние между центрами оконтуривающих шпуров; W — линия наименьшего сопротивления

Недостатком данного метода контурного взрывания является повышение объема буровых работ, а также необходимость более строгого контроля за всем процессом бурения [4].

Существуют другие способы увеличения эффективности контурного взрывания, например использование зарядов направленно-ослабленной бризантности. К ним относят заряды, при взрыве которых проявляется в требуемом направлении ослабленное бризантное действие. Достигается указанный эффект за счет специальных демпфирующих прокладок, устройством воздушных зазоров различной формы и другими средствами. Данные заряды делят на 2 вида: заряды направленно-ослабленной бризантности для контурной отбойки и контурные заряды ударно-направленного действия для контурного раскола пород. При формировании таких контурных зарядов демпфирующие зазоры должны располагаться со стороны одной оконтуриваемой поверхности. Демпфирующий зазор может быть воздушным, заполненный водой или из инертного материала (резины, дерева и т.д.). Формы и размеры демпфирующих зазоров определяются обычно опытным путем. Причем наибольший эффект при создании зарядов достигается при взрыве двух ниток ДШ, расположенных на противоположных стенках трубки. Применение металлических обкладок различных конструкций в сочетании с детонирующим шнуром позволяет получить направленный раскол пород. Приведены примеры таких зарядов. (рисунок 4).

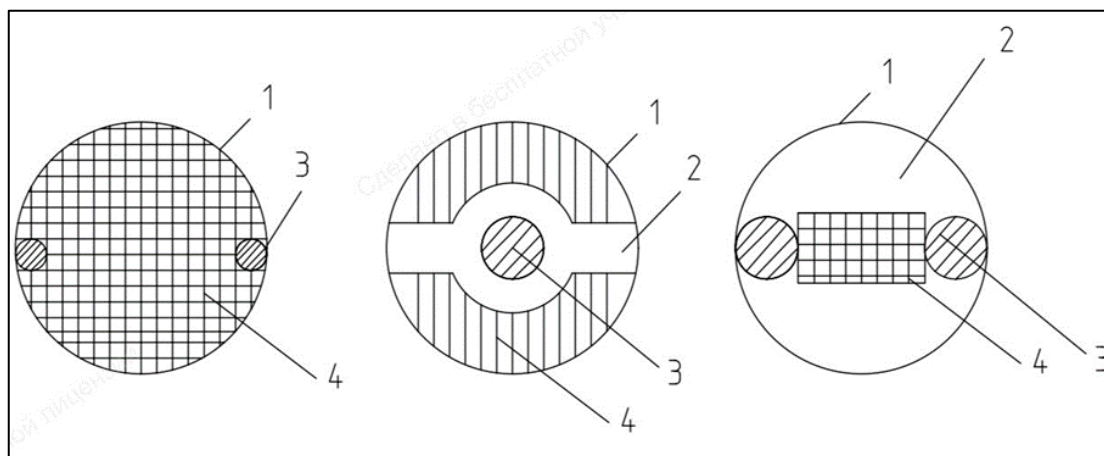


Рисунок 4. Поперечное сечение контурных зарядов ударно-направленного действия для контурного раскола пород: 1 – шпур; 2 – воздух; 3 – взрывчатое вещество; 4 – демпфирующая прокладка

2. Результаты исследования и их анализ

Исследованиями установлено снижение давления на фронте ударной волны в несколько раз с помощью прокладок из материалов, имеющих акустическую жесткость, резко отличную от акустической жесткости взрываемой породы. Наличие прокладок способствует перераспределению напряжений вокруг шпура. В месте расположения прокладок возникали напряжения не только меньшие по величине, но и с запаздыванием по времени по отношению к напряжениям в месте контакта ВВ со стенками шпура.

Помимо методов ослабления бризантности, активно практикуются методы малоплотных, рассредоточенных и зарядов ВВ с пониженной мощности, они характерны тем, что не требуют особых вмешательств в конструкцию заряда ВВ, единственный недостаток таких методов – повышение затрат на буровые работы. Введение в состав взрывчатого вещества добавок-разуплотнителей снижает их плотность и, следовательно, снижает бризантность ВВ. В качестве добавок - разуплотнителей могут применяться древесные опилки или вспененный полистирол.

Применение малоплотных зарядов для контурных зарядов позволяет, не меняя ВВ, применяемого на основных взрывных работах, и технологию заряжания улучшить качество оконтуривания выработок, снизить стоимость их проходки.

Практика применения малоплотных зарядов показывает, что смеси с 30%-ным содержанием пенополистирола производят больше положительной работы, чем чистые ВВ. Простота конструкции заряда позволяет применять средства механизации работ по заряжанию.

Рассредоточенные заряды получили распространение при контурном взрывании, как на открытых, так и подземных горных работах благодаря пониженному бризантному действию на стенки шпура (скважины) по сравнению со сплошными зарядами одного типа ВВ. Формируют заряды как из патронированного, так и россыпного ВВ. Физический смысл явлений, происходящих при взрыве рассредоточенного заряда, состоит в том, что при рассредоточении заряда осуществляется снижение начального пикового давления ударной волны и равномерное перераспределение энергии ВВ по всей длине скважины или шпура, в результате чего увеличивается полезное использование энергии взрыва.

Таким образом, рассредоточение заряда позволяет не только перераспределить заряд по длине контурного шпура или скважины, но и уменьшить бризантное действие отдельного заряда и, следовательно, уменьшить воздействие взрыва на законтурный массив. При этом, как показывают расчеты, заряды с воздушными промежутками совершают полезной работы в 1,5 раза больше, чем сплошные заряды, за счет снижения потерь энергии взрыва на переизмельчение породы в ближней к заряду зоне.

Отличительным признаком зарядов ВВ пониженной мощности является использование менее мощных ВВ в контурных шпурах по сравнению с обычными ВВ и отсутствие специальных полостей, заполненных воздухом или инертными материалами. Заряды из ВВ пониженной мощности могут формироваться как из россыпных ВВ, так и патронированных.

Рекомендуемые заряды - сплошные, рассредоточенные, с радиальным воздушным зазором. При этом применяют электрическое короткозамедленное взрывание. Оконтуривающие шпуры взрывают одним замедлением.

3. Заключение

Таким образом в результате анализа научной литературы мы можем следующие выводы:

- для получения более точного контура используется метод предварительного щелеобразования.
- для более успешного применения контурного взрывания необходимо использовать рассредоточенные заряды с ВВ пониженной мощности;
- необходимо применять в оконтуривающих шпурах со стороны внешнего контура демпфирующие прокладки по оси заряда из пористых материалов или деревянные рейки.
- наибольший эффект при создании зарядов достигается при взрыве двух ниток ДШ, расположенных на противоположных стенках трубы.
- применение металлических обкладок различных конструкций в сочетании с детонирующим шнуром позволяет получить направленный раскол пород.

Библиографический список:

- [1] Барон Л.И., Ключников А.В. Контурное взрывание при проходке выработок, Л. : Наука, 1976. – 13 п.л
- [2] Скрипкин Н.А. Применение контурного взрывания при проходке выработок в условиях повышенного горного давления // Молодёжь и наука: Сборник материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, посвященной 155-летию со дня рождения К. Э. Циолковского [Электронный ресурс]. — Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2012.

[3] Мангуш С.К. Взрывные работы при проведении подземных горных выработок: учеб. пособие. – 2-е изд., стер. – М.: изд-во «Горная книга», 2012. – 120 с.: ил.

Прогнозирования отказов карьерных автосамосвалов с помощью моделей анализа временных рядов

К.А. Непомнящих, А.И. Труфанов, В.А. Хармсовских, Д.Г. Шадрин
Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия
E-mail nka@istu.edu

Аннотация. Представлен алгоритм исследования. Рассмотрены результаты применения моделей анализа временных рядов на основе комплексной сети и метода Брутлага (на основании модели Хольта – Винтерса) для установления взаимосвязи между отказами карьерных автосамосвалов и данных с датчиков, а также проведена оценка возможности прогнозирования отказов карьерных автосамосвалов с помощью этих методов с целью снижения аварийных простоев.

1. Введение

Согласно статистическим данным, представленным в различных источниках, за последние десятилетия не удалось существенно снизить значение такого важного показателя эффективности в горном производстве, как время простоя основного оборудования. Частично это обусловлено медленными темпами обновления техники. Однако для сокращения числа отказов горных машин необходимо использовать новые системы оптимизации режимов их эксплуатации и своевременного выявления критических состояний. Здесь перспективным представляется внедрение информационных технологий для прогнозирования отказов на основе анализа технического состояния горного оборудования. [1,2]

Следует отметить, что качественные модели прогнозирования востребованы во многих отраслях, включая горнодобывающую промышленность. В связи с текущей геополитической ситуацией и массовым уходом западных компаний с российского рынка, поставляющих горное оборудование и оказывающих техническое и сервисное обслуживание, возникает необходимость создания отечественных инструментов для прогнозирования остаточного ресурса и контроля технического состояния горных машин и оборудования. [3,4]

В теории надёжности основное внимание уделяется решению задач по предсказанию отказов оборудования, особенно на этапе его эксплуатации в конкретных условиях. Оценка и прогнозирование остаточного ресурса имеют важное значение для организации технического обслуживания и ремонта. Со второй половины XX века техническое обслуживание в горной промышленности обычно основывалось на системе планово-предупредительного ремонта (ППР). Эта система была разработана на основе усреднённых статистических данных по всему. Однако такой подход не учитывает разную степень износа каждого отдельного оборудования, горно-геологические условия его эксплуатации, переменные нагрузки и разные уровни износа, что в итоге приводит к излишним затратам материальных ресурсов. Поэтому дальнейшие исследования в области снижения количества отказов горнотранспортного оборудования актуальны, так как на их основе можно принять верное решение о необходимости ремонта или продлении срока службы на определённый период. Такие исследования невозможны без применения современных технологий, в первую очередь благодаря глобальному переходу множества сфер современного общества на цифровые технологии.

Цель исследования: установить взаимосвязи между отказами карьерных автосамосвалов и временными рядами датчиков, фиксирующих параметры основных систем машины для прогнозирования момента наступления отказа на основе разработанных сетевых моделей

показателей работоспособности горных машин для снижения количества внеплановых простоев.

Задачи исследования:

- Оценить возможность прогнозирования отказов горных машин посредством сетевого анализ данных за счёт анализа сигналов датчиков, установленных на машине.
- Разработка работоспособных моделей прогнозирования отказов узлов горных машин.

2. Материалы и методы

В исследовании применены современные методы для анализа временных рядов:

- Метод на основе комплексных сетей;
- Метода Брутлага (на основании модели Хольта – Винтерса).

Оба метода имеют свои особенности.

Комплексные сети

Этот подход к расчету и анализу связей между акторами – объектами, процессами и системами, использует их математическое описание на основе современной науки о сетях [5], вовлекающей в обработку данных теорию графов, линейную алгебру и теорию вероятностей. Метод предусматривает конвертирование сигналов (как временных, так и частотных) в комплексные сети, а также последующий анализ комплексной сети – выявление маркеров работоспособности устройства, агрегата, машины, на которых установлены датчики.

Метода Брутлага (на основании модели Хольта – Винтерса)

Применение отдельных методов прогнозирования не приводит к оптимальному и достаточно точному результату, поскольку прогнозы могут учитывать не только факторы, оказывающее влияние на предмет прогнозирования, но и различные составляющие прогноза, такие как его основная тенденция развития, сезонная и циклические составляющие, случайная компонента [6].

Одним из методов, учитывающим несколько составляющих прогноза, является метод Хольта-Винтерса. Метод Хольта-Винтерса – это трехпараметрическая модель прогноза, которая учитывает:

- сглаженный экспоненциальный ряд;
- тренд;
- сезонность.

Тренд — это общая тенденция, сезонность, как следует из названия - влияния периодичности (день недели, время года и т.д.) и, наконец, шум - это случайные факторы. Если мы изобразим сумму этих трёх графиков, то мы получим временной ряд, который можно анализировать.

Материалами для исследования послужили: статистические данные об отказах карьерных автосамосвалов Komatsu HD 1500-8 и временные ряды датчиков основных систем самосвала.

3. Результаты исследования и их анализ

Основные этапы исследования представлены в виде алгоритма:

Этап № 1 - Анализ статистики отказов и датчиков

Этот этап включает в себя следующие работы:

- Анализ статистики отказов машин с целью выявления степени зависимости между отказами и временными рядами сигналов, снимаемых с датчиков;
- Выбор нескольких основных систем машины, наиболее зависимых к отказам.

Этап № 2

- Анализ и выбор методов обработки данных об отказах;
- Выбор метода для анализа временных рядов.

Этап №3 - Анализ временных диапазонов сигналов

- Поиск временных интервалов (как модельных для последующего анализа сигналов) на основе хронологических данных. Для решения этой задачи необходимо будет рассмотреть следующие интервалы работы машин: Интервал в процессе безотказной работы машины; Интервал в работе машины за 1-2 дня до отказа (системы); Временной интервал в процессе отказа работы машины (системы)

Этап № 4 - Предварительная подготовка данных

- Нормализация и очистка данных.
- Сетевизация: конвертирование временного ряда в сетевую структуру. [7]

Этап № 5 - Анализ сетевых структур [8]

Самый важный и трудоемкий этап, который включает в себя следующую работу:

- Анализ сетевой структуры, поиск, как правило с использованием кластерного анализа наиболее чувствительной метрики сети к отказу машины (сетевого маркера отказа);
- Разработка комплексного сетевого показателя работоспособности машины (сетевая метрика + надежность);
- Отслеживание динамики изменения метрик во времени (вплоть до отказа машины).

Этап № 6 - Верификация и тестирование

- Верификация и тестирование предлагаемой системы прогнозирования на статистически значимой выборке данных (сигналов, снимаемых с датчиков других машин).
- Внесения изменений в систему прогнозирования (согласование параметров и показателей по этапам 1-5).

Результаты по методу на основе комплексных сетей

Этап № 1 Анализ статистики отказов и датчиков

В качестве отслеживаемых параметров использовались значения датчиков: расхода топлива и оборотов двигателя.

В таблице 1 приведены неисправности топливной системы для одной из исследуемых машин.

Таблица 1

Неисправности топливной системы

Дата неисправности	Причина неисправности	Вито ТОиР
12.01.2023	Загрязнение топлива и топливных фильтров	Замене топливного фильтра;
15.01.2023	Загрязнение топлива и топливных фильтров	Очистка топливной сетки фильтра;
17.01.2023	Неисправность топливной системы; Причины: Индикация ошибки топливной систем	Ревизия топливной системы;
18.01.2023	Неисправность топливной системы	Замена фильтров
18.01.2023	Неисправность топливной системы – Нестабильная работа датчика управления подачей топлива.	-

Этап № 2 Анализ временных диапазонов сигналов

По значениям даты и времени неисправностей выбраны контрольные точки (блоки данных для дальнейшей обработки) см. табл. 2.

Таблица 2

Дни, выбранные для анализа

Дата	Характеристика дня	Общее количество значений показателя	
		Датчик «Расход топлива двигателя», лит/ч.	Датчик «Оборотов двигателя»
30.12.2022	День далёкий от неисправности	17280	17280
11.01.2023	Пограничный день	16954	16954
12.01.2023	День когда была неисправность	16404	16404
13.01.2023	День после неисправности	4628	4628
14.01.2023	Пограничный день	3550	3550
17.01.2023	День когда была неисправность	7128	7128

Этап № 3 – Предобработка данных

Далее, для выбранных блоков данных проведена нормализация и очистка, которая заключалась в структурировании временного ряда, удалении повторяющихся значений показателей в пределах одной минуты для сокращения уникальных значений. Затем, усреднив суточные расходы топлива были построены диаграммы для отслеживания динамики изменения как для исследуемой и машины, так и для аналогичной без вышеуказанных неисправностей топливной системы (см.рис.2.) для установления промежуточной связи отказа и значениями датчиков.

На рисунке 1 синим цветом показано изменение расхода топлива для машины с неисправностями красным цветом для машины без неисправностей. Среднемесечные значения получились следующими: 87,39 л/ч для машины с неисправностями и 80,25 л/ч без неисправностей, причем различие составило порядка 10%. Также из рисунка видно, что пик приходится на 06.01.23 после чего последовал ряд неисправностей. Следует уточнить, что машины работали в одинаковых условиях.

Этап № 4 - Анализ сетевых структур

После нормализации временные ряды выбранных дней были конвертированы в сетевую структуру и проанализированы в результате чего предложена гипотеза о -количестве связей как наиболее чувствительной метрики, значение которой растет к дню, когда были зафиксированы неисправности.

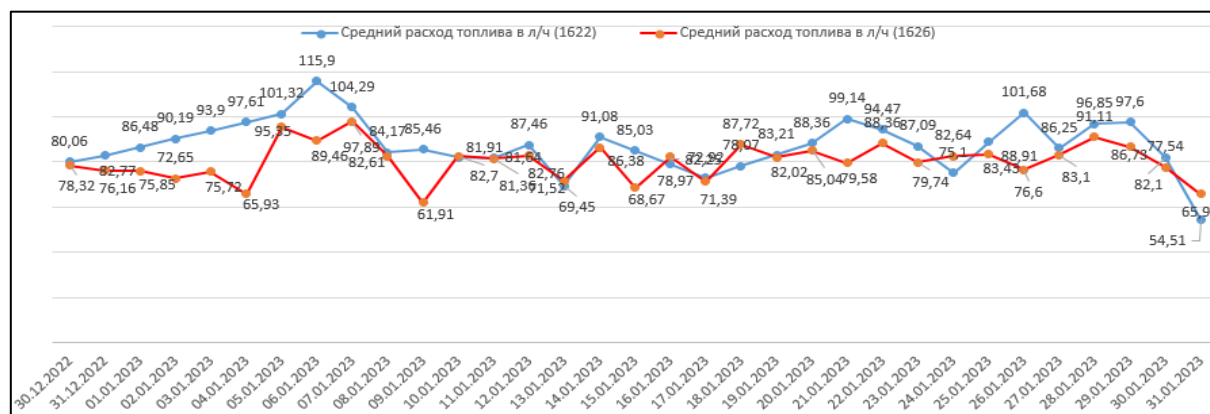


Рисунок 1. Сравнительная диаграмма среднесуточного расхода топлива в январе месяце для машины с неисправностями (Синяя линия) и без (Красная линия)

Результаты по методу на основе Метода Брутлага (на основании модели Хольта – Винтерса)
Этап № 1 Анализ статистики отказов и датчиков

В качестве отслеживаемых параметров использовались значения двенадцати датчиков: расхода топлива, оборотов двигателя, а также температуры масла двигателя и ЦСС и т.д.

Этап № 2 Анализ временных диапазонов сигналов

А в качестве неисправности нестабильная работа ЦСС и её последующий отказ и показания температурного датчика.

Этап №3 – Предобработка данных

Так как датчик температуры снимает показания 12 раз в минуту было принято решения провести интерполяцию показаний и приведения всех рассматриваемых датчиков к единой чистоте, см. рис.2.

dt	t	201	208	209	211	213	221	222	231	238	239	240	241	real_201	real_208	real_209	real_211
2022-12-21	1.67E+09	6	31	757	72.991	280	122	69	28.85	15	14	14	15	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
2022-12-21	1.67E+09	6	29.2	737.625	73.022	268	113.6	69	29.66	15	14.2	14	15	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
2022-12-21	1.67E+09	6	27.4	718.25	73.053	256	105.2	69	30.47	15	14.4	14	15	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
2022-12-21	1.67E+09	6	25.6	698.875	73.084	244	96.8	69	31.28	15	14.6	14	15	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
2022-12-21	1.67E+09	6	23.8	679.5	73.115	232	88.4	69	32.09	15	14.8	14	15	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
2022-12-21	1.67E+09	6	22	660.125	73.146	220	80	69	32.9	15	15	14	15	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
2022-12-21	1.67E+09	6	22	658.5	73.115	219.2	80	69	31.2	15	15	14.2	15	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
2022-12-21	1.67E+09	6	22	656.875	73.084	218.4	80	69	29.5	15	15	14.4	15	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
2022-12-21	1.67E+09	6	22	655.25	73.053	217.6	80	69	27.8	15	15	14.6	15	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
2022-12-21	1.67E+09	6	22	653.625	73.022	216.8	80	69	26.1	15	15	14.8	15	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
2022-12-21	1.67E+09	6	22	652	72.991	216	80	69	24.4	15	15	15	15	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
2022-12-21	1.67E+09	6	21.8	652.35	72.9476	216.8	79.6	69	24.27	15	15	15	15	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
2022-12-21	1.67E+09	6	21.6	652.7	72.9042	217.6	79.2	69	24.14	15	15	15	15	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
2022-12-21	1.67E+09	6	21.4	653.05	72.8608	218.4	78.8	69	24.01	15	15	15	15	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE

где true-реальное значение, false –интерполированное

Рисунок 2. Предобработка данных для модели Хольта-Винтерса

Этап № 4 – Визуализация модели и детекция аномалий

На модели откладываются временной ряд реальных значений, верхний и нижний доверительный интервал, сама модель и аномалии нижней и верхней границы см. рис.3.

И выход модели за доверительные интервалы фиксируется и наносится на график. В нашем случаи большое количество аномалий было зафиксировано до фиксации ошибки системы ЦСС и после, затем был отказ этой системы. Исходя из этого можно сделать вывод о возможности прогнозирования неисправностей систем карьерных автосамосвалов и взаимосвязи отказа и временного ряда датчика.

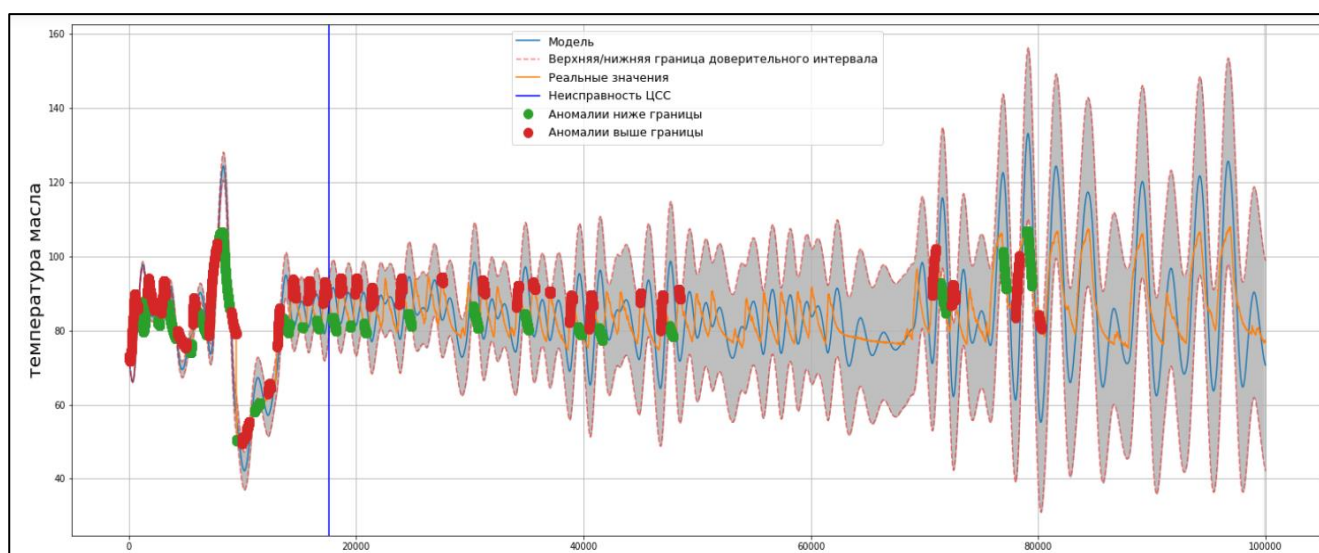


Рисунок 3. Пример детекции аномалии работы двигателя с помощью метода Брутлага (на основании модели Хольта - Винтерса

4. Заключение

Результаты исследования подтверждают возможность использования рассмотренных выше методом прогнозирования применительно к карьерному автосамосвалу и позволяют установить взаимосвязи между данными, снимаемыми с датчиков и отказами систем, кроме того, изменяющиеся метрики сети могут сигнализировать о возможных отказах что, позволит разработать комплексный сетевой показатель, который будет использоваться для количественной оценки модели прогноза.

Модель на основе комплексной сети более трудоёмкая и требует специальных знаний в области комплексных сетей, но с её помощью можно пытаться строить модели прогноза, но для этого нужен большой объём данных, но несомненным преимуществом является возможность влияния человеческого фактора на модель что делает её более гибкой

Модель на основе метода Холта – Винтерса более наглядная и имеет возможность строить не только одномерные модели, но и рассматривать многомерные и искать взаимосвязи разных датчиков.

В ходе исследования поставленные цели и задачи реализованы в полном объёме.

В последующем авторы предполагают осуществить разработку и внедрение автоматизированной системы контроля и прогноза работоспособности основных узлов и агрегатов карьерных автосамосвалов с отслеживанием динамики изменения метрик и поиском их предельных значений.

Библиографический список

- [1] Перов В.Ф. Селевые явления: терминологический словарь. (М.: Московский 1. Великанов В. С., Мусонов О. С., Панфилова О. Р., Ильина Е. А., Дёрина Н. В. Инструменты предиктивной аналитики в минимизации отказов горнотранспортного оборудования // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2021 Т. 19. – № 4. – С. 5–15. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2021-19-4-5-15>.
- [2] Балакин Ю.А., Вылцан С.С., Должко Д.М. Влияние технического диагностирования на повышение точности прогнозирования остаточного срока службы горнотранспортного оборудования // Молодой ученый. — 2015. — № 7 (87). — С. 88-91. — URL: <https://moluch.ru/archive/87/16626/>
- [3] Храмовских В.А., Шевченко А.Н., Непомнящих К.А. Адаптивный интеллектуальный анализ данных как инструмент для прогнозирования ресурса узлов горных машин и оборудования. Науки о Земле и недропользование. – 2023. – 46(2). – С. 212-225. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-2-212-225>.
- [4] Гришин И.А., Великанов В.С. О возможности использования метода локальной аппроксимации для прогноза нерегулярных временных рядов отказов горнотранспортных машин / И.А. Гришин, В.С. Великанов, О.В. Назаров, Н.В. Дёрина // Уголь. 2022. – № 3. – С. 84-89. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-3-84-89.
- [5] Vespignani A. Twenty years of network science. Nature. (2018). 558(7711). P. 528–529. <https://doi.org/10.1038/d41586-018-05444-y>.
- [6] Андрюхин Е.В., Ридли М.К., Правиков Д.И. Прогнозирование сбоев и отказов в распределенных системах управления на основе моделей прогнозирования временных рядов // Вопросы кибербезопасности. 2019. – № 3 (31). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognozirovanie-sboev-i-otkazov-v-raspredelennyh-sistemah-upravleniya-na-osnove-modeley-prognozirovaniya-vremennyh-ryadov> (дата обращения: 22.04.2024).
- [7] Ferreira L.N. From Time Series to Networks in R with the ts2net Package. arXiv:2208.09660 [cs.SI]. 2022 – 24 p. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2208.09660>.
- [8] Куулар Э.К., Труфанов А.И., Афанасьев А.Д., Тихомиров А.А., Берестнева О.Г. Сетевая платформа анализа звуковой информации // Сб. научных трудов IV Международной научной

конференции «Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине». (Ред. Берестнева О.Г., Мицель А.А., Гладкова Т.А.), 5 - 8 декабря 2017, г. Томск. – 2017. – С.240-243.

Анализ эффективности систем отбора проб при бурении комплексами ССК

Д.А. Севостьянов, П.Г. Петенёв

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

E-mail: dmitrysvst@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены Проанализированы конструкции съёмных снарядов керноприемников на затраты времени при спускоподъёмных операциях принципы. Представлены результаты гидродинамики процессов и эффективность снарядов.

1. Введение

В настоящее время наблюдается рост глубин геологоразведочных скважин по всему миру. На больших глубинах при бурении комплексом ССК возникает проблема с непроизводительным временем связанных со спускоподъемными операциями.

2. Материалы и методы

В исследовании применены материалы анализа керноприемных узлов.

3. Результаты исследования и их анализ

Для бурения с отбором керна комплексом ССК чаще всего используют классический узел керноприемного снаряда, которые имеет радиальные отверстия, по которым течет промывочная жидкость. Моделирование было проведено как внутренней, так и наружной части керноприемного узла. Поток промывной жидкости проходит во время спуска только по зазорам между бурильной трубой и керноприёмного узла, а также в радиальных отверстиях. Концентрация давлений происходит только в нижней части корпуса керноприемного узла. Проанализирована и промоделирована конструкции быстро спускаемого керноприемного снаряда компанией Boart Longyear.[1] Данная конструкция отличается от классического тем, что имеет полый шпindel, увеличенные промывочные каналы. Результаты показали, что данная конструкция снижает время на спуск, так как концентрация давлений при одинаковой скорости спуска отличается, а именно классический снаряд, падает со скоростью 0,5 м/с, а быстро спускаемый со скоростью 0,6 м/с.

4. Обсуждение

Концентрация давлений все равно возникает при спуске снаряда, поток промывочной жидкости создает сопротивление спуску снаряда. Однако полые отверстия дают снизит концентрацию давления и тем самым уменьшают время на спуск снаряда. Увеличенные промывочные каналы тоже помогают снизить концентрацию давлений, но в данных отверстиях наблюдаются завихрения потока промывочной жидкости, создавая дополнительные сопротивления на спуск снаряда. Если создать конструкцию способную снизить концентрацию в данных отверстиях, то можно добиться ещё большего уменьшения концентрации давлений и уменьшить время спуска снаряда.

5. Заключение

Существующие конструкции действительно снижают время на спускоподъемные операции, однако не столь эффективно как показывают результаты моделирования. Дальнейшие

исследования должны быть направлены на создание оптимальной конструкции, которые включает себя элементы прошлых конструкций и модификации существующих, изучение должны быть направлены на устройства овершота.

Библиографический список

[1] Core drilling tools with external fluid pathways: пат. № 8Ю 869,918 Unired States, МПК E 21 В 25/02. Заявл. 15.12.2010; опубл. 14.04.2011.

К расчету производительности и параметров забоя драги

И.А. Мешков, Б.Л. Тальгамер

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

E-mail pach.van@mail.ru, talgamer@ex.istu.edu

Аннотация. Рассмотрены методики расчета производительности драги 380л. Представлены зависимости производительности драги от ширины забоя при разных мощностях разрабатываемого пласта песков.

1. Введение

В настоящее время известно несколько методов расчета производительности драг, которые учитывают как рабочие параметры выемочного оборудования, так и характеристику продуктивных отложений. Целью настоящих исследований является сравнение результатов расчетов параметров дражного забоя, полученных по разным методикам, и определение области применения каждой из них.

2. Материалы и методы

В настоящее время существует несколько методик расчёта производительности драг и ширины дражного забоя [1-3].

По методике В.Г. Лешкова [1] суточная производительность драги рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{сут}} = \frac{3600 \cdot v_6 \cdot H \cdot \alpha \cdot T \cdot R_c \cdot \sin \beta_1}{0,0175 \cdot K_c \cdot R_c \cdot \beta_1 + 30 \cdot v_6(t_1 + K_c \cdot t_2)}, \quad (1)$$

где v_6 — скорость бокового перемещения драги вдоль забоя, м/сек;

H — мощность россыпи, срабатываемая черпаками, м;

α — величина шага (ухода) драги на один забой, м;

T — число часов чистой работы драги в сутки без учета простоев, ч;

R_c — радиус черпания драги на среднем горизонте россыпи, м;

β_1 — половина угла маневрирования драги в одинарном забое, град;

$K_c - \frac{H}{h}$ число слоев породы, срабатываемых черпаками при послыной отработке одного забоя;

t_1 — продолжительность зашагивания драги на новый забой, мин;

t_2 — простои драги в углах забоя при переходе к выемке нижележащего слоя, мин.

В свою очередь параметры, которые входят в формулу рассчитываются по формулам учитывающие параметры россыпи, конструктивные особенности драги и технологию ведения работ.

По методике, представленной в трудах С.М. Шорохова [2], часовая производительность драги рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{ч}} = \frac{60 \cdot n \cdot E}{\rho} \eta_{\text{н}}, \quad (2)$$

где E — вместимость черпака, м^3 ;

n — скорость движения черпаковой цепи, черпаков в минуту;

ρ — коэффициент разрыхления пород в черпаке;

T — число часов чистой работы драги в сутки без учета простоев, ч;

$\eta_{\text{н}}$ — средний коэффициент наполнения черпака.

При этом взаимосвязь производительности драги с параметрами россыпи и технологией разработки описывается следующими формулами:

$$E = \frac{s \cdot d \cdot v_{\text{б}} \cdot \rho}{\lambda n} \eta_{\text{н}}, \quad (3)$$

где s — ширина забойной площадки (уход драги), м;

d — средняя толщина стружки, м;

$v_{\text{б}}$ — скорость бокового перемещения драги вдоль забоя, м/сек

ρ — коэффициент разрыхления пород в черпаке;

λ — коэффициент наполнения черпака в средней части забоя;

n — скорость движения черпаковой цепи, черпаков в минуту;

$\eta_{\text{н}}$ — средний коэффициент наполнения черпака.

$$\lambda = \frac{\rho(H_{\text{р}} + Z)}{\rho' \frac{H'}{\lambda'} + \rho'' \frac{H''}{\lambda''} + \rho^Z \frac{Z}{\lambda^Z}}, \quad (4)$$

где λ' , λ'' , λ^Z — соответственно коэффициент наполнения черпака посередине забоя при выемке легких пород, при выемке пород повышенной крепости, при задирке плотика.

$$\eta_{\text{н}} = 57,3\lambda \frac{\sin\phi_1 + \sin\phi_2}{\phi_1 + \phi_2}, \quad (4)$$

где ϕ_1 , ϕ_2 — углы поворота драги от среднего положения в сторону рабочей сваи, град.

По методике, представленной в трудах В.А. Кудряшова [3], часовая производительность драги рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{ч}} = 250,8 R \sin\gamma l H K_{\text{н}} \left(\frac{1}{R l H \rho \sin\gamma + 250,8 K_{\text{н}} T_{\text{т}}} + \frac{1}{R l H \rho \gamma + 250,8 K_{\text{н}} T_{\text{т}}} \right), \quad (5)$$

где R — средний по забою радиус черпания драги, м;

l — величина зашагивания, м;

$K_{\text{н}}$ — средний по забою коэффициент наполнения черпаков;

γ — средний угол маневрирования драги, рад.;

ρ — средняя величина коэффициента разрыхления пород в черпаке;

$T_{\text{т}}$ — продолжительность технологических простоев драги.

Каждый параметр в указанной формуле рассчитывается по формулам, учитывающим размеры россыпи, конструктивные особенности драги и технологию ведения работ.

В каждой из приведенных методик расчета производительности участвуют угол маневрирования драги в разрезе и мощность разрабатываемой россыпи. По данным методикам была рассчитана производительность 380л драги для разных мощностей россыпных месторождений.

3. Результаты исследования и их анализ

Последовательность вычислений выглядит следующим образом:

1. Рассчитывается производительность 380л драги при мощности песков $H=10; 20; 30$ м; и различном угле ее маневрирования в забое $\phi(\gamma) = 46-121$ град.
2. Отстраивается зависимость производительности драги от угла маневрирования для различных мощностей песков $H=10; 20; 30$ м.
3. Определяется ширина забоя драги исходя из угла маневрирования и устанавливается зависимость производительности драги от ширины забоя для мощности песков $H=10; 20; 30$ м.
4. Выполняется анализ влияния параметров драгирования и мощности песков на оптимальную ширину забоя 380л драги.

На рисунках 1-3 представлены зависимости производительности драги от ширины забоя для мощности песков $H=10; 20; 30$ м, установленные по разным методикам.

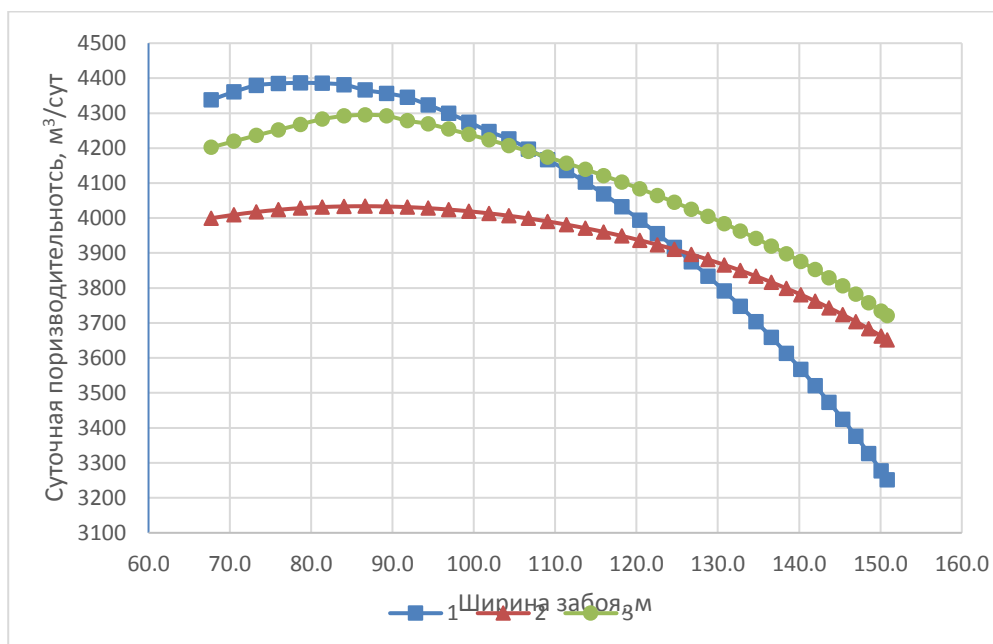


Рисунок 1. Зависимость суточной производительности 380л драги от ширины забоя при мощности песков 10 м: 1 – по методике В.А. Кудряшова, 2 – по методике В.Г. Лешкова, 3- по методике С.М. Шорохова.

Оптимальная ширина забоя устанавливается исходя из максимальных значений производительности драги.

Различия значений производительности, полученные по разным методикам, достигают 15%. Наибольшее количество параметров работы оборудования учитывает методика В.Г. Лешкова, что делает эту методику более подходящей для проектирования дражных работ.

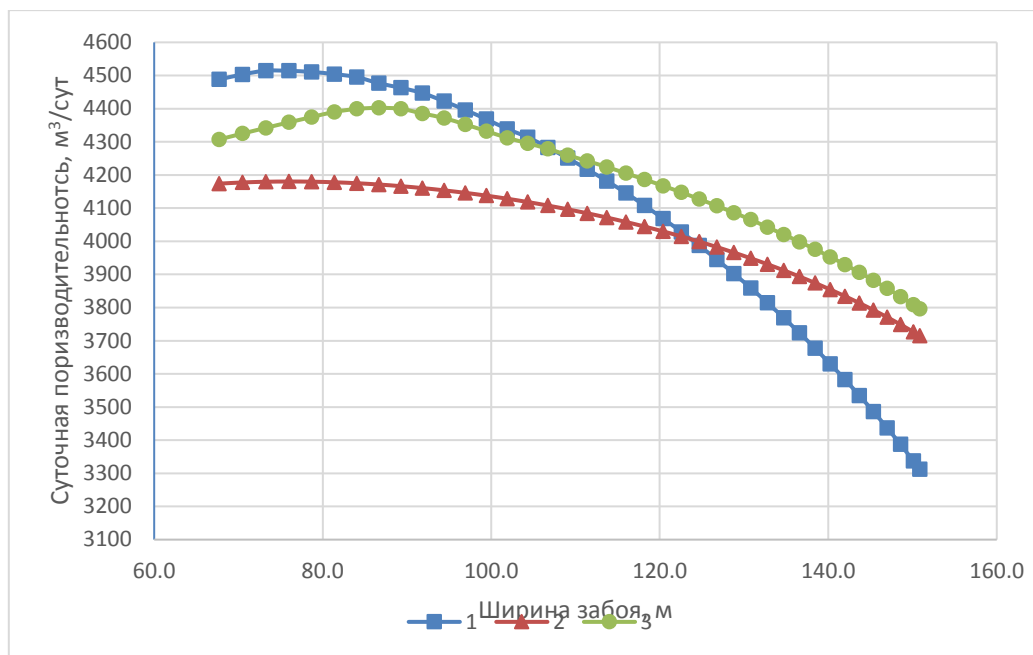


Рисунок 2. Зависимость суточной производительности 380л драги от ширины забоя при мощности песков 20 м: 1 – по методике В.А. Кудряшова, 2 – по методике В.Г. Лешкова, 3- по методике С.М. Шорохова.

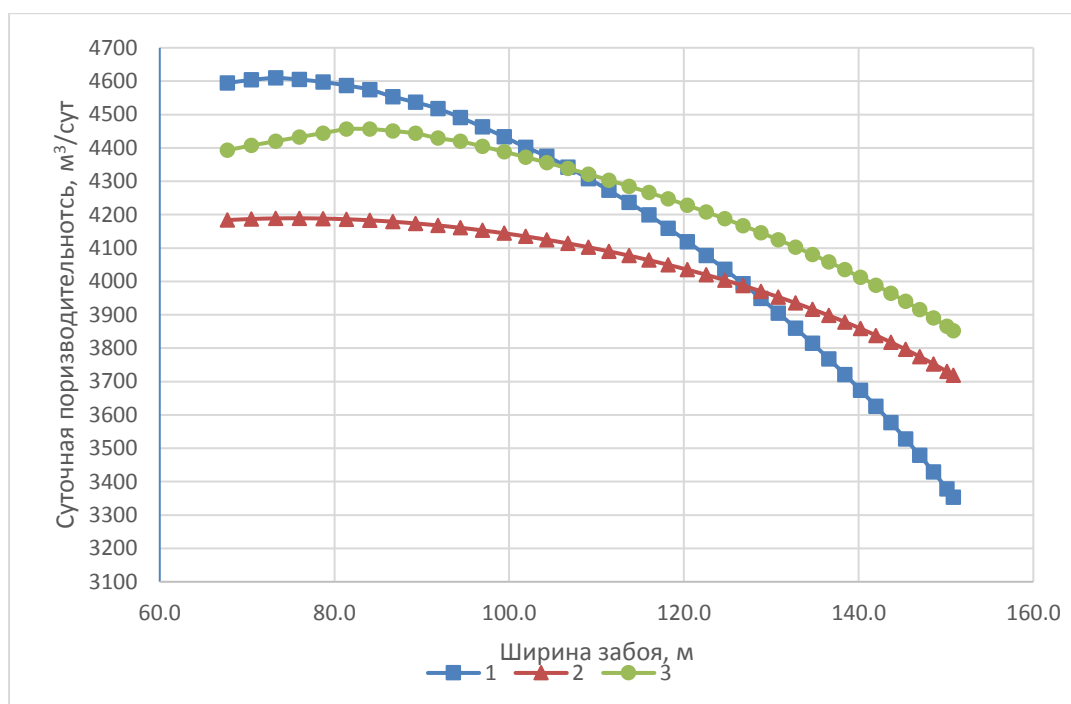


Рисунок 3. Зависимость суточной производительности 380л драги от ширины забоя при мощности песков 30 м: 1 – по методике В.А. Кудряшова, 2 – по методике В.Г. Лешкова, 3- по методике С.М. Шорохова.

4. Обсуждение

Из графиков следует, что с увеличением угла маневрирования, а, следовательно, и ширины забоя производительность драги в начале увеличивается до определенного значения, а затем стремительно уменьшается, по мере приближения к максимальной ширине забоя. Это объясняется тем, что при большем угле маневрирования уменьшается наполнение черпаков и

работа становится менее эффективной. Также из графиков видно, что с увеличением мощности песков производительность драги растет, однако уменьшается оптимальная ширина забоя и диапазон ее изменения. Это связано с тем, что с увеличением мощности продуктивного пласта уменьшаются затраты времени на зашагивание, установку мертвяков и прочие вспомогательные операции.

В таблице 1 представлены рассчитанные параметры работы драги при анализируемых условиях.

Таблица 1

Параметры работы драги при расчете по разным методикам

Параметры	Результаты расчетов по методике		
	В.А. Кудряшова	В.Г. Лешкова	С.М. Шорохова
Для мощности песков Н=10 м			
Угол маневрирования, град.	46-70	46-76	46-74
Оптимальная ширина забоя, м	67,7-99,4	67,7-106,7	67,7-104,3
Диапазон изменения производительности, м ³ /смену	4337,9-4386,6	3999,5-4033,1	4202,2-4295,3
Для мощности песков Н=20 м			
Угол маневрирования, град.	46-62	46-64	46-70
Оптимальная ширина забоя, м	67,7-86,7	67,7-94,4	67,7-99,4
Диапазон производительности, м ³ /смену	4488,2-4514,2	4173,8-4180,2	4307,3-4402,5
Для мощности песков Н=30 м			
Угол маневрирования, град.	46-60	46-64	46-68
Оптимальная ширина забоя, м	67,7-84	67,7-91,9	67,7-96,9
Диапазон изменения производительности, м ³ /смену	4594,3-4609,5	4183,8-4188,3	4393,4-4456,6

Оптимальная ширина забоя, рассчитанная по разным методикам, отличается незначительно (до 10%), что подтверждает возможность использования любой из них.

5. Заключение

Определение ширины забоя возможно по различным методикам, которые учитывают не только параметры драги, но и месторождения. Они в разной степени учитывают влияние изменяющихся параметров работы на производительность, однако позволяют установить оптимальные условия драгирования и тем самым повысить эффективность добычных работ, а в результате снизить себестоимость извлекаемых полезных компонентов.

Библиографический список

- [1] Лешков В.Г. Справочник дражника / В.Г. Лешков. – М. : Недра, 1967. – 495 с.
- [2] Шорохов С.М. Технология и комплексная механизация разработки россыпных месторождений / С.М. Шорохов. – М. : Недра, 1973. – 766 с.
- [3] Кудряшов В.А., Потемкин С.В. Основы проектирования разработки россыпных месторождений. М.: Недра, 1988. 199 с.

Результаты апробации методики расчёта концентрации взвесей в воде илоотстойников при разработке россыпных месторождений

М.Ю. Марков, Б.Л. Тальгамер

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

E-mail markovmyu@ex.istu.edu

Аннотация: Произведена оценка точности методики расчёта концентрации взвесей в воде илоотстойников. Приведены возможные причины различий расчётных и фактических показателей. Предложены возможные пути совершенствования методики.

1. Введение

Любая технологическая операция при разработке россыпных месторождений сопровождается загрязнением используемых вод. Основным загрязняющим веществом, в большинстве случаев, являются твёрдые минеральные взвеси. При разработке россыпей обязательной частью технологии является строительство очистных сооружений для очистки сточных вод [1].

Известные методики проектирования очистных сооружений на разрабатываемых россыпях не обеспечивают достаточную степень точности прогнозирования концентрации взвешенных частиц в технологических и сточных водах. Повышение точности существующих методик, в условиях возрастающих требований природоохранного законодательства, является актуальным.

2. Материалы и методы

В исследовании проводится анализ существующей методики прогнозирования концентрации взвешенных веществ и определения эффективности их осветления с использованием способов, традиционно применяемых при разработке россыпных месторождений полезных ископаемых.

Принято считать, что взвешенные частицы, не осаждаемые в илоотстойнике и выносимые вместе со сточными водами, представлены в основном фракцией менее 0,05 мм (ил, глина). Это обосновывается их крайне низкой скоростью осаждения. Из вышеуказанного следует, что для эффективной очистки сточных вод с относительно высоким содержанием илисто-глинистых фракций необходимо сооружать крупные илоотстойники и осуществлять отстаивание в течение длительного периода времени, а в случае тонкодисперсных и коллоидных глин обязательным является применение химических и электрохимических способов водоподготовки [2].

При проектировании водоочистных сооружений на россыпях концентрация взвесей в сточных водах, выпускаемых через водосбросные трубы и канавы, определяется выражением:

$$C_{\pi} = \frac{0,54 \cdot \gamma \cdot 10^6}{R \cdot (0,3 + \omega_0)}, \quad (1)$$

где γ – содержание частиц размером менее 0,05 мм в промываемом полезном ископаемом, доли ед.;

R – отношение жидкой фазы к твёрдой при промывке, м³/м³;

ω_0 – отношение объёма воды в илоотстойнике к суточному расходу воды промывочной установкой.

В случае, когда сбрасываемые сточные воды фильтруются сквозь дамбы обвалования, формула имеет следующий вид:

$$C_{\pi} = \frac{0,54 \cdot \gamma \cdot 10^6}{R \cdot (0,3 + \omega_0) \cdot (0,45 \cdot \rho - 1,47)}, \quad (4)$$

где ρ – длина пути фильтрации через дамбу (обычно принимается равной средней ширине дамбы на $\frac{1}{2}$ её высоты), м.

Рассматриваемые формулы используются при расчёте кратковременно действующих илоотстойников, используемых при разработке россыпных месторождений [3].

По плану исследований для контроля мутности сбрасываемых сточных вод были отобраны пробы сточных вод в начале и в конце илоотстойника, а также в его характерных точках.

Для отбора проб были подготовлены пробоотборник (бутыль, ёмкостью 0,5л, погружаемая в воду на штанге), бутылки для хранения проб. Отбор проб осуществлялся с лодки, путём равномерного опускания и поднятия пробоотборника.

Далее отобранные пробы были исследованы с использованием цифрового фотометра «ТКА-04/3» и изолирующего бокса с источником света, представленными на рисунке 1. Рассматриваемая проба воды помещается в прозрачный стакан объёмом 0,55 л. Бокс закрывается крышкой и дополнительно плотным тканевым материалом с целью исключить влияние прочих источников света на показания фотометра.

После исследования проб, полученные данные интерпретируются под данным тарировочной шкалы для получения данных об концентрации взвешенных частиц в пробах сточных вод.



Рисунок 1. Средства для обработки проб сточной воды

3. Объект исследования

Для оценки точности прогнозирования концентрации взвешенных частиц в сточных водах по вышеуказанной методике были проведены натурные наблюдения на участке горных работ по «россыпи долины р. Ныгри и её притоков выше устья руч. Тёплый»

Полезное ископаемое, заключено в аллювиально-элювиальных отложениях месторождения и характеризуется довольно постоянным вещественным составом.

Элювиальная составляющая золотоносного пласта представлена глыбово-щебнисто-дресвяным материалом с глинисто-суглинистым заполнителем. Петрографический состав обломков коренных пород однообразный, представлены они преимущественно углеродистыми сланцами с редкими прослоями полимиктовых песчаников.

Аллювиальная часть месторождения сложена гравийно-галечно-валунным материалом, сцементированным песчано-суглинистым цементом. Аллювий характеризуется умеренным содержанием валунов (14-16%). Валунны и гальки имеют разную степень окатанности, от первой до четвертой. В большинстве своем они представлены песчаниками, алевролитами, сланцами, реже кварцем. Песчано-глинистая фракция составляет около 10,9% от общего объема породы. Гранулометрическая характеристика аллювиальных отложений месторождения представлена в таблице 1.

Таблица 1

Гранулометрический состав песков месторождения

Размер фракций, мм	Выход класса, %	Накопленный %
+200	14,0	14,0
-200+100	6,2	20,2
-100+50	22,0	42,2
-50+20	11,5	53,7
-20+10	6,6	60,3
-10+5	11,9	72,2
-5+1	16,9	89,1
-1+0.05	6,1	95,2
-0.05	4,8	100

По гранулометрическому составу золотоносные пески классифицируются как умеренно валунистые и среднепромывистые.

В рамках данного исследования были изучены 2 действующих илоотстойника.

Илоотстойник № 1 (L = 120/670 м; В_{ср} = 65/100 м; h_{ср} = 2,4/5,3 м; W = 18,7/357,1 тыс.м³) представленный на рисунке 2, расположен в выработанном пространстве прошлых лет и на момент исследования, находился в активной эксплуатации. Промывка песков осуществляется с использованием промприбора ТОК – 200.

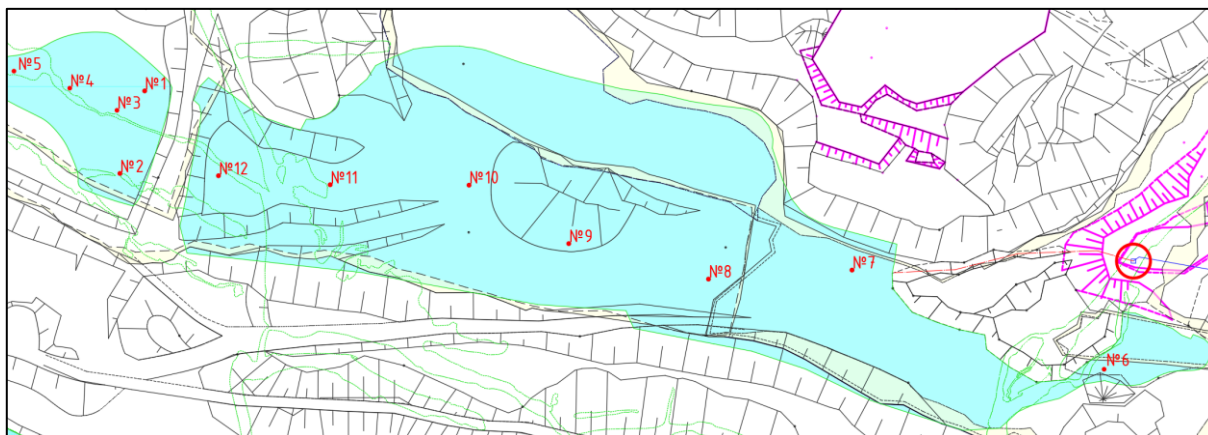


Рисунок 2. Илоотстойник №1

На данном илоотстойнике было отобрано 12 проб воды в характерных точках водоёма. Результаты анализа проб приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты анализа проб воды в илоотстойнике № 1

№ водоёма	№ пробы	Глубина отбора, м	Глубина водоёма в точке отбора, м	Освещенность (лк)	Концентрация взв. вещ-в, г/л	Примечание
1	2	3	4	5	6	7
1	1	0.2	0.4	907	0.206	фильтрация через дамбу
	2	0.2	0.4	1385	0.122	фильтрация через дамбу
	3	0.75	4.7	1091	0.161	

	4	0.75	3.0	947	0.196	

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
1	5	0.75	3.7	956	0.192	руслоотвод
	6	0.75	2.7	1463	0.116	за пром. установкой
	7	0.2	0.4	6	2.190	эфельный пляж
	8	0.75	5.7	757	0.258	
	9	0.75	6.6	1630	0.110	
	10	0.75	9.5	1517	0.114	
	11	0.75	11.3	1902	0.110	
	12	0.75	2.9	1695	0.110	

Концентрация взвешенных частиц, в поступающей в илоотстойник после промывки загрязнённой воды (проба №7) составляет 2,190 г/л. В соответствии с формулой 1 концентрация взвешенных частиц в сточных водах после отстаивания в точке № 12 должна составить 0,194 г/л. Фактическое значение 0,110 г/л (отклонение от расчётного значения на 43,2%).

В пробах №1-5 фактические значения концентрации взвешенных частиц колеблются в диапазоне от 0,122 до 0,206 г/л, против расчётного 0,016 г/л. Столь высокое превышение объясняется работой поверхностного слива, через который в нижний бьеф илоотстойника поступают сточные воды, не прошедшие дополнительную фильтрацию.

Илоотстойник № 2 ($L = 530$ м; $B_{\text{ср}} = 400$ м; $h_{\text{ср}} = 13,4$ м; $W = 2311,1$ тыс.м³) представленный на рисунке 3, расположен в выработанном пространстве прошлых лет и на момент исследования, находится в активной эксплуатации. Промывка песков на данном илоотстойнике осуществляется с использованием промприбора ПКО – 100.

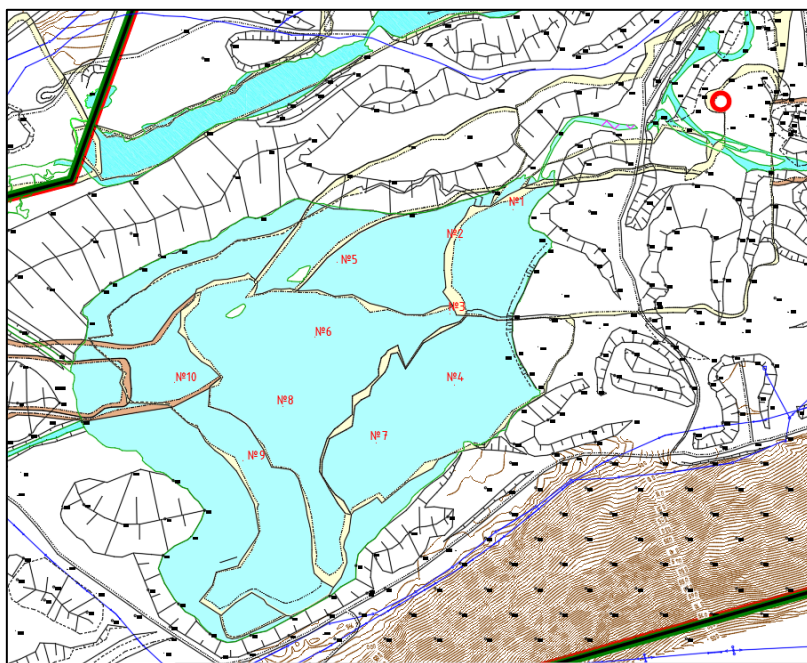


Рисунок 3. Илоотстойник № 2

На данном илоотстойнике было отобрано 10 проб воды в характерных точках водоёма. Результаты анализа проб приведены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты анализа проб воды в илоотстойнике № 2

№ водоёма	№ пробы	Глубина отбора, м	Глубина водоёма в точке отбора, м	Освещенность (лк)	Концентрация взв. вещ-в, г/л	Примечание
2	1	0.5	0.5	7	2.224	сброс загряз. воды
	2	0.75	3.3	351	0.518	старый эф. пляж
	3	0.75	17.8	932	0.198	
	4	0.75	22.2	923	0.196	
	5	0.75	27.5	1157	0.210	
	6	0.75	14.2	896	0.208	
	7	0.75	11.8	1069	0.166	
	8	0.75	15	1071	0.170	
	9	0.75	19.7	1043	0.172	
	10	0.75	2	1180	0.146	руслоотвод

Концентрация взвешенных частиц в пробе №1 составляет 2,224 г/л. В соответствии с формулой 1 концентрация взвешенных частиц в сточных водах после отстаивания в точке № 12 должна составить 0,169 г/л. Фактическое значение 0,146 г/л (отклонение от расчётного значения на 13,6% в меньшую сторону).

4. Обсуждение

По результатам исследований, можно сделать следующие выводы:

1. Данными исследования подтверждено значительное расхождение расчётных по методике Зубченко Г.В. и фактических значений концентрации взвешенных веществ в сточных водах при разработке россыпных месторождений. Фактические значения концентрации после прохождения илоотстойников получились меньше расчётных (на 43,2% в случае илоотстойника №1, илоотстойника №2 – на 13,6%). Возможной причиной отклонений является отбор изучаемых проб исключительно в приповерхностном слое воды.

2. Применительно к горным работам данная методика прогнозирования концентрации взвешенных веществ в сточных водах, в условиях ужесточения требований природоохранного законодательства требует дальнейшего исследования и совершенствования.

5. Заключение

Результаты полевых исследований по прогнозированию концентрации взвешенных частиц показали, что существующая методика прогнозирования взвесей не обеспечивает приемлемой точности и, в условиях ужесточения природоохранного законодательства, нуждается в совершенствовании.

Основным направлением исследований для повышения точности методики прогнозирования является изучение распределения взвешенных частиц по глубине в процессе отстаивания.

Библиографический список

- [1] Шорохов С.М., Зуйков А.А., Зубченко Г.В. и др. Предохранение рек от загрязнения при разработке // М., Недра, 1980. – 207 с.
- [2] Назаров В.В. Водоснабжение и очистка сточных вод при разработке россыпных месторождений / В.В. Назаров, Ю.М. Чикин, В.Р. Личаев [и др.] – М: «Недра», 1975. – 184 с.
- [3] Зубченко Г.В., Сулин Г.А. Рациональное использование водно-земельных ресурсов при разработке россыпей. М. : Недра, 1980. – 238 с.

СЕКЦИЯ 6. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 550.37

Сравнение измерительных установок электротомографии и бесконтактного электропрофилирования при выполнении опытно-методических работ на льду озера Байкал

Д.А. Плохотнюк, П.Г. Бирюков, Е.А. Сляднев, И.В. Трофимов

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

E-mail plokhotnyuk@geo.istu.edu

Аннотация. Представлены результаты сравнения измерительных установок электротомографии и бесконтактного электропрофилирования на льду озера Байкал. По полученным результатам были построены разрезы по параметру удельного электрического сопротивления, по которым удалось закартировать современный уровень дна озера Байкал. Различные типы измерительных установок методом электротомографии применялись для оценки шума и глубинности установок.

1. Введение

В марте 2022 и 2023 годов проводились опытно-методические работы (ОМР) на льду озера Байкал вблизи поселка Большое Голоустное (Рисунок 1). Для электроразведки Байкал является уникальным полигоном с достаточно понятными и условно изотропными свойствами среды. Удельное электрическое сопротивление (УЭС) воды составляет около 160-200 Ом·м, под ней располагаются проводящие донные отложения с сопротивлением в десятки Ом·м, залегающие на высокоомном гранитном основании порядка 400-500 Ом·м [1]. Представление о геоэлектрическом строении прибрежной зоны Байкала в районе поселка Большое Голоустное было получено в 2017 г. по результатам ОМР комплексом методов ЭМЗ-ВП, МТЗ, ЗСБ-М, ВЭЗ [2].

Было выполнено по два профиля электротомографии (ЭТ) и бесконтактного профилирования комплексом «ВЕГА», а также один профиль бесконтактным измерителем кажущегося сопротивления (БИКС). Целью работ являлось тестирование современных электроразведочных систем на эталонном объекте. Исходя из поставленной цели решались следующие задачи: 1. Сравнение и оценка данных трёх измерительных установок ЭТ по параметру кажущегося сопротивления, а также их инверсии. 2. Сравнение результатов ЭТ и бесконтактного электропрофилирования. 3. Выделение границы современного уровня дна озера Байкал.



Рисунок 4. Схема расположения участка работ

2. Материалы и методы

Измерения методом электропрофилирования выполнялись двумя бесконтактными комплексами: БИКС и «ВЕГА».

БИКС предназначен для работ методом электропрофилирования с использованием индукционного способа возбуждения электромагнитного поля. Измерения производились по первому профилю длиной 640 метров с шагом по профилю 10 метров. Расстояние между приемником и источником составляло 30, 40, 50 и 60 метров соответственно.

Электроразведочная станция «ВЕГА» позволяет проводить наблюдения в многоканальном режиме с непрерывной регистрацией данных. Запись сигнала производилась по двум профилям общей длиной 1280 метров с шагом по профилю 10 метров и расстоянием между ними 50 метров. Расстояние между генераторным и измерительным блоками составляло 15, 30, 45 и 60 метров.

Особенностью электротомографии является многократное использование в качестве питающих и измерительных одних и тех же фиксированных на профиле электродов. Методика ЭТ была реализована с использованием аппаратуры «Скала-64К15». Измерения выполнялись по двум профилям с шагом по профилю 10 метров. Для измерения параметра УЭС среды использовалось три вида измерительных установок: Шлюмберже, дипольная осевая, трёхэлектродная (прямая и обратная).

Различные типы измерительных установок применялись для оценки шума и глубины исследования. Инверсия данных выполнялась в программе «ZondRes2D» [3].

3. Результаты исследования и их анализ

На начальном этапе обработки данных анализируются разрезы по кажущемуся сопротивлению. По соотношению параметра сигнал/шум самые зашумленные данные получились дипольной осевой установкой. По глубине исследования преимуществом обладает трехэлектродная, её псевдоглубина достигает 275 метров при шаге косы в 10 метров. Дипольная и Шлюмберже обладают примерно равной глубиной. Также данные, полученные при регистрации сигнала трехэлектродной установкой, имеют наиболее высокое соотношение сигнал/шум, тем самым установка показывает свое преимущество перед установками Шлюмберже и дипольной осевой. К минусам трехэлектродной установки можно отнести лишь вопрос мобильности, так как выносной электрод в «бесконечность» нужно отнести и заземлить на расстояние минимум 1.5 километра.

По результатам проведенных работ была выполнена двумерная инверсия данных электротомографии и данных, полученных аппаратными комплексами «ВЕГА» и БИКС.

Сравнивая разрезы по параметру УЭС различных методов, видим, что все три комплекса выделяют современный уровень дна озера Байкал (Рисунок 2).

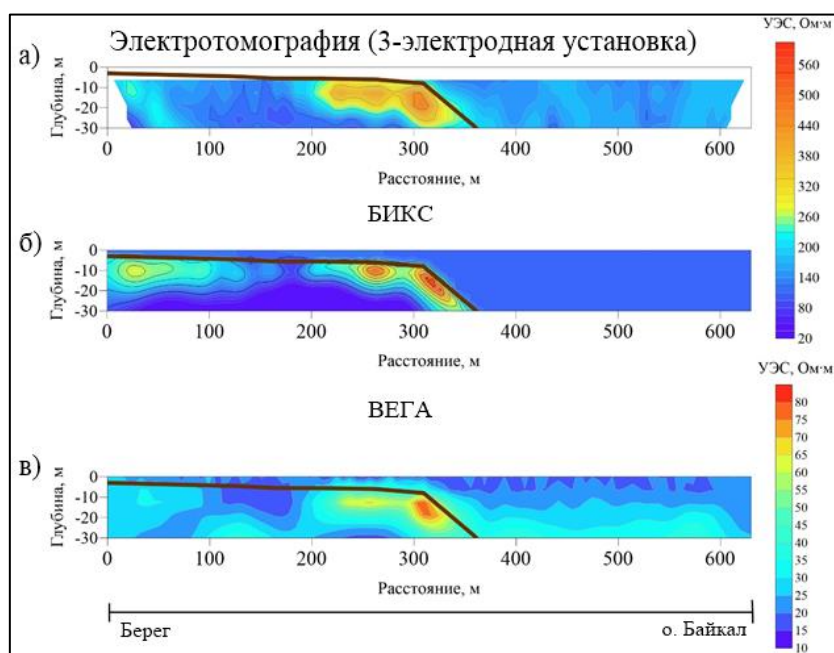


Рисунок 5. Разрезы УЭС по первому профилю полученные по результатам 2D-инверсии данных. а –ЭТ на глубине 30 метров; б –БИКС на глубине 30 метров; в –ВЕГА на глубине 30 метров.

4. Заключение

Были выполнены опытно-методические работы вблизи поселка Большое Голоустное на льду озера Байкал. По результатам работ были сделаны следующие выводы:

- 1) Трехэлектродная установка электротомографии имеет наибольшую глубинность по сравнению с другими установками, но есть необходимость выноса удаленного электрода на дальнее расстояние, что в полевых условиях может вызвать ряд проблем.
- 2) Данные, полученные с применением дипольной установки ЭТ, на первом этапе обработки получились с высоким уровнем шума.
- 3) ЭТ и электропрофилирование показали хорошую сходимость по аномалиям в поле УЭС.
- 4) Все установки электротомографии и бесконтактного электропрофилирования выделяют современный уровень дна озера Байкал.

Библиографический список

- [1] Давыденко Ю.А., Терешкин С.А., Башкеев А.С. [и др.] / Результаты опытно-методических работ новой технологией БПЛА-МПП на Байкале // Инженерная и рудная геофизика 2022: Сборник материалов 18-ой научно-практической конференции и выставки, Геленджик, 05–08 сентября 2022 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "ЕАГЕ ГЕОМОДЕЛЬ", 2022. – С. 18-25
- [2] Shkiria M.S., Davydenko Y.A., Tereshkin S.A., Petrishchev M.S. The use of the complex of electromagnetic soundings for study of electrical conductivity of bottom sediments of the Lake Baikal // GeoBaikal 2018. – European Association of Geoscientists & Engineers, 2018. – Т. 2018. – №. 1. – С. 1-5.
- [3] Программа ZondRes2D [Электронный ресурс] // Zond Software. - 2023. URL: <http://zond-geo.com/software/resistivity-imaging-ves/zondres2d/> (дата обращения 05.03.2024).

Развитие информационной системы для устойчивого эко-мониторинга региона: разработка и перспективы применения геопортала в секторе недропользования

А.А. Михиденко

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Email: pro@kgtu.ru

Аннотация. Рассмотрены идея, цели, концепция, архитектурный подход и функциональные методы общедоступной информационной системы регионального масштаба, предназначенной для автоматизации бизнес-процессов среди участников обмена пространственными данными в секторе геологического изучения, использования и охраны недр.

1. Введение

Как и вся мировая индустрия, отрасль недропользования в России на постоянной основе принимает значительные вызовы относительно требований по развитию отечественных ИТ-решений направленных на реализацию своих научных и прикладных задач.

Важность применения вычислительной техники в сфере недропользования еще в 1975 г. заметил А.Е. Куликович, когда впервые предложил понятие «геоинформатика», сравнивая экспоненты роста мощности ЭВМ и накопленных знаний человечества [1]. Куликович тесно работал с В.И. Вернадским, который в свою очередь «горел идеей» вывести науку геологию в лидеры естественных наук столетия. Новое научноенаправление под названием «Геоинформатика» получила вектор развития, в СССР образовалась ассоциация, мгновенно признанная международным научным сообществом.

Последующие 50 лет геоинформатика развивалась на стыке самых разных научных дисциплин, в том числе и немаловажных для отрасли недропользования, деятельность которой связана с такими науками как геодезия, экология, геофизика и пр.важными научными дисциплинами, в арсенале успешных решений которых имеются разнообразные по сложности и важности примеры задач касающиеся геологического изучения, использования и охраны недр. Развитие собственной информационной системы (геопортала) для научно-исследовательской лаборатории центра маркшейдерско-геодезических инноваций (ЦМГИ) и кафедры маркшейдерского дела и геодезии (МДиГ) института недропользования ИРНТУ, в общем, является актуальной задачей, поскольку при разработке геопортала концепция его развития подразумевает примирение современных ИТ-технологий, которые по замыслу автора должны способствовать беспрепятственному прогрессу при реализации необходимого набора функциональных модулей утвержденных совместно с коллективом ЦМГИ согласно принятым требованиям на разработку при проектировании информационной системы.

Целью функционирования такой информационной системы являетсяавтоматизация бизнес-процессов возникающих на предприятиях заказчиков и исполнителей участвующих в единой системе государственных контрактов, где в роли участников сетевого обмена пространственно-атрибутивной информацией могут выступать специалисты различного уровня и квалификации. Например геодезист, маркшейдер, эколог, или даже служащий муниципального образования области ответственный за контроль и исполнение ликвидации незаконно эксплуатируемых участков на территории подчиненного округа.

С точки зрения процесса разработки геопортала, в этом случае его уникальной особенностью проявляется в гибкости менять траекторию разработки при реализации технических решений прикладных задач, которые могут менять свои параметры во времени, позволяя тем самым сдвигать сроки разработки вне зависимости от сложности реализации решений. Одним словом, применение современных подходов к проектированию, разработке и тестированию ИТ-продуктов дает преимущество при изменении траектории развития компонент подсистем,

а в отдельных довольно успешных случаях такие изменения способны протекать даже без вынужденных изменений логики других подсистем; как результат - колоссальная экономия времени на реализацию основной бизнес-логики.

Если брать в сравнение существующие информационные системы, например продукты от компании ESRI, бесспорно системы такого класса обладают обширным арсеналом возможностей. Однако, как показывает практика при решении научно-прикладных задач, возможности таких систем зачастую несут огромные функциональные излишки.

Политический аспект, как результат влияния политических наук. Когда государство России сталкивается с недобросовестной конкуренцией на глобальном рынке. Ожидания партнеров по международному бизнесу зачастую выходят за рамки какого-либо приличия, они всячески пытаются помешать ведущей политической элите в стране и порой прибегают к самым абсурдным методам воздействия на внутреннюю ситуацию, используя при этом свое технологическое преимущество. Такая конъюнктура повышает риски связанные с конфиденциальностью информации, хранимой в распределенных реестрах партнеров, что в свою очередь снижает уровень доверия государственных надзорных органов.

В любом случае, вы все знаете знаменитые фразы М.В. Ломоносова, «Богатство недр есть залог величия державы», а В.И. Вернадский сказал: «В мировом масштабе выживет та страна, которая в точности будет знать свои ресурсы». Информация, особенно пространственная информация, несущая сведения о параметрах недр России, которая по своей значимости относится к информации конфиденциального характера, является цифровым эталоном таких богатств. Вот и получается, что значимость разработки отечественных ИТ-решений становится на стыке не только локальных или региональных, но даже тех проблем, которые возникают на глобальном уровне.

2. Материалы и методы

Создание автоматизированной информационной системы по части накопления, хранения, обработки и передачи пространственно-привязанных данных между участниками сетевого обмена, вне зависимости от установленных правовых порядков, требует достигать выполнения определенных требований исходящих из целей функциональных решений в разрезе архитектурных подходов к её проектированию.

В свою очередь любая архитектура, будь это программная, техническая, корпоративная, неважно какая, опирается на общепринятые её профессиональным сообществом стандарты, включающие в себя зарекомендованные методики при реализации какой-либо технологии.

Для создания автоматизированной информационной системы общего назначения с масштабом регионального уровня, содержащую в своем составе совокупность сведений атрибутивного и пространственно-привязанного характера важным элементом является техническая архитектура, которая состоит из средств вычислительной техники и набора системного программного обеспечения, спроектированная таким образом, чтобы при применении соответствующих ИТ-технологий достигать приемлемого уровня производительности системы в процессе ее эксплуатации.

Созданию масштабируемой отказоустойчивой архитектуры хранения данных решает ряд проблем, возникающих в процессе эксплуатации таких сложных информационных систем, которые выполняющих ресурсоемкие задачи по хранению и обработке данных.

Таким образом, для архитектуры технического уровня важным является не только вычислительная мощность аппаратуры, но и системное программное обеспечение, которое выполняет функцию управления ресурсами технического инфраструктуры.

В разрезе текущего ИТ-проекта для того, чтобы соблюдать баланс производительности и затрат на эксплуатацию информационной системы применяется технология виртуализации позволяющая разворачивать экземпляры исполнительных приложений используя агрегированный подход (объектную композицию).

Современные среды виртуализации обладают мощным набором инструментов для контроля и управления ресурсами инфраструктуры вычислительного кластера. По этой причине в ИТ-проект было заложена архитектура технического уровня, проект которой представляет собой сметную документацию и описание в виде схематического изображения вычислительного кластера, состоящего из следующих подсистем:

- основная подсистема исполнения;
- подсистема резервного копирования;
- подсистема основного и резервного питания;
- подсистема связи и передачи данных.

Далее, с учетом возможностей технической архитектуры ИТ-проект переходит на стадию проектирования программной архитектуры информационной системы.

Проводится анализ текущего рынка, рассматривается опыт профессионалов из сообщества архитектурных решений, разработчиков ПО, изучаются современные методики и подходы других компаний к разработке ИТ-продуктов подобного класса, изучается опыт конкурентов. После проведенного анализа принимается решение приступить к разработке ИТ-решения по модели создания цифровой платформы.

Встает вопрос о выборе методологии разработки. Выбираются методологии гибкого подхода. За основную модель проектирования информационной системы принимается модель на основе итеративного подхода и V-образной модели разработки.

Предпочтение к архитектурным подходам разработки исполнительного программного обеспечения отдается по достоинству возможностям, способствующим реализации высокого уровня абстракции среди компонент системы.

Для разработки оболочки геопортала и исполнительного ПО цифровой платформы выбирается многослойная микросервисная архитектура, которая позволяет достигнуть высокого уровня изоляции как между внутренними слоями приложений, так и между внешними сервисами.

Выполняется проектирование структуры схем баз данных и файлового хранилища.

3. Результаты исследования и их анализ

На стадии инициации ИТ-проекта совместно с руководством ЦМГИ было проведено обсуждение и анализ предъявляемых функциональных требований к будущей информационной системе. В результате завершения стадии инициации были получены артефакты, которые дали начало для апробации идей в их первом приближении.

Первым делом было принято решение разработать веб-версию оболочки для геопортала. Согласно установленным требованиям: оболочка должна иметь адаптивную поддержку устройств и должна позволять пользователям просматривать растровые данные, полученные в результате проведения фотограмметрических исследований местности коптерным методом, а также выводить векторные данные дополнительными слоями, как результаты обработки и анализа полученной информации из пакетов прикладных CAD-систем.

С учетом этих требований, для оболочки геопортала разработан модуль картографирования для вывода слоев растровых изображений с поддержкой пространственной привязки в системе координат WGS84, разработаны механизмы вывода векторных слоев и инструментов для манипуляций с ними, позволяющие производить сегментированное и групповое выделение объектов на выделенных векторных слоях, механизмы скрытия и отображения, а также иные элементы управления векторными слоями и их элементами.

Далее, учитывая специфику функциональных требований к оболочке геопортала среди которых важное место занимают такие сущности как «Заказчик», «Исполнитель», «Участок» и «Оператор», следующим шагом в разработке стал процесс проектирования

модели реляционной базы данных описывающую схему хранения атрибутивной информации о структуре сущностей и их связях между собой. Это повлекло за собой

необходимость реализации дополнительных модулей для ввода атрибутивной информации в БД.

Реализована страница просмотра перечня карточек организаций, предоставляющая краткую сводку по каждой зарегистрированной сущности. Реализована страница добавления новых карточек организаций (регистрация организаций), которая позволяет указывать при вводе информации следующие атрибуты:

- форма собственности и наименование;
- логотип;
- краткое описание;
- общая информация (ФИО руководителя, телефоны, почта и пр.);
- сведения о регистрации;
- сведения о постановке на налоговом учете;
- банковские реквизиты;
- иные данные регистрации.

Реализована страница просмотра перечня участков, позволяющая просматривать все созданные участки и их атрибутивные связи с возможностью их редактирования, в том числе поддерживается удаление как атрибутивной информации, так и всего участка целиком с учетом всех его атрибутивных связей.

Реализована страница добавления нового участка (регистрация участка) позволяет осуществлять заполнение следующих атрибутов:

- наименование участка;
- перечень организаций заказчиков и исполнителей.

После успешного добавления организаций появляется возможность указать операторов для каждой из добавленных организаций, или даже добавить нового оператора "на лету", с учетом основных атрибутов его сущности.

Для всех вышеупомянутых страниц оболочки геопортала полезным инструментарием можно считать блок фильтрации вывода данных. Для страниц, в задачи которых входит перечисление сущностей (списки организаций, участков) реализован дополнительный функционал позволяющий производить сегментацию по заданным критериям основанных на атрибутах сущности. Например, на странице просмотра перечня участков можно зафиксировать вывод по названиям и типу организаций, в том числе с учетом групповой фильтрации, фиксируя совпадение не по какому-либо одному из возможных вариантов выборки, а с учетом всех вхождений в запрос фильтрации.

4. Обсуждение

Дальнейшее развитие цифровой платформы и автоматизированной информационной системы на основе геопортала может заключаться в одном из следующих аспектов:

1. Разработка инновационных методов интеграции данных и знаний. Цифровая платформа может предоставлять механизмы для объединения данных из различных источников (датчики окружающей среды, БПЛА-снимки, и т.д.). Это позволит сосредоточиться на создании новых методов интеграции таких данных нацеленных на извлечения ценных знаний для поддержки процесса экологического мониторинга региона.

2. Разработка механизмов позволяющих вовлекать граждан в процесс экологического мониторинга их региона, с помощью которых гражданам станут доступны инновационные инструменты по сбору и передачи данных о состоянии окружающей среды, что позволит им принимать непосредственное участие в принятии решений по общественным инициативам основанных на полученных данных и применять их на пользу общественности.

5. Заключение

В данной статье были рассмотрены идея, цели, концепция, архитектурный подход и функциональные методы для создания общедоступной информационной системы регионального масштаба в рамках кейса действующего научно-исследовательского коллектива центра маркшейдерско-геодезических инноваций.

Полученные результаты исследования могут быть использованы при разработке и совершенствовании подобных систем, способствуя развитию информационного обеспечения и повышению качества управления в сфере отечественной отрасли народного хозяйства по геологическому изучению, использования и охраны недр.

Библиографический список

[1] Кулинкович А.Е., Якимчук Н.А. Проблемы геоинформатики. Киев: ЦММ НАНУ, 2002; Ч. 1, 78 с.; 2003. Ч. 2, 134 с.; 2004. Ч. 3, 90 с.; 2005. Ч. 4, 122 с.; 2006. Ч. 5, 180 с.

Efficiency of seismic attribute analysis as a key to optimizing the prediction and characterization of hydrocarbon deposits: an overview and a case study of the channelized systems of the upper cretaceous of the Tano Côte d'Ivoire basin in the Gulf of Guinea

Onamoun Désiré

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation

Email: donamoun@gmail.com

Abstract: In this work, we first carried out a synthesis of several research studies linked to seismic attributes, thus demonstrating their essential role in the entire sphere of exploration and exploitation of hydrocarbons. Thus, their roles at the level of seismic data processing, at the production level, at the drilling and at the reservoir level have been proven. Then with real seismic data we used the seismic attributes to detect turbidity channels in the Upper Cretaceous in the Gulf of Guinea to get an idea of their content and properties.

1. Introduction

A seismic attribute is a quantitative measure of a seismic characteristic of interest [11]. It is any product computed from image gathers or amplitude data to aid interpretation [3]. The importance of the study of seismic attributes in the oil industry chain is essential. The analyzes can be both quantitative and qualitative. There are several seismic attributes and they can be split into geological and physical attributes Taner et al. (1994). The geometrical attributes enhance the visibility of the geometrical characteristics of seismic data. The physical attributes deal with the physical parameters of the subsurface and they relate to lithology. In this study we will review the work of researchers deemed relevant on the importance and the role of seismic attributes. Secondly, we will use seismic attributes to detect and characterize the Upper Cretaceous turbidity channels of the Cote d'Ivoire Tano basin in the Gulf of Guinea.

2. Material and method

I made a synthesis of research work deemed relevant on seismic attributes which constitutes the theoretical part of my work then I used real seismic data to detect turbidity channels in the Upper Cretaceous turbidity channels of the Cote d'Ivoire Tano basin in the Gulf of Guinea.

3. Results and analysis

The results are convincing because it has been proven how seismic attributes help characterize reservoirs, provide valuable information on rock cleanliness, lithology, stratigraphy, faults, etc. This

then helps in the managerial decision-making of companies to avoid accidents, considerably reduce costs, and avoid risks linked to the location of wells during drilling. But in general, the best results are those which are correlated with well data, logs, samples.

4. Classification of the seismic attributes

Seismic attributes are divided into two general categories Taner et al. (1994): geometrical and physical. The geometrical attributes enhance the visibility of the geometrical characteristics of seismic data. They are dip, azimuth, and continuity. The physical attributes deal with the physical parameters of the subsurface and they relate to lithology. They are amplitude, phase, and frequency. Then the physical attributes are divided into poststack and prestack attributes.

5. Summary of seismic attribute case studies

Seismic attributes are extremely important in petroleum research. Mitrofanov and Priimenko demonstrated that Prony filtering can give answer to some geological and production issues such as analysis of target horizons characteristics and a prediction of productive zones. [8] By combining Prony and Phase Decompositions it is highly possible to detect promising hydrocarbon reservoirs [14]. Veeken [13] showed how instantaneous attributes are used to delimitate the hydrocarbon reservoirs demonstrated that the amplitude maps are very useful to delimit possible zones of hydrocarbon accumulations. In the Delta Niger, seismic attributes analysis successfully predicted reservoir rock properties, characterized sand quantitatively to optimally select drilling location of development wells [1]. “Seismic coherence cube” are precious to display faults and the coherence images distinctly revealed buried deltas, river channel, reef and dewatering features [11]. Protasov, Cheverda and Shilikov showed the possibility to localize and characterize faults, caverns and fractures with seismic diffraction images attributes [7]. Orekhov and Amani studied the zones of anomaly formation pressure using analysis of attributes of seismic fields in West Siberia and they demonstrated that increasing the efficiency of forecasting the occurrence of high-pressure zones helps to avoid significant technical, economic and environmental issues that may arise from drilling accidents in the high-pressure zone [2].

6. Detection of turbidity channels: Côte d’Ivoire Tano basin / Gulf of Guinea

Turbidite systems are considered to be the most important clastic accumulations in the deep seas and are potential hydrocarbon reservoirs [5]. In my work I determined and characterize the Upper Cretaceous channelized systems in the Tano Côte d’Ivoire basin in the Gulf of Guinea using the seismic attributes. I used the KINGDOM software of Seismic Micro-Technology, Inc (SMT). Several sedimentary channel systems have been discovered applying geometry attributes (Shale Indicator/SIA) and Physical (Relative Acoustic Impedance/RAI and Envelope Second Derivative/ESD). The ESD well highlights the interfaces and is used to show all reflecting interfaces visible within seismic bandwidth, the sharpness of events, sharp changes of lithology (Chopra and Marfurt 2007). The RAI displays visible acoustic contrast indicating successive boundaries, surfaces of unconformity, and heterogeneity. It shows porosity or the fluid content and condition of the reservoir. It can be used to model zones with sufficiently high porosity [6, 9].

7. Determination of the Channelized System

The RAI (fig. 1) helped totally discovering the channel and display the main lithological repartition on the map. The ESD (fig. 2) clearly displays the channel and it can also be observed on the map other geological bodies around the channel. With the Shale indicator (fig. 3) just a part of the channel is observed. The shale indicator attribute did not allow in this specific case discover entirely the channel. It can only be observed the lithological repartition on the area of study but not exactly the geological bodies.

8. Discussion

In my work the geometrical attribute did not allow me concretely discover the channel while physical attributes displayed very good the channel. It can be explained by the fact that the geometric attributes mainly displayed stratigraphy and help in the identification and characterization of events and usually quantify characteristics that directly help in the recognition of deposition patterns and associated lithology [4]. The good displaying of the channel with the ESD confirmed the measurement of the maximum envelope's sharpness and show that it is a good indicator to define all seismic bandwidth reflecting interfaces (Chopra and Marfurt 2007). Furthermore, the RAI can be a qualitative sign of the presence of fluids in a potential reservoir. In case of presence of gas, porosity is inversely proportional to the velocity of the seismic wave. Thus, RAI is linked to porosity. Lower relative acoustic impedance values suggest augmented porosity. In order to test the significance of SIA and the RAI for channel reservoir properties, I cut the areas outside the immediate channelized system (Figures.4 and 5). Upper Cretaceous channels show dominantly high acoustic impedance (purple; *Figure 4*) in the meandering part while the main channel displays mostly medium to high values (green and violet).

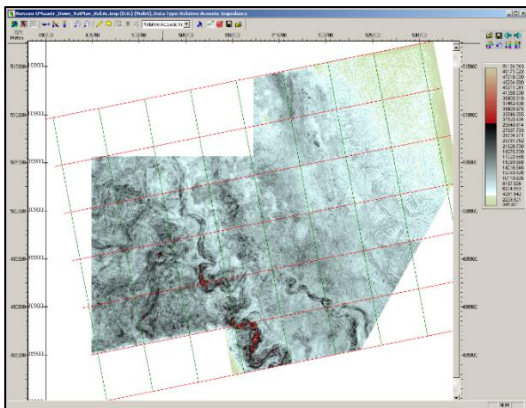


Figure 1. Upper Cretaceous Channel with the Envelope Second derivative attribute

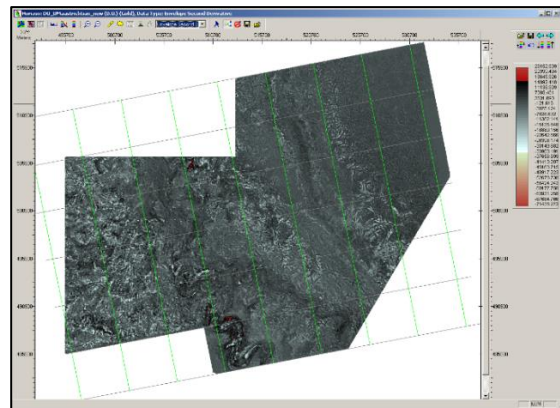


Figure 2. Upper Cretaceous Channel with the Relative acoustic impedance attribute

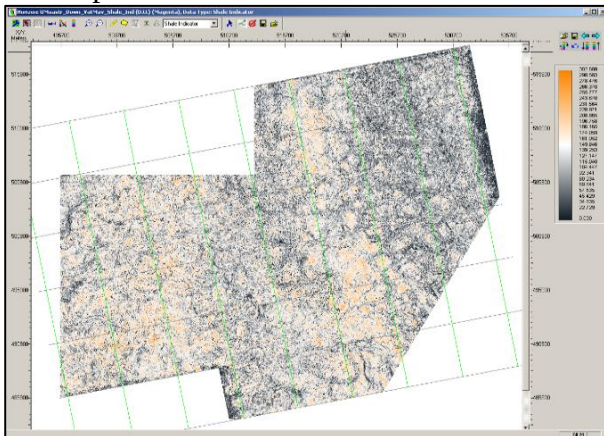


Figure 3. Upper Cretaceous Channel with Shale Indicator attribute

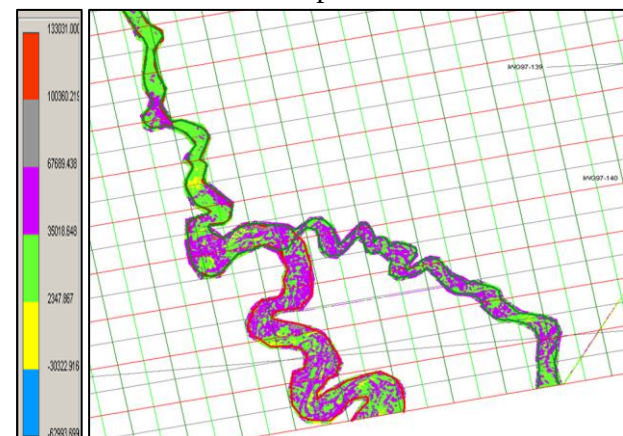


Figure 4: Distribution of RAI



Figure 5. Distribution of Shale Indicator vs.

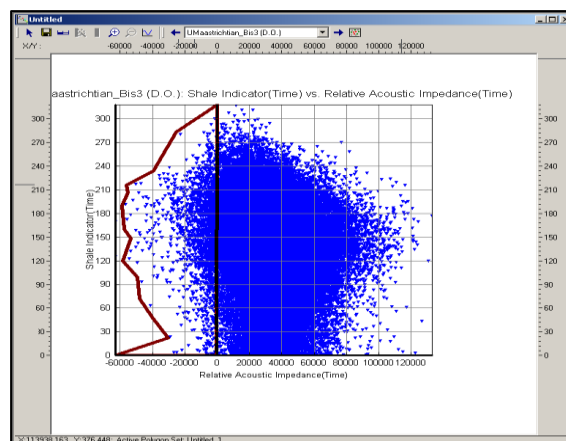


Figure 6. Crossplot: Shale Indicator (Time) Relative Acoustic Impedance (Time)

The SIA indicate mostly sandy or myd-sand mixed facies in the channel areas. Green and yellow dominate over purple (*Figure 5*). A crossplot of these two attributes highlights the interdependence between non-shale (shale indicator) and high-porosity facies (acoustic impedance; *Figure 6*). The crossplot shows that only one third of the channels has low impedance (*Figure 6A*) while the main part has high acoustic impedance (*Figure 6B*). This clearly shows that the channel fills are mainly sandy.

9. Conclusion

Our synthesis of the research that we considered relevant allowed us to show that the analysis of seismic attributes played a key role in petroleum research both in terms of data processing, recognition of geological events, properties of reservoirs, lithology, stratigraphy, drilling, production as well as in managerial decision-making. Seismic attributes have a very specific specificity depending on the type of information we want to get. This was demonstrated by our work in the detection of Upper Cretaceous turbidity channels in the Tano Ivory Coast basin. However, it is important to notice that the observation and the interpretation of the geological events in the channel are highly superficial. Ideally attribute values need to be displayed in 3D to delimit individual reservoir bodies of the channel system. A main idea of the distribution of potential reservoir by the analysis of the cross-plot could be emitted. Therefore, these results are still unreliable. It can be recommended to deepen our analysis by running quantitative studies. This will help getting more reliable results and a real idea of the hydrocarbons prone. For example, logs and cores analysis can be recommended.

References

- [1] Ajisafe, Y.C., Ako, B. D: 3-D Seismic Attributes for Reservoir Characterization of “Y” Field Niger Delta, Nigeria; IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics (IOSR-JAGG) e-ISSN: 2321–0990, p-ISSN: 2321–0982.Vol/ 1, Issue 2 (Jul. –Aug. 2013). P. 23-31
- [2] Orekhov A.N., Amani Mangoua Marc M Studying the abnormal formation pressure zones by analyzing seismic field attributes on the example of western Siberia deposits. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2020. Vol. 331. 5. P. 46–56.
- [3] Christopher L. Liner • T. A. (Mac) McGilvery: The Art and Science of Seismic Interpretation; Springer Briefs in Earth Sciences ISBN 978-3-030-03996-7 ISBN 978-3-030-03998-1 (eBook), 2019 <https://doi.org/10.1007/978-3-030-03998-1>
- [4] Chopra S, Marfurt KJ (2007). Seismic attributes for prospect identification and reservoir characterization. Society of Exploration Geophysicists and European Association of Geoscientists and Engineers

- [5] García, M., Ercilla, G., Alonso, B., Estrada, F., Jané, G., Mena, A., Alvés, T. and Juan, C., 2015. Deep-water turbidite systems: a review of their elements, sedimentary processes and depositional models. Their characteristics on the Iberian margins. *Boletín Geológico y Minero*, 126 (2-3). P. 189-218.
- [6] Jiang, Meijuan, Spikes K.T.: Rock-physics and seismic-inversion based reservoir characterization of the Haynesville Shale. *Journal of Geophysics and Engineering*, June 2016. Vol. 13, Iss. 3. P. 220–233.
- [7] Protasova M.I., Cheverda V. A., Shilikov V. V. Localization and characterization of faults, caverns, and fractures via seismic diffraction image attributes; *Doklady Akademii Nauk o Zimle*, 2021. 499. Vol. 2, P. 168–173.
- [8] Mitrofanov G., Priimenko V. Prony filtering of Seismic Data; *Acta Geophysica*. June 2015. Vol. 6. No. 3. P. 652-678. DOI: 10.1515/acgeo-2015-0012.
- [9] Othman A.A.A., Ewida H.F., Fathi M.M. Ali, Embaby M.M.A.A.: Reservoir characterization applying seismic inversion technique and seismic attributes for Komombo basin. *Austin J Earth Sci.*, 2017. Vol. 3 (1). P. 1–6.
- [10] Maurya S.P., Singh N.P., Singh K.H. *Seismic Inversion Methods: A Practical Approach*; ISSN 2364-9119 ISSN 2364-9127 (electronic) Springer Geophysics ISBN 978-3-030-45661-0 ISBN 978-3-030-45662-7 (eBook) <https://doi.org/10.1007/978-3-030-45662-7>.
- [11] Satinder Chopra and Kurt J. Marfurt: 75th Anniversary Seismic attributes — A historical perspective by GEOPHYSICS. Vol. 70. No. 5 (SEPTEMBER-OCTOBER 2005). P. 3SO–28SO. 32 FIGS. 10.1190/1.2098670
- [12] Taner M.T., Schuelke J.S., Doherty R.O, Baysal E. Seismic attributes revisited: 64th Annual International Meeting, SEG. Expanded Abstracts. 1994. P. 1104–1106.
- [13] Veeken P.C.H. Seismic Stratigraphy, Basin Analysis and Reservoir Characterization. In: *Handbook of Geophysical Exploration, Seismic Exploration*, Elsevier, Amsterdam, 37. 2007. P. 523
- [14] Kalashnikova V.V., Rune Øverås, Arif Butt, Guidard S. Potential of Prony and Phase Decompositions for Reservoir Prediction. *Pre Stack Solutions-Geo AS*, Norway, GeoConvention Calgary Canada. 2018.

Геоинформационное обеспечение снегогеохимических исследований городов Иркутской области

З.Л. Икрамов

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

E-mail ziyoviddin.ikramov1992@gmail.com

Аннотация. В статье представлены разработки геоэкологического портала «Геоинформационное обеспечение снегохимических исследований Иркутской области». Наша основная цель – не только оценить воздействие на окружающую среду или изучить состояние территорий, но и обеспечить широкий доступ к этой информации для жителей Иркутской области.

1. Введение

Снегохимические исследования играют ключевую роль в изучении состояния окружающей среды и экосистем (Филимонова и др., 2015, Качор и др. 2013, Холодова и др., 2016 и мн.др.). Снежный покров аккумулирует в себе широкий спектр загрязняющих веществ, таких как тяжелые металлы, органические соединения, кислотные оксиды и другие поллютанты. Анализируя состав снежного покрова, можно получить ценную информацию о степени загрязнения атмосферы, почвы и водных объектов различными веществами (Филимонова и др. 2015).

Иркутская область, расположенная в центре Восточной Сибири, обладает уникальными природными ресурсами, которые требуют тщательного мониторинга (Пластинин и др., 2013).

Эта территория богата лесами, озерами, реками и другими экосистемами, играющими важную роль в поддержании экологического баланса региона. Снегохимические исследования в Иркутской области позволяют отслеживать уровень загрязнения окружающей среды, что имеет особое значение для сохранения ее уникальной природы. Отбор проб снега является относительно простым и недорогим методом, не требующим сложного оборудования. Химический анализ снежного покрова позволяет выявить источники загрязнения и оценить их вклад в общую картину загрязнения региона. Полученные данные могут быть использованы для разработки эффективных стратегий по охране окружающей среды, снижению негативного воздействия на экосистемы и обеспечению устойчивого развития региона.

Использование геоинформационных технологий (ГИС) является неотъемлемой частью современных экологических исследований (Пластинин и др., 2013; Паршин и др. 2012, Шокин и др. 2015, и мн. др.). ГИС представляют собой мощные инструменты для работы с пространственными данными, позволяющие эффективно собирать, хранить, анализировать и визуализировать информацию о состоянии окружающей среды. Они играют ключевую роль в понимании закономерностей распределения загрязняющих веществ в различных средах, что имеет важное значение для принятия обоснованных решений в области охраны природы и рационального использования ресурсов.

2. Материалы и методы

Геоэкологический портал построен на основе WordPress с интеграцией инструментов NextGIS Connect (рис. 1). Эта комбинация обеспечивает удобное и эффективное решение для публикации, управления и визуализации геопространственных данных, связанных с экологическими исследованиями и мониторингом окружающей среды.

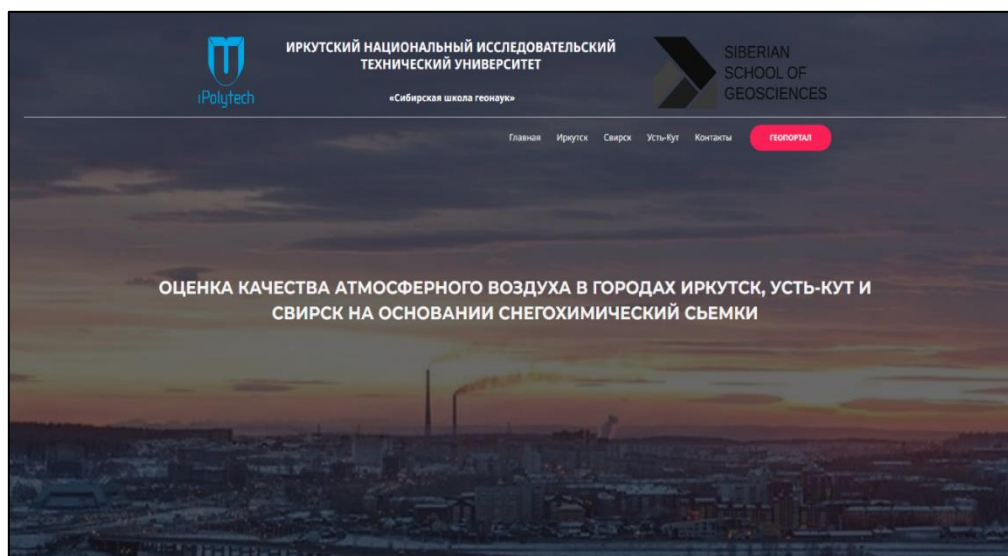


Рисунок 1. Главная страница геоэкологического портала

3. Результаты исследования и их анализ

Используя возможности, ГИС можно выполнять различные виды пространственного анализа, такие как буферизация, наложение слоев, интерполяция, кластеризация и другие методы. Это позволяет выявлять закономерности в распределении загрязняющих веществ, определять источники загрязнения, оценивать риски и прогнозировать развитие экологических ситуаций. ГИС предоставляют широкие возможности для создания наглядных и информативных карт, отображающих распределение различных экологических параметров, в том числе – с учетом уникального регионального геохимического фора геосистем Прибайкалья (Паршин и др. 2011, 2013, Филимонова и др 2015). Интерактивные карты

позволяют пользователям легко изучать данные, выполнять запросы и анализировать информацию. Благодаря развитию веб-технологий, результаты экологических исследований, представленные в форме интерактивных карт и геопорталов, могут быть доступны для широкого круга заинтересованных сторон, включая ученых, специалистов, органы власти и общественность. Это способствует повышению осведомленности о текущей экологической ситуации и принятию обоснованных решений на различных уровнях. Таким образом, использование геоинформационных технологий в экологических исследованиях является важнейшим инструментом для комплексного анализа пространственных данных, выявления закономерностей и визуализации результатов. ГИС обеспечивают эффективную интеграцию и обработку информации из разных источников, способствуя более глубокому пониманию экологических процессов и принятию обоснованных решений по охране окружающей среды (Паршин и др. 2013).

WordPress является гибкой и масштабируемой платформой для создания веб-сайтов и порталов. Она позволяет легко управлять контентом, публиковать статьи, новости, документы и другую информацию. Кроме того, WordPress предоставляет широкие возможности для кастомизации и расширения функциональности с помощью плагинов и тем оформления.

Инструменты NextGIS Connect, в свою очередь, обеспечивают интеграцию геоинформационных систем (ГИС) в веб-портал. Они включают в себя веб-картографический сервер, позволяющий создавать интерактивные карты и визуализировать пространственные данные различного формата (векторные, растровые, облака точек и т.д.). Кроме того, NextGIS Connect предоставляет возможности для управления и редактирования геоданных, создания тематических слоев, выполнения пространственного анализа и публикации результатов исследований в виде карт, графиков и отчетов.

Объединение WordPress и NextGIS Connect позволяет создать комплексный геоэкологический портал, сочетающий в себе публикацию текстового и мультимедийного контента с отображением геопро пространственных данных. Пользователи портала могут ознакомиться с информацией об экологических проектах, научными статьями, новостями и, одновременно с этим, визуализировать и анализировать соответствующие геоданные на интерактивных картах.

На геоэкологическом портале представлены данные распределение загрязняющих веществ в атмосферный воздух, зоны экологического риска и потенциального воздействия, в виде тематических карт концентраций элементов относительно фона, отражающие различные аспекты экологической обстановки (рисунок 2).

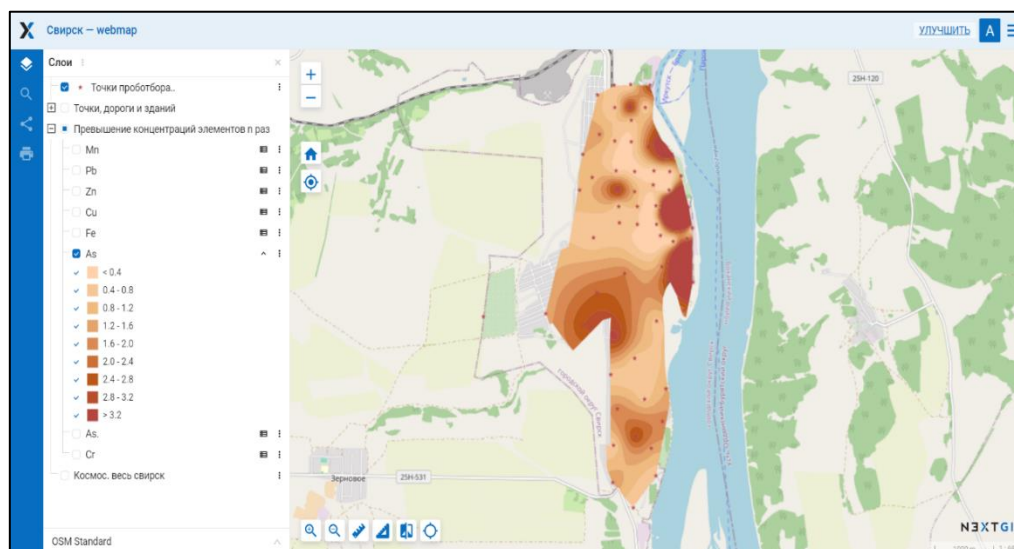


Рисунок 2. Тематическая карта, отражающая различные аспекты экологической обстановки

Интеграция WordPress и NextGIS Connect обеспечивает удобный и интуитивно понятный интерфейс для публикации контента и управления геоданными, что делает геоэкологический портал доступным для широкого круга пользователей, включая ученых, специалистов, органы власти и общественность.

5. Заключение

Разработка геоэкологического портала "Геоинформационное обеспечение снегохимических исследований Иркутской области" представляет собой важный шаг в развитии экологических исследований в регионе. Данный инструмент позволит жителям городов Иркутской области и специалистам-экологам получать актуальную информацию о состоянии окружающей среды, способствуя принятию взвешенных решений в области охраны природы. Применение геоинформационных технологий в сочетании с удобной платформой WordPress делает портал эффективным и доступным для широкой аудитории.

Библиографический список

- [4] Шокин Ю. И., Потапов В. П. ГИС сегодня: состояние, перспективы, решения // Вычислительные технологии. 2015. Т. 20. № 5. С. 175–213.
- [5] Пластинин Л. А., Олзоев Б.Н., Паршин А.В. Проект геопортала "Космический мониторинг рационального природопользования оз. Байкал и Байкальской природной территории" // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2013. – Т. 1, № 2. – С. 72-76. – EDN QITURJ.
- [6] Филимонова Л. М., Паршин А. В., Бычинский В. А. Оценка загрязнения атмосферы в районе алюминиевого производства методом геохимической съемки снежного покрова // Метеорология и гидрология. 2015. № 10. С. 75–84.
- [7] Адамович Т. А., Ашихмина Т. Я. Аэрокосмические методы в системе
- [8] Оценка состояния качества атмосферного воздуха города Усть-Кут Иркутской области на основании снегохимической съемки / В. В. Трусова, О. Л. Качор, А. В. Паршин, И. А. Матюхин, З. Л. Икрамов // Технологии переработки отходов с получением новой продукции : материалы IV Всероссийской науч.-практ. конф. с международным участием. Киров : Вятский государственный университет, 2022. С. 218–221.
- [9] А. В. Паршин, Е. А. Руш, А. М. Спиридонов. Автоматизация процесса обеспечения экологического мониторинга озера Байкал с применением современных ГИС и web-технологий // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2011. – № 1(29). – С. 82-87. – EDN NTWQZJ.
- [10] Карта [Электронный ресурс]. – URL: <https://clck.ru/3AFW7s> (дата обращения: 20.03.2024).
- [11] 20.03.2024).
- [12] Паршин А.В., Шестаков С.А., Чудненко К.В., Савельев Е.П. Критерии оценки геоэкологического состояния вод оз. Байкал // Вода: химия и экология. – 2013. – № 9(63). – С. 24-31. – EDN ROVXZT.
- [13] Холодова, М. С. Особенности минерально-вещественного состава твердофазных выпадений снегового покрова территории г. Свирска / М. С. Холодова, М. В. Пастухов, В. И. Полетаева // Известия Сибирского отделения РАН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – 2016. – № 4(57). – С. 109-118. – DOI 10.21285/0130-108X-2016-57-4-109-118. – EDN XDYLGH.\
- [14] Мониторинг загрязнений снежного покрова района МО "город Свирск" / О. Л. Качор, И. М. Сидоров, Н. В. Чайка, А. С. Шатрова // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2013. – № 10(81). – С. 82-86. – EDN RGSXNR.

Петро- и палеомагнетизм горных пород Даньского массива (Кет-Капский район, север Хабаровского края)

Е.А. Денисюк, Д.Ю. Кокодей, К.М. Константинов

Аннотация. Представлены петрофизические, петро- и палеомагнитные исследования структурно-вещественных комплексов месторождения Красивое в Хабаровском крае с целью более качественной интерпретации геолого-геофизических данных, палеомагнитного датирования оруденения, геодинамики и минерагении.

1. Введение

Кеткапская металлогеническая зона расположена в междуречье Учур-Мая, объединяет три крупных рудных узла: Кеткапский, Одолинский и Томптоканский [1, 2]. Золоторудные объекты района тесно ассоциированы с позднемезозойскими субщелочными диоритоидами и гранитоидами, прорывающими терригенные и карбонатные породы рифейского и венд-кембрийского возраста и объединяемыми в Кеткапско-Юнскую магматическую провинцию (ККЮМП). Особенность металлогении Восточной части Алданского щита – наличие большого числа россыпных и коренных месторождений золота и минералов платиновой группы раннемелового возраста. Эта концентрация «в пространстве и времени» хорошо объясняется гипотезой слэба – пологозалегающего фрагмента тихоокеанической коры, «вдвинутого» в поздней юре – раннем мелу под Алданский щит.

Месторождение Красивое располагается в контакте интрузии монцонитов кеткапского комплекса [3]. Практически все значимые проявления золота Кет-Капа располагаются у контактов интрузий монцонитов кеткапского комплекса, при этом сами интрузии «пустые». $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возраст золотого гидротермального прожилково-жильного оруденения позднемезозойской Кет-Капа подтверждает установленную геологическими наблюдениями связь этого вида оруденения с раннемеловым субщелочным магматизмом [1]. Сочетанием геологических признаков с данными U/Pb датирования магматитов подтверждает возраст (около 123 млн. лет) высокопродуктивного биметасоматического «массивно-скарнового» типа оруденения, ассоциированного с субщелочными магматогенными образованиями провинции. Исходя из анализа геолого-геофизической ситуации, нормальная интерпретация геофизических материалов нуждается в получение петрофизических данных, что является актуальным для поисков такого типа объектов. Цель данной работы заключается в разработке петрофизической легенды (ПФЛ) Кет-Капского рудного района. Для ее достижения были поставлены следующие задачи: отбор ориентированных образцов, пробоподготовка, лабораторные измерения и интерпретация результатов, которая подразумевает разработку ПФЛ, формирование на ее основе физико-геологических моделей (ФГМ) и т.п.

2. Материалы и методы

Участки отбора находились в штольне, карьере и естественных коренных обнажениях. Отбор ориентированных образцов проводился по современной системе координат [4]. Отобранные образцы распиливались на несколько кубиков с ребром 2 см, на которых в дальнейшем проводились измерения объемной плотности (ОП), магнитной восприимчивости (МВ) и векторов естественной остаточной намагниченности (ЕОН), рассчитывались векторы индуктивной (ИН) и суммарной (СН) намагниченностей, фактор Q [5]. Изучались точки Кюри ферромагнитных минералов горных пород, анизотропия МВ и компонентный состав векторов ЕОН [4, 6, 7].

3. Результаты исследования и их анализ

В процессе первичных лабораторных работ получен спектр магнитных параметров (МВ, ЕОН, Q) горных пород месторождения Красивое (Рисунок 6). Их значения имеют широкий диапазон рассеивания: МВ от 1 до $8000 \cdot 10^{-5}$ СИ, ЕОН - от 0.1 до $1000 \cdot 10^{-3}$ А/м и фактора Q от 0,05 до 9 ед.

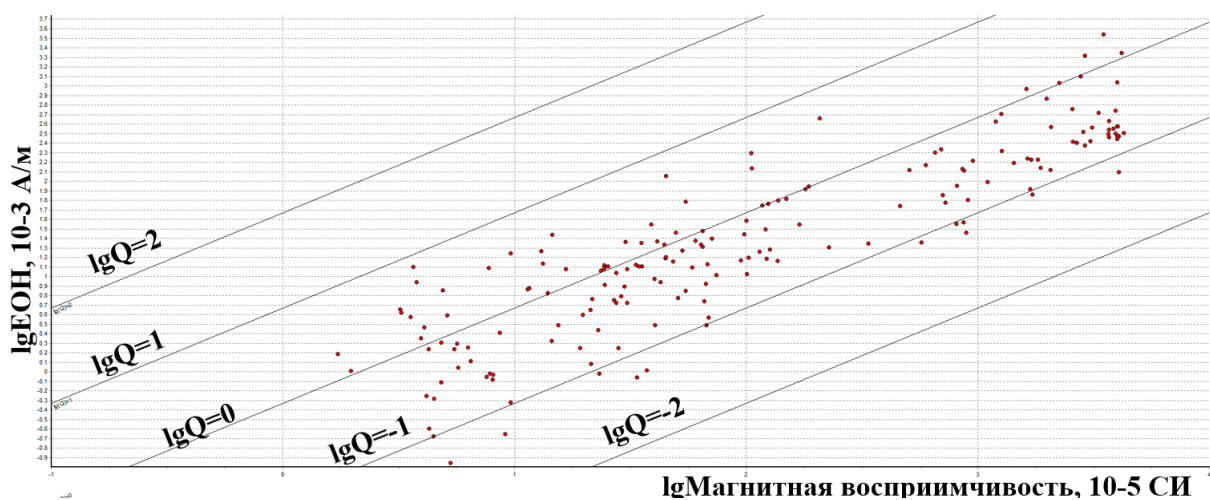


Рисунок 6. График зависимости логарифмов магнитных параметров: МВ-ЕОН-Q

Распределение векторов намагниченности в пространстве достаточно сложное (Рисунок 7 в). Векторы ЕОН в «естественном залегании» имеют крутые отрицательные направления: склонение $D_{cp}=335^\circ$ и наклонение $J_{cp}=-85^\circ$ (Рисунок 7 а). Поскольку среднее значение фактора $Q=0.5$ ед., то векторы СН у нас в основном положительные: склонение $D_{cp}=350^\circ$ и наклонение $J_{cp}=60^\circ$ (Рисунок 7 б).

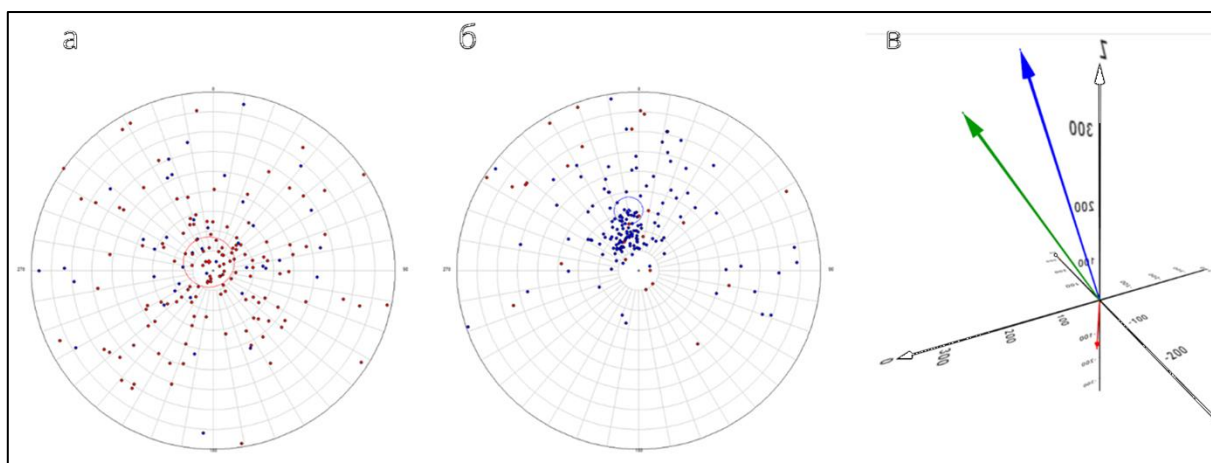


Рисунок 7. Векторы в полярной (а – ЕОН, б – СН) и декартовой (в) системах координат.

Красные/синие точки на стереограммах – проекции векторов ЕОН и СН на верхнюю/нижнюю полусферу. Стрелки красная/синяя/зеленая – векторы, соответственно, ЕОН/ИН/СН

Для штока монцонитов установлен «даечный» геотип анизотропии магнитной восприимчивости (АМВ), что соответствует интрузивным образованиям. Плоскость магнитного расслоения (ПМР), образованная большой K1 и средней K2 осью эллипсоида АМВ, субвертикальная северо-восточного простирания (Рисунок 8).

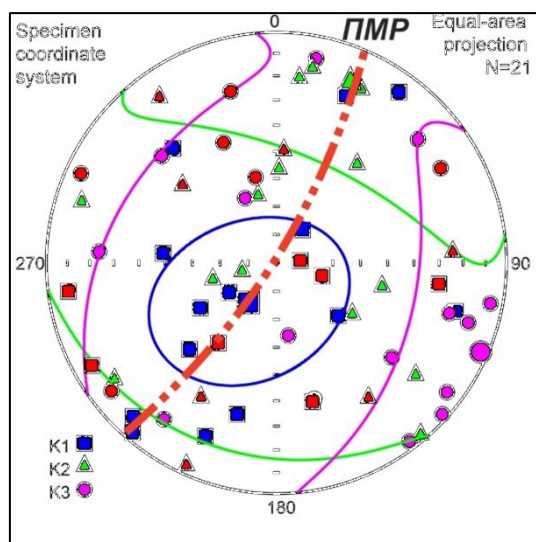


Рисунок 8. Анизотропия магнитной восприимчивости штока монцонитов
Красная штрихпунктирная линия - плоскость магнитного расслоения

Согласно проведенному дифференциально терромагнитному анализу основным минералом носителем намагниченности является магнетит с точкой Кюри, равной 580 °С. Не исключены изоморфные примеси ферромагнетиков с точкой Кюри, равной 470 °С (Рисунок 9).

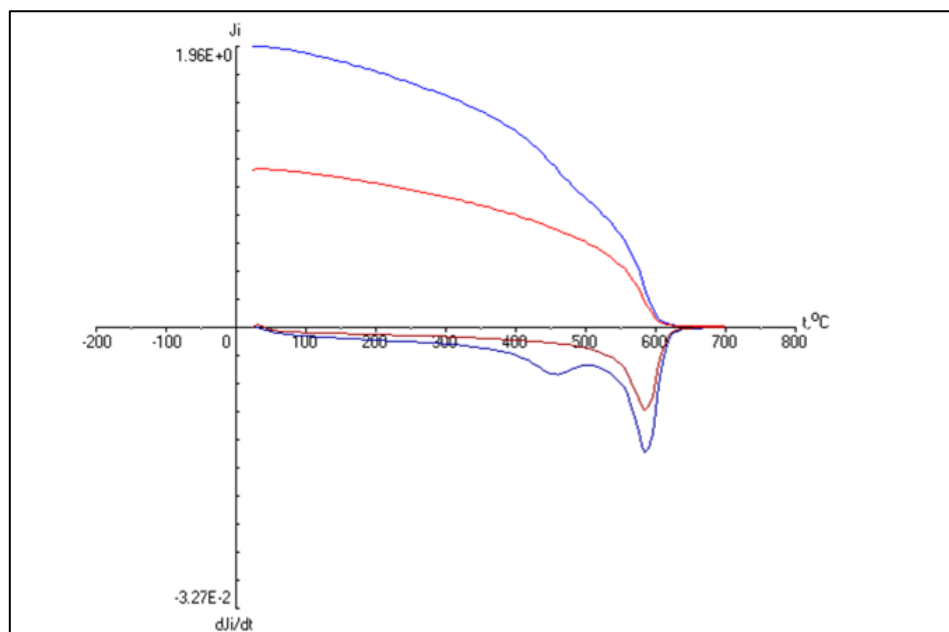


Рисунок 9. Дифференциально терромагнитный анализ (синяя/красная линия – нагрев/охлаждение)

Палеомагнитные исследования проведены с целью установления векторов первичной термоостаточной намагниченности, синхронных становлению монцонитов. В ходе экспериментов выявлено, что первичная термоостаточная намагниченность имеет крутые отрицательные направления (Рисунок 10).

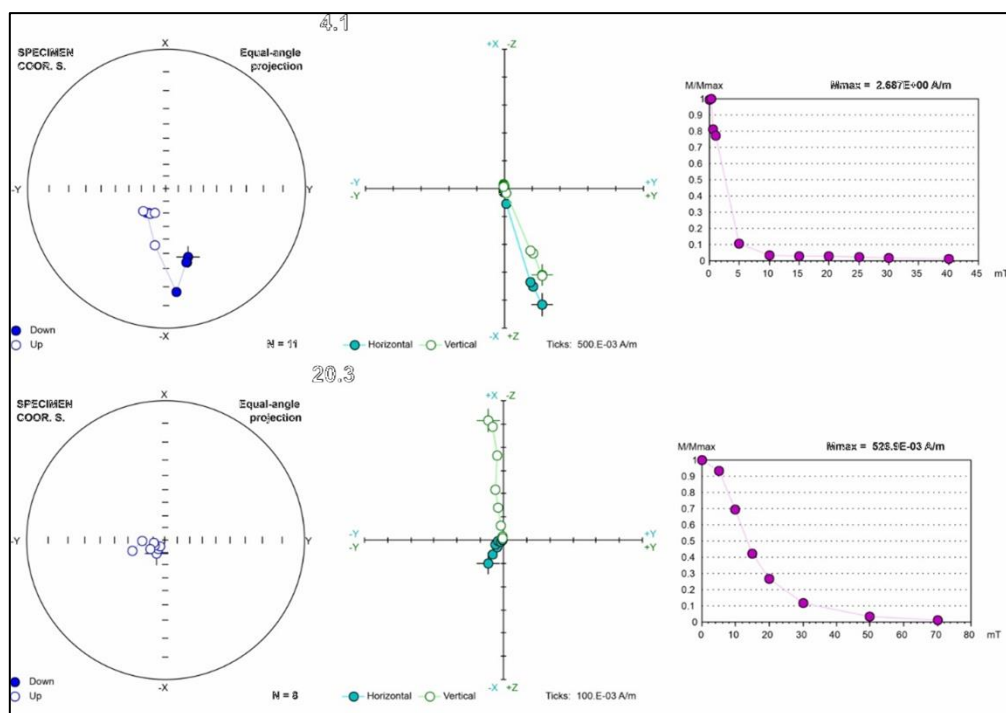


Рисунок 10. Результат палеомагнитных исследований монцонитов

4. Обсуждение

На Рисунок 11 представлено современное положение Сибирской платформы и района работ (РР). Виртуальный геомагнитный полюс (ВГП) имеет координаты $F=69^\circ$, $L=192^\circ$, $dp=8.3^\circ$, $dm=7.7^\circ$, $fm=64^\circ$ и совпадает с траекторией кажущейся миграции палеомагнитного полюса [8] в пределах 130-100 млн. лет, что согласуется с абсолютным датированием [1].

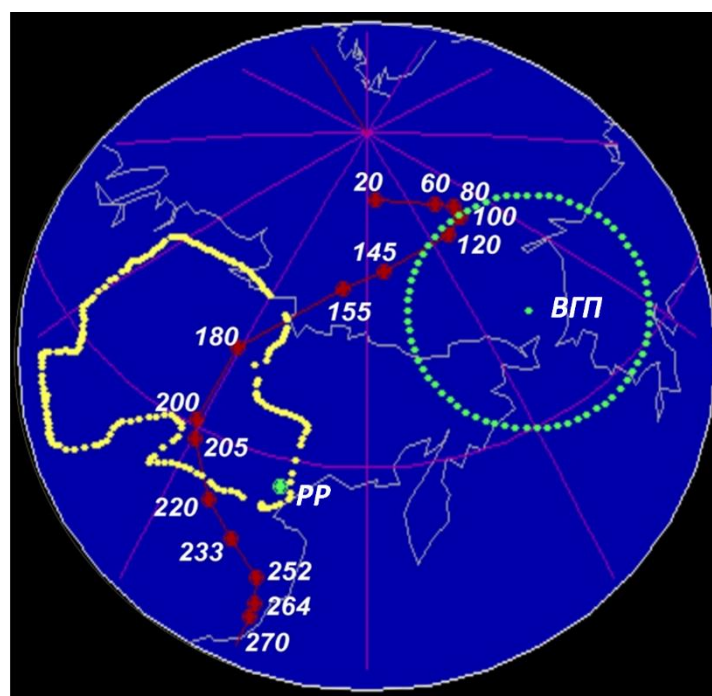


Рисунок 11. Палеомагнитное датирование монцонитов

РР – район работ (м-е Красивое); ВГП – виртуальный геомагнитный полюс с овалом доверия; красная ломаная - траектория кажущейся миграции палеомагнитного полюса по [8], цифры – млн. лет

5. Заключение

В результате проведенных исследований получены:

1. Скалярные и векторные петрофизические параметры по разным петрофизическим таксонам.

2. Петромагнитные данные (АМВ и точки Кюри) соответствуют генетической модели штока монзонитов и свидетельствуют об отсутствии влияния гипергенных изменений.

3. Виртуальный геомагнитный полюс, который совпадает с базовой траекторией полюса в интервале 120 ± 10 млн. лет, что соответствует времени внедрения штока по геологическим и изотопным данным формирования месторождения.

Полученные данные могут быть использованы для разработки ФГМ, геодинамических реконструкций Сибирской платформы, палеомагнитного датирования немых геологических процессов. В дальнейшем необходим дополнительный отбор ориентированных образцов для составления более детальной ПФЛ.

Библиографический список

- [1] Полин В.Ф., Зверева Н.М., Травин А.В., Пономарчук А.В. Возраст золотого оруденения Кеткарско-Юнской магматической провинции, формационная принадлежность золотоносных комплексов и разновременность позднемезозойского магматизма в разных частях Алданского щита // Тихоокеанская геология. – 2022. – Т. 41, № 5. – С. 3-19.
- [2] Хомич В.Г., Борискина Н.Г. Природа рудномагматических систем Алданского щита. Литосфера. – 2016, № 2. – С. 70-90.
- [3] Гуревич Д.В., Белогуб Е.В., Петров С.В., Полонянкин А.В., Заботина М.В. Модель формирования Cu-Pt-Pd оруденения в массиве Урало-Аляскинского типа: массив Кондер, Хабаровский край, Россия // Труды к 90-летию ИГЕМ РАН. – М., 2020. – С. 87-90.
- [4] Храмов А.Н., Гончаров Г.И., Комиссарова Р.А., Писаревский С.А., Погарская И.А., Ржевский Ю.С. [и др.] // Палеомагнитология. – М. : Недра, 1982. – С. 312.
- [5] Константинов К.М., Забелин А.В., Зайцевский Ф.К., Константинов И.К., Киргуев А.А., Хороших М.С. Структура и функции петромагнитной базы данных «RSEARCH» Якутской кимберлитовой провинции // Геоинформатика. – 2018 – № 4. – С.30-39.
- [6] Jelinek V. Measuring anisotropy of magnetic susceptibility on a slowly spinning specimen – Basic theory. Unpublished, Agico Print. 1997. No. 10. P. 27.
- [7] Буров Б.В., Ясонов П.Г. Введение в дифференциальный термомагнитный анализ горных пород. – Казань: Изд-во Казанского университета, 1979. – С. 160.
- [8] Павлов В.Э. Палеомагнетизм Сибирской платформы : специальность 25.00.10 Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук ; Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. – Москва, 2015. – 48 с.

СЕКЦИЯ 7. НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО

Перспективы нефтегазоносности карбонатных отложений триаса запада Скифской плиты

И.В. Попков

Кубанский государственный университет, Краснодар, Россия

E-mail geoskubsu@mail.ru

Аннотация. Проведён детальный литолого-стратиграфический анализ карбонатных отложений триаса Западного Предкавказья. Дана характеристика разрезов, вскрытых глубокими скважинами в различных тектонических зонах. Анализ материалов опробовательских работ в скважинах свидетельствует о возможности формирования в этом комплексе самостоятельных газовых залежей. Определены возможные типы резервуаров углеводородов.

1. Введение

О перспективах нефтегазоносности отложений триаса Западного Предкавказья среди исследователей существуют диаметрально противоположные мнения: одни считают их высокими, другие – очень низкими. Такая ситуация базируется, с одной стороны, на слабой изученности стратиграфии, литологии и коллекторских свойств этого комплекса, а с другой – на разной трактовке происхождения установленных в нём газовых залежей, т.е. самостоятельные они или образовались в результате перетока газа из нижнего мела. Детальное литолого-стратиграфическое изучение мощного разреза отложений триаса Западного Предкавказья позволили выделить в его составе карбонатную формацию позднеюрского возраста (великовечненская свита) [1], выявить особенности ее строения, литофациальный состав слагающих пород, условия залегания, а последующая корреляция – наметить площадное распространение толщи (рисунки 1, 2). С целью объективной оценки перспектив отложений триаса ниже приведены сведения об их коллекторских свойствах и результатах опробований на некоторых площадях.

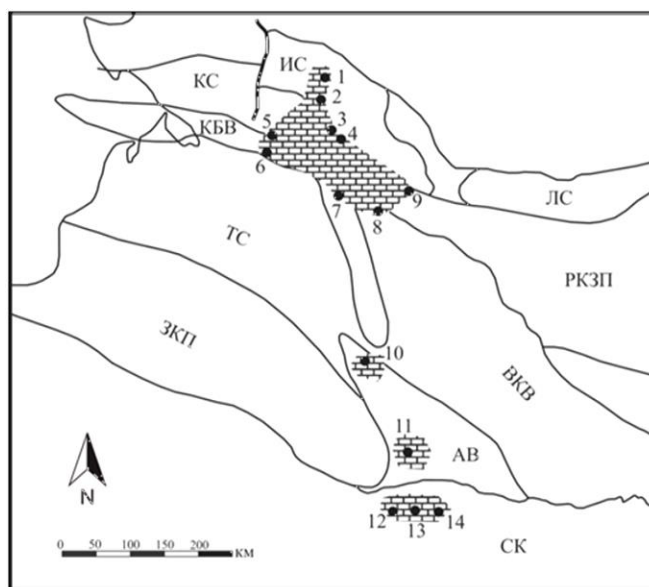
2. Материалы и методы

Выполнены макро- и микроскопические исследования кернового материала. Произведено детальное литолого-стратиграфическое расчленение разрезов, вскрытых глубокими скважинами. Для расчленения разреза использовался комплекс геофизических методов исследований скважин, включающий все виды каротажа. Составлены типовые разрезы верхнего триаса, произведена их корреляция. Проанализированы результаты пластоиспытаний и опробовательских работ в скважинах. Использованы лабораторные данные о коллекторских свойствах пород и их фильтрационных свойствах.

3. Результаты исследования и их анализ

В известняки и доломиты великовечненской свиты представляют несомненный практический интерес несмотря на то, что поиски в них залежей нефти и газа в прошлые годы не увенчались заметным успехом. В одних скважинах они не испытаны из-за отсутствия объектов, в других были получены отрицательные результаты, в-третьих – пластовая вода дебитом 200–450 м³/сут. (Краснодагестанская площадь). На Великой площади из верхнего триаса были получены притоки пластовой воды с предельным газонасыщением, а в скважине 9 – притоки газа и воды (48 и 850 м³/сут, соответственно). На Граничной площади скважины вскрыли пачку органогенно-обломочных известняков позднеюрского возраста, обладающих высокой пористостью и содержащих промышленные запасы газа. При проводке некоторых скважин происходило интенсивное поглощение глинистого раствора в количестве

75-260 м³, из-за которого нередко прекращалось бурение. В других скважинах в процессе бурения отмечался провал бурового инструмента и поглощение глинистого раствора. Эти факты могут указывать на высокую кавернозность известняков. Имеющиеся данные свидетельствуют о локальных высоких ёмкостных свойствах карбонатных пород великовечненской свиты. В то же время по немногочисленным данным лабораторных исследований пористость доломитизированных известняков составляет 2,7-4,4 %, проницаемость (по трещинам) - до 0,00017 мкм², массивных трещиноватых известняков и мергелей - 9 % и 0,017 мкм² соответственно.



Название площадей: 1 – Уманская, 2 – Граничная, 3 – Северо-Сердюковская, 4 – Северо-Ирклиевская, 5 – Челбасская, 6 – Северо-Брюховецкая, 7 – Березанская, 8 – Алексеевская, 9 – Восточно-Березанская, 10 – Великая, 11 – Краснодаргестанская, 12 – Черниговская, 13 – Даховская, 14 – Баговская.

Тектонические элементы: КС – Копанская синклиналь, КБВ – Каневско-Березанский вал, ИС – Ирклиевская синклиналь, РКЗП – Расшеватско-Кропоткинская зона поднятий, ЛС – Ладовская синклиналь, ТС – Тимашевская ступень, ВКВ – Восточно-Кубанская впадина, ЗКП – Западно-Кубанский прогиб, АВ – Адыгейский выступ, СК – Северный Кавказ.

Рисунок 1. Западная часть Скифской плиты. Площади, на которых вскрыты карбонатные отложения верхнего триаса.

В Западном Предкавказье триас перекрывается обычно нижним мелом, к базальным слоям которого приурочены многочисленные газоконденсатные месторождения, которые могли быть сформированы в результате миграции из подстилающих отложений. На Староминском, Ленинградском, Крыловском, Челбасском и Каневском месторождениях при опробованиях триаса были получены промышленные притоки газа из анизийского, карнийского и норийского ярусов, сложенных аргиллитами, песчаниками, реже дацитами. Считалось, что на этих месторождениях в сводах нижнемеловых структур вместе с апт-альбскими отложениями газоносными являются и подстилающие их трещинные коллекторы триаса, образовавшие единую залежь массивного типа [2, 3 и др.]. В качестве доказательства перетока углеводородов из отложений нижнего мела в триасовые приводились данные по составам газов и конденсатов из этих продуктивных горизонтов, которые действительно близки, а интервалы опробования триаса находились выше ГВК нижнемеловых залежей. Однако имеются примеры получения на ряде площадей притоков газа из отложений триаса на глубине ниже ГВК залежей в

нижнемеловых отложениях, что говорит о самостоятельности их продуктивности. Кроме того, установлены случаи значительного превышения начального пластового давления триасовых залежей по отношению к нижнемеловым на 40 – 50 атм [4], что указывает на наличие в триасовых отложениях исследуемой территории самостоятельных промышленных скоплений газа.

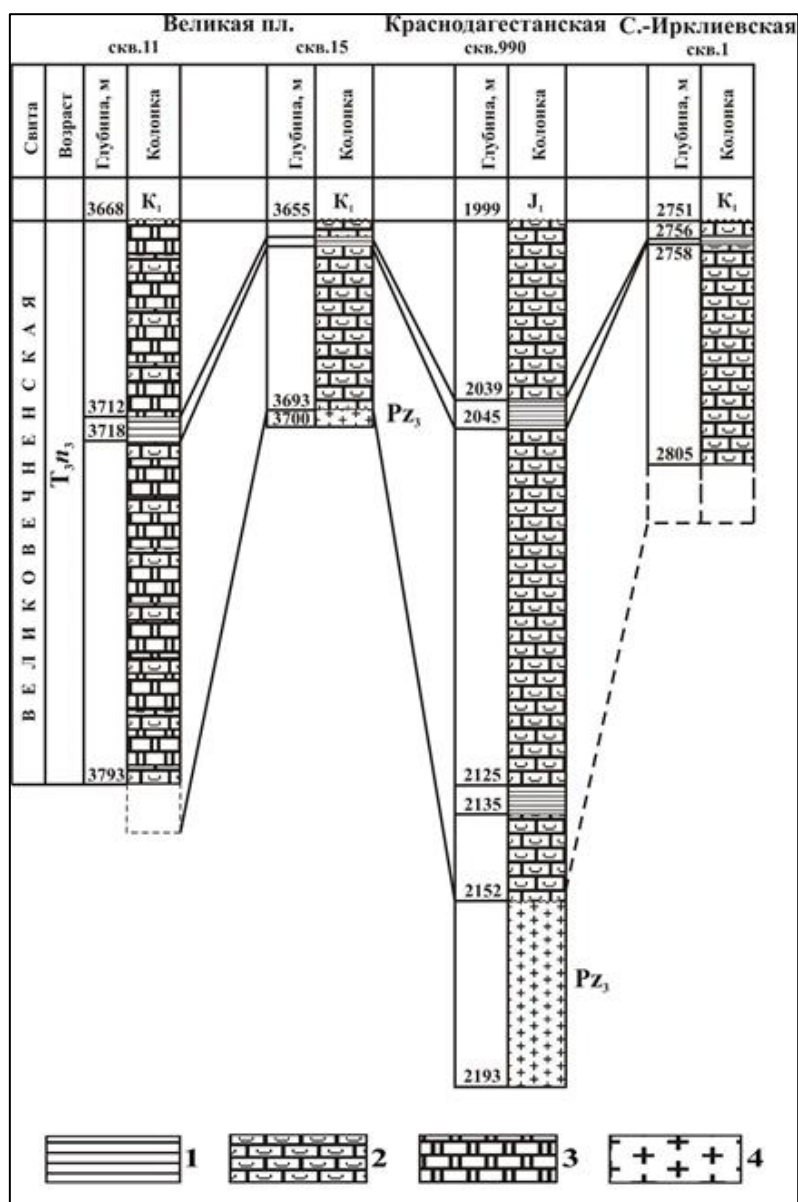


Рисунок 2. Строение разрезов великовечненской свиты [1].

Первичные емкостно-фильтрационные свойства верхнетриасовой карбонатной формации Западного Предкавказья крайне низкие. Тем не менее, в ней возможно формирование высокеемких коллекторов, так как карбонатные разности пород в жестких термобарических условиях, типичных для триасового разреза, в большей степени подвержены процессам формирования вторичной емкости в результате трещиноватости, выщелачивания, доломитизации и других процессов. Поэтому основной особенностью распространения коллекторов является приуроченность наиболее проницаемых разностей к достаточно ограниченным, локальным участкам повышенной флюидопроводимости.

4. Обсуждение

Учитывая низкую степень изученности триасовых отложений Западного Предкавказья, представляется уместным обратиться к опыту геологоразведочных работ на Южном Мангышлаке, где в вулканогенно-карбонатном комплексе триаса открыто более двух десятков месторождений нефти и газа [5, 6]. Установлено, что горизонты и комплексы пород-коллекторов отличаются значительной неоднородностью по проницаемым свойствам в латеральном направлении. Эта неоднородность проявляется уже на ранних стадиях седиментогенеза и диагенеза и значительно усиливается при катагенетических преобразованиях. В этой ситуации, как в плане, так и в разрезе формируются флюидоупорные или полуфлюидоупорные участки, сильно затрудняющие латеральную проводимость пластов, в связи с чем зоны коллекторов приобретают "островной" (пятнистый) характер, а в гидродинамическом отношении образуются латерально-изолированные или весьма трудно сообщающиеся системы. Даже в пределах отдельных структур для одного и того же пласта отмечены кратные вариации пористости на небольших расстояниях [5].

В таких условиях внутрипластовая миграция флюидов находится в прямой зависимости от степени новейшей тектонической трещиноватости горных пород. Учитывая «очаговый» характер распространения участков повышенной трещиноватости, а также анизотропию проницаемости трещиноватых пород (проницаемость по вертикали существенно выше, чем по латерали), формирование залежей углеводородов в этих условиях путем дальней латеральной миграции следует считать маловероятной.

Отмечается, что нефть заполняет трещины наиболее поздней генерации, а более ранние выполнены обычно вторичными минералами. Это свидетельствует о поступлении углеводородов в породы тогда, когда они уже имели низкую проницаемость, практически соответствующую современной [7, 8]. В пользу этого говорит и факт водонасыщенности пор матрицы (не нарушенных трещинами блоков пород). Следовательно, залежи нефти и газа в низкопроницаемых породах триаса могли сформироваться лишь путем вертикальной миграции по трещинам и разрывам. Вертикальная миграция флюидов способствует развитию дополнительных пустот за счет процессов выщелачивания и растворения. Повышенная трещинная и каверновая емкость в таких зонах создает то полезное пространство, которое при благоприятных условиях может служитьместилищем крупных скоплений углеводородов. Такие залежи характеризуются следующими наиболее общими особенностями [5, 6].

1. Отсутствие строгого структурного контроля.
2. Трудность, а иногда и невозможность проведения ВНК.
3. Как правило, отсутствие законтурных вод и ограничение залежей зонами отсутствия притоков пластовых флюидов.
4. Резкие колебания дебитов скважин от нулевых до сотен и более кубических метров в сутки, что не согласуются с лабораторными данными о низких значениях пористости и проницаемости пород. Высокие дебиты характерны для скважин, расположенных в непосредственной близости к разрывным нарушениям.

Перечисленные особенности свидетельствуют о том, что строение залежей в низкопроницаемых карбонатных породах триаса определяется, прежде всего, морфологией зон повышенной новейшей тектонической трещиноватости, а плотность запасов углеводородов в различных частях залежей - полезной емкостью всех вторичных пустот.

Таким образом, залежи нефти и газа во вторичных коллекторах триаса, контролируемые зонами новейшей тектонической трещиноватости, могут занимать любое положение относительно локальных поднятий. Тем самым теряется поисковое значение последних как ловушек углеводородов, равно как и ведущая роль структурного (наличие антиклинали) фактора в геометрии залежей. В качестве примера можно привести Алатюбинское месторождение нефти, где сводовые скважины оказались «сухими», а расположенные на периклинали дали притоки нефти в 2 тыс. м³/сут.

Разведка таких залежей требует новых методических разработок. Поисково-разведочные работы должны ориентироваться не только и не столько на антиклинальные структурные формы, сколько на зоны повышенной тектонической трещиноватости.

Большой практический интерес в Западном Предкавказье могут представлять биогермные постройки. Их наличие установлено на Северном Кавказе. Ходзинская свита является возрастным аналогом великовечненской свиты. Сложена непрерывно накапливавшимися известняками, полная мощность которых достигает 400 м. В нижней части разреза свиты слоистые известняки переходят в массивные рифовые, образованные кораллами и брахиоподами. На отдельных участках они доломитизированы. В Западном Предкавказье, как отмечалось ранее [1], на ряде площадей в составе норийских карбонатных образований выделяются фронтальные отложения барьерных рифов - терригенные и обломочные известковые породы, образовавшиеся в верхней части континентального склона, у основания рифогенных построек. Присутствуют и отложения тыловых образований барьерных рифов, которые сложены, в основном, органогенно-детритовыми и разнотерригенными известняками и доломитами. Проницаемые разности здесь представлены коллекторами трещинно-кавернозного типа.

5. Заключение

Детальное изучение отложений триаса Западного Предкавказья позволили выделить и проследить на площади карбонатную формацию поздненорийского возраста (великовечненская свита). Ареал развития свиты характеризуется низкой степенью геолого-геофизической изученности. Для уточнения границ распространения отложений, выяснения особенностей их внутренней структуры необходимо проведение дополнительных сейсмических исследований.

Анализ результатов опробований отложений великовечненской свиты в скважинах свидетельствует о возможности формирования в этом комплексе самостоятельных газовых залежей. Морфология резервуаров в низкопроницаемых карбонатных отложениях в значительной степени будет контролироваться участками развития вторичных коллекторов, связанных зонами новейшей тектонической трещиноватости.

Таким образом, норийские карбонатные отложения могут рассматриваться как перспективный нефтегазоносный комплекс с установленными газопроявлениями и неустановленной промышленной нефтегазоносностью. Его геолого-геофизическая изученность, в целом, соответствует региональной стадии геологоразведочных работ.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00037.

Библиографический список

- [1] Попков В.И., Чаицкий В.П., Попков И.В., Пинчук Т.Н. Верхнетриасовая газоносная карбонатная формация Западного Предкавказья // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2020. – Т. 2, 15. URL: http://www.ngtp.ru/rub/2020/13_2020.html.
- [2] Крылов Н.А., Летавин А.И., Оруджева Д.С., Запывалов Н.П., Копылов Н.Т. Перспективы нефтегазоносности доюрских отложений молодых платформ. – М.: Наука, 1981. – 168 с.
- [3] Юдин Г.Т., Данков Б. С., Жабрева П. С. Нефтегазоносность триаса Предкавказья. – М.: Наука, 1974. – 88 с.
- [4] Аладатов Г.М. Новые данные о газоносности триасовых отложений в Западном Предкавказье // Геология нефти и газа. – 1966. – 5. – С. 18-23.
- [5] Попков В.И. Ларичев В.В., Попков И.В. Структура глубокопогруженных комплексов осадочных бассейнов: гидрогеологические аномалии и нефтегазоносность как следствие

внедрения глубинных флюидов (на примере месторождений Южного Мангышлака. Геотектоника. – 2023. – 3 – С. 41-66.

[6] Попков В.И., Ларичев В.В., Попков И.В. Строение и условия формирования резервуаров нефти и газа в триасовых отложениях Южного Мангышлака. Нефтяная провинция. – 2023. – 2, 34. – С. 47-66.

[7] Ларичев В.В., Попков В.И. Гидрохимические условия глубокопогруженных нефтегазоносных комплексов. Геология, география и глобальная энергия. – 2013. – 4 (51) – С. 101-112.

[8] Ларичев В.В., Попков В.И. Гидродинамические условия глубокопогруженных нефтегазоносных комплексов. Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2013. – 10, 4-1. – С. 76-79.

Нефтегазоносность глубокозалегающих горизонтов осадочных бассейнов

В.И. Попков, И.В. Попков, И.Е. Дементьева

Кубанский государственный университет, Красноярск, Россия

E-mail geoskubsu@mail.ru

Аннотация. В условиях низкопроницаемого разреза, характерного для глубоких горизонтов осадочных нефтегазоносных бассейнов, четко проявляется локализованный, «островной» характер гидрохимических и гидродинамических аномалий, а также участков пород с повышенными емкостно-фильтрационными свойствами. Их образование связано с вторжением в осадочный чехол высокоэнергетичных агрессивных глубинных флюидов. Установление генетической взаимосвязи гидрогеологических аномалий и нефтегазоносности глубокопогруженных горизонтов может рассматриваться в качестве поискового критерия. В этих условиях важное значение приобретает картирование каналов миграции глубинных флюидов и очагов дилатансии в глубоких горизонтах.

1. Введение

По мере истощения разведанных запасов углеводородов (УВ) в верхних секциях разреза нефтегазоносных осадочных бассейнов (НГБ) в поисково-разведочный процесс вовлекаются все более глубокие их горизонты, существенный нефтегазоносный потенциал которых подтвержден во многих регионах мира. Установлено, что на глубинах 4.0–5.0 км и более в результате прогрессирующих катагенетических преобразований осадочные породы в значительной степени утрачивают первичные пористость и проницаемость. Их коллекторские свойства обусловлены, главным образом, вторичными преобразованиями. Латеральная флюидопроводимость порового пространства с глубиной постепенно переходит сначала в условия порово-трещинной, а затем фактически трещинной, что сопровождается формированием обстановок стагнационного (квазизастойного) режима водообмена [1 - 3].

В условиях низкопроницаемого разреза четко проявляется локализованный, «островной» характер гидрохимических и гидродинамических аномалий и связанных с ними участков развития вторичных коллекторов, гидродинамическая разобщенность которых не допускает развития элизионных потоков через зоны отсутствия латеральной проницаемости. В этом контексте важное значение приобретает определение условий и факторов, определяющих формирование скоплений УВ в глубокопогруженных комплексах НГБ.

2. Материалы и методы

В представленной работе синтезированы основные результаты научных исследований авторов по проблеме поисков скоплений нефти и газа, изучению условий и факторов, контролирующих их формирование в глубокопогруженных комплексах разновозрастных

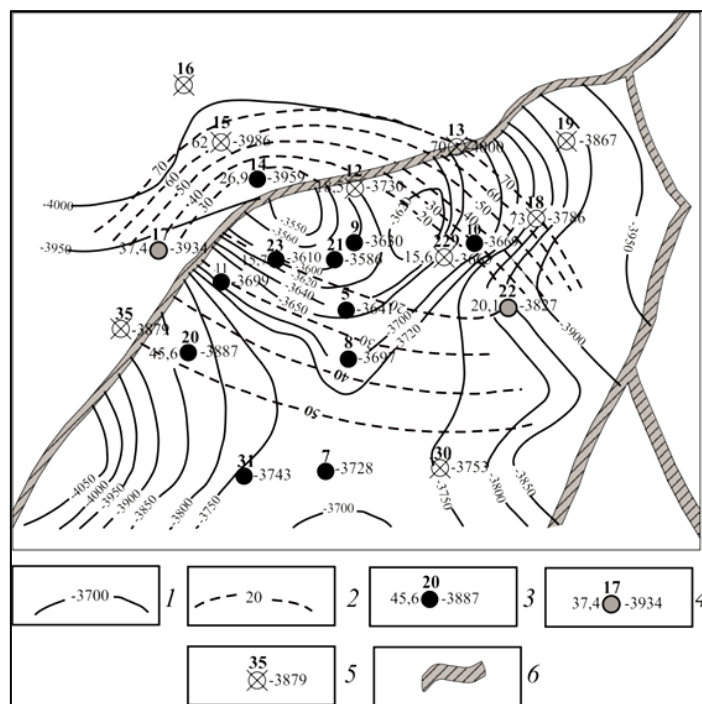
НГБ. В основу работы положены многие сотни данных химических анализов макро- и микрокомпонентного состава пластовых флюидов, испытаний поисково-разведочных скважин, результаты геолого-гидродинамического моделирования месторождений УВ, данные по подсчету запасов конкретных месторождений.

3. Результаты исследования и их анализ

В результате проведенных исследований установлено совпадение в плане гидрохимических и гидродинамических аномалий, участков коллекторов с более высокими емкостными параметрами с отчетливыми следами метасоматоза. Их образование связано с вторжением в осадочный чехол высокоэнергетичных агрессивных глубинных флюидов. При затруднении дальнейшего продвижения вверх флюидов, находящихся под высоким давлением, происходит гидравлический удар, в результате чего приводит к раскрытию трещин противостоящих пластов, в которые и поступает водо-нефтяная смесь.

Этот процесс сопровождается разуплотнением низкопроницаемых толщ, образованием дополнительных трещин, формированием вторичных пустот метасоматического происхождения. Такие породы, залегающие среди более плотных и менее трещиноватых разностей и получившие название «улучшенных коллекторов» или «коллекторов в зонах разуплотнения» [1, 3], образуют пространственно замкнутые резервуары сложной морфологии, заполняемые УВ. Соответственно, в условиях (квази)закрытой гидродинамической системы при локализации скоплений нефти и газа структурный фактор (наличие антиклинали) не является определяющим. Очень показательны в этом отношении данные по триасовым месторождениям Южного Мангышлака [4 - 7], и, в частности, по газоконденсатному месторождению Северо-Ракушечное (рисунки 1, 2).

Газоконденсатные залежи приурочены к вулканогенно-карбонатной толще среднего триаса. Зона разуплотнения проходит через свод поднятия. К ней приурочены наиболее опресненные воды сульфат-натриевого типа с минерализацией 15,7–20,1 г/л. Здесь же фиксируются и высокие значения коэффициента негидростатичности ($K_{нг}$), достигающие 1,1–1,4. По мере удаления к крыльям поднятия возрастает минерализация вод до 62–73 г/л, тип их переходит в хлоркальциевый, отношение r_{Na}/r_{Cl} снижается до 0,53–0,73, а $K_{нг}$ уменьшается до 0,94–0,97. При росте минерализации пластовых вод от свода структуры к крыльям на фоне снижения $K_{нг}$ проявляется строгая взаимосвязь между минерализацией и $K_{нг}$ [4 - 6].

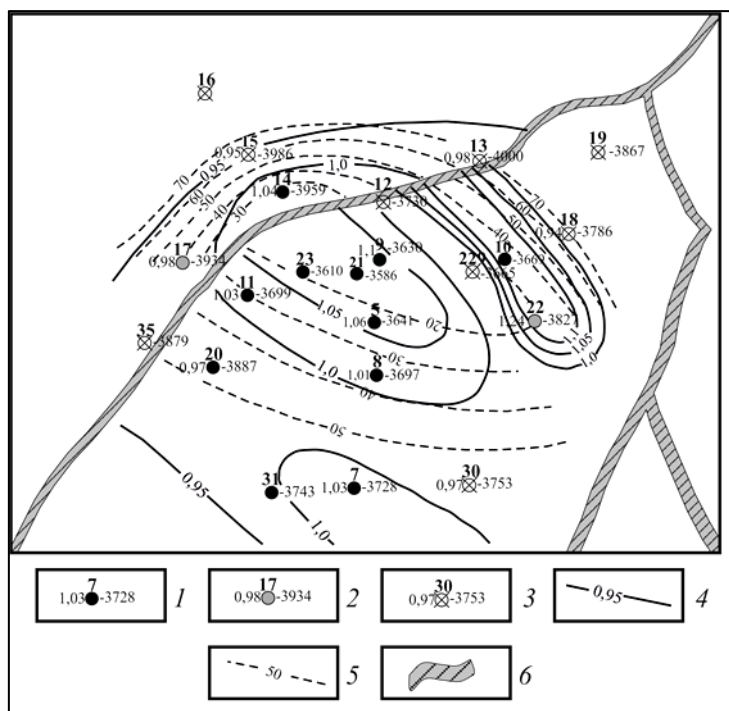


1 – изогипсы по кровле пласта «А»; 2 – изомеры, г/л. Скважины: 3 – продуктивные, 4 – с непромышленным притоком, 5 – ликвидированные. Вверху: – номер скважины, слева – минерализация, г/л; справа – абсолютная отметка пласта «А». 6 – разломы по данным сейсморазведки.

Рисунок 1. Схема гидрохимической зональности месторождения Северо-Ракушечное [4].

Гидрохимическая, гидродинамическая аномалии и их площадная зональность, величина Кнг также тесно связаны со структурным планом месторождения. При удалении от свода к крыльям с увеличением глубины кровли коллектора происходит уменьшение величины Кнг, причем градиент в целом для залежи остается единым.

Составленные карта толщин карбонатного пласта T_2 –А и карта эффективных и газонасыщенных толщин коллектора Северо-Ракушечного месторождения имеют высокий элемент подобия, что может свидетельствовать о связи процессов выщелачивания известняков, их доломитизации (гидрохимический эпигенез и метасоматоз) и насыщения сформировавшейся эффективной емкости УВ [5].



Скважины: 1 – продуктивные, 2 – с непромышленным притоком, 3 – ликвидированные. Вверху – номер скважины, слева – минерализация, г/л; справа – абсолютная отметка кровли пласта «А». 4 – изолинии Кнг; 5 – изоминеры, г/л; 6 – разломы по данным сейсморазведки.

Рисунок 2. Схема гидродинамической зональности месторождения Северо-Ракушечное [7].

4. Обсуждение

Совпадение в плане гидрогеохимических и гидродинамических аномалий, участков коллекторов с более высокими емкостными параметрами, их мозаичный, очаговый характер, отчетливые следы метасоматоза свидетельствуют об их генетической взаимосвязи. Чужеродность этих аномалий, как и УВ флюидов, по отношению к окружающей геологической среде приводит к образованию вокруг залежей УВ зоны повышенного газосодержания, которое при удалении от контура нефтегазоносности резко уменьшается. Это тот случай, когда не пластовые воды формируют залежь, а более молодые по возрасту залежи УВ обогащают законтурные воды повышенными по отношению к фону водорастворенными газами, УВ и многими минеральными компонентами.

Следовательно, подземные воды глубоких горизонтов НГБ не участвуют в процесс миграции и локализации залежей УВ, а лишь "присутствуя при этом". И, наоборот, сформировавшиеся залежи УВ оказывают влияние на гидрогеологические условия НГБ, создавая вокруг себя ареолы повышенных значений газонасыщенности пластовых вод и других гидрохимических и гидродинамических аномалий очагового характера при отсутствии каких-либо площадных (в масштабе НГБ) закономерностей. В верхних горизонтах осадочных бассейнов, где развиты породы с высокими емкостно-фильтрационными свойствами и, соответственно, с более высокой водообильностью, эффект воздействия глубинных флюидов на окружающую среду оказывается в значительной степени затухающим.

Инъекция глубинных флюидов, несущих УВ, обычно происходит на поздних стадиях развития осадочных бассейнов, в уже сформировавшиеся водонапорные системы. Это означает, что на протяжении всей предыдущей истории эволюции гидрогеологических условий осадочных бассейнов УВ участия в ней не принимали, и в этом отношении залежи

нефти и газа в подземной гидросфере НГБ являются "телом инородным", нарушившем сложившееся природное равновесие. В этой обстановке уже нефтегазовая залежь будет оказывать влияние на гидрогеологические условия того или иного комплекса и бассейна в целом. Следовательно, осадочный бассейн становится НГБ тогда, когда в нем появляется нефть.

5. Заключение

Установление генетической взаимосвязи гидрогеологических аномалий и нефтегазоносности глубокопогруженных горизонтов НГБ может рассматриваться в качестве поискового критерия. К примеру, на территории Южного Мангышлака, отличающейся очень высокой изученностью триасовых отложений, все известные месторождения УВ приурочены к структурам, где в разрезе присутствуют глубинные опресненные воды. И, наоборот, на площадях, выведенных из разведки с отрицательными результатами, гидрохимических аномалий нет [4]. В этих условиях большое значение приобретает картирование вертикальных каналов миграции глубинных флюидов и очагов разуплотнения (дилатансии) в глубоких горизонтах. Для этой цели могут быть использованы материалы сейсморазведки.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00037.

Библиографический список

- [1] Rachinsky M.Z., Kerimov V.Yu. 2015. Fluid dynamics of oil and gas reservoirs. USA: Scrivener Publishing Wiley, 599 p.
- [2] Лукин А.Е. Гипогенно-аллогенетическое разуплотнение – ведущий фактор формирования вторичных коллекторов нефти и газа // Геологический журнал. – 2002. – 4 – С. 15-32.
- [3] Попков В.И., Ларичев В.В., Попков И.В. Структура глубокопогруженных комплексов осадочных бассейнов: гидрогеологические аномалии и нефтегазоносность как следствие внедрения глубинных флюидов (на примере месторождений Южного Мангышлака) // Геотектоника. – 2023. – 3 – С. 41-66.
- [4] Ларичев В.В., Попков В.И. Гидрогеология доюрских отложений Южного Мангышлака. – Ставрополь: СевКавГТУ, 2003. – 144 с.
- [5] Попков В.И., Ларичев В.В., Попков И.В. Строение и условия формирования резервуаров нефти и газа в триасовых отложениях Южного Мангышлака // Нефтяная провинция. – 2023. – 2, 34 – С. 47-66.
- [6] Ларичев В.В., Попков В.И. Гидрохимические условия глубокопогруженных нефтегазоносных комплексов // Геология, география и глобальная энергия. – 2013. – 4 (51). – С. 101-112.
- [7] Ларичев В.В., Попков В.И. Гидродинамические условия глубокопогруженных нефтегазоносных комплексов // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. – 2013. – 10, 4-1. – С. 76-79.

УДК: 622.24.051.64

Определение условий существования режима крутильных автоколебаний второго рода нижней части бурильной колонны

П.С. Пушмин, А.Н. Буглов, В.О. Верёвкина

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Аннотация. Показана взаимосвязь вида движения нижней части бурильной колонны в режиме прямой прецессии и возбуждением крутильных автоколебаний второго рода.

Определены условия существования автоколебаний второго рода нижней частью бурильной колонны. Даны рекомендации по реализации нижней частью бурильной колонны движения в режиме прямой прецессии с соответствующим возбуждением автоколебаний второго рода.

1. Введение

Реализация максимально возможных механических скоростей бурения при минимизации отклонения от проектных траекторий стволов скважин в условиях естественного искривления была и остается одной из важнейших задач геологоразведочного бурения.

Одним из возможных методов решения данной актуальной задачи геологоразведочного бурения является создание условий для поддержания работы нижней части бурильной колонны в режиме прямой прецессии с соответствующим возбуждением автоколебаний второго рода.

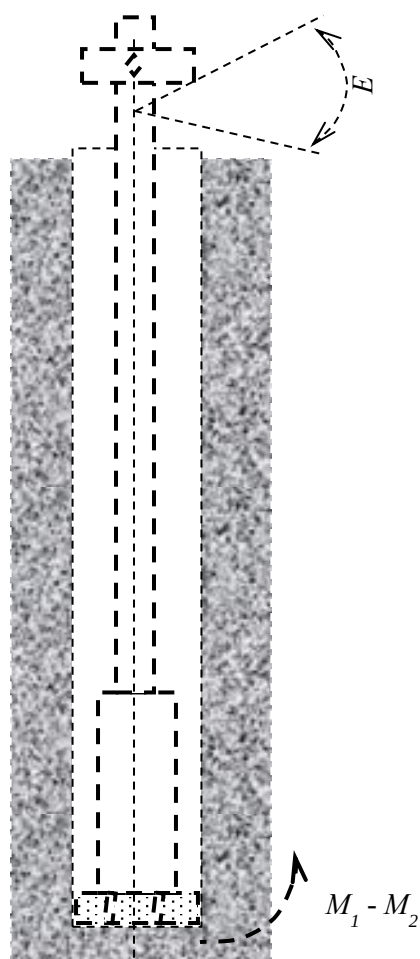


Рисунок 1. Схема к определению условий существования режима крутильных автоколебаний второго рода нижней части бурильной колонны

2. Материалы и методы

В данном исследовании применены графоаналитические методы, базирующиеся на основных законах физики, теоретической механики и математического моделирования.

3. Результаты исследования и их анализ

Результаты экспериментальных работ, представленные в работе [1], свидетельствуют о том, для получения максимальных механических скоростей бурения в условиях естественного искривления стволов необходимо поддерживать работу нижней части бурильной колонны в режиме крутильных автоколебаний второго рода, обеспечивающем в большинстве случаев прямую прецессию при движении колонны (вид движения Ф1).

Для определения условий существования режима крутильных автоколебаний второго рода, представим вал бурильной колонны в виде упругого стержня, имеющего постоянные параметры по всей длине (площадь поперечного сечения, однородность материала) (Рисунок 1). Верхний конец бурильного вала зашпелен в шпинделе станка и вращается с постоянной угловой скоростью ω , а на нижний опертый конец вала действует момент сопротивления движению породоразрушающего инструмента со стороны забоя, величина которого, согласно работе [1], уменьшается с ростом угловой скорости вращения.

В работе [2] для решения инженерных задач, связанных с автоколебаниями, предлагается пользоваться не конкретной силой трения, в нашем случае момент сопротивления вращению, являющейся функцией относительной скорости, а её упрощенной характеристикой, включающей в себя две

величины - максимальную силу трения покоя N_1 (M_1) и постоянную силу трения движения N_2 (M_2). Принимая во внимание данные допущения, рассмотрим процесс движения породоразрушающего инструмента, связанного со шпинделем станка посредством упругого стержня (бурильного вала). Считаем также, что при вращении инструмента упругий момент колонны M равен моменту M_2 .

При постановке вращающегося бурильного вала на забой породоразрушающий инструмент в какой-то момент времени находится в состоянии покоя. Шпиндель станка, вращаясь при этом по направлению часовой стрелки, будет скручивать вал до тех пор, пока ее упругий момент M не сравняется с максимальным значением момента M_1 . Дальнейшее увеличение упругого момента M уже невозможно, в результате чего произойдет вращательный срыв инструмента. Момент трения M_1 при этом мгновенно уменьшится до величины M_2 . Однако упругий момент колонны $M = M_1$ мгновенно изменяться не может, поэтому в первый момент времени движения инструмента он по-прежнему будет равен M_1 .

Будем считать, что отсчет времени начинается в момент вращательного срыва породоразрушающего инструмента, при этом угол его поворота и скорость равны нулю, то есть $t=0$, $\varphi=\varphi'=0$.

Рассмотрим дальнейшее движение инструмента. К определенному моменту времени угол закручивания стержня изменится на величину $\varphi-\omega t$, а упругий момент уменьшится до величины:

$$M(t) = M_1 - k(\varphi - \omega t). \quad (1)$$

Дифференциальное уравнение движения породоразрушающего инструмента будет иметь следующий вид:

$$M_1 - k(\varphi - \omega t) - M_2 = J\varphi''. \quad (2)$$

После преобразования получим:

$$\varphi'' + b^2\varphi = b^2\omega t + \frac{M_1 - M_2}{J}, \quad (3)$$

где J - момент инерции колонны, кг м²;

k - крутильная жесткость колонны, даН×м.

$$b = \sqrt{\frac{k}{J}}.$$

Общее решение данного неоднородного линейного уравнения будет иметь вид:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2, \quad (4)$$

где φ_1 – общее решение соответствующего однородного уравнения;

φ_2 – частное решение данного уравнения.

Общее решение однородного уравнения:

$$\varphi_1 = C_1 \sin(bt) + C_2 \cos(bt). \quad (5)$$

Частное решение равно:

$$\varphi_2 = \omega t + \frac{M_1 - M_2}{b^2 J}. \quad (6)$$

Общее уравнение (7) будет иметь следующий вид:

$$\varphi = C_1 \sin(bt) + C_2 \cos(bt) + \omega t + \frac{M_1 - M_2}{b^2 J}. \quad (7)$$

Постоянные C_1 и C_2 определим из начальных условий:

$$\varphi(t = 0) = C_2 + \frac{M_1 - M_2}{k} = 0; \quad (8)$$

$$\varphi(t = 0) = C_1 b = -\omega. \quad (9)$$

Откуда:

$$C_2 = -\frac{M_1 - M_2}{k}; \quad (10)$$

$$C_1 = -\frac{\omega}{b}. \quad (11)$$

Подставив соотношения (10) и (11) в уравнение (7), получим:

$$\varphi = \omega t - \frac{\omega}{B} \sin(Bt) + \frac{M_1 - M_2}{k} (1 - \cos(Bt)). \quad (12)$$

Первое слагаемое правой части данного выражения представляет собой движение породоразрушающего инструмента со скоростью, задаваемой шпинделем станка, а остальные слагаемые – его дополнительные колебания.

Скорость движения инструмента и его ускорение изменяются соответственно по законам:

$$\dot{\varphi} = \omega - \omega \cos(Bt) + \frac{(M_1 - M_2)B}{k} \sin(Bt); \quad (13)$$

$$\ddot{\varphi} = \omega \sin(Bt) + \frac{(M_1 - M_2)B^2}{k} \cos(Bt). \quad (14)$$

Следующая остановка инструмента произойдет тогда, когда $\varphi < 0$, либо, согласно (14), данное условие может быть выражено уравнением:

$$\omega \sin(Bt_2) + \frac{(M_1 - M_2)B^2}{k} \cos(Bt_2) = 0, \quad (15)$$

где t_2 – время от момента остановки до момента вращательного срыва породоразрушающего инструмента, мин.

Представим выражение (15) в следующем виде:

$$(1 - \cos^2 Bt_2)^{\frac{1}{2}} = -A \cos(Bt_2), \quad (16)$$

где:

$$A = \frac{(M_1 - M_2)B}{\omega k}.$$

Возведя обе части уравнения (16) в квадрат, и, произведя соответствующие преобразования, получим:

$$\cos(Bt_2) = \left(\frac{1}{1+A^2}\right)^{\frac{1}{2}}. \quad (17)$$

В свою очередь:

$$\sin(Bt_2) = \left(\frac{A^2}{1+A^2}\right)^{\frac{1}{2}}. \quad (18)$$

Время остановки породоразрушающего инструмента, согласно зависимостям (17) и (18), может быть рассчитано по зависимости:

$$t_2 = \frac{1}{B} \arcsin\left(\frac{A^2}{1+A^2}\right)^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{B} \arccos\left(\frac{1}{1+A^2}\right)^{\frac{1}{2}}. \quad (19)$$

Для выполнения условия $t_2 \rightarrow 0$, то есть работы породоразрушающего инструмента и низа бурильной колонны в режиме крутильных автоколебаний второго рода, необходимо, согласно (19), чтобы:

$$A = \frac{M_1 - M_2}{\omega \sqrt{Jk}} \rightarrow 0. \quad (20)$$

Подставив в выражение (5.52) значение крутильной жесткости бурильной колонны k , получим:

$$A = \frac{(M_1 - M_2)L_k^2}{\omega \sqrt{GJ} J_p} \rightarrow 0, \quad (21)$$

где L_k – длина бурильной колонны, м;

G – модуль сдвига материала бурильной колонны, даН м⁻²;

J_p – полярный момент инерции площади поперечного сечения бурильной колонны, м⁴.

Анализ выражения (21) показывает, что расширение области работы низа бурильной колонны в режиме крутильных автоколебаний второго рода при любой глубине скважины можно осуществлять за счет следующих мероприятий.

Увеличения ее крутильной жесткости за счет:

- создания профильных бурильных труб, у которых полярный момент инерции площади поперечного сечения больше, чем у труб круглого поперечного сечения;

- использования бурильных труб из материала, имеющего более высокий модуль сдвига по сравнению с существующим;

- повышения упругих свойств материала бурильных труб за счет их поверхностного пластического деформирования (ППД) [3].

Увеличения ее момента инерции.

4. Обсуждение

Использования максимально возможных частот вращения на всех интервалах скважины. Отметим, что рост данного параметра режима бурения ограничивается мощностью двигателя бурового станка и энергоемкостью вращения бурильной колонны.

Уменьшения падающей моментной характеристики породоразрушающего инструмента. Реализация этого мероприятия требует проведения специальных исследований по выявлению основных факторов, определяющих количественную характеристику данного явления и путей управления ими с целью снижения выходного параметра (M_1 - M_2).

Необходимо отметить, что величина момента инерции бурильного вала в скважине зависит от вида его движения в стволе.

Рассмотрим этот тезис подробнее.

Представим бурильную колонну в виде диска массой m , расположенного посередине невесомого вала, помещенного в жесткую трубу с зазором $f_{б.в.}$.

При работе бурильного вала в режиме Φ_2 момент его инерции относительно оси вращения, которой в данном случае является ось диска, равен:

$$J_{(\Phi_2)} = m\rho^2, \quad (22)$$

где m – масса бурильного вала (диска), кг;

ρ – радиус инерции, м.

При движении бурильной колонны в режиме Φ_1 момент её инерции относительно оси вращения (оси скважины) определяется из выражения:

$$J_{(\Phi_1)} = m\rho^2 + mf_{б.в.}^2. \quad (23)$$

Из сказанного выше следует, что:

$$J_{(\Phi_1)} > J_{(\Phi_2)}. \quad (24)$$

Таким образом, для расширения области работы низа бурильного вала в режиме крутильных автоколебаний второго рода необходимо его комплектование производить трубами с повышенным моментом инерции, гарантирующими вращение колонны в режиме прямой прецессии.

5. Заключение

Проведенные теоретические исследования свидетельствуют о том, что расширение области работы нижней части бурильного вала в режиме крутильных автоколебаний второго рода возможно осуществить за счет следующих мероприятий:

- увеличения её крутильной жесткости;
- использования высоких частот вращения;
- уменьшения падающей моментной характеристики породоразрушающего инструмента;
- установки в нижней части бурильной колонны труб с повышенным моментом инерции, гарантирующих движение в режиме прямой прецессии.

Библиографический список

- [1] Буглов Н.А., Пушмин П.С. Обоснование оптимальных параметров стабилизирующих колонковых компоновок при бурении скважин в условиях естественного искривления // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. Томск: ТПУ, 2022. – Т. 333. – № 7. – С. 20-29.
- [2] Pushmin P.S., Romanov G.R. Efficiency increase of hard rock destruction with the use of eccentric pulses // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Tomsk: Institute of Physics Publ. 2015.

[3] Гриб П.С., Буглов Н.А., Карпиков А.В. Исследование влияния основных технологических процессов дробеударной обработки на глубину деформированного слоя буровых труб // Известия Сибирского отделения РАН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – Иркутск: ИрГТУ, 2011. – № 2(39). – С. 212-218.

Обоснование оптимального режима работы УЭЦН

Е.А. Ефимова, Р.Ю. Лагерева, С. Д.-С. Будаева

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

E-mail egoloduk@gmail.com

Аннотация. Предложена методика оценки эффективности работы нефтяных добывающих скважин с использованием "теории обслуживания узлов". Методика позволяет научно обоснованно определять оптимальные параметры работы скважинного оборудования, в том числе подбирать рабочие уставки эксплуатации электроцентробежных насосов (УЭЦН), с учетом имеющейся информации о фактическом притоке флюида из пласта-коллектора.

1. Введение

В последние десятилетия исследователи и учёные различных научных отраслей активно проводят аналогии работы и функционирования подобных технических систем. Так, например, функционирование участка улично-дорожной сети (УДС) принято сравнивать с движением флюида в горизонтальной трубе, а полученные при этом зависимости проецировать на различные магистральные улицы и скоростные дороги. Наглядный тому пример – модель Лайтхилла-Уизема (рисунок 1):

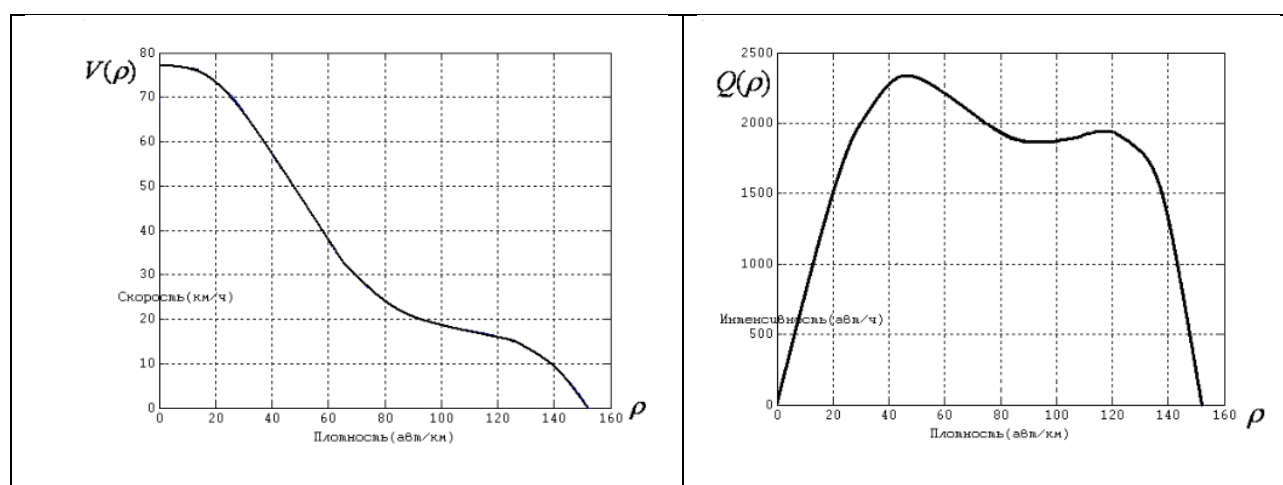


Рисунок 1. Фундаментальные уравнения движения транспортного потока

2. Материалы и методы

В основу подготовки статьи применялись методы и алгоритмы теории массового обслуживания, положенные в основу управления физическими потоками в инженерно-технических сетях.

3. Результаты исследования и их анализ

Авторы статьи стремились разработать модель обслуживания флюида в системе пласт-УЭЦН, используя признанные модели движения транспортных потоков на элементах улично-дорожных сетей. Их цель состояла в том, чтобы разработать обратный подход – по известным

алгоритмам теории и оптимизации функционирования УДС предложить алгоритм управления системой сбора и подготовки скважинной продукции.

Так, за основу оптимизации работы системы Пласт-Скважина планируется взять наработки из североамериканского руководства по оценке пропускной способности HCM 2010 (рисунок 2) в которой эффективность работы «передаточного узла» (передача потока флюида из одной подсистемы в другую), может рассматриваться как скорость обслуживания некоторого числа поступающих заявок. Авторы предлагают рассматривать эффективность работы такого узла как скорость обслуживания поступающих заявок, представленных величиной притока к забою скважины.

В подобном изложении, скорость обслуживания заявок (объемный расход флюида) определяется производительностью скважинного глубинного оборудования. Цель методики состоит в подборе взаимоприемлемых параметров работы системы массового обслуживания, обеспечивающих снижение образования "очередей" или «задержек» в обслуживании заявок, рост которых определяется снижением уровня динамического уровня в затрубном пространстве добывающей скважины.

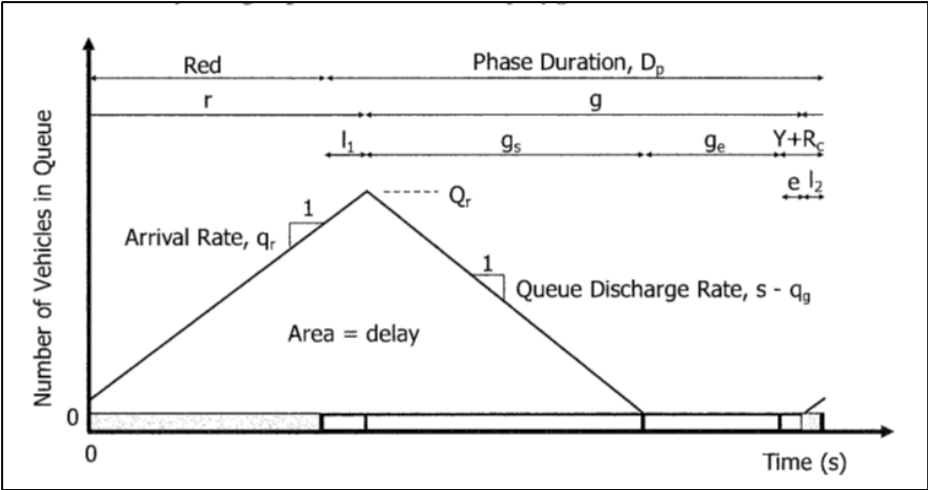


Рисунок 2. Управление потоком в узле по HCM 2010

В изложении авторов, на рисунке 2 **Arrival Rate** – соответствует производительности скважины, **Queue Discharge Rate** – производительности УЭЦН. Важно обеспечить поддержание системы сбора скважинной продукции, в равновесном состоянии, чтобы приток = отбору.

В особенности такая постановка задачи оптимизации востребована на скважинах с механизированной добычей с **необеспеченным** притоком, где важно настроить рабочий цикл УЭЦН с учетом особенностей его периодического запуска. Так, например, мягкий запуск (разгон) УЭЦН с помощью ЧРП на периодическом режиме будет полностью соответствовать условию разъезда очереди транспортных средств в момент включения разрешающего сигнала светофора, что предопределяет возможность применения методики HCM 2010 для оптимизации работы системы Пласт-Скважина с применением следующих оценивающих критериев:

Таблица 1

Критерии оценки узла по методике HCM 2010

Оценка пропускной способности узла	Оценка уровня обслуживания узла
$c = N s \frac{g}{C}$	$X = \frac{v}{c}$

c – пропускная способность узла, [м ³ /ч]; N – кол-во погружных насосов, [ед.]; s – величина отбора флюида от узла, [м ³ /ч]; g – время работы УЭЦН, мин;	X – уровень загрузки узла; v – величина притока флюида к узлу, [м ³ /ч];

4. Обсуждение

Первый шаг в подобном направлении уже сделан, зарубежными специалистами, получивший название «**Системный анализ**». Системный анализ – это инструмент моделирования, используемый инженерами-нефтяниками, для целей обоснования оптимальной конструкции скважин, размера НКТ, а также для выработки параметров проектирования дизайна скважинного и наземного оборудования (рисунок 2).

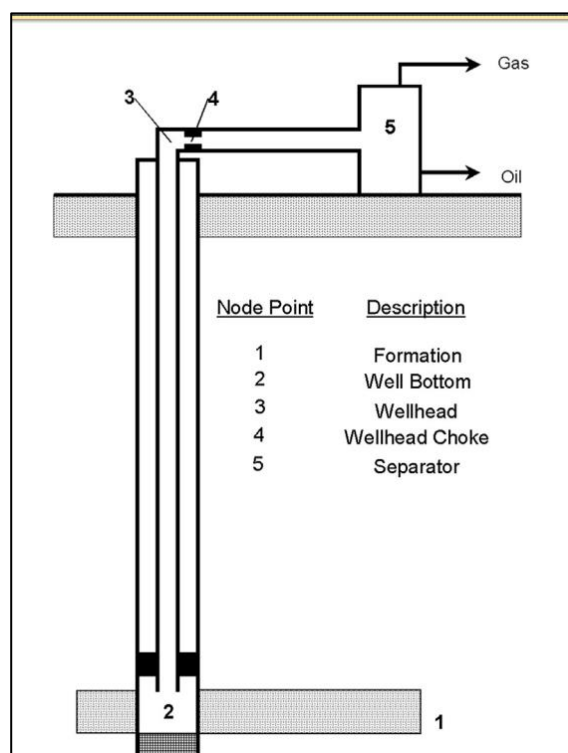


Рисунок 3. Дифференциация системы сбора на обслуживаемые подсистемы

Системный анализ используется для моделирования притока и оттока пластовой жидкости в скважину. **Inflow** представляет несущую способность пласта, а **Outflow** – то, что скважина может доставить на поверхность. Пересечение Inflow с Outflow, называемое рабочей точкой, определяет оптимальную производительность скважины при заданных технико-эксплуатационных параметрах (рисунок 3).

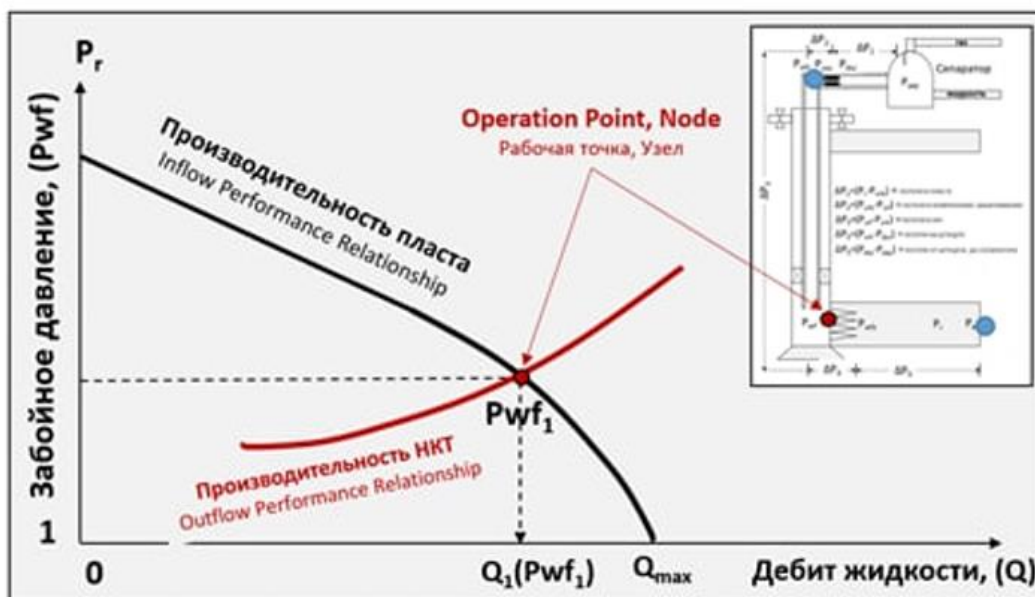


Рисунок 4. Предпосылки использования «системного анализа»

Узел решения (**solution node**) определяется как место, где разница давлений подсистемы притока и оттока равна нулю (подсистемы сбалансированы). Предполагается, что узлы решения изолированы от внешнего воздействия и внешних факторов. Это значит, например, если узловой точкой является забой скважины, факторы, влияющие на производительность притока, например, скин-фактор, анализируются независимо от переменных, влияющих на отток, диаметр НКТ или давление в сепараторе (АГЗУ).

Основной принцип системного анализа сводится к тому, что вся система сбора и подготовки скважинной продукции рассматривается в виде последующих взаимосвязанных гидравлических подсистем, связанных узлами (см. таблицу 1):

1. Коллектор / Пласт (Formation);
2. Скважина (Well Botton, Wellhead);
3. Поверхностное оборудование (Wellhead Choke, Separator).

Поскольку все перечисленные выше подсистемы взаимосвязаны, изменение процессов в любой из них влечет изменение процессов во всей системе сбора скважинной продукции.

Для достижения флюидом АГЗУ (5) он проходит длинный путь всей системы сбора скважинной продукции, начиная свое движение с коллектора/пласта (1). Система сбора в системном анализе представлена следующими основными подсистемами: резервуар, скважина, выкидная линия, АГЗУ, каждая из которых в свою очередь представлена в виде отдельных элементов, которые взаимосвязаны между собой, но при этом имеют свои специфические особенности и функциональное назначение.

Например, подсистема «скважина» может включать в себя такие элементы как НКТ, пакеры, газлифтные клапаны и т.д. Для достижения оптимальной производительности системы все эти элементы должны функционировать слаженно и четко, или как говорят, системно-ориентированно, подстраиваясь под постоянно изменяющиеся условия движения однофазного/многофазного флюида.

Особого внимания заслуживают узлы 1 и 5 поскольку они являются границами рассматриваемой системы сбора скважинной продукции и на период проведения системного анализа давление в этих узлах можно считать условно-постоянным.

Основные предпосылки проведения узлового анализа.

1. Масса / объем флюида обслуживаемого системой сбора остается неизменной несмотря на то, что фактические фазовые состояния подвержены изменениям из-за температуры и давления.

2. Давление в системе снижается в направлении движения флюида, по причине наличия энергетических затрат в обслуживаемых подсистемах.

3. Во всех узлах системы давление на выходе из одной подсистемы равняется давлению на входе в последующую подсистему. (В узлах давление не теряется).

4. В период проведения узлового анализа системные параметры остаются постоянными (давление на границах системы, геометрия скважинных труб, состав обслуживаемого потока).

Приняв сделанные допущения, сформулируем основную цель проведения узлового анализа: установить величину давления передачи заданного объема скважинной продукции из предшествующей подсистемы в последующую. Для этих целей:

1. Определяются с узлом, для которого ищется оптимальное решение. Например, если таким узлом выступает узел 2, следовательно, он связывает собой подсистемы коллектор - скважина:

КОЛЛЕКТОР → УЗЕЛ 2 ← СКВАЖИНА

2. Оценивают изменения значений давлений для каждой из рассматриваемых подсистем, которые обычно представляются в виде индикаторных кривых при заданных давлениях на АГЗУ (5) и на забое (2).

3. Находят операционную точку, соответствующую пересечению индикаторных кривых, характеризующих энергетические затраты взаимодействующих подсистем участвующих в подъеме на поверхность скважинной продукции (см. рисунок 3).

5. Заключение

С учетом существующих подходов и принятых методик управления потока в инженерно-технических узлах (рисунок 2). Авторы статьи предлагают метод оптимизации работы скважинного оборудования, основанный на "Системном анализе" и методике НСМ 2010. Планируется разработать алгоритм адаптивного управления для станций управления УЭЦН с учетом поступающего потока в узел по следующему сценарию:

1. Оценивается ожидаемая величина потока жидкости в скважину.
2. Оценивается ожидаемая производительность погружного скважинного оборудования.
3. Обосновывается точка оптимального функционирования узла.
4. Контролируется через АГЗУ величина оптимального отбора жидкости.
5. Производится самодиагностика работы системы Пласт-Скважина.
6. При необходимости осуществляется корректировка (смещение оптимальной точки), путем изменения частоты питающего напряжения УЭЦН.

Библиографический список

- [1] Горбачев Ю.И. Геофизическое исследование скважин [Текст]: учеб. для геофиз. спец. вузов] / Ю.И. Горбачев; под ред. Е.В. Карусева, 1990. – 397 с.
- [2] Справочное руководство по проектированию разработки и эксплуатации нефтяных месторождений. Добыча нефти: справочное издание / В.Н. Васильевский [и др.]; под ред. Ш. К. Гиматудинова, 2007. – 453 с.
- [3] Особенности добычи нефти и газа из горизонтальных скважин: учебное пособие для вузов по специальности 130503 «Разработка нефтяных и газовых месторождений» направления подготовки дипломированных специалистов 130500 «Нефтегазовое дело» / Г.П. Зозуля [и др.], 2009. – 170 с.
- [4] Коршак А.А. Основы нефтегазового дела: учебник для вузов по направлению «Нефтегазовое дело» / А.А. Коршак, А.М. Шаммазов, 2007. – 527 с.

- [5] Алиев З.С. Газогидродинамические основы исследования скважин на газоконденсатность : монография / З.С. Алиев, Р.Н. Исмагилов, 2012. – 213 с.
- [6] Тагиров К.М. Эксплуатация нефтяных и газовых скважин: учебное пособие для вузов по направлению «Нефтегазовое дело» / К.М. Тагиров, 2012. – 334 с.
- [7] Мстиславская Л.П. Основы нефтегазового дела: учебник для вузов по направлению подготовки дипломированных специалистов 130500 «Нефтегазовое дело» / Л.П. Мстиславская, 2012. – 253 с.
- [8] Покрепин Б.В. Разработка нефтяных и газовых месторождений: учебное пособие для среднего профессионального образования / Б.В. Покрепин, 2015. – 318 с.

УДК 661.339.1

Моделирование работы добывающих скважин с применением теории массового обслуживания

Д.Е. Соколова, Е.А. Дмитриева, Д.Н.Сутырин

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail: den.sutyurin2015@yandex.ru

Аннотация. Моделирование работы добывающих скважин с применением теории массового обслуживания является важным инструментом для анализа и оптимизации процессов добычи нефти и газа. Теория массового обслуживания позволяет изучать и оптимизировать системы обслуживания, включая скважины, где происходят процессы добычи и обработки сырья.

1. Введение

Одним из ключевых аспектов моделирования работы добывающих скважин является анализ процессов, происходящих на месторождении, включая поступление притока жидкости, добычу, транспортировку и обработку. Моделирование работы скважин с использованием теории массового обслуживания позволяет анализировать различные технологические процессы, такие как добыча, притоки, изменение давления и температуры, а также другие факторы, влияющие на производительность скважин.

Применение теории массового обслуживания также позволяет оптимизировать процессы добычи, увеличивать эффективность скважин, уменьшать затраты на обслуживание и повышать общую производительность месторождения. Такие модели позволяют прогнозировать поведение скважин в различных условиях и проводить обоснование оптимальных стратегий добычи.

2. Материалы и методы

Материалы, полученные в результате практики и работы на нефтедобывающем предприятии.

3. Результаты исследования и их обсуждения

Управление скважинами является важной составляющей процесса добычи нефти и газа. Оно включает в себя различные аспекты, такие как моделирование системы добывающих и нагнетательных скважин, планирование скважинных операций, анализ и оптимизацию процесса управления работой фонда скважин. Одним из ключевых аспектов управления скважинами является анализ и разработка дизайна эксплуатации добывающих скважин (рисунок 1).



Рисунок 1. Мониторинг и оптимизация системы добычи

Существует несколько методов механизированной добычи нефти, таких как электроцентробежные насосы (ЭЦН), штанговые горизонтальные насосы (ШГН), винтовые насосы и другие. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки, и выбор оптимального метода зависит от множества факторов, включая геологические особенности месторождения и требования к производительности скважинного оборудования. Помимо этого, в управлении скважинами важно проводить узловой анализ, который позволяет оценить эффективность работы каждого отдельного элемента скважины в системе сбора и подготовки.

Это важно для выявления возможных проблем и оптимизации процесса добычи. Также проводится анализ чувствительности, который помогает исследовать влияние различных параметров на производительность скважин и определить оптимальные настройки.

В последние годы особое внимание уделяется подбору типа заканчивания в горизонтальных скважинах. Горизонтальные скважины имеют свои особенности, и правильный выбор метода заканчивания может значительно повысить эффективность добычи. Существует несколько вариантов, таких как гравитационное заканчивание, заканчивание с использованием песчаных пробок или гидроразрыв пласта. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и подходит для определенных условий. В целом, управление скважинами является сложным и многогранным процессом, требующим постоянного анализа и оптимизации.

Новые технологии и методы постоянно развиваются, чтобы улучшить процесс добычи и повысить эффективность работы скважин.

Добывающие и нагнетательные скважины являются типичными компонентами потенциально сложной системы добычи нефти, подверженной различным отказам и простоям. Техническое обслуживание, ремонт и геолого-технические работы на скважинах выполняются специальными взаимосвязанными службами, образующими сеть линий. Поддержание фонда скважин в рабочем состоянии и увеличение добычи нефти требует значительных материальных и финансовых затрат. Это объясняется увеличением разнообразия и сложности физико-химических методов воздействия на состав и поверхность ямок, т.е. геолого-технические мероприятия (ГТМ).

Поэтому совершенствование процессов управления добычей скважин и технического обслуживания оборудования для снижения потерь очень важно и определяет важность моделирования и оптимизации сетей и систем массового обслуживания объектов нефтедобычи.

Задачами теории массового обслуживания является анализ и исследование закономерностей, возникающих в системах обслуживания. Одна из основных задач теории заключается в определении таких характеристик системы, которые обеспечивают баланс в системе обслуживания (равенство притока и отбора жидкости). Именно по этой причине можно применить теорию массового обслуживания к работе добывающей скважины.

System (nodal) analysis (узловой анализ) – новейший инструмент инженера разработчика, применяемый для исследования влияния рабочих параметров системы на производительность. Применяется для целей оптимального выбора дизайна УЭЦН с последующим поиском наиболее экономичной установки с учетом капитальных (CAPEX) и эксплуатационных затрат (OPEX). Узел, как точка принятия решения, определяет условие: пласт = well+ESP (рисунок 2).

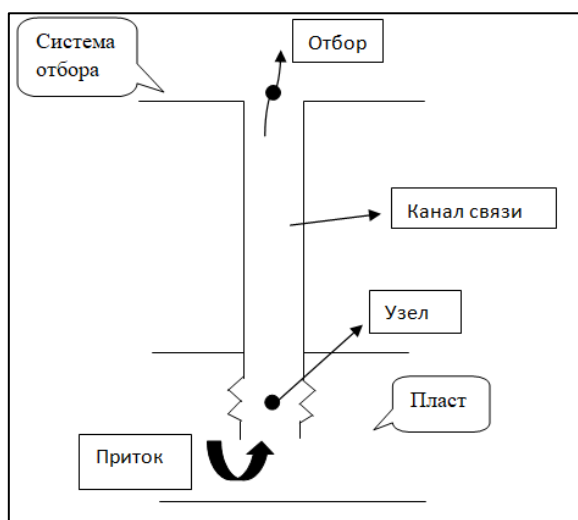


Рисунок 2. Схема узлового анализа

В случае анализа системы сбора характеристиками являются давление и дебит. При моделировании месторождений одной из важных задач является создание связи модели пласта, скважины и сети сбора для выбора режима эксплуатации с учетом взаимодействия компонентов. Работа коллектора описывается посредством IPR (Inflow Performance Relationship) кривой, являющейся системой снабжения, а скважина — при помощи VLP (Vertical Lift Performance) кривой, являющейся системой потребления (рисунок 3).

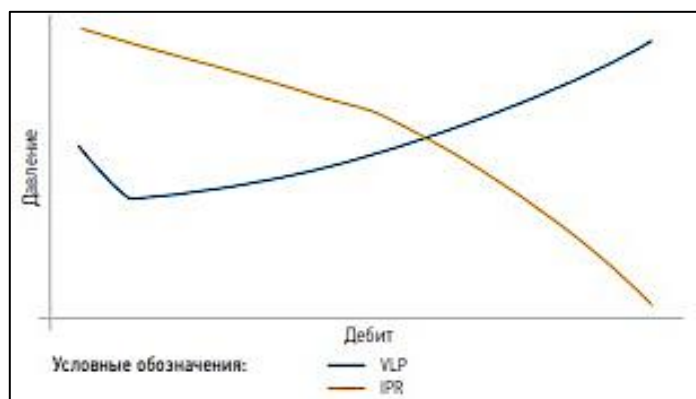


Рисунок 3. Графики VLP- и IPR-кривых

Соотношение забойного давления фонтанирования с дебитом скважины (IPR) показывает способность пласта подавать жидкость в ствол скважины. Для того, чтобы пласт мог отдавать жидкость, необходимо наличие перепада давления между статическим пластовым давлением и давлением фонтанирования в стволе скважины. Многофазный поток в вертикальной или наклонно-направленной скважине используется для определения потерь давления от низа НКТ (или от низа участка перфорации) до устья. Для мониторинга эффективности работы систем механизированной добычи или разработки программы по использованию представленной выше системы необходимо найти решение для обеспечения уровня давления, требуемого для подъема жидкости на устье. Значение этого давления определяется путем сочетания характеристик притока жидкости в скважину и выхода жидкости из НКТ в единой узловой точке, для УЭЦН – на приеме насоса внизу лифтовой колонны. Для самофонтанирующих и газлифтных скважин обычно оценка проводится на уровне башмака колонны НКТ.

Существует ряд моделей, используемых для описания характеристик притока флюида в скважину. В общем смысле, IPR устанавливает соотношение между средним пластовым давлением скважины (P_r), а также забойным давлением притока на вскрытой поверхности забоя и стенок скважины в продуктивном песчаном пласте (P_{wf}) и соответствующим уровнем дебита (Q_f). Наиболее часто используются два следующих метода:

- Метод постоянного коэффициента продуктивности (PI);
- Метод Вогеля.

5. Заключение

Моделирование скважин, в частности прогнозирование забойного давления, является важной задачей. Скважина, как элемент, связывающий пласт с наземной сетью сбора, могут описываться движением флюида через некий «коридор». Пересечение IPR и VLP позволяет определить рабочую точку системы скважина — пласт. VLP-кривые зависят от параметров двухфазного флюида и самой скважины: ее геометрии, величины забойного и устьевого давления, при механизированной добыче — насоса, шероховатости НКТ и других параметров. Оценка вариантов VLP-таблиц происходит на основе множественных гидравлических расчетов.

Библиографический список

- [1] Юданова В.В. Имитационное моделирование систем массового обслуживания // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы». – 2019. – № 4. – URL: <https://resources.today/PDF/23INOR419.pdf>.
- [2] Прикладная теория систем массового обслуживания: практикум / сост. И.К. Будникова. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. – 76 с.
- [3] Моделирование разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений: методические указания по изучению дисциплины для обучающихся технических направлений всех форм обучения / сост. Аитов И.С. – Тюмень: Издательский центр БИК ТИУ, 2023. – 30 с.

Опыт применения методов увеличения нефтеотдачи в разных странах

А.Р. Рашидова, П.Д. Журавская, А.С. Качковская, М.А. Мухараева, А.К. Быченков
Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия.
Email alyona.kachkovskaya03@mail.ru

Аннотация. В статье анализируется опыт применения методов увеличения нефтеотдачи (МУН), которые применяются в таких странах, как Россия, Венесуэла и

США. В статье рассмотрены и описаны основные из методов, описана история развития методов увеличения нефтеотдачи в США, особенности применения МУН в районе уникального нефтяного пояса Ориноко и новые технологии повышения нефтеотдачи пластов в России.

1. Введение

Проблема падения темпов добычи нефти из пластов уже более сорока лет является одной из наиболее значимых и обсуждаемых в нефтедобывающей отрасли многих стран мира.

Эффективность извлечения нефти из нефтеносных пластов в настоящее время практически во всех нефтедобывающих странах считается неудовлетворительной, хотя потребление нефтепродуктов в мире растет с каждым годом.

Усредненный показатель предельной нефтеотдачи в разных странах и регионах до применения методов, способствующих ее увеличению, колеблется от 25 до 40%. Например, в США, Канаде и Саудовской Аравии он составляет — 33–37%, в странах СНГ и России — до 40%, в зависимости от структуры запасов нефти и применяемых методов разработки. [1]

Остаточные или неизвлекаемые запасы нефти, которые не извлекаются промышленными методами разработки, составляют в среднем 55–75% от первоначальных геологических запасов нефти в недрах. [1]

Таким образом, с каждым годом интерес к методам повышения нефтеотдачи растет, проводятся лабораторные, научные и промысловые исследования с целью выявления наиболее эффективных способов воздействия на пласт. Именно эти обстоятельства и делают тему нашего исследования актуальной, поскольку с помощью нашей статьи получится проанализировать разные подходы к увеличению нефтеотдачи в некоторых странах мира.

2. Материалы и методы

При написании статьи использовались методы теоретического исследования, исследована зарубежная и отечественная литература.

3. Результаты исследования и их анализ

На основании проведенного анализа методов увеличения нефтеотдачи в разных странах, были получены следующие данные:

Опыт применения МУН в США.

Первой страной из мировых лидеров по нефтедобыче, столкнувшейся с общим падением темпов извлечения нефти из недр, принято считать США.

Попытки стабилизации этого положения путем использования методов повышения нефтеотдачи были замечены в Соединенных Штатах Америки с 1970 года, а уже спустя 5 лет количество проектов МУН здесь насчитывало более 150. Несколько федеральных программ были приняты на уровне штатов и спрогнозированы на уровне Национального нефтяного совета США (ННС), наиболее значимыми из которых являются проекты в 1976, 1984 и 1989 годов. Согласно этим прогнозам, методы увеличения нефтеотдачи при соответствующем развитии могли нормализовать добычу нефти в стране на 30–40 лет и значительно сократить зависимость от импорта. [2]

В стране применяются эти основные методы по увеличению нефтеотдачи: газовые, термические и химические.

1. Газовый метод заключается в закачке газа. В основном используются такие газы, как природный газ, азот или углекислый газ (CO₂). Этот метод является практически одним из самых распространенных и составляет почти 60% третичных методов добычи (EOR) в США.

2. Термический метод применяет термическое впрыскивание, предполагающее введение тепла. Он используется не так часто, как газовый, но также составляет большую часть, примерно 40% производства EOR. Наиболее часто применяется на территории штата Калифорния.

3. Химический метод основан на закачке химикатов. Метод может включать в себя использование длинноцепочечных молекул, называемых полимерами. Полимеры используются для повышения эффективности заводнения. Один из самых невостребованных методов. Составляет около 1% добычи МУН в США.

Опыт применения МУН в Венесуэле.

Венесуэла — государство, обладающее крупнейшими запасами тяжелой и высоковязкой нефти, из-за чего ее сложно добывать. Именно поэтому МУН в этой стране играют такую же значимую роль, как и в США.

В районе уникального нефтяного пояса Ориноко, общая площадь которого составляет 55314 км², основная добыча осуществляется за счет применения тепловых методов воздействия. А наиболее эффективными МУН в Венесуэле на месторождениях высоковязкой нефти и битумов являются термические методы. Впервые этот метод в Венесуэле применили в 1960-х годах. [3]

Методами теплового воздействия на пласт являются воздействие на пласт с помощью пара, пароциклические обработки скважин, а также внутрипластовое горение.

Сутью первого способа является закачка пара с поверхности в пласты, которые отличаются низкой температурой и высокой вязкостью нефти. Это происходит за счет использования специальных установок, которые располагаются внутри зоны с областью сплошного нефтенасыщения. Так как пар обладает высокой теплоемкостью в залежи, то в пласте возникает достаточное количество энергии, чтобы нагреть его. Исходя из этого, вязкость нефти и ее относительная плотность снижаются, а также происходит расширение насыщающих пластов. В результате проведенных операций с введением пара в пласт образуется зона пара, зона горячего конденсата и зона с первоначальной температурой пласта, которая не охватывается тепловым воздействием. Нагревание нефтеносного пласта с помощью пара приводит к дистилляции сырья. Из-за повышения температуры вязкость снижается, а также все агенты объемно расширяются. Кроме того, меняются фазовые проницаемости, смачиваемость горной породы и ресурс приобретает большую подвижность.

Следующий метод осуществляется путем нагнетания пара в призабойную зону пласта. Такое нагнетание происходит циклами: после закачивания на некоторое время скважина оставляется закрытой, после чего продолжается работа по эксплуатации скважины.

Третий способ тепловых воздействий делится на два типа: сухое и влажное горение внутри пласта.

В основу такого варианта увеличения нефтеотдачи пласта как внутрипластовое давление легло применение энергии, которую получили в ходе частичного сжигания тяжелых фракций нефти в пластовых условиях при нагнетании окислителя с поверхности. [4]

Так, при методе сухого горения для поддержания процесса горения на начальном этапе и после в нагнетательные скважины закачивается исключительно воздух. В процессе жидкого горения в пласт, помимо кислорода, закачивается вода. Вследствие чего происходит испарение воды, которая вступила в контакт с нагретой породой. В результате перемещения пара, подхватываемого потоком воздуха, в область впереди фронта горения переносится тепло. Благодаря высокой теплоемкости воды увеличивается конвективная теплоотдача водовоздушной смеси, снижаются тепловые потери за фронтом горения, а количество воздуха, необходимого для процесса, уменьшается вдвое или даже втрое, в отличие от требуемых объемов воздуха, применяемых в процессе сухого горения. [4]

В настоящее время на наиболее крупных месторождениях Венесуэлы, среди которых Аякучо, Арекуна и Бар, планируется массовое использование внутрипластового горения. Для оценки технологической эффективности этого метода увеличения нефтеотдачи на этих месторождениях были проведены испытания на примере опытного участка месторождения MFB-52 блока Баре пояса Ориноко. [3]

Опыт применения МУН в России.

Россия во времена существования СССР была одной из первых стран, применивших МУН. Однако несмотря на это, за последнее десятилетие объём дополнительной добычи не увеличивается. На территории нефтегазоносной провинции Западной Сибири ежедневная добыча нефти только с 2006 по 2012 год уменьшилась на 7%. Тенденция к уменьшению объёма добычи нефти только возрастает, а, следовательно, возрастает важность и необходимость применения методов увеличения нефтеотдачи.

Наиболее применяемыми методами увеличения нефтеотдачи являются химические, вторые — тепловые, на третьей позиции стоят гидродинамические и физические, и наименее используемыми являются газовые.

Несмотря на сложности и отсутствие помощи от государства, целый ряд компаний, осознавая важность применения современных МУН, рассматривают возможность участия в проектах по их внедрению. Основными направлениями этих проектов являются низкопроницаемые коллекторы, в основном содержащие легкую нефть, тяжелая нефть и природные битумы, сложно построенные карбонатные коллекторы, нетрадиционные запасы Западной Сибири, Волго-Уральской нефтегазоносной провинции и юга России.

Например, ОАО «Лукойл» на Ярегском месторождении Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции проводит испытания тепловых МУН с двумя модификациями с направлением на тяжелую нефть и природные битумы. На Усинском месторождении компания применяет комбинированные методы, тепловые и химические.

ОАО «Газпромнефть» на Муравленковском месторождении Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции применяет интегрированные МУН с целью увеличить нефтеотдачу в низкопроницаемых коллекторах, содержащих легкую нефть. Та же компания вместе с ОАО «НК Роснефть» на Приобском месторождении применяют газовые и термогазовые МУН с тем же направлением.

За последние годы в проектной документации развитие новых технологий было связано с гидродинамическими методами воздействия. Это обусловлено их относительной простотой реализации, а также уже имеющимся опытом использования. Годовая добыча за счет этих методов оценивается в 50–60 млн тонн.

К сожалению, последние годы не являются благоприятными для нефтяной промышленности. Однако стоит заметить, что многие нефтяные компании начинают исследовать МУН, выделяют средства и объекты для их усовершенствования. [5]

5. Заключение

В результате изучения различных источников по выбранной нами теме мы пришли к выводу, что некоторые способы увеличения нефтеотдачи пластов получили распространение во всех исследуемых нами странах, хоть и в видах, адаптированных под определенный тип климата и категорию запасов извлекаемой нефти (традиционные, нетрадиционные или трудноизвлекаемые). Также мы заметили, что несмотря на активное применение МУН в мире, наблюдается тенденция усовершенствования уже проверенных методов и создания новых.

В ходе написания статьи мы справились со всеми поставленными задачами и проанализировали методы увеличения нефтеотдачи пластов в нефтедобывающих странах, таких как Россия, Венесуэла и США.

Библиографический список

- [1] Аль М.А.А.М., Шарипов Р.Р., Мингазов Р.Р. Увеличение притока нефти к добывающим скважинам // Новая наука: проблемы и перспективы. – 2016. – № 2-1 (61). – С. 98-101.
- [2] Березовский Д.А., Кусов Г.В., Шахмеликьян М.Г., Кумбе Э.Л.В. Анализ технологий теплового воздействия на пласты высоковязких нефтей месторождения Узень // Наука. Техника. Технологии (Политехнический вестник). – 2017. – № 3. – С. 100-123.

- [3] Маркано Гонсалес А.А., Басниева И.К., Еремин Н.А., Сарданашвили О.Н., Краус З.Т. О термическом повышении нефтеотдачи при добыче высоковязких нефтей и битумов для месторождений Венесуэлы // Актуальные проблемы нефти и газа. – 2019. – Вып. 1 (24).
- [4] Поддубный Ю.А., Поддубный А.Ю. Нефтедобыча и нефтеотдача в США // Клуб исследователей скважин нефти и Институт газового бизнеса. – 2020. – Вып. 1.
- [5] Применение современных методов увеличения нефтеотдачи в России: важно не упустить время. – «Эрнст энд Янг (СНГ) Б.В.». – 2013. – 24 с.

Система спуска обсадных колонн CRT

А.И. Стулёв, Н.А. Спиридонов, С.Ц. Жамбалова, Б.А. Абдувохидов, Е.В. Развозжаев, Степанова Е.С.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

E-mail: leha.stulev@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены принципы работы новой системы спуска обсадных колонн CRT. Представлен результат использования новой системы CRT. Обоснована необходимость обширного использования уникальной технологии для месторождений с различными геологическими осложнениями.

1. Введение

Разработка и строительство скважин — это сложный и технический процесс, включающий в себя, постоянное чередование двух основных этапов: бурение горной породы и закрепление открытого ствола (установка обсадной колонны и её цементирование). Одним из основных приоритетов в данной отрасли — использование различных технологий для повышения механической скорости бурения и сокращения времени проведения работ. В то же время, оптимизации этапа закрепления часто уделяется недостаточное внимание [1-2]

Однако, геологические факторы увеличивают время на подготовку ствола скважины, относительно затраченного на бурение. Тем самым, решение этой проблемы становится одним из главных.

2. Материалы и методы

В исследовании применены материалы с производственной практики на Верхнетирском лицензионном участке Большетирского нефтяного месторождения.

3. Результаты исследования и их анализ

На рубеже XXI века произошел значительный прогресс в технологии бурения обсадных колонн. Новая и уникальная разработка оборудования CRT практически заменила 4 инструмента (штропы, элеватор, ключи и систему промывки) и некоторое количество персонала при спуске колонны.

Таким образом, данная система используется на Большетирском нефтяном месторождении с довольно осложненной геологией. Часто встречаются такого вида факторы, как наличие набухающих, трещиноватых пород, осыпи и обвалы. В дальнейшем все это приводит к такой проблеме, как неустойчивость стенок скважины, которая ведет за собой дополнительные проработки [3].

В ходе работы была подготовлена скважина с осложненной геологией, с помощью программы была поднята КНБК и подобрано долото под геологические условия месторождения. Командная работа с заказчиком, тщательный контроль за процедурой ведения работ, анализ и строгое наблюдение за подготовительными работами к бурению выдали значительный успех: весь интервал секции 630 — 1818 м (1188 м) был успешно пробурен в сложных геологических условиях до проектного забоя в один прием.

При бурении не возникло проблем с управлением, траектория роста угла выдержана с плановой интенсивностью (рис. 1). Все оборудование показало превосходную работу с незначительным износом.

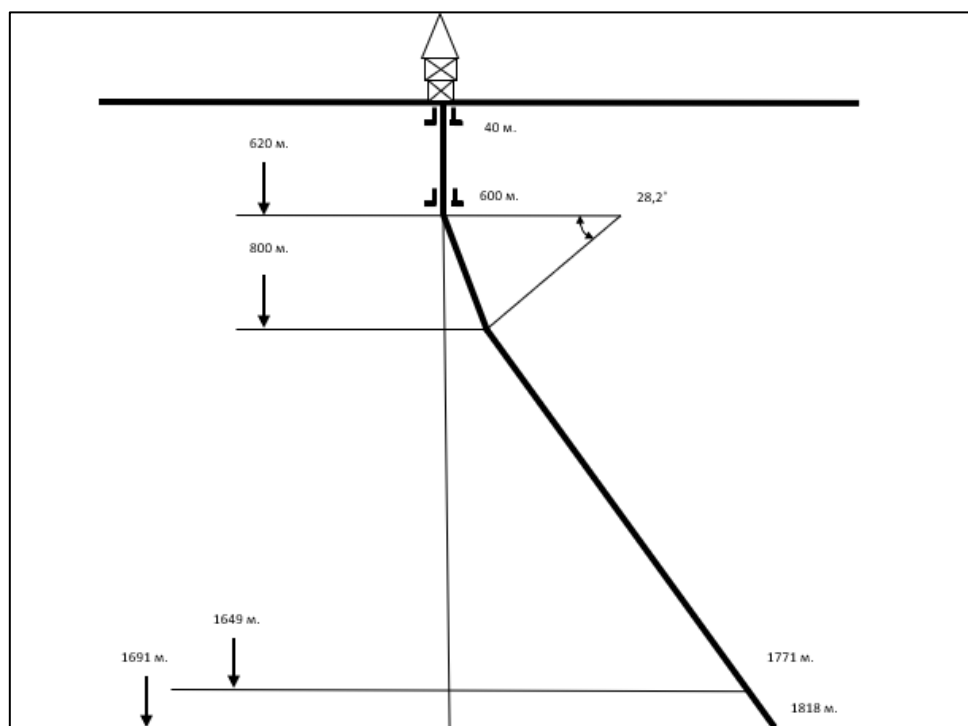


Рисунок 1. Вертикальная проекция секции пробуренной системой CRT.

4. Обсуждение

Система CRT состоит из нескольких основных компонентов: гидравлического привода, механизма захвата обсадной колонны, системы управления. Когда необходимо спустить обсадную колонну в скважину, CRT берет на себя основную часть работы.

Поясним принцип работы системы спуска обсадных колонн. Верхняя часть инструмента соединена с главным валом устройства верхнего привода, который управляет крутящим моментом вращения обсадной трубы во время спуска. Детали, следующие: гидравлический источник питания системы верхнего привода наполняет маслом верхние/нижние камеры приводного механизма и достигает номинального давления; поршень, двигаясь вверх и вниз, приводит в исходное/открывает пневматические клинья, а затем освобождает/зажимает обсадную трубу, чтобы передать вращательное усилие и поднять груз для завершения привинчивания, подъема и спуска обсадных труб. Для обеспечения циркуляции бурового раствора во время спуска обсадных труб используются уплотнительные чашечные сальники, что позволяет сократить или избежать сложных аварий. (рис. 2) [4].

Операторы могут контролировать процесс с помощью специального оборудования и мониторинга параметров на поверхности.

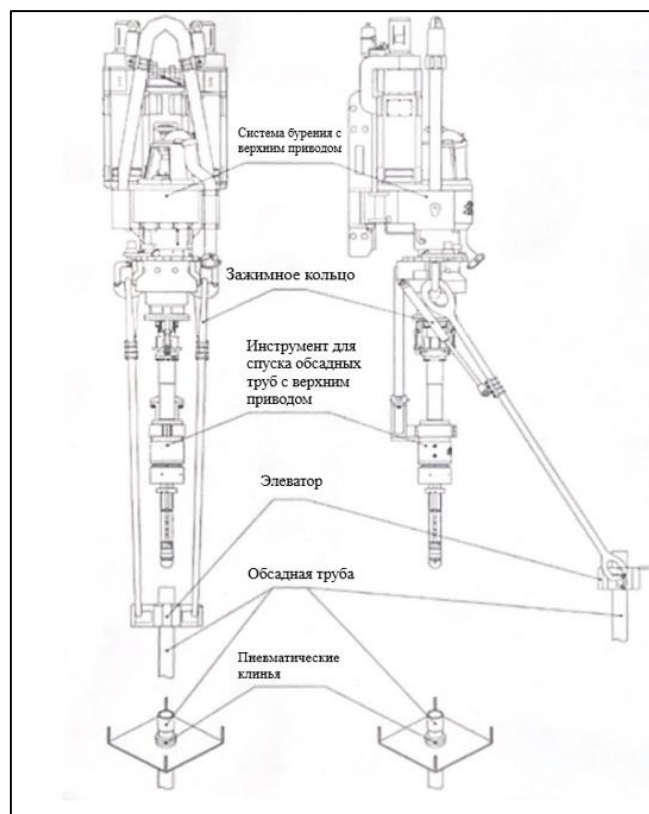


Рисунок 2. Сборка системы верхнего привода и инструмента для спуска обсадных труб SRT

5. Заключение

Системы спуска обсадных колонн CRT в наше время имеет большой потенциал. Внедрение данной методики на постоянной основе в бурении нефтяных и газовых скважин, а также геологоразведочного бурения, поможет обезопасить работу и сократить время на спуск обсадных труб, тем самым повышая эффективность бурения. Благодаря инновационным технологиям CRT становится незаменимым помощником для специалистов в нефтегазовой отрасли.

Библиографический список

- [1] Фаткулин С.А. Второе дыхание» технологии бурения на обсадной колонне. / С.А. Михайличенко А.В. Инновационная технология Tesco – бурение на обсадной колонне Casing Drilling // Нефть. Газ. Новации. – Краснодар, 2011. – № 12. – С. 34-40.
- [2] Андреев Н.Л. Технология бурения обсадными трубами интервалов многолетнемерзлых горных пород // Наука и техника в газовой промышленности. – М: Газпром Экспо, 2010. – № 4. - С. 6-11
- [3] Фаткулин, Д.П. Гумич, Забуга С.В. и др. // Бурение и нефть. – 2019. – №4. – С.30-34.

Исследование и разработка методов повышения ресурса породоразрушающего инструмента

К.Д. Ндени, П.С. Пушмин, Э.Э. Эльмуратов

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

E-mail ndenikiwili@gmail.com

Аннотация. Важнейшей задачей в решении проблемы оценки ресурсного потенциала страны на твердые полезные ископаемые является повышение

геологической и технико-экономической эффективности буровых работ, что невозможно без современного технико-технологического обеспечения этих работ.

1. Введение

Одной из важных проблем нефтегазовой отрасли страны является необходимость поддержания добычи на существующем уровне.

В связи с этим, повышение технико-экономических показателей строительства скважин является одним из наиболее приоритетных направлений деятельности нефтесервисных буровых компаний. Как показывает практика, применение передовых технологических решение за счёт правильного подбора породоразрушающего инструмента, можно увеличить механическую скорость бурения, проходку на долото и получить экономию капитальных затрат при строительстве нефтяных и газовых скважин до 30-40% от общей стоимости скважины.

2. Материалы и методы

Подготовительные работы; монтаж буровой вышки и оборудования; подготовка к бурению; процесс бурения; крепление скважины обсадными трубами и ее тампонаж; вскрытие пласта и испытание на приток нефти и газа.

Бурение нефтегазовых скважин является основным способом геологоразведки полезных ископаемых в особенности, залегающих на больших глубинах. При этом одним из перспективных в настоящее время и обозримом будущем способом сооружения скважин является проходка их с применением алмазного породоразрушающего инструмента (долото PDC) в сложных горно-геологических условиях.

3. Результаты исследования и их анализ

При бурении глубоких скважин АВПД возникают осложнения геологического характера:

- поглощения бурового раствора;
- газопроявление ГНВП;
- осыпи и обвалы стенок скважины, образование желоба;
- сужение ствола скважины.

Как следствие, появляются нижеследующие риски, влияющие на время и материальные ресурсы строительства скважин: - Потери бурового раствора: / Прихват/поломка бурового инструмента; - Смятие обсадных колонн; - Повторное перебуривание-бурение боковых дополнительных стволов.

Для достижения цели, а именно качества бурения и времени, выделенного на строительство скважины, важно правильно подобрать долото. Учитывается его тип, дизайн, установка соответствующих породам PDC резцов, а также подбор бурильщиком, находящемся за рычагом управления, оптимального режима бурения.

Достижение высоких показателей при бурении скважины возможно только при рациональном подборе и отработке долот в зависимости от физико-механических особенностей горных пород подлежащих разбуливанию. Поэтому этим вопросам необходимо уделять первостепенное внимание. На основании экспериментально-исследовательских работ для скважин Кустовой площадки месторождения Мустакилликнинг 25-йиллиги «далее М-25» (г.Бойсун, Сурхандарьинская область, Республика Узбекистан) с целью выборова оптимального режима проходки бурения, проведен процедура Drill-Off test, долото PDC, согласно техническим документам завода изготовителя и по стратиграфическому разрезу расположенных пластов скважины.

4. Обсуждение

Данная месторождения по стратиграфию сложно-построенная залежь приуроченный к юрским подсолевым карбонатным отложениям, то есть газовой коллектор XV и XVa карбонатных горизонтов Юры (рис.-1): основная часть- метан (80-82%), присутствие сероводорода в большом количестве (H_2S - 8% и более) и углекислого газа (CO_2 -12,7%), высокими пластовыми давлениями до 65 мПа-АВПД и Пластовая температура: $T=125-133^{\circ}C$. Залегание пластов находится под углом до 450 , пласты на одном месторождении могут иметь разность залегания глубин до 500 м.

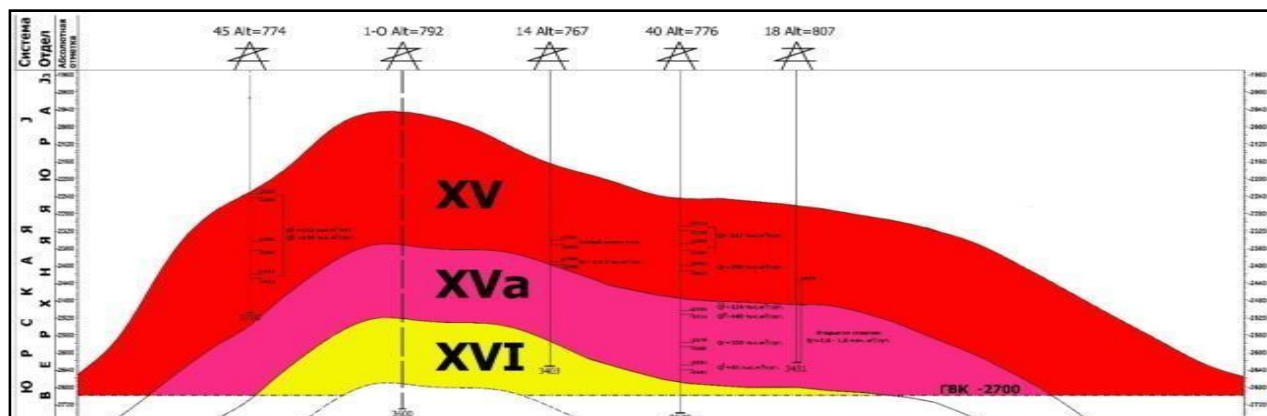


Рисунок 1. Продуктивные горизонты газового месторождения, схематичный геологический разрез

Промышленная газоносность месторождения связана с юрскими карбонатными отложениями (общая мощность около 600-700м);

- XV горизонт представлен пересаживанием ангидритов и известняков;
- XVa горизонт представлен известняками, преимущественно мелководных лагунных фации;
- XVI горизонт сложен плотными, глинистыми известняками с прослоями мергели и известковистых глин.

5. Заключение

В настоящее время, одним из основных решением увеличения скорости проходки и выбора оптимального технологического режима бурения является проведение процедуры **Drill of test** в соответствии техническим паспортным значением буровых долото. Буровое долото подбирается под каждое месторождение или площадь в зависимости от геологических условий.

В результате после проведение процедур **Drill of test** в определенных интервалов и выбора оптимального режима бурения, а также внедрением передовых технологий бурения в данном месторождений фактический способствовали обновлению рекордов и достижению показателей по суточной проходке в 616м и средней механической скорости бурения 41,06 м/ч.

В частности, строительство скважин на данном месторождений ведется с буровой установки ZJ-70DBS, оснащенной верхним силовым приводом DQ-500.

Библиографический список

- [1] Абубакиров В.Ф., Близнюков В.Ю., Буримов Ю.Г., Гноевых А.Н., Межлумов А.О. // «Буровое оборудование. Справочник. Том 2. Буровой инструмент Том 2». – М. : Недра, 2003.

– 494 с. УДК:622.24. (031), ISBN:5-247-03879-7.

[2] Рабиа Х. Технология бурения нефтяных скважин. – М. : Недра, 1989. – 416 с. ББК 33131 Р12, УДК 622.24.

[3] Виноградов В.Н., Сорокин Г.М., Пашков А.Н., Рубарх В.М. Долговечность буровых долот. – М.: Недра, 1977. – 256 с.

[4] Шагиев Р.Г. Исследование скважин по КВД. М.: НАУКА, 1998.

[5] Басарыгин Ю.М., Будников В.Ф., Булатов А.И., Проселков Ю.М. Технологические основы освоения и глушения нефтяных и газовых скважин. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2001.

Рекогносцировочное гидрогазгеохимическое опробование для оценки нефтегазоносности участков южного склона Анабарской антеклизы

И.В. Литвинова, А.И. Сурнин, А.А. Кряжев, А.С. Белова

Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья

Акционерная компания «АЛРОСА», Новосибирск, Россия,

E-mail: LitvinovaIV@alrosa.ru; surninalexs@yandex.ru

Аннотация. По результатам опорных рекогносцировочных маршрутов нефтегазопроисового гидрогазгеохимического опробования в бассейне реки Арга-Сала выявлены и закартированы очаги восходящей разгрузки глубинных флюидов. Полученные результаты показали закономерное размещение выделенных аномалийных участков в зонах вертикальной тектонической проницаемости разреза. Важно, что в составе комплексных аномалий содержатся прямые поисковые показатели ореолов рассеяния углеводородных залежей из глубоко залегающих нефтегазоперспективных комплексов осадочного разреза (присутствие в составе подпочвенных и субаквальных газов водорастворенных ароматических УВ нефтяного ряда, комплекса тяжелых гомологов метана и бензола).

1. Введение

На трех участках южного борта Анабарской антеклизы выполнено рекогносцировочное гидрогазгеохимическое опробование. Определен общий химический состав, содержание растворенных ароматических УВ, микрокомпонентов в поверхностных водах, определен состав свободных газов сорбированных донными отложениями водоемов.

Опыт проведения гидрогазгеохимических региональных работ позволяет предложить некоторые нефтегазопроисовые показатели, которые, в зависимости от решаемых задач подразделены на гидрогеохимические и газовые с усилением последних изотопно-геохимическими показателями. Предложенные гидрогеохимические показатели предназначены для: выявления восходящей разгрузки подземных вод, источника формирования аномалии, пути миграции.

2. Материалы и методы

Применение возможностей гидрогеологического метода в комплексе с другими традиционными методами нефтегазовой геологии существенно повышает эффективность нефтегазопроисовых работ на перспективных территориях. Опробование выполнено по рекам Кюэнеликян, Арга-Сала, Оленек. В бассейне рек закартированы тектонические нарушения и дайки. К одному из таких нарушений приурочен источник нефти, который ранее был изучен различными исследователями [2].

Газогидрогеохимические придонные пробы отбирались в устьях боковых притоков, на участках застойного течения в заливах и заводях рек. Всего отобрано 47 комплексных проб.

3. Результаты исследования и их анализ

По результатам *химических анализов воды исследуемые* пробы представляются типичными для поверхностных и грунтовых вод северных районов Оленекского криоартезианского бассейна [5]. Характеризуются они как воды атмосферного питания, находящиеся на начальной стадии физико-химического взаимодействия с почво-грунтами в условиях низких температур и слабого развития гипергенных биогеохимических процессов. По химическому составу воды исключительно гидрокарбонатные магниевые-кальциевые, реже гидрокарбонатные кальциевые пресные с минерализацией от 0,2 до 0,5 г/л. Повышенное содержание магния в водах оценивается как результат влияния криометаморфизма [1]. Показатель кислотно-щелочного баланса поверхностных вод с pH 7-8 (нейтральный и слабощелочной). На территории развиты многолетнемерзлые породы (ММП) мощность которых достигает 600 м по данным Безбородова (1997), в связи с этим на территории выделяют три типа подземных вод: надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные. На территории установлены подрусовые сквозные талики (р.Оленек и др.), по которым возможно поступление подземных подмерзлотных вод хлоридного кальциевого состава.

Отмечена особенность химического состава изученных поверхностных вод, которая проявилась в появлении катиона аммония на участках опробования вблизи нефтяных источников, разломных зон и выходов интрузивных тел. Гидрогеохимические аномалии показаны на рисунке 1.

Спектральный анализ (ICP-MS) показал, присутствие в поверхностных водах бассейна р. Кюэнеликян и р. Арга-Сала широкого комплекса металлов: от макрокомпонентов (щелочноземельных, Si, Fe, Al, Mn, P) до редкоземельных элементов, лантаноидов, урана, тория - всего 60 элементов. Корреляционный анализ спектральных данных позволил отметить тесную связь между щелочными и щелочноземельными металлами с одной стороны и металлами группы Fe и U с другой. Положительная корреляционная связь ($r \sim 0.5 \div 0.9$) между щелочными и щелочноземельными металлами с Br, элементами V, Mo, Co и U указывает на подпитку поверхностных водотоков из глубоких горизонтов.

Ранее в районе работ были проведены исследования Якутским научно-исследовательским геологоразведочным предприятием ЦНИГРИ АК «АЛРОСА» и сделаны выводы о масштабной природной аномальности геосистемы района, обусловленной палеогеологическими условиями рудных полей кимберлитов, месторождениями нефти и газа, проявлением полезных ископаемых (исландский шпат, медь, свинец и др.). Изучен современный гидрогеохимический фон и аномальные проявления химических элементов металлов. Сделан вывод о том, что восходящая разгрузка подземных вод этой территории приводит к природному загрязнению ландшафта токсичными элементами Li, Br, F, Sr, Ba и ассоциирующими с ними тяжелыми элементами V, Ni, Co, Cu, Zn, Mo, Cd, As, Sb, Bi и др. [7]. Это подтверждено результатами опробования глубоких скважин, где определен химический состав подмерзлотных вод ниже- и среднекембрийского уровня - хлоридные кальциевые рассолы с высоким содержанием микрокомпонентов. Элементы индикаторы позволяют идентифицировать и предположить источник их поступления.

Для выделения гидрохимических аномалий выполнена процедура стандартизации массива спектральных данных с расчетом коэффициентов аномальности (Ка) металлов в единицах стандартного отклонения. По Ка больше 0,7 выбрали участки гидрохимических аномалий по элементам индикаторам разгрузки подземных вод. Выявленные участки распределились вдоль тектонических нарушений по р. Кюэнеликян, р.Арга-Сала и р.Оленек.

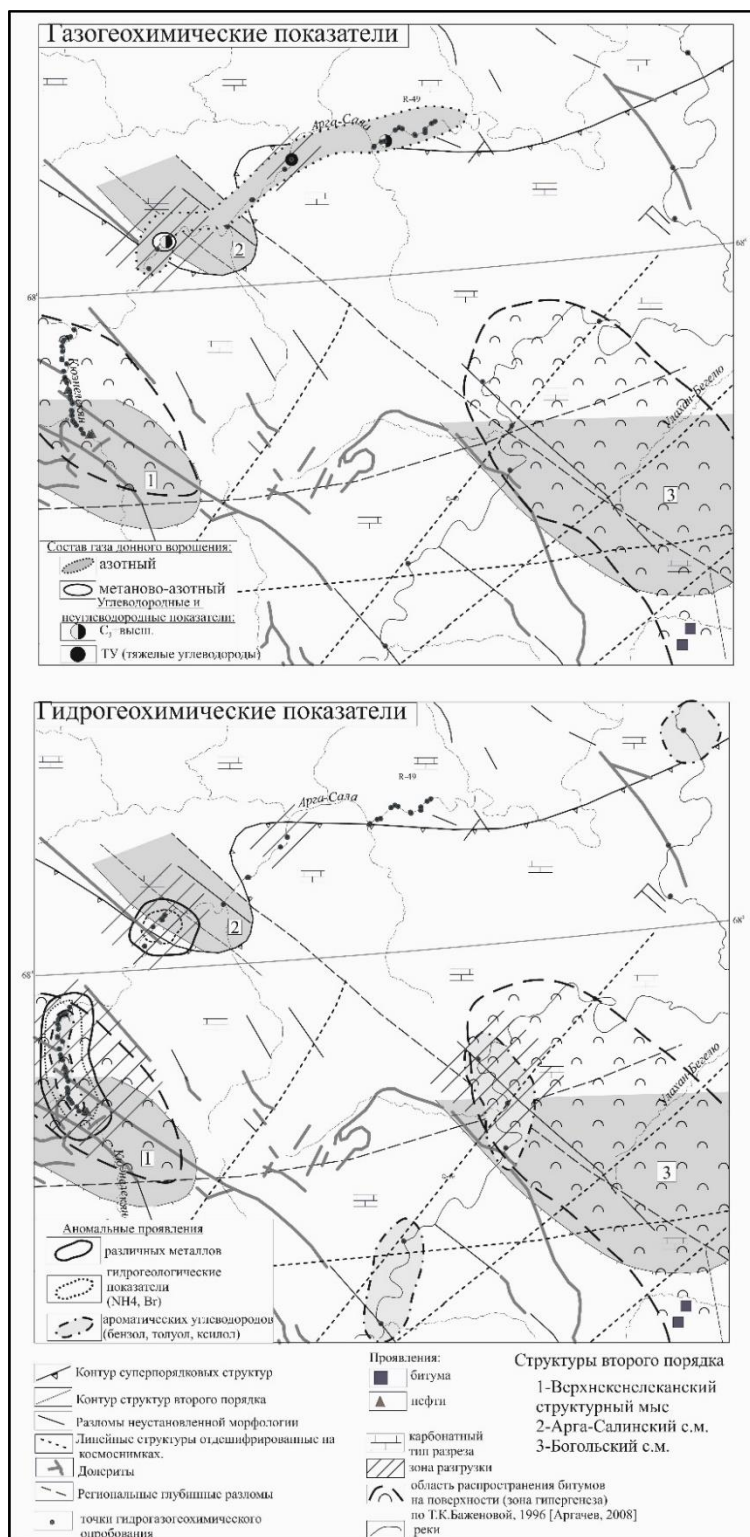


Рисунок 1. Карта гидрогазогеохимических аномалий Южного склона Анабарской интеклизы (АО «СНИИГГиМС», 2018)

Зоны битумопроявления совпали с гидрогеохимическими аномалиями по металлам Br, Sr, Li, Ba, V и др. с $Ka=0.7 \div 2.0$ δ. При этом важно, что наиболее контрастная аномалия находится в русле р.Кюэнеликян, которая пересекает зоны тектонических нарушений. На р. Арга-Сала в зоне разлома отобрана проба с наиболее широким комплексом металлов от щелочноземельных до радиоактивных (Рисунок 1).

В пробах выполнено определение содержания водорастворенных ароматических УВ (бензол, толуол, ксилол и его производные). Среди ароматических УВ изучены бензол и толуол, которые большинство исследователей относят к прямым показателям нефтегазоносности. Выявленные гидрохимические аномалии с повышенным содержанием ароматических УВ сгруппированы в зонах тектонических нарушений. Такие зоны с проявлениями ароматических УВ совпадают с полями миграции битумов, выделенными Т.К. Баженовой (1969). Это указывает на восходящую разгрузку УВ флюидов (Рисунок 1) [2].

Состав и характер распространения свободных газов, сорбированных донными

отложениями. Газы ворошения изучены в бассейне реки Арга-Сала. Газы имеют преимущественно азотный состав, в одной пробе газ метаново-азотный с повышением доли метана в составе до 30% пункт расположен вблизи разлома (Рисунок 1).

Во всех пробах по газам ворошения присутствуют тяжелые углеводороды в пределах $(0.05 \text{ до } 1,86) \cdot 10^{-4} \text{ \%-об.}$ В этих же точках отмечено повышенное содержание газообразных (C₂-C₄) и пареообразных (C₂-C₅) гомологов метана, предельных углеводородов. Для оценки генезиса полученных газов рассчитаны коэффициенты гипергенности (K_г) газов ворошения [4]. Высокие значения K_г свидетельствуют о поверхностном биохимическом происхождении

УВ, а низкие - о глубинном генезисе. Коэффициент гипергенности учитывают в комплексе с различным сочетанием дополнительных показателей глубинного и поверхностного происхождения УВ-газов.

В 80% изученных проб, генезис полученного газа по Кг классифицируются, как смешанный. Это подтверждено в ряде проб данными изотопного исследования углерода метана и углекислого газа. Результаты приведены в Таблице 1.

Таблица 1

Генезис газов ворошения отобранных на р. Арга-Сала

Полевой номер	N ₂	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	ТУ	ПУ	C1-4	C5+выс	Кг	Генезис по Кг	ИСУ CH ₄	ИСУ CO ₂	Генезис по ИСУ
АС-1	65,6	1,7	31,9	0,6	1,9	33,8	1,2	0,7	2,2	смешанный	-68	-27	смешанный
АС-3	98,3	1,2	0,6	0,0	0,3	0,9	0,3	0,0	6,6	гипергенно-биохимический			
АС-5	92,9	0,6	4,6	0,8	1,8	6,4	1,6	0,2	1,1	смешанный	-64	-20	смешанный
АС-11	88,8	1,6	7,7	0,6	1,6	9,3	1,5	0,1	1,8	смешанный	-59	-29	смешанный
АС-12	93,5	0,4	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,0	0,9	миграционно-переточный			

Примечание: ИСУ – изотопный состав углерода

4. Обсуждение

Распространение на территории нефте-битумопроявлений свидетельствует о заметных масштабах миграции УВ в изучаемом районе и о существовании источника или источников нефти и газа, обеспечивающий этот миграционный поток. В этих условиях большую роль в формировании коллекторов, скоплений УВ и гидрогеологической обстановки играли разломы. Длительная история, жесткий осадочный чехол и тектоническая активность привели к очень широкому развитию дизъюнктивных нарушений. Обобщение материалов по гидрогеологии и геохимии нефти и газа сделанное в 1986 году сотрудниками Института геологии (Якутский филиал СО АН СССР) показало, что, судя по соотношению вторичных минеральных образований этапов миграции УВ было несколько, а для углеводородов последней стадии миграции, видимо было свойственно субвертикальное направление движения. Новейшие тектонические активизации привели к увеличению степени раздробленности территории, наложенный процесс оледенения и промерзания осадочных чехла замедлил активность восходящей миграции и разрушения залежей. При замерзании горных пород, насыщенных пресной водой, вследствие цементирующего действия льда образовались флюидоупоры (КФ), которые могут служить последним экраном на пути переформированных залежей [3]. С позиции геохимических методов поисков залежей нефти и газа по вопросу о проводящей или экранирующей роли криолитозоны для восходящей миграции УВ, был сделан вывод, что ММП не является серьезным препятствием при проведении геохимических поисков залежей нефти и газа в районах их распространения, а наоборот позволяет установить контрастные зоны разгрузки мигрирующих УВ [6].

6. Заключение

По комплексу гидрогеохимических и газовых показателей на участках КюэNELIKЯН, Арга-Сала, Оленек происходит современная восходящая разгрузка глубинных флюидов в том числе УВ. Таким образом, системная интерпретация комплексных геохимических аномалий, содержащих прямые поисковые показатели на углеводороды, и закономерности их размещения, в зонах вертикальной тектонической проницаемости позволяют положительно оценивать нефтегазоносность перспективных комплексов осадочного чехла на поисковом участке опорного маршрута гидрогазгеохимического опробования.

Библиографический список

- [1] Анисимова Н.П. Криогидрогеохимические особенности мерзлой зоны. – Новосибирск: Наука, 1981.
- [2] Арчевов В.Б. Блоковая делимость и источники нефти на юге Анабарской антеклизы в связи с развитием нефтегазового комплекса Сибирской платформы // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2008. – Т.3. – № 4.
- [3] Вожов В.И., Сурнин А.И. Криолитосфера и геотермия Сибирской платформы в связи с ее нефтегазоносностью // Обзор информ. – М.: ВИЭМС, 1983. – С.35
- [4] Зуев В.А. К вопросу о прямых геохимических поисках нефти и газа. Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. Т. 305. – Вып. 8: Геология и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2002. – С. 201–205.
- [5] Иванов Л.Д. Мерзлотно-гидрогеологические условия Восточной Сибири / Л.Д. Иванова и др.; ред. П.И. Мельников. – Новосибирск: Наука, Сибирское отд-ние, 1984. – С.191.
- [6] Старобинец И.С., Муругова Р.Н. Экранизирующая и проводящая роль пород криолитозоны по отношению к миграционным углеводородам // Геология нефти и газа. – 1985. – 1. – С. 24–27.
- [7] Ягнышев Б.С., Ягнышева Т.А., Зинчук М.Н., Легостаева Я.Б. Экология Западной Якутии // Геохимия геосистем: состояние и проблемы. – Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2005 – С. 432+вкл.

Экономический анализ рентабельности повышения коэффициента извлечения нефти

М.М. Гришкевич, Г.Т. Рахматов, Г.Р. Романов

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Email: jomarakhmatov@mail.ru, mihailegriskevic06@gmail.com, grom123456@mail.ru

Аннотация. Рассмотрена методика нахождения количества нефти объёмным способом, описан способ подсчёта дохода с добычи нефти, проанализированы затраты при повышении коэффициента извлечения нефти, описан экономический анализ рентабельности повышения коэффициента извлечения нефти.

1. Введение

Россия является одной из самых богатейших стран мира по запасам углеводородов. Однако в цепочке «от производителя к потребителю» есть участки использования тех или иных ресурсов, которые не являются рациональными. Одним из таких участков является низкий коэффициент извлечения нефти.[1]

Одним из актуальных вопросов в нефтегазовой отрасли является повышение коэффициента извлечения нефти. Однако его повышение не всегда положительно сказывается на получении дохода с добычи, то есть является не всегда рентабельным. Экономический анализ рентабельности повышения коэффициента извлечения нефти необходим для предварительного рассмотрения необходимости проведения данных мероприятий.

2. Материалы и методы

В исследовании применены методы экономического анализа и моделирования задачи для данного анализа.

3. Результаты исследования и их анализ

Прежде чем рассматривать количество добытой нефти и коэффициенты извлечения нефти, необходимо рассмотреть изначальное количество нефти в месторождении. Сделать это можно различными способами:

1. Объемный метод;
2. Статистический метод;
3. Метод материального баланса.

Будем рассматривать нахождение количества нефти объёмным методом по причине того, что он наиболее распространён в расчётах и универсальный в применении. Расчёт количества нефти в продуктивном горизонте объёмным методом представлен в формуле (1):

$$N = N_1 * N_2 * N_3 * N_4 * N_5 * N_6, \quad (1)$$

где N – количество нефти, находящееся в продуктивном пласте, N_1 – площадь нефтеносности, N_2 – эффективная мощность нефтенасыщенной части горизонта, N_3 – коэффициент нефтенасыщенности, N_4 – пересчётный коэффициент, N_5 – коэффициент пористости, N_6 – плотность извлекаемой нефти.[2]

Благодаря данной формуле мы можем подсчитать запасы нефти объёмным методом. Эту формулу будем применять при последующих расчётах, так как они связаны с изначальным количеством нефти в месторождении.

Для рассмотрения экономического эффекта от повышения коэффициента извлечения нефти необходимо сначала рассмотреть первоначальный доход с добычи нефти. Для этого необходимо знать следующие величины:

1. Количество нефти, находящееся в продуктивном пласте;
2. Коэффициент извлечения нефти;
3. Стоимость барреля нефти.

Стоит сделать два важных примечания:

1. Стоимость барреля нефти зачастую измеряется в долларах, поэтому необходимо рассматривать стоимость барреля нефти как произведение стоимости барреля нефти в долларах на курс доллара в рублях;

2. Количество нефти, находящееся в продуктивном пласте, измеряется в тоннах, поэтому при расчёте доходов с добычи нефти в формулах необходим перевод величины N из тонн в баррели.

Для расчёта первоначального дохода с добычи нефти будем использовать формулу (2):

$$B_4 = B_1 * B_2 * \frac{N * B_3 * 1000}{158,988 * X_1}, \quad (2)$$

где B_1 – стоимость барреля нефти в долларах, B_2 – курс доллара в рублях, B_3 – первоначальный коэффициент извлечения нефти, B_4 – первоначальный доход с добычи нефти, X_1 – плотность нефти.

Величину B_4 будем использовать в дальнейшем анализе рентабельности повышения коэффициента извлечения нефти.

Добыча нефти основывается на использовании вытесняющего агента и использовании физических свойств нефти. Методы повышения коэффициента извлечения нефти основаны на повышении потенциала вытесняющего агента. [3]

Данные методы классифицируются по принципу действия в пять основных групп:

1. Тепловые методы – методы данного типа повышают внутреннюю энергию нефти и пластовых вод, что повышает и давление внутри пласта;
2. Газовые методы – методы из этой группы оказывают давление столба газа на пласт. Оказываемое давление равномерно распределяется во все точки продуктивного горизонта согласно закону Паскаля;

3. Химические методы – такие методы изменяют химические свойства флюида и среды, также могут вызывать химические реакции, повышающие термодинамические параметры продуктивного горизонта;

4. Гидродинамические методы – эти методы включают в себя методики различных обводнений залежей.

5. Комбинированные методы – так обозначаются технологии совместного применения нескольких методик из разных групп.

Существует множество вариантов повышения коэффициента извлечения нефти. В каждом из конкретных случаев стоит учитывать различные экономические факторы, такие как удельная стоимость рабочего газового агента, удельная стоимость закачиваемой кислоты или же затраты на обводнение нефти.

Так как методов очень много, лучшим решением будет рассмотрение общей формулы для каждого конкретного случая. Для расчёта затрат на повышение коэффициента извлечения нефти будем использовать формулу (3):

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5, \quad (3)$$

где V – итоговые затраты на повышение коэффициента извлечения нефти, V_1 – затраты на необходимое оборудование, V_2 – затраты на рабочие агенты, V_3 – затраты на зарплатный фонд, V_4 – затраты на транспортные расходы, V_5 – затраты на электроэнергию.

Стоит сделать несколько важных примечаний перед использованием формулы (3):

1. В затраты на оборудование уже включены расходы на различные расходные материалы и запасные части;

2. Затраты на электроэнергию необходимо рассчитывать лишь в случаях, когда её получают из внешних электросетей или путём сжигания добываемой нефти. Если же горит попутный газ или негодная к продаже и иному потреблению нефть, то можем такие затраты не учитывать;

3. Затраты на рабочие агенты можно не учитывать, если рабочими агентами являются воздух и обычная вода по причине того, что все затраты заключаются в работе группы, сосредоточенной на повышении коэффициента извлечения нефти.

Поскольку каждое повышение коэффициента извлечения нефти зависит от метода повышения и изначальных параметров, выделить конкретную зависимость повышения невозможно. Однако в расчёте можем использовать итоговый коэффициент извлечения нефти B_5 , который может быть предварительно получен при проектировании использования того или иного метода повышения коэффициента извлечения нефти.

Используя величину B_5 и формулу (2), получим формулу (4):

$$B_6 = B_1 * B_2 * \frac{N * B_5 * 1000}{158,988 * X_1}, \quad (4)$$

где B_6 – итоговый доход с добычи нефти.

Величину B_6 будем использовать в дальнейшем анализе рентабельности повышения коэффициента извлечения нефти.

При графическом рассмотрении формул (2) и (4) получатся графики функций, наглядно отображающие разницу в доходе от добычи нефти на конкретном месторождении с количеством нефти N .

Данные графики изображены на рисунке 1.

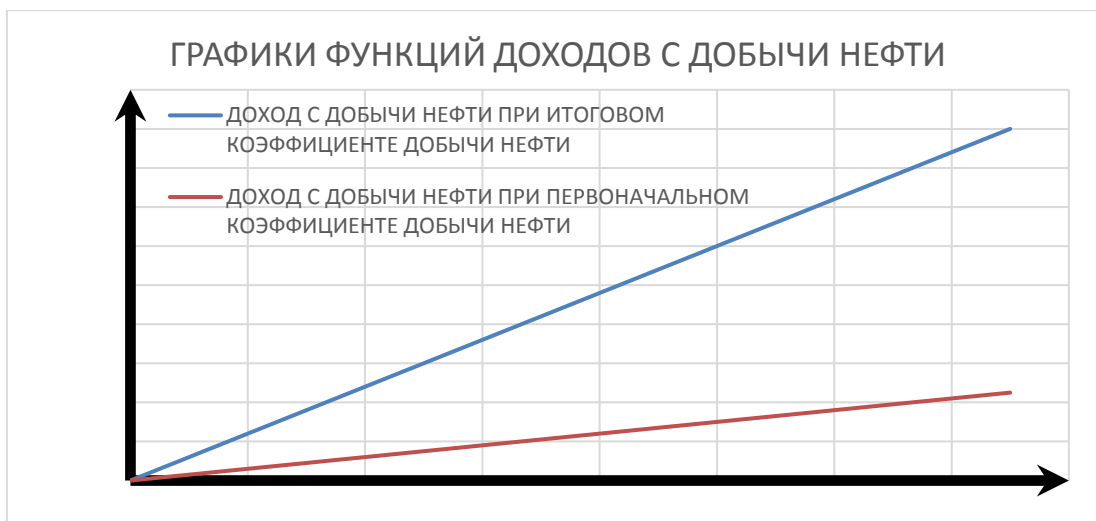


Рисунок 1. Графики функций дохода с добычи нефти при различных коэффициентах извлечения нефти

К рисунку 1 необходимо сделать некоторые примечания:

1. Ось абсцисс отражает количество нефти в месторождении, ось ординат – доход с добычи нефти;
2. Были взяты значения первоначального и итогового коэффициента извлечения нефти 0,3 и 0,6, соответственно;
3. Остальные числовые значения величин, применяемых в формулах, не влияют на вид графика по причине того, что единственная разница в формулах (2) и (4) – это коэффициент извлечения нефти;
4. Здесь построены графики дохода с добычи нефти, так как не учитывались затраты на повышение коэффициента извлечения нефти.

Для более понятного отражения смыслового различия графиков необходимо рассмотреть понятия дохода и прибыли.

Доход (объём продаж) – стоимость товаров и услуг, реализованных потребителям.[4]

Средства, которые остаются у предпринимателя от выручки (дохода) после оплаты всех издержек, называются прибылью.[5]

В нашем случае доход и прибыль, можно не рассматривать как объём продаж и валовую прибыль, соответственно, по причине того, что в расчётах рассматриваются лишь единовременные расходы, включение в расчёт которых является расчётом итоговой прибыли. Если же рассматривать прибыль в самом полном случае, то необходимо учитывать множество параметров, малосвязанных с повышением коэффициента извлечения нефти.

Обоснование выбора метода повышения коэффициента извлечения нефти зависит от геолого-физических условий, то есть выбор производят по типу нефти, пластовой воды и породы продуктивного горизонта.

Сначала выбирают множество подходящих технологий повышения коэффициента извлечения нефти. Для этого используют первичный отбор, состоящий из нескольких действий:

1. Рассмотрение нефти, особо важными свойствами которой будут являться плотность, парафинистость, вязкость и смолистость;
2. Рассмотрение пластовой воды, в которой важным параметром является содержание солей, преимущественно кальция и магния;
3. Рассмотрение породы продуктивного горизонта, где рассматриваются множество свойств пород, однако самыми важными параметрами являются тип породы, пористость, трещиноватость, проницаемость.

Исходя из вышеуказанного отбора складывается множество способов повышения коэффициента извлечения нефти, применимое в каждом конкретном случае.

Стоит отметить: чем тяжелее нефть и агрессивнее пластовая вода, тем в меньшем количестве типов пластов можно применить очень ограниченное количество методов повышения коэффициента извлечения нефти.

При выборе конкретного метода из множества проектировщики опираются на все параметры продуктивного горизонта, добываемой нефти, пластовых вод, возможной инфраструктуры и рассчитываемой эффективности того или иного, вероятно применимого в данном случае, метода.

Так как известны доходы с добычи нефти и затраты на повышение коэффициента извлечения нефти, можем получить неравенство, отражающее рентабельность повышения коэффициента извлечения нефти. Для этого будем использовать формулу (5):

$$B_6 - B_4 > V, \quad (5)$$

Необходимо сделать примечание, что неравенство должно быть строгим.

Связано это с тем, что мероприятия по повышению коэффициента извлечения нефти при отсутствии прибыли неэффективны, если вся полученная данным образом прибыль будет направлена на затраты по этим работам.

Используя формулы (2), (4) и (5), получим формулу (6):

$$B_1 * B_2 * \frac{N * B_5 * 1000}{158,988} - B_1 * B_2 * \frac{N * B_3 * 1000}{158,988 * X_1} > V, \quad (6)$$

Путём алгебраических преобразований из формулы (6) получаем формулу (7):

$$B_1 * B_2 * \frac{N * 1000}{158,988 * X_1} (B_5 - B_3) > V. \quad (7)$$

Используя формулы (1), (3) и (7), получим формулу (8):

$$B_1 * B_2 * \frac{N_1 * N_2 * N_3 * N_4 * N_5 * N_6 * 1000}{158,988 * X_1} (B_5 - B_3) > V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5. \quad (8)$$

Формула (8) – это неравенство рентабельности. Если неравенство соблюдается, то повышение коэффициента извлечения нефти принесёт прибыль, если неравенство не соблюдается

Используя формулы (3) и (4), получим формулу (9):

$$B_7 = B_1 * B_2 * \frac{N * B_5 * 1000}{158,988 * X_1} - V, \quad (9)$$

где B_7 – итоговый доход с добычи нефти с учётом расходов на повышение коэффициента извлечения нефти.

При аналогичном графическом рассмотрении формул (2) и (9) получатся графики функций, наглядно отображающие разницу в доходе от добычи нефти на конкретном месторождении с количеством нефти N , учитывая при этом затраты на

Данные графики изображены на рисунке 2.

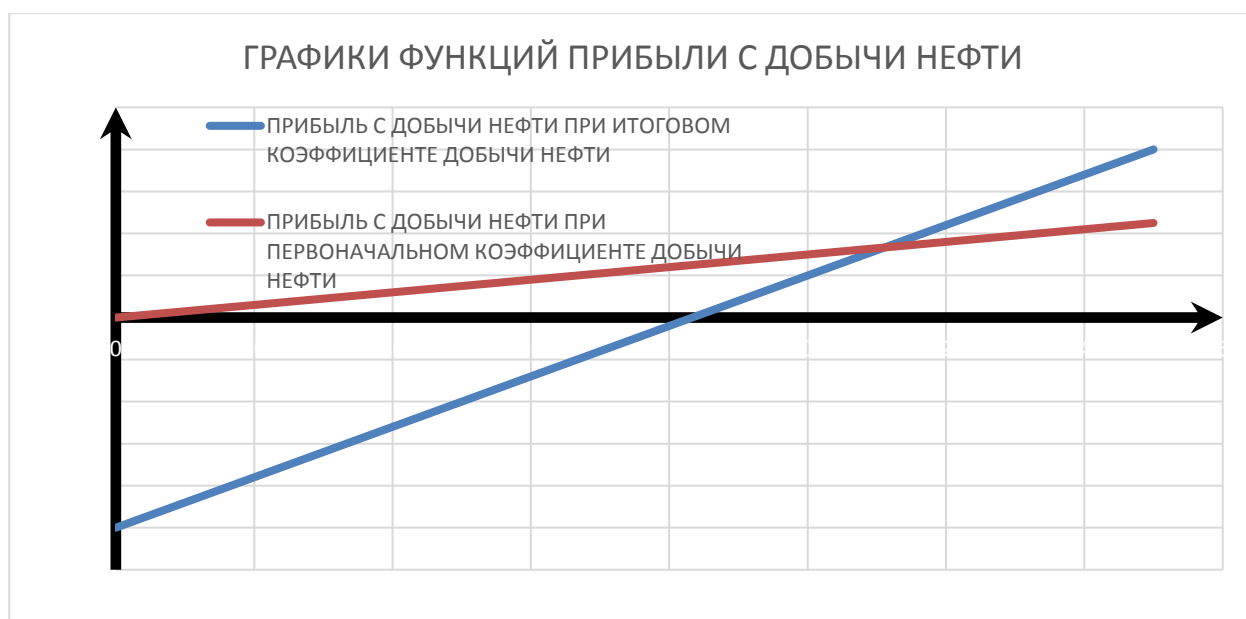


Рисунок 2. Графики функций прибыли с добычи нефти при различных коэффициентах извлечения нефти

К рисунку 2 необходимо сделать некоторые примечания:

1. Ось абсцисс отражает количество нефти в месторождении, ось ординат – прибыль с добычи нефти;
2. Здесь построены графики прибыли с добычи нефти, поэтому график прибыли с добычи нефти при итоговом коэффициенте добычи нефти начинается с отрицательного значения, так как сначала необходимо окупить затраты на повышение коэффициента извлечения нефти;
3. Если соблюдается неравенство рентабельности, то различные числовые значения величин лишь изменяют точки пересечения графика прибыли с добычи нефти при итоговом коэффициенте извлечения нефти с осью абсцисс и графиков прибыли с добычи нефти при первоначальном коэффициенте извлечения нефти.

4. Обсуждение

Поясним принцип работы вышеописанного экономического анализа рентабельности на условной задаче.

Пусть будут даны величины Y_1 – стоимость барреля нефти в долларах, равная 100 долларам; Y_2 – курс доллара в рублях, равный 90 рублям; Y_3 – первоначальный коэффициент извлечения нефти, равный 0,15; Y_4 – количество нефти, находящееся в продуктивном пласте, равное 1000000 тонн, Y_8 – плотность нефти, равная 1000 кг/м³.

Используя формулу (2) и данные величины, рассчитаем первоначальный доход с добычи нефти Y_5 в формуле (10):

$$Y_5 = 100 * 90 * \frac{1000000 * 0,15 * 1000}{158,988 * 1000} = 8491206,884 \text{ рублей.} \quad (10)$$

Теперь повысим коэффициент извлечения нефти, потратив на это величину Y_6 . Итоговый коэффициент извлечения нефти Y_7 равен 0,8; итоговые затраты на повышение коэффициента извлечения нефти Y_6 равны 10000000 рублей.

Рассмотрим формулу (11), получаемую из формулы (7) и данных величин:

$$100 * 90 * \frac{1000000 * 1000}{158,988 * 1000} (0,8 - 0,15) > 10000000. \quad (11)$$

Неравенство рентабельности соблюдается, поэтому повышение коэффициента извлечения нефти окупаемо. Теперь же найдём итоговую прибыль с добычи нефти Y_8 в формуле (12):

$$Y_5 = 100 * 90 * \frac{1000000 * 0,85 * 1000}{158,988 * 1000} = 48016839,0067175 \text{ рублей.} \quad (12)$$

Данный расчёт является примером экономического анализа рентабельности повышения коэффициента извлечения нефти.

5. Заключение

Данный метод экономического анализа рентабельности повышения коэффициента извлечения нефти создан как один из инструментов экономического анализа составляющих совокупности процессов нефтегазовой отрасли. Этот метод также может быть использован с целью совершенствования оптимизации производственных процессов с целью получения экономической выгоды.

Библиографический список

- [1] Брагинский О.Б. Повышение нефтеотдачи как способ эффективного использования сырья в нефтегазовом комплексе России [Текст] / О.Б. Брагинский // Экономический анализ: теория и практика. — 2014. — № 29 (380). — С. 2–7.
- [2] Методические рекомендации по подсчёту геологических запасов нефти и газа объёмным методом / Под ред. В.И.Петерсилье, В.И.Пороскуна, Г.Г.Яценко. — Москва-Тверь: Изд-во ВНИГНИ, НПЦ «Тверьгеофизика», 2003;
- [3] Нефтеотдача (коэффициент извлечения нефти КИН) и методы повышения нефтеотдачи (МУН) и газоотдачи // neftegaz.ru : [сайт]. — URL: <https://neftegaz.ru/tech-library/tekhnologii/141811-nefteotdacha-koeffitsient-izvlecheniya-nefti-kin-i-metody-povysheniya-nefteotdachi-mun/> (дата обращения: 09.02.2024);
- [4] Грузинов В.П. Экономика предприятия: Учеб. пособие. - 2-е изд., перераб и доп. - М.: Финансы и статистика, 2008. — 295 с.
- [5] Бурмистрова, Т.В. Экономика: 10-11 классы: учебник для учащихся общеобразовательных учреждений [Текст] / Т. В. Бурмистрова — 2. — Москва: Вентана-Граф, 2013 — 192 с.

УДК: 550.8.05

Методика определения притока из пласта в скважине, оборудованной УЭЦН

Р.Ю. Лагереv, А.Н. Буглов

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail: artbuglov@mail.ru

Аннотация. Авторы статьи задались целью совершенствовать используемые подходы к оценке притока на скважинах, оборудованных УЭЦН, в частности, предложено расширить возможности применения подобных исследований с последующим акцентом на построение индикаторных диаграмм, что позволит разработчикам более объективно принимать решения при обосновании выбора технологических режимов работы УЭЦН.

1. Введение

Знание характеристик притока добывающей скважины имеет решающее значение для проектирования и обоснования выбора дизайна различных видов механизированной добычи нефти. При эксплуатации скважин с помощью УЭЦН, этот фактор имеет еще более

существенное значение, поскольку гидромеханические и гидродинамические особенности используемых центробежных насосов обеспечивают их рациональную эксплуатацию только в относительно узких рабочих диапазонах [4]. Некорректная информация о притоке жидкости из скважины может привести к остановке насоса, выводу его за пределы рекомендованного рабочего диапазона к резкому снижению эффективности его эксплуатации. Следовательно, точная оценка притока скважины является абсолютной необходимостью для надлежащего обоснования выбора дизайна УЭЦН или применяемого технологического режима её эксплуатаций. Доказана важность получения адекватной кривой притока. Указывается, что только 60% первоначальных принятых дизайнов УЭЦН оказываются состоятельными, в то время как остальные 40% требуют перепроектирования [4].

2. Материалы и методы

В данном исследовании применены метод аналогии и математического моделирования скважинных процессов с использованием искусственных вводных данных, метод графического анализа и интерпретации полученных результатов, анализ технической и нормативной документации.

3. Результаты исследования и их анализ

В регламенте ИНК РГ.09.22 «Запуск, вывод, на режим и эксплуатация скважин оборудованных УЭЦН» (раздел «Методы определения притока из пласта») рассматриваемому вопросу уделяется внимание в аспекте охлаждения ПЭД, в частности, оценивается минимально необходимая величина притока из пласта для охлаждения ПЭД по темпу отбора (КПУ):

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{ГЗУ}} - (H_{\text{д1}} - H_{\text{д2}}) * V_{\text{кп}} * \frac{1440}{T}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{ГЗУ}}$ – дебит скважины, замеренный в АГЗУ за время исследования T , в пересчёте на сутки, $\text{м}^3/\text{сут}$;

$H_{\text{д1}}$ – начальный динамический уровень в затрубном пространстве скважины при определении притока, м;

$H_{\text{д2}}$ – конечный динамический уровень в скважине за время исследования T , м;

$V_{\text{кп}}$ – объём затрубного пространства в 1 метре кольцевого затрубного пространства, $\text{м}^3/\text{м}$;

T – время исследования, мин.

Минимальный необходимы приток из пласта для охлаждения ПЭД можно также оценить по восстановлению уровня в эксплуатационной колонне (КВУ):

$$Q = \Delta H * V_{\text{кп}} * \frac{1440}{T}, \quad (2)$$

где ΔH – восстановление уровня (разница уровней) за время исследования T , м;

V – объём 1 метра затрубного кольцевого пространства, м^3 ;

T – время восстановления, мин.

За основу представленных выше методик принят универсальный подход – оценить скорость восполнения затрубного пространства с последующим его перерасчетом на суточный объём притока. По мнению разработчиков документа применение упомянутых выше методик, основанных на постоянном контроле притока из пласта в процессе работы и остановки УЭЦН на охлаждение, позволяет сократить время вывода скважины на режим и исключить необоснованные запуски и остановки насоса, которые неблагоприятно влияют на работоспособность погружного оборудования [6].

За основу предлагаемой авторами методики приняты следующие предпосылки.

1. Учитывая, что НРХ УЭЦН, как правило, оцениваются по воде, сопоставим напор, развиваемый УЭЦН, с развиваемым давлением $H \rightarrow P$, условно «опрокинув набок» скважину на 180° :

$$H = \frac{P}{\gamma * 9810}, \quad (3)$$

где H – развиваемый напор УЭЦН, м;
 P – развиваемое давление УЭЦН, Па;
 γ – относительная (к воде) плотность флюида.

2. Предполагается допустимым условие кратковременной эксплуатации УЭЦН (1-2 минуты) с закрытой манифольдной задвижкой. В таких условиях УЭЦН создаст напор с «нулевой» подачей, который соответствует НРХ насоса. Измерив значение буферного давления и предположив, что динамический уровень жидкости не изменяется в течение периода «нулевой подачи», оценивается значение $P_{зб}$ – фактическое забойное давление и параметры притока флюида в скважину. Во время проведения испытаний используют данные показаний с манометра, установленного на устье скважины перед манифольдной задвижкой.

Последовательность рекомендуемых действий при проведении исследовательских операций на приток:

1. Отключается электропитание УЭЦН на время, необходимое для достижения статического уровня. Предполагается, что НКТ полностью заполнено скважинным флюидом.

2. Закрывается манифольдная задвижка, осуществляется запуск насоса. Во избежание повреждения погружного оборудования время закрытия скважины не должно превышать 2 мин.

3. Фиксируется значение стабилизированного буферного давления P_{y1}

4. Открывается манифольдная задвижка и скважина выводится на режим.

5. Замеряется стабилизированный дебит (объёмный расход) скважины Q_1

6. Скважина снова закрывается (не более чем на 2 минуты) с последующей записью величины буферного давления P_{y2}

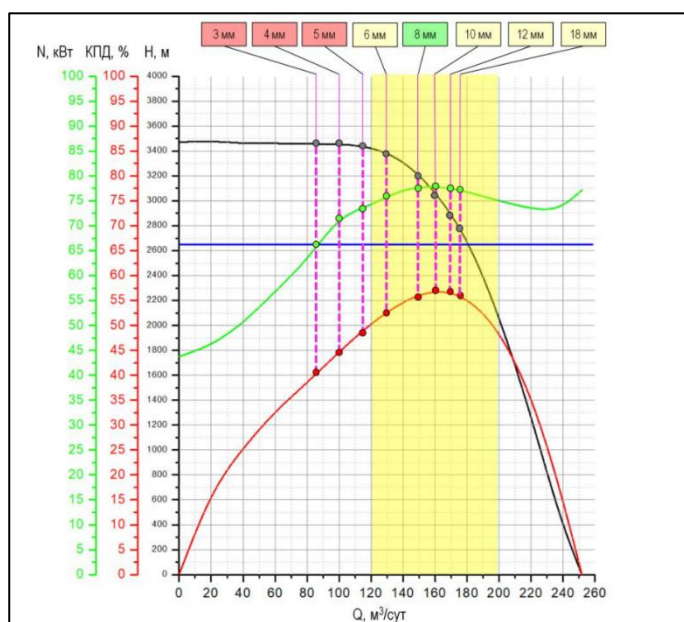


Рисунок 1. НРХ УЭЦН при различных значениях диаметра устьевого штуцера

Интерпретация полученных данных производится с шага № 3. Поскольку НКТ закрыта, а Q и P_y равны 0, то УЭЦН достигает максимального «нулевого» напора (рис. 1).

Поскольку в колонне НКТ отсутствует движение потока (объёмный расход равен 0), потери давления на трение отсутствуют. Следовательно, напор, развиваемый насосом, должен уравновесить сумму напора столба жидкости в колонне НКТ выше статического уровня жидкости и напор, соответствующий измеренному устьевому давлению скважины P_{y1} :

$$H_0 = L_{ст} + \frac{P_{y1}}{\gamma \cdot 9810}, \quad (4)$$

где H_0 – развиваемый напор УЭЦН при закрытой манифольдной задвижке, м;

$L_{ст}$ – статический уровень в затрубном пространстве, м;

P_{y1} – замеренное буферное давление, Па;

γ – относительная (к воде) плотность флюида.

После открытия скважины необходимо дождаться стабилизации значений устьевого дебита, зафиксировать их, и затем вновь закрыть манифольдную задвижку.

Полагая, что во время остановки насоса уровень жидкости в затрубном пространстве существенно не меняется, можно записать баланс «нулевого напора» насоса как сумму динамического уровня и напора, соответствующего измеренному буферному давлению P_{y2} :

$$H_0 = L_{\text{дн}} + \frac{P_{y2}}{\gamma \cdot 9810}, \quad (5)$$

где H_0 – развиваемый напор УЭЦН при закрытой манифольдной задвижке, м;

$L_{\text{дн}}$ – динамический уровень в затрубном пространстве, м;

P_{y2} – замеренное буферное давление, Па;

γ – относительная (к воде) плотность флюида.

Выразив из уравнений (4) и (5) значения уровней $L_{\text{дн}}$ и $L_{\text{ст}}$ получаем:

$$L_{\text{ст}} = H_0 - \frac{P_{y1}}{\gamma \cdot 9810}, \quad (6)$$

$$L_{\text{дн}} = H_0 - \frac{P_{y2}}{\gamma \cdot 9810}, \quad (7)$$

где $L_{\text{дн}}$ и $L_{\text{ст}}$ – динамический и статический уровни в затрубном пространстве, м;

H_0 – значение напора, развиваемого УЭЦН при закрытой задвижке, м;

P_{y1} и P_{y2} – замеренные значения буферных давлений, Па;

γ – относительная (к воде) плотность флюида.

Используя данные значений статического и динамического уровней, выразим оценки пластового и забойного давлений:

$$P_{\text{пл}} = 9810 \cdot (L_{\text{пф}} - L_{\text{ст}}) \cdot \gamma, \quad (8)$$

$$P_{\text{зб}} = 9810 \cdot (L_{\text{пф}} - L_{\text{дн}}) \cdot \gamma, \quad (9)$$

где $P_{\text{пл}}$ и $P_{\text{зб}}$ – оценки значений пластового и забойного давлений, Па;

$L_{\text{пф}}$ – интервал перфорации скважины, м;

$L_{\text{дн}}$ и $L_{\text{ст}}$ – динамический и статический уровни в затрубном пространстве, м;

γ – относительная (к воде) плотность флюида.

Таким образом, представленные выше уравнения позволяют получить две точки на индикаторной кривой. Одна из них принадлежит $P_{\text{пл}}$, другая определяется через объёмный расход Q , соответствующий $P_{\text{зб}}$, рассчитанному по уравнению (9).

В качестве апробации предлагаемой методики представим результаты эксперимента, выполненного на примере искусственных данных (табл. 1, 2).

Таблица 1

Исходные данные

Входной параметр	Показатель	Значение
Нулевой напор, м	H_0	1219
Буферное давление до запуска УЭЦН, МПа	P_{y1}	4,13
Установившийся дебит скважины, м ³ /сут	Q	238
Буферное давление после остановки УЭЦН, МПа	P_{y2}	1,37
Глубина интервала перфорации скважины, м	$L_{\text{пф}}$	1829
Относительная плотность нефти	γ	0,85

Таблица 2

Результаты эксперимента

Входной параметр	Показатель	Значение
Статический уровень, м	$L_{\text{ст}}$	723
Динамический уровень, м	$L_{\text{дн}}$	1054
Пластовое давление, МПа	$P_{\text{пл}}$	9,22
Забойное давление, МПа	$P_{\text{зб}}$	4,64
Коэффициент продуктивности, м ³ /сут/МПа	$K_{\text{пр}}$	86,42

На основании полученного значения коэффициента продуктивности скважины, появляется возможность построения индикаторной диаграммы (рисунок 2).

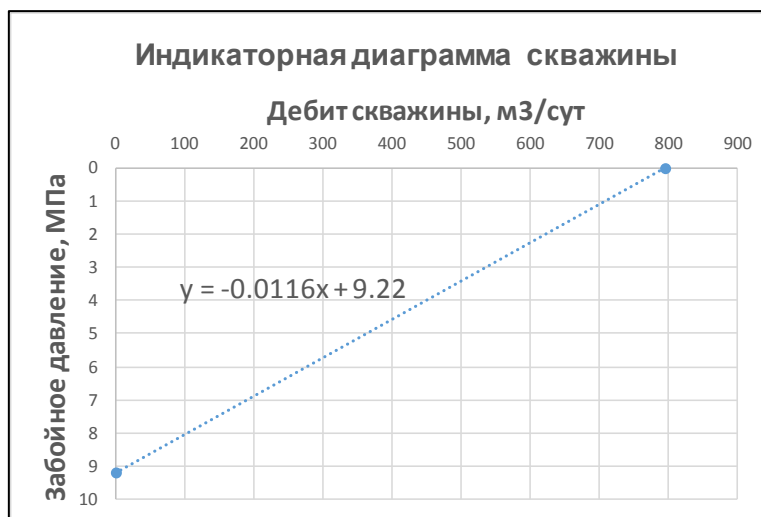


Рисунок 2. Индикаторная диаграмма скважины, оборудованной УЭЦН

4. Обсуждение

Поскольку в методике рассматривается отбор слабосжимаемой жидкости, её индикаторная диаграмма будет близка к прямой линии, координаты которой можно найти по формуле коэффициента продуктивности скважины:

$$K_{\text{пр}} = \frac{Q}{(P_{\text{пл}} - P_{\text{зб}})}, \quad (10)$$

где $K_{\text{пр}}$ коэффициент продуктивности скважины, м³/сут/Па;

Q – стабилизированный дебит скважины, м³/сут;

$P_{\text{пл}}$ и $P_{\text{зб}}$ – оценки значений пластового и забойного давлений, Па.

При помощи индикаторной диаграммы становится возможным делать дополнительную оценку таких параметров, как гидропроводность, подвижность и коэффициент проницаемости призабойной зоны пласта, а также проводить полнообъёмный узловый анализ системы «пласт → выкидная линия скважины»

5. Заключение

Проведенные исследования с использованием искусственных данных свидетельствуют о том, что получение индикаторной диаграммы притока из пласта в скважину возможно осуществлять предложенным авторами методом запуска УЭЦН «на закрытую задвижку» без опасения повредить насосное оборудование. Получаемые в ходе такого исследования значения устьевых давлений и стабилизированного поверхностного дебита жидкости служат надежным источником данных о работе системы «пласт → скважина» и позволяют оценить дальнейшие перспективы эксплуатации скважины и оптимальность характеристик спущенного глубинного оборудования.

Библиографический список

- [1] Камартдинов М.Р., Кулагина Т.Е. Гидродинамические исследования скважин: Анализ и интерпретация данных. – Томск: ТПУ, 2010. – 301 с.
- [2] Хисамов Р.С. [и др.] Гидродинамические исследования скважин и методы обработки результатов измерений. – Москва: ВНИИОЭНГ, 2000. – 226 с.
- [3] Кремнецкий М.И., Ипатов А.И. Гидродинамические и промыслово-технологические исследования скважин: учеб. пособие. – М.: МАКС Пресс, 2008. – 476 с.
- [4] Эрлагер Р. Гидродинамические методы исследования скважин. (пер. с английского). 2003. – 512 с.

- [5] Р Газпром 086-2010 Инструкция по комплексным исследованиям газовых и газоконденсатных скважин. – Москва: Газпром экспо, 2011. – 234 с.
- [6] РГ.09.22 Регламент ИНК Запуск, вывод на режим и эксплуатация скважин, оборудованных УЭЦН. Техрегламентт ИНК. – 96 с.
- [7] Коротаев Ю.П., Зотов Г.А., Алиев С. Инструкция по комплексному исследованию газовых и газоконденсатных скважин. – М. : Недра, 1971. – 208 с.

Результаты и перспективы применения гидравлического осциллятора в наклонно-направленном бурении

Буглов Н.А., А.С. Рахпатов, Г.Р. Романов, М.Д. Поздняков, А.В.Соломахин, А.А. Абдуллаев
Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Email: artbuglov@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассмотрены результаты испытаний гидравлического осциллятора при строительстве скважин в Западной и Восточной Сибири.

1. Введение

На данный момент бурение наклонно-направленных и удлиненных горизонтальных стволов скважины сильно усложняется из-за увеличения коэффициента трения бурильной колонны о стенки скважины, проблематичности выставления при направленном бурении и доведения нагрузки на забой. Решением этой проблемы может быть внедрения химических добавок и специального оборудования. Примером внедрения специального оборудования может служить использование в процессе бурения гидравлического осциллятора.

2. Материалы и методы исследования

В ходе изучения и анализа результатов применения гидравлического осциллятора были применены научные публикации посвященные теме статьи, документы результатов бурения экспериментальных скважин с включением в КНБК гидравлического осциллятора на Ростовицком, Еты-Пуровском и одном из месторождений Восточной Сибири.

3. Результаты исследования и их анализ.

Гидравлический осциллятор предназначен для создания малоамплитудных осевых колебаний в буровой колонне за счет пульсаций давления промывочной жидкости (бурового раствора) внутри осциллятора, тем самым способствуя снижению сил трения колонны о стенки скважины. Из анализа результатов проведенных теоретических исследований Хузиной Л.Б. следует, что при использовании дополнительно продольных вибраций колонны, например, с частотой излучения 2-10 Гц и амплитудой до 6-9 мм, можно на нескольких десятках процентов уменьшить коэффициенты трения замков о стенки ствола скважины [1].

Рассмотрим промысловые испытания, выполненные авторами [2], которая были направлены на выявление эффективности применения осциллятора на скважине № 102 Ростовицкого нефтяного месторождения. Проектная длина ствола скважины составляет 4620 м, прокладка наклонно-направленной части – 3224 м, максимальный зенитный угол – 75,75°. Осциллятора использовался в интервале бурения под эксплуатационную колонну 1415 – 4620 м. Зенитный угол в начале интервала – 45°. Как правило, осциллятор был установлен в состав КНБК.

В ходе проведения промысловых испытаний было выявлено, что проблемы с доведением нагрузки на забой встречаются при бурении скважины с зенитным углом от 45° и выше. По результатам расчетов было выявлено, что размещение осциллятора максимально рентабельно от 100 до 400 м от долота. Продолжительность бурения интервала под эксплуатационную

колонну согласно проектной документации, составляло 82,5 суток, но при использовании осциллятора позволило увеличить механическую скорость проходки в среднем на 20% и сократить продолжительность бурения до 66 суток [2, 3].

На кустовых площадках № 10, 238 и 259 Еты-Пуровского месторождения ОАО «Газпромнефть-ННГ» филиал «Газпромнефть-Муравленко», компанией ООО «НьюТек Сервисез» применялось включение в КНБК осцилляторов фирм «Гидробур-сервис» и «NOV», для решения проблемы с увеличением коэффициента трения при бурении эксплуатационной колонны в участках интенсивного набора зенитного угла с 25° до 85°, разворотом по азимутальному углу, в интервалах от 2300 м до 3500 м.

При включении в КНБК гидравлического осциллятора отмечалось уменьшение трения бурильной колонны о стенки скважины, улучшение выставления в режиме «слайдирования», увеличилось качества слайда и уменьшились риски связанные с дифференциальным прихватом колонны, отмечено отсутствие срывов и подвисаний КНБК. Уменьшение проблем с выставлением дало возможность сократить интенсивность ввода смазывающих добавок. Сравнивая параметры бурения аналогичных вышеуказанных скважин, было отмечено, что средняя механическая скорость с использованием осциллятора была на 5-10% выше [4]. Такие результаты были достигнуты за счет обеспечения плавной передачи нагрузки на забое, при применении долот PDC, что обеспечивала возможность бурения более продолжительных интервалов существенно повышая механическую скорость проходки.

На рисунке 1 приведена диаграмма результатов испытания гидравлического осциллятора на скважинах Еты-Пуровского месторождения. Приведены значения механической скорости бурения на аналогичных скважинах. Применены следующее обозначение: ГБС — ООО «Гидробур-сервис», др. произв. — другие производители гидравлических осцилляторов.

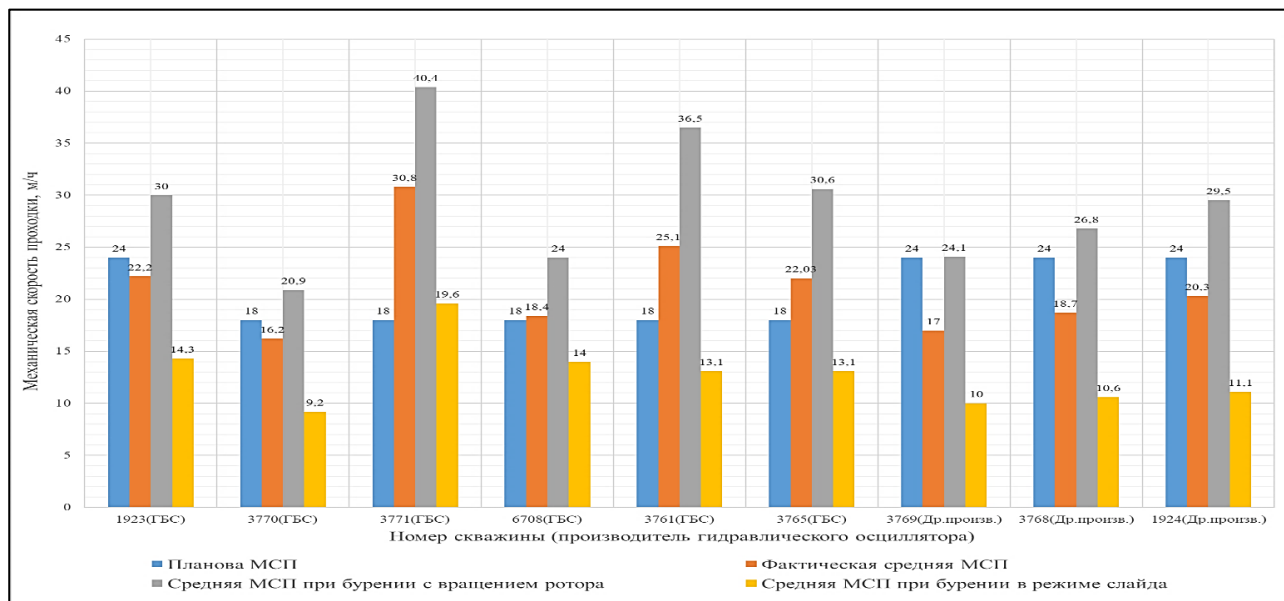


Рисунок 1. Результаты испытаний гидравлического осциллятора на Еты-Пуровском месторождении

В ходе проведения анализа, при использовании осцилляторов компании «Гидробур-Сервис» (ГБС), наблюдалось выполнения фактической механической скорости проходки в диапазоне от 90% до 170%. В то же время, при использовании осциллятора других производителей, фактическая средняя механическая скорость (МСП) по отношению к запланированной составляла от 70% до 85%. Кроме того, средняя скорость в режиме «слайд» при использовании осциллятора ГБС была выше, чем при использовании другого производителя, хотя запланированная МСП была меньше. Следует отметить, что в процессе

проведения сравнительного анализа подобраны идентичные профили скважин, комплектации КНБК и параметры бурового раствора.

В таблице 1 приведены данные анализа уже одного из месторождений Восточной Сибири, где гидравлический осциллятор показал положительные результаты. Отмечалось увеличение средней механической скорости на 48 %, так же снизились подклинки и залипания инструмента.

Таблица 1

Данные средней механической скорости

Номер куста и скважины		Интервал, м	Мех. скорость, м/ч	Общ. интервал, м	Средняя мех. скорость, м/ч
Бурение с гидравлическим осциллятором	Куст № 205 скв. №2051	3431 – 4204	4,64	773	5,51
	Куст № 202 скв. №2021	3789 – 4537	3,78	748	
	Куст № 208 скв. №2081	3897 – 4198	4,99	301	
	Куст № 204 скв. №2042	3835 – 4529	4,65	694	
	Куст № 202 скв. №2022	4013 – 4764	3,24	751	
	Куст № 308 скв. №3083	3838 – 4634	10,86	796	
	Куст № 208 скв. №2083	3728 – 4621	6,46	893	
Бурение без гидравлического осциллятора	Куст № 78 скв. №78	3595 – 3857	2,37	262	2,85
	Куст № 204 скв. №2041	3420 - 4215	2,56	795	
	Куст № 205 скв. №2051	3404 - 3659	2,24	225	
	Куст № 208 скв. №2081	3351-3663	4,13	312	

Система гидравлического осциллятора также позволила увеличить МСП в более сложных условиях – МПС в слайде больше на 40 %, в роторе больше на 51% (рисунок 2).

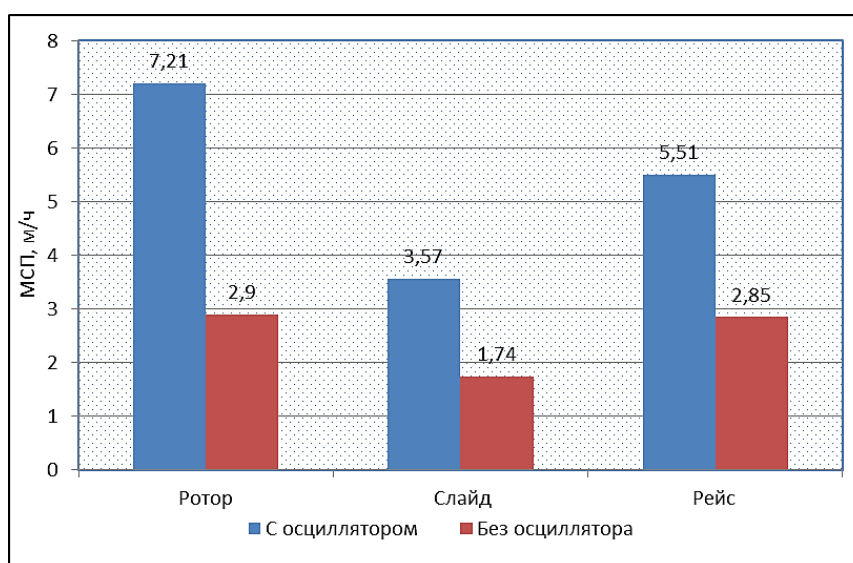


Рисунок 2. Сравнения значения МСП

5. Заключение.

Полученные данные позволяют судить, что использование скважинного осциллятора позволяет значительно улучшить качество проводки скважин, уменьшить трение буровой колонны о стенки скважины, увеличить механическую скорость проходки, предотвратить инциденты, связанные с дифференциальным прихватом, сократить время на ориентирование, снижает количество подвисаний и срывов КНБК на забой при бурении в режиме «слайда» и сокращается необходимость введения смазывающих добавок. Однако были случаи, когда положительный эффект от работы осциллятора не наблюдался.

Исследование показывает, данная технология имеет хорошие перспективы для последующего применения, что в конечном счете приведет к сокращению сроков и минимизации затрат на строительство скважины.

Библиографический список

- [1] Хузина Л.Б. Использование новых технологических решений при бурении горизонтальных скважин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2006. – № 9. – С. 25–26.
- [2] Любимова С.В., Хузина Л.Б. Техничко-технологическое решение для снижения коэффициента трения буровой колонны о стенки скважины при бурении скважин с горизонтальным участком // Нефтегазовое дело. – 2012. – № 2. – С. 194–203.
- [3] Ermolenko F.I., Minnivaliev T.N. Simulation of formation fluid withdrawal hydrodynamics using a downhole jet pump when studying the productive formation while well drilling. Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1333. – № 3. – Номер статьи 032014. – DOI: 10.1088/1742-6596/1333/3/032014.
- [4] Мелюхов Е.В., Омелянюк М.В. Применение осциллятора для повышения эффективности строительства скважин на Еты-Пуровском месторождении // Материалы II Международной научно-практической конференции (31 марта 2018 г.). Том 2: РАЗРАБОТКА НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ. Часть 2. – С.188-190.

УДК 622.243.1

Бурение пилотных скважин с последовательным расширением стволов

П.С. Пушмин, Н.В. Бессонов, Д.В. Наумов

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия.

E-mail: pps@ex.istu.edu

Аннотация. Бурение скважин долотами малых диаметров с последующим расширением ствола скважины позволяет решать ряд проблем, связанных с особенностями процесса разрушения горной породы на забое долотами больших диаметров. Бурение скважин больших и средних диаметров обладает повышенными требованиями к соблюдению оптимальных режимных параметров. Это обусловлено необходимостью сочетать линейную скорость перемещения резцов, расположенных на разном расстоянии от оси вращения породоразрушающего инструмента, с осевой нагрузкой для обеспечения максимальной эффективности процесса бурения.

1. Введение

В процессе строительства нефтяных и газовых скважин с целью повышения эффективности углубления забоя, в особенности при разрушении горных пород средней твердости и твердых, могут быть предприняты различные технологические и технические мероприятия. В частности, увеличению удельного вращающего момента и удельной мощности на единицу контакта торца бурового долота с забоем может способствовать так называемое *опережающее бурение* долотом меньшего диаметра (в том числе, возможно

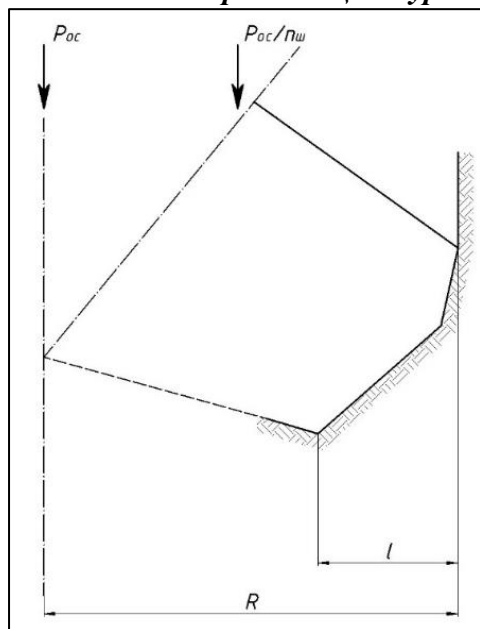


Рисунок 1. Схема деформирования забоя и стенки скважины

использование алмазного породоразрушающего инструмента) с последующим расширением пройденного интервала инструментом большего диаметра. В этом случае определенный эффект достигается при бурении долотом меньшего диаметра за счет снижения площади одновременного контакта торца долота с горной породой забоя, однако, в процессе последующего расширения пройденного интервала наблюдается значительное снижение достигнутого эффекта [1].

2. Материалы и методы

В данном исследовании применены графоаналитические методы, базирующиеся на основных законах физики, теоретической механики и математического моделирования.

3. Исследование и результаты

Основная особенность опережающего бурения в сравнении с процессом сплошного бурения заключается в механике работы расширяющего долота (долота большего диаметра). Так, в зависимости от формы забоя (выпуклая, выпукло-выгнутая), а также в зависимости от сочетания диаметров долот, расширение ствола скважины может осуществляться либо только зубьями периферийного венца, либо с частичным привлечением зубьев крайнего венца основного конуса шарошки. По данным, приведенным в работе [1], *первый вариант* реализуется при отношении большего диаметра долот к меньшему в пределах 1–1,3; *второй вариант* – при соотношении 1,4–1,6.

Усилия, передаваемые на породу забоя скважины через зубья основного и дополнительного конусов шарошек, а также на обратный конус шарошки (тыльную часть), должны определяться из условия распределения требуемой осевой нагрузки пропорционально проекции суммарной площади контакта зубьев с породой забоя (Рисунок 1). Результирующая (сдвигающая) сила, возникающая от контакта работающей на забое скважины шарошки, будет направлена к центру инструмента, что приведет к отжатию долота от стенки скважины [3,4]. В результате этого, фактический диаметр долота в процессе расширения ствола скважины будет тем больше, чем меньше износ тыльной части периферийных зубьев и износ самих опор шарошек. В этом случае возможен вариант, при котором потеря диаметра расширяющего шарошечного долота в результате износа калибрующей части шарошек, осевого и радиального люфта будет превосходить величину зазора шарошек, что приведет к невозможности углубления и расширения ствола скважины, так как калибрующий диаметр долота станет меньше диаметра корпуса [5,7].

В процессе работы расширяющего долота при взаимодействии шарошек и забоя скважины относительно центра цапфы возникает изгибающий момент, величина которого зависит от

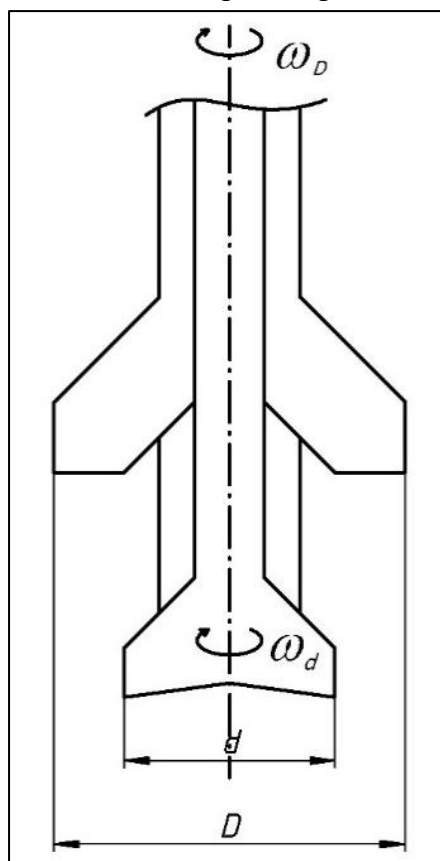


Рисунок 2. Схема бурения с формированием ступенчатого забоя

конструктивных параметров самой шарошки, **толщины кольцевого уступа l** (длины образующей пятна контакта части шарошки с породой забоя) и осевого усилия (Рисунок 1). В частности, при прочих равных условиях, повышению момента, стремящегося перекосить шарошку, способствует уменьшение толщины кольцевого уступа по причине увеличения плеча силы относительно центра цапфы [6].

Перекос шарошки сопровождается нарушением соосности цапфы и шарошки, их наклон относительно друг друга растет, а касание роликов на беговых дорожках шарошки и цапфы осуществляется не по образующим цилиндров – углы торцевых поверхностей у периферийных роликов интенсивно срабатываются.

Учитывая сказанное, повышение производительности процесса расширения ствола скважины должно осуществляться с учетом следующих требований:

- снижение силы, сдвигающей шарошку к центру долота;

- снижение момента, сворачивающего шарошку с цапфы;

- снижение потери диаметра долота в виду износа калибрующей части шарошки и элементов опоры долота.

Соблюдение данных требований возможно, в частности, за счет соблюдения рационального сочетания диаметров, опережающего (меньшим диаметром) и расширяющего (большим диаметром) долот, которое не

должно быть меньше, чем 1,4–1,6. При этом следует стремиться к тому, чтобы толщина кольцевого уступа была наибольшей [9].

Говоря о параметрах режима бурения, следует рекомендовать применение минимально возможных осевых нагрузок при бурении и расширении ствола скважины. Обеспечение плавности подачи инструмента также является рекомендуемым условием.

Представляется интересной комбинация процессов бурения пилот-скважины меньшим диаметром с одновременным последовательным расширением ствола скважины большим диаметром, то есть созданием забоя ступенчатой формы (Рисунок 2). Расположение породоразрушающих инструментов в этом случае будет концентричным и последовательным. При этом для обеспечения наибольшей эффективности работы каждого породоразрушающего инструмента может быть рекомендована неодинаковость скоростей вращения каждого из долот [2, 8].

Например, для опережающего долота меньшего диаметра, формирующего пилотную скважину, более рациональной может являться большая угловая скорость, чем для долота, расширяющего ствол скважины. Тем самым будет обеспечена большая эффективность разрушения горной породы забоя при оптимальных энергозатратах.

Придание большей частоты вращения опережающему долоту может быть обеспечено соединением долота с вращающим валом забойного двигателя, жестко соединенным с бурильными трубами. Расширяющее долото приводится во вращение ротором через бурильные трубы и корпус забойного двигателя (Рисунок 2).

Однако, жесткое соединение забойного двигателя с бурильными трубами не может единолично обеспечить стабильную и надёжную связь без учета формы равновесия самой компоновки нижней части бурильной колонны. Для анализа возможных деформаций бурильной колонны, находящейся под постоянной осевой нагрузкой, были проведены аналитические исследования, целью которых являлось получение зависимости между жесткостью нагруженных стальных бурильных колонн и способностью сохранить прямолинейную форму её равновесия.

С этой целью вначале по (1) были рассчитаны значения жесткости бурильных колонн с зависимости от толщин их стенок, а затем по (2) – значения длины компоновок L , не получающих деформацию в результате нагружения осевым усилием P . Результаты расчетов приведены на Рисунке 3.

$$c = E \cdot I, \quad (1)$$

где E – модуль продольной упругости, Па, $E=2 \cdot 10^{11}$ Па;

I – момент инерции, Па,

$$I = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4),$$

D, d – наружный и внутренний диаметр бурильной трубы, м;

$$L = \frac{P}{c}. \quad (2)$$

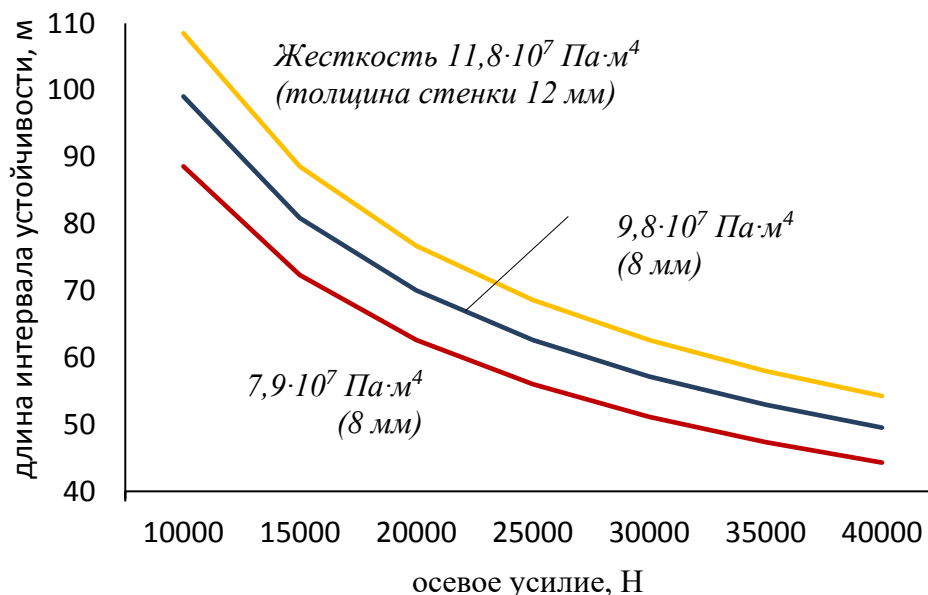


Рисунок 3. Зависимости длины компоновки, способной сохранить устойчивость от действия осевого усилия при различных жесткостях бурильных труб (толщинах стенок).

4. Обсуждение

Анализ полученных зависимостей показал возможность повышения длины прямолинейной формы равновесия компоновки нижней части бурильной колонны при увеличении её жесткости (в частности, за счет утолщения стенок труб) и снижении осевого усилия, например, за счет использования труб из лёгких сплавов, либо разгрузки колонны элементами талевой системы.

5. Заключение

Опережающее бурение с последующим расширением ствола скважины является перспективным и производительным способом бурения глубоких скважин большого диаметра. Для достижения наибольшей эффективности необходимо обеспечивать максимальную ширину кольцевого уступа, оптимальное сочетание угловых скоростей

центральной (пилотной) и периферийной (расширяющей) части породоразрушающего инструмента при минимально возможной осевой нагрузке и плавной подаче инструмента на забой.

Библиографический список

- [1] Григорян Н.А. Анализ процесса турбинного бурения. М. : МГУ, 1982. – 207 с.
- [2] Гержберг Ю.М. Бурение ступенчатым забоем как средство ограничения искривления скважины «Бурение и нефть», 2013.
- [3] Бурение скважин: учеб. пособие / В.В. Нескормных, П.С. Пушмин, Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2014 – 396 с.
- [4] Вспомогательный инструмент для бурения и ремонта скважин: учеб. пособие / Г.Г. Ишбаев, Р.Ф. Ташбулатов, Л.А. Алексеев. – Уфа: изд-во ООО «Нефтегазовое дело», 2017.
- [5] Технология бурения нефтяных и газовых скважин: учебник для студентов вузов. – в 5 т. – Т.1 под общ. ред. В.П. Овчинникова. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. – 568 с.
- [6] Методика расчета упругого смещения стенок скважины после вскрытия горной породы бурением.: учеб.-метод. пособие. / А.Н. Попов – Уфа: изд-во УГНТУ, 2011.
- [7] Технология бурения скважин гидравлическими забойными двигателями: учеб. пособие. / С.Л. Симонянц. – Н. Новгород: изд-во «Вектор ТиС», 2007. – 160 с.

Оценка стоимости строительства трассы магистрального трубопровода на основе Google Earth

Ю.И. Махонькина, А.Н. Веслополова, В.Т. Шакирова, А.В. Зедгенизов

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

E-mail: nakhonkina@icloud.com

Аннотация. Рассмотрено использование Google Earth для оценки стоимости строительства трассы магистрального трубопровода севера Иркутской области, Лено-Тунгусской нефтегазовой провинции. На основании имеющихся эмпирических данных о стоимости строительства трубопровода в зависимости от сложности трассы каждый отдельный участок рассчитан по стоимости конкурентного преимущества. На основе стоимостных расчётов предлагается алгоритм строительства оптимальной финальной трассы трубопровода, что в конечном итоге приводит к снижению затрат и увеличению прибыли от реализации проекта.

1. Введение

Развитие магистральных трубопроводов играет важную роль в экономическом развитии страны, обеспечивая доступ к новым рынкам сбыта, увеличивая объемы экспорта и привлекая инвестиции. Кроме того, развитие инфраструктуры трубопроводов способствует решению ряда социальных проблем, таких как создание новых рабочих мест и улучшение уровня жизни населения. В секторе перевозок углеводородов ключевой проблемой выступает гарантирование стабильной доставки извлечённого флюида к местам его интенсивной переработки или для дальнейшего экспорта. Решение данного вопроса часто возлагается на систему трубопроводов, чья эксплуатация подвержена воздействию ряда внешних и внутренних факторов, влияющих на их конструктивные характеристики и технические решения.

Объем добычи углеводородов оказывает прямое влияние на выбор конфигурации трубопроводной системы. Повышение объемов производства требует использования более мощных и пропускных систем для надежного и эффективного транспорта флюида. Помимо

объемов добычи, значительное влияние оказывают химические параметры самого сырья, такие как вязкость, серосодержание, плотность. Эти свойства диктуют специфические требования к материалам изготовления и техническим параметрам труб и сопутствующего оборудования. Условия окружающей природной и климатической среды также имеют весомое значение при проектировании трубопроводов. Экстремальные климатические условия требуют применения дополнительных мер, таких как усиленная изоляция или системы обогрева, для обеспечения безотказной работы в неблагоприятных условиях. Кроме того, рельеф местности и наличие естественных препятствий, таких как водные преграды, горные массивы или болотистые территории, оказывают существенное влияние на разработку маршрута трубопровода, его инженерные расчеты и методы прокладки.

Определение оптимального маршрута трассы трубопровода является важной задачей, которую можно решить, благодаря использованию Google Earth.

2. Материалы и методы

В данном исследовании учитываются следующие положения:

1. Расположение месторождения в плане страны;
2. Трассы существующих магистральных трубопроводов;
3. Прогнозируемые объёмы добычи углеводородного сырья (УВС).

В рамках изучения текущего состояния и будущего развития системы магистральных трубопроводов в России, основное внимание акцентируется на нескольких ключевых аспектах. Первым делом, местоположение значимых углеводородных месторождений, особенно в контексте их географической размещенности от запада к востоку страны, подвергается детальному анализу. Преимущественная часть этой инфраструктуры локализована в западных областях, благодаря чему обнаружение огромных нефтяных запасов на территории Западной Сибири в предыдущем веке способствовало формированию сложной и разветвлённой сети данных коммуникаций.

Использование передовых технологических решений позволяет осуществлять глубокий анализ и выполнение масштабных проектов с особым вниманием к экологическим, экономическим и социальным факторам.

Для оценки стоимости строительства трассы магистрального трубопровода с помощью Google Earth необходимо выполнить следующие шаги:

1. Определить требования к трассе: перед тем как приступить к проектированию, необходимо определить объем транспортируемого материала, длину трассы, диаметр трубопровода, давление в системе и другие технические характеристики.
2. Создать цифровую модель местности: с помощью Google Earth можно построить модель местности с учетом всех ее особенностей, таких как рельеф, водные объекты, леса и другие природные и искусственные препятствия.
3. Изучить возможные варианты трассы: на основе цифровой модели местности необходимо провести анализ различных вариантов трассы трубопровода и выбрать наиболее оптимальный с учетом затрат на строительство и эксплуатацию.
4. Оценить земельные участки: после выбора оптимального маршрута необходимо провести оценку земельных участков, через которые будет пролегать трасса. Это позволит определить затраты на приобретение земли, возможные экологические риски и другие факторы.
5. Оптимизировать маршрут: после всех вышеуказанных шагов необходимо оптимизировать маршрут, чтобы минимизировать затраты на строительство и обслуживание трубопровода. Google Earth позволяет визуализировать все данные и принимать обоснованные решения.

На основании технологических данных о объёме и реологических свойствах УВС проектируется трубопровод, отвечающий требованиям мощности, природно-климатическим

условиям, а также рельефу местности для бесперебойной круглогодичной транспортировки УВС, имеющий срок полезного использования не менее 15 лет.

В качестве примера можно рассмотреть типовую производственную задачу, связанную с транспортировкой нефтепродуктов. Объем нефти, который необходимо перекачать в течение года, составляет 10 миллионов тонн. Будем считать, что эта нефть имеет плотность 815 кг/м³ и вязкость 48 мм²/с.

Основной аспект, на который мы обратим внимание при сравнении себестоимости строительства нефтепровода, – это удельные показатели стоимости строительства линейной части. Для удобства приведем таблицу с соответствующими данными (Таблица 1).

Таким образом, наша задача состоит в том, чтобы определить, сколько будет стоить строительство линейной части нефтепровода, учитывая вышеуказанные показатели объема перекачиваемой нефти, ее плотности и вязкости, а также удельные показатели стоимости строительства.

В дальнейшем, на основании полученных данных, мы сможем сравнить себестоимость строительства линейной части нефтепровода с построенной оптимальной трассой.

Таблица 1

Удельные показатели стоимости строительства линейной части нефтепровода

Условный диаметр нефтепровода – Д, мм	500	700	800	1000	1200
Стоимость строительства 1 км трубопровода, \$USD	250000	500000	625000	1000000	1250000

Принимаем для текущих условий удельную стоимость строительства:

- для подземной прокладки 18 млн. руб. / км.
- для надземной прокладки 40 млн. руб. / км.
- для холмистой местности коэффициент удорожания строительства 1,3, наличие лесополосы – 1,15, болота, топи – 2,7, реки – 3,2.

На данном этапе целесообразно выполнить предварительный расчёт ключевого параметра (диаметр) трубопровода (1):

$$D_B = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v_{cp}}} \quad (1)$$

где, Q – пропускная способность нефтепровода м³/с, v_{cp} – средняя скорость течения (в среднем 1-2 м/с).

Таким образом, диаметр трубопровода составит:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,36}{3,14 \cdot 1,5}} = 0,55 \text{ м.}$$

На основании существующего типоразмера труб (Таблица 2) выбирается диаметр равного или большего расчётного. Приведённые рекомендации совпадают с приведенными расчётами.

Таблица 2

Рекомендуемые параметры линейной части трубопровода

Производительность нефтепровода, млн. т/год	Диаметр (наружный), мм	Рабочее давление	
		МПа	атм
0,7...1,2	219	8,8...9,8	90-100
1,1...1,8	273	7,4...8,3	75-85
1,6...2,4	325	6,6...7,4	67-75
2,2...3,4	377	5,4...6,4	55-65
3,2...4,4	426	5,4...6,4	55-65

4-9	530	5,3...6,1	54-62
7-13	630	5,1...5,5	52-56
11-19	720	5,6...6,1	58-62
15-27	820	5,5...5,9	56-60
23-55	1020	5,3...5,9	54-60
41-90	1220	5,1...5,5	52-56

В области, упоминаемой как G , где имеются конкретные локации A и B подлежащие соединению через магистральный трубопровод, встаёт вопрос выбора наилучшего маршрута. Этот выбор базируется на анализе множества путей между данными точками, где каждый из путей оценивается согласно критерию оптимальности, обозначаемого W . Определение этой оптимальности может производиться на основе различных факторов, включая, но не ограничиваясь, стоимостью строительства трубопровода. Таким образом, задача формирования наиболее подходящего маршрута магистрального трубопровода предполагает всестороннее рассмотрение и сравнение каждого возможного пути в указанной территориальной зоне G для выявления маршрута с наивысшим показателем критерия W (Рисунок 1).

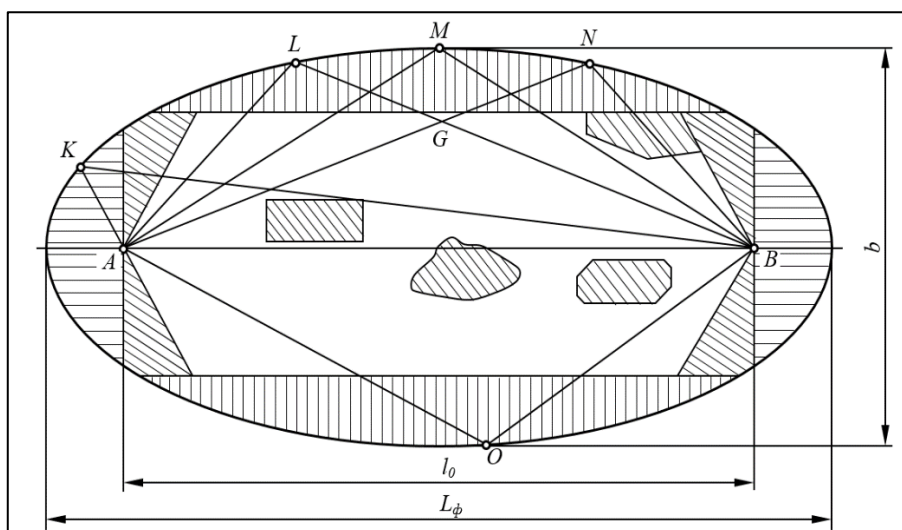


Рисунок 1. Область оптимальной зоны поиска магистрального трубопровода

В процессе оптимизации маршрута для магистрального трубопровода неизбежно возникает задача идентификации наиболее экономичного пути, который характеризуется как траектория с минимальными финансовыми затратами на строительство. Из всех возможных вариантов требуется выделить именно тот, который отвечает данным критериям. В данном контексте, область G , задействованная для реализации поисковых операций в целях нахождения идеального пути, обретает статус региона, где предполагается раскрытие потенциала линии трубопровода. Необходимость сужения этого пространства к минимуму обуславливается стремлением к сокращению количества обрабатываемых данных.

Вполне осознавая, что за границами указанного региона любой выбор будет невыгоден, следует также осмыслить, что все находящиеся в пределах оптимальные пути заслуживают внимания и могут быть реализованы. Принципиальная важность обязательного наличия лучшего маршрута внутри области G критически влияет на оптимальность исходных решений.

Детальное изучение и анализ практики проектирования и создания трубопроводов свидетельствуют о том, что обычная протяженность таких объектов неминуемо превышает расстояние между начальной и конечной точками, измеряемое по геодезической прямой. Данная ситуация сложилась по причине необходимости обхода многочисленных препятствий

на пути следования, что непременно увеличивает общую длину трассы. Таким образом, стратегический подход к выбору маршрута требует тщательного анализа всех возможных вариантов с целью достижения наилучшего соотношения между стоимостью и эффективностью планируемой линии трубопровода.

Отклонение от прямой будет тем значительней, чем больше встречается препятствий и чем выше стоимость их преодоления. Отклонение характеризуется коэффициентом развития линии трубопровода (2):

$$k_p = \frac{L_{\phi}}{l_0} \quad (2)$$

где L_{ϕ} — фактическая длина трубопровода; l_0 — длина геодезической прямой между А и В.

В рамках проведенного анализа коэффициентов роста, связанных с конструкцией трубопроводных систем, были выявлены следующие закономерности. Исследование показало, что коэффициенты развития для трубопроводов, прокладываемых через равнинные территории, ограничиваются верхним порогом в 1,05. Тем временем, при прокладке через участки среднепересеченной местности, которая характеризуется болотистостью, показатели варьируются от 1,03 до 1,24. Существенно различается ситуация в случае монтажа трубопроводов в условиях сложной местности, насыщенной значительным количеством естественных и созданных человеком преград, где коэффициенты развития колеблются в интервале от 1,16 до 1,4. Это демонстрирует, что степень сложности территории, через которую прокладывается трубопровод, напрямую влияет на коэффициенты развития строительных работ, что, в свою очередь, указывает на повышенные требования к проектированию и строительству в ситуациях с более сложными ландшафтными и экологическими условиями.

Коэффициент развития можно также определить из следующего соотношения (3):

$$k_p = \frac{\omega_0}{\omega_n * l_0} \quad (3)$$

где ω_0 — стоимость строительства трубопровода вдоль геодезической прямой; ω_n — стоимость строительства 1 км трубопровода в нормальных условиях.

Если задан максимальный коэффициент развития линии трубопровода для рассматриваемого района прохождения трассы, то тем самым вводится жесткое ограничение на положение границы области прокладки (4):

$$L_{\phi} \ll k_{pmax} * l_0 \quad (4)$$

Все возможные трассы, удовлетворяющие этому условию, должны быть заключены внутри кривой линии, каждая точка которой удалена от начального и конечного пунктов трубопровода на расстояния, дающие в сумме $k_p l_0$. Такой кривой являемся эллипс с фокусами в точках А и В (см. Рисунок 1), малая ось которого (5):

$$b = l_0 \sqrt{k_{pmax}^2 - 1} \quad (5)$$

Из определённой таким образом теоретической области поиска необходимо исключить заведомо неоптимальные и запретные зоны на рисунке 1 они заштрихованы. Стоимостные характеристики каждого из участков на данном этапе выбираются приблизительно. Важно, как можно точнее учесть не абсолютное значение стоимости, а их пропорциональное различие относительно друг друга.

В рамках выбранного полигона следует проложить трассу трубопровода максимально близко к линейной, т.е. чтобы коэффициент развития был минимальным. Однако, не следует забывать, что конечным критерием оценки оптимальности трубопровода служит его стоимость и при прочих равных условиях она может быть меньше в варианте, который имеет большее значение коэффициента развития. В точке с координатами 57°46'04"N104°28'23"E по легенде находится нефтяное месторождение, а в точке с координатами 56°50'38"N104°51'59"E находится узел пересечения нашего трубопровода с главным. Длина базового трубопровода составляет 105,57 км.

На рисунке 2 представлен базовый трубопровод, соединяющий месторождение (далее, отметка 0) и главный трубопровод (далее, отметка 105,57).

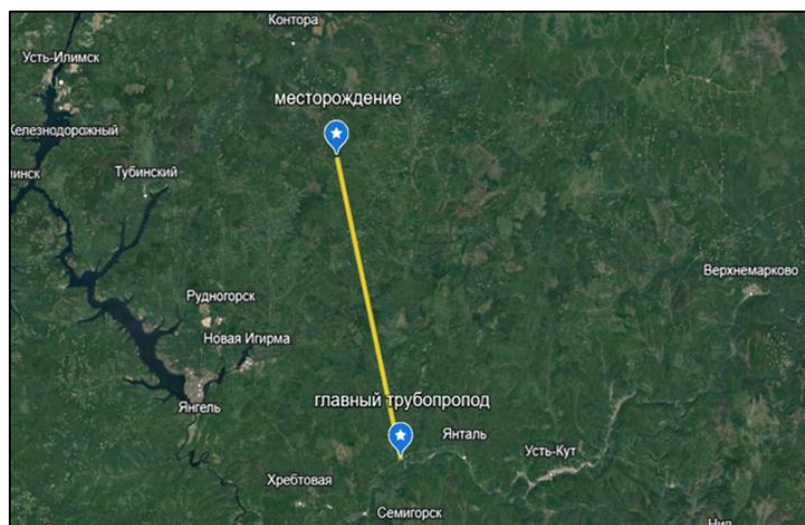


Рисунок 2. Базовый вариант трассы трубопровода (общий вид регионального масштаба)

На данном этапе необходимо всю трассу базового трубопровода разбить на укрупнённые участки стоимости строительства, на которых будет существенно различаться, исходя из следующих критериев:

- Сложность рельефа: участки с крутым подъемом или спуском, пересечением естественных преград (реки, овраги, болота) и т.д. могут потребовать дополнительных затрат на строительство.
- Геология: наличие скальных пород, вечной мерзлоты, карстовых пустот и других геологических особенностей может усложнить процесс строительства и увеличить стоимость.
- Наличие населенных пунктов: если трасса проходит через населенные пункты, это может потребовать дополнительных согласований и затрат на переселение жителей.
- Природные условия: в зонах с суровым климатом (вечная мерзлота, тундра) могут потребоваться дополнительные затраты на обустройство трубопровода.
- Экологические ограничения: если строительство затрагивает особо охраняемые территории, национальные парки или другие зоны с особыми условиями использования, затраты могут быть увеличены.

Для разбиения трубопровода на участки необходимо нанести на топографическую подоснову точки, разделяющие такие участки на основании визуального анализа и продольного профиля рельефа местности. Получается, что базовую трассу трубопровода можно разбить на основные участки: (0...10,48; 10,48...10,73; 10,73...24,97; 24,97...27,52; 27,52...34,31; 34,31...35,16; 35,16...49,07; 49,07...49,28; 49,28...56,44; 56,44...56,82; 56,82...74,18; 74,18...74,57; 74,57...103,38; 103,38...103,54; 103,54...105,57).

Таким образом, протяжённость строительства в нормальных условиях составит 0 км. Участки имеют отклонения в виде лесополосы и рек. Приведённые данные целесообразно свести в таблицу 3.

Таблица 3

Участки трубопровода, имеющие отклонения в виде лесополосы и рек

№ участка	Диапазон	Протяжённость	Тип поверхности	Тип рельефа
1	0 - 10,48	10,48	Лесополоса	Равнина
2	10,48 – 10,73	0,25	Река	Равнина
3	10,73 - 24,97	14,24	Лесополоса	Равнина

4	24,97 - 27,52	2,55	Лесополоса	Равнина
5	27,52 - 34,31	6,79	Лесополоса	Равнина
6	34,31 - 35,16	0,85	Река	Равнина
7	35,16 - 49,07	13,91	Лесополоса	Равнина
8	49,07 - 49,28	0,21	Река	Равнина
9	49,28 - 56,44	7,16	Лесополоса	Равнина
10	56,44 - 56,82	0,38	Река	Равнина
11	56,82 - 74,18	17,36	Лесополоса	Равнина
12	74,18 - 74,57	0,39	Река	Равнина
13	74,57 - 103,38	28,81	Лесополоса	Равнина
14	103,38 - 103,54	0,16	Река	Холмистая местность
15	103,54 - 105,57	2,03	Лесополоса	Холмистая местность
Итого:		105,57		

Стоимость строительства трубопровода на геодезической прямой будет составлять (6):

$$W_0 = (W_I * I_I + W_{II} * I_{II} + W_{III} * I_{III} + \dots) + W_H(I_0 - I_I - I_{II} - I_{III} - \dots) \quad (6)$$

где ω_0 – стоимость строительства трубопровода вдоль геодезической прямой; ω_H — стоимость строительства 1 км трубопровода в нормальных условиях.

Коэффициент развития подсчитываем, по формуле (3):

$$k_p = 2485 / (18 * 105,57) = 1,3$$

Ширину области поиска определяем по формуле (5):

$$b = 105,57 \sqrt{1,3^2 - 1} = 87,69 \text{ км}$$

Первоначальная трасса трубопровода, при прочих равных условиях, должна отвечать критериям прямолинейности, наименьший коэффициент не прямолинейности будет соответствовать меньшей стоимости и наоборот.

Трасса трубопровода должна быть разбита на элементарные участки (Таблица 4), имеющие сходные параметры местности (равнина, лесополоса, участки водных преград и т.п.).

Таблица 4

Протяженность конкурирующих участков

Участок	Протяженность участка, км	Преграда	Протяженность преграды, км
L 0 - L MO1	32,25	река, водные преграды	0,15
L MO1 - L K1 - L O1	11,27	река, водные преграды	0,13
L MO1 - L K2 - L O2	6,98	река, водные преграды	0,07
L MO1 - L MO2	22,48	река, водные преграды	0,44
L O1 - L MO2	12,71	река, водные преграды	0,06
L O2 - L MO2	16,19	река, водные преграды	0,06
L MO2 - L K3 - L O3	5,66	река, водные преграды	0,07
<i>Продолжение таблицы 4</i>			
L MO2 - L K4 - L O3	6,67	река, водные преграды	0,16
L O3 - L MO3	6,28	река, водные преграды	0,00
L MO2 - L MO3	11,61	река, водные преграды	0,23
L MO3 - L K5 - L O4	13,47	река, водные преграды	1,58
L MO3 - L K6 - L O4	20,98	река, водные преграды	0,37
L O4 - L MO4	23,42	река, водные преграды	0,00
L MO3 - L MO4	35,51	река, водные преграды	0,27
L MO4 - L K7 - L главный трубопровод	4,01	водная преграда	0,07

L MO4 – L K8 - L главный трубопровод	4,63	водная преграда	0,05
L MO4 – - L главный трубопровод	3,72	водная преграда	0,08

При наличии возможности обхода сложных участков (водные преграды, возвышенности, овраги и т.п.) следует предусматривать такой обход, но с его экономическим обоснованием. Таким образом, в рассматриваемом примере целесообразно совершить обход водной преграды (Рисунок 3). Выше представлена протяженность конкурирующих участков, где L 0 – начало трубопровода (месторождение); L MO1 – точка обхода первого сложного участка.

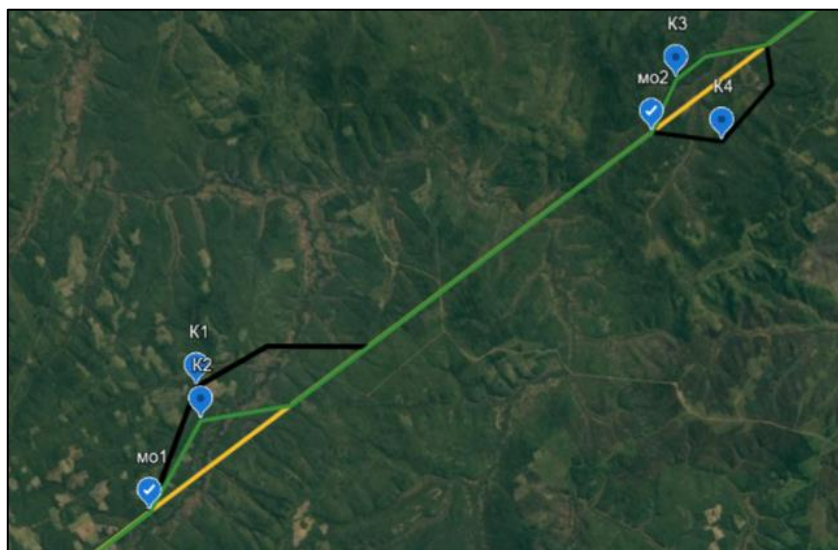


Рисунок 3. Разбивка трубопровода на обходы

Пример расчета стоимости конкурирующего участка (см. Рисунок 3):

Обход от MO1 до MO2 через K1:

$$((11,27-0,13)*18*1,15) + (0,13*3,2*40) + ((12,71-0,06)*18*1,15) + (0,06*3,2*40) = 516,77 \text{ млн.}$$

Обход от MO1 до MO2 через K2:

$$((6,98-0,07)*18*1,15) + (0,07*3,2*40) + ((16,19-0,06)*18*1,15) + (0,06*3,2*40) = 493,57 \text{ млн.}$$

От MO1 до MO2:

$$((22,48-0,44)*18*1,15) + (0,44*3,2*40) = 512,55 \text{ млн.}$$

3. Результаты исследования и их анализ

На основе анализа топографической основы местности расположения магистрального трубопровода, строительства обходов и рассчитанной их стоимостной характеристики, можно произвести выбор конкурирующих участков наиболее выгодных с экономической точки зрения.

Результаты расчетов, в том числе и других конкурирующих участков сводятся в таблицу 5.

Таблица 5

Себестоимость строительства конкурирующих участков

Обход	Стоимость, млн. рублей
От MO1 до MO2	512,55
От MO1 до MO2 через K1	516,77
От MO1 до MO2 через K2	493,57
От MO2 до MO3	265,01

От МО2 до МО3 через К3	254,67
От МО2 до МО3 через К4	285,23
От МО3 до МО4	1389,00
От МО3 до МО4 через К5	773,28
От МО3 до МО4 через К6	958,78
От МО4 до Главного трубопровода	85,58
От МО4 до Главного трубопровода через К7	90,52
От МО4 до Главного трубопровода через К8	101,21

4. Обсуждение

Таким образом, обходы от МО1 до МО2 через К2, от МО2 до МО3 через К3, от МО3 до МО4 через К5, От МО4 до главного трубопровода являются наиболее привлекательными с точки зрения конечной стоимости строительства трубопровода. Принимая, конечную трассу с учётом конкурирующих участков следует рассчитать суммарную стоимость трубопровода от (0 до 105,57).

Стоимость финальной трассы с учётом обходов (От L 0 до L 105,57):

$(L0 - L MO1) + (L MO1 \text{ до } L MO 2 \text{ через } K2) + (L MO2 \text{ до } L MO3 \text{ через } K3) + (L MO3 \text{ до } L MO4 \text{ через } K5) + (L MO4 \text{ до главного трубопровода}) = ((32,25-0,15)*18*1,15) + (0,15*3,2*40) + 493,57 + 254,67 + 773,28 + 85,58 = 2,29 \text{ млрд. рублей.}$

Стоимость базовой части трубопровод без обходов от L 0 до L 105,57:

$((L0 \text{ до } L 105,57)\text{-БОЛОТА-РЕКА-СТЕПЬ}) = ((105,57-3,79)*18*1,15) + (3,79*3,2*40) = 2,59 \text{ млрд. рублей.}$

Следовательно, от строительства всех обходов, получаем выгоду 300 млн. рублей. Важно обобщить представленную методику в качестве алгоритма, представленного на блок-схеме (Рисунок 4).

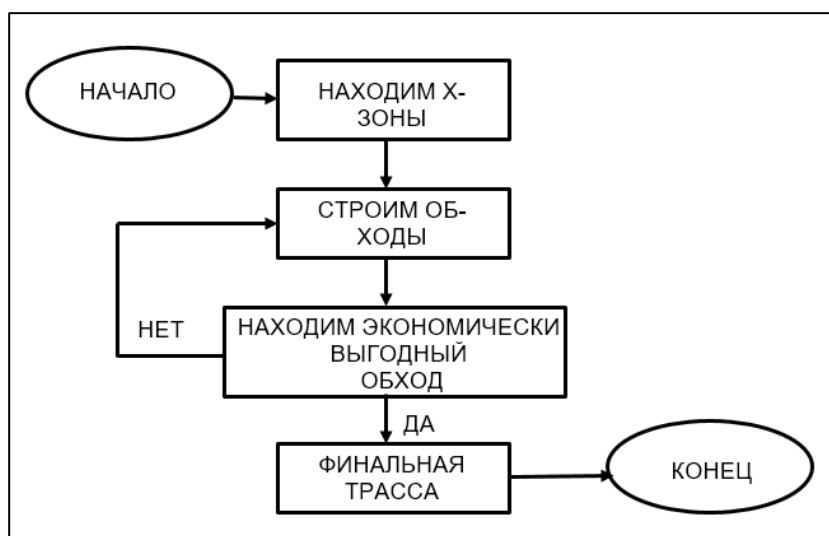


Рисунок 4. Блок-схема строительства трубопровода по геоинформационным параметрам

5. Заключение

Использование Google Earth для оценки стоимости строительства трассы магистрального трубопровода является эффективным инструментом, который позволяет провести детальный анализ местности, выбрать оптимальный маршрут и оптимизировать затраты. Этот подход помогает сэкономить время и ресурсы при проектировании и строительстве трубопроводов, что особенно важно в условиях современной экономики.

В результате проведенного исследования использование Google Earth для оценки стоимости строительства магистральных трубопроводов показало свою эффективность и

целесообразность. Анализ местности с учетом рельефа, водных преград, инфраструктуры и урбанизированных территорий позволил выбрать оптимальную трассу, минимизируя затраты на строительство и эксплуатацию. Это в свою очередь способствует увеличению объемов экспорта углеводородного сырья, привлечению инвестиций и развитию экономики страны.

Результаты подсчетов стоимости трубопровода по каждому участку, основанные на конкурентном преимуществе, позволяют предложить алгоритм строительства оптимальной финальной трассы. Это снижает общие затраты проекта и увеличивает прибыльность от его реализации. Такой подход способствует сокращению времени и ресурсов, необходимых для постройки и обслуживания магистрального трубопровода.

Трубопроводный транспорт играет ключевую роль в обеспечении бесперебойных поставок углеводородного сырья, и выбор оптимальной трассы с помощью Google Earth позволяет повысить эффективность и экономическую составляющую проекта. Это также способствует развитию новых рынков сбыта, расширению географии поставок и повышению конкурентоспособности страны на мировом рынке энергоносителей.

Библиографический список

- [1] Логинова Е.А., Пушина Л.А., Хасанов И.И., Исаева Т.А., Чуйко Е.В. История развития добычи и трубопроводного транспорта нефти в России конца XIX – начала XX века // История и педагогика естествознания. – 2022 – № 2–3. – С. 44–48.
- [2] Куценко А.И., Истомин Л.Г. Трубопроводный транспорт: история создания, современность и особенности таможенного контроля при перемещении товаров трубопроводным транспортом. Нижний Новгород: Научно-издательский центр «21 век». С. 113–117.
- [3] Козобкова Н.А., Евлахов С.К. Качество нефти в трубопроводном транспорте. – М.: Нефть и газ, 2007.
- [4] Логинова Е.А., Хасанов И.И. Состояние трубопроводного транспорта в конце XX века и начало системного анализа параметров транспорта нефти // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2017. – № 4. – С. 43–46.
- [5] Бахтизина А.Р., Мошкалёв Д.С. Критерии оценки экономической эффективности научных разработок в области трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов // Тезисы докладов XVI Международной учебно-научно-практической конференции. – 2021. – С. 23–26.
- [6] РД 153-39.4-113-01 Нормы технологического проектирования магистральных нефтепроводов : руководящий документ : утверждён приказом Минэнерго России от 24 апреля 2002 года N 129 / разработан ОАО «Гипротрубопровод» при участии рабочей группы специалистов ОАО «АК "Транснефть"», 2002.
- [7] Бабин Л.А., Быков Л.И., Волохов В.Я. Типовые расчеты по сооружению трубопроводов. – М.: «Недра», 1979.
- [8] Молочко А.В., Жучков П.С. Возможности применения геоинформационных технологий в решении задачи оптимизации трассы магистрального газопровода // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле. – 2013. – Т. 13. – № 1. – С. 29–37.
- [9] Кузьмин Э.Л. Глобальная энергетическая безопасность и трубопроводный транспорт. Политико-правовой аспект. – М.: Машиностроение, 2022.
- [10] Чирсков В.А., Шутов В.Е. Колебания систем трубопроводного транспорта нефти и газа. – М.: Недра, 2023.
- [11] Авдеева Л.А. Методические принципы оценки экономической эффективности инвестиций в трубопроводный транспорт нефти // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2002. – № 63. – С. 215–221.

Сверхглубокое бурение (на примере Кольской сверхглубокой скважины)

П.С. Пушмин, В.О. Вережкина, В.Т. Шакирова

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия

E-mail: pps@ex.istu.edu

Аннотация. Скважины научного бурения на континентах, как правило, относятся к категориям глубоких (3-7 километров) или сверхглубоких (более 7 километров). В этом отношении с ними можно сопоставить лишь скважины, которые бурятся для поисков, разведки и эксплуатации глубоко залегающих месторождений нефти и газа. Кольская сверхглубокая скважина была заложена в 1970 году. В лучшие годы на Кольской сверхглубокой скважине работало 16 исследовательских лабораторий, их курировал лично министр геологии СССР. В результате была разработана и создана особая исследовательская аппаратура и технология сверхглубокого бурения, которая освещена в данной статье.

1. Введение

Земля как объект исследования доступна для прямого наблюдения только с поверхности. О ее составе и строении можно судить лишь по косвенным данным – в частности, с помощью бурения. Современная техника позволяет бурить скважины на континентах глубиной до 10-15 километров.

С 1970-х годов прошлого века бурение все чаще используется как метод решения фундаментальных научных проблем современной геологии. Сами результаты научного бурения во многом оказались неожиданными и заставили пересмотреть теоретические представления, которые до этого казались очевидными и незыблемыми.

Например, в 1968 году в США было спущено *на воду* специальное буровое судно, и началась реализация международной программы глубоководного бурения в океанах. За более чем тридцатилетнюю историю в Мировом океане пробурили сотни скважин, которые пересекли рыхлые осадки океанского дна и углубились в подстилающие базальты.

Самая глубокая из скважин была пробурена в Тихом океане к югу от берегов Коста-Рики. Ее глубина достигла 2105 метров ниже океанского дна. Океанское бурение открыло новую страницу в геологии, поскольку раньше точных данных о строении дна океанов практически не было.

2. Материалы и методы

В данном исследовании применен аналитический метод, базирующийся на анализе материалов, опубликованных в открытых источниках.

3. Результаты исследования и их анализ

Одна из самых глубоких скважин — Берта Роджерс (9583 метров) — была пробурена в США в 1973-1974 годах всего за 502 дня. Столь высокая скорость проходки обусловлена двумя факторами. Первый – возможности техники. Второй – бурение осуществлялось без отбора керна. Отбор керна требует большого дополнительного времени, но совершенно необходим при научном бурении. По этой причине глубокие и сверхглубокие поисковые и разведочные скважины имеют достаточно ограниченное значение как источники научной информации.

Первая программа систематического сверхглубокого континентального бурения с научными целями разработана и осуществлена в СССР. Основы этой программы были сформулированы еще в 1960-1962 годах. В мае 1970 года на севере Мурманской области в десяти километрах от города **Заполярного** началось бурение Кольской сверхглубокой

скважины. Ее проектную глубину определили в пятнадцать километров. Но достичь ее не удалось. В 1991 году бурение прекратили на глубине 12 261 метров.

Одна из наиболее *сложных технических задач* заключается в том, чтобы обеспечить надежную работу бурового оборудования при высоких температурах, существующих в сверхглубоких скважинах. Это касается металлических деталей, их соединений, смазок, бурового раствора и измерительной аппаратуры. Например, на забое скважины Солтон-Си в США на глубине 3220 метров была зафиксирована температура 355 градусов Цельсия, а в другой скважине, на глубине 1440 метров в одной из молодых вулканических структур на западе США, измеренная температура достигала 465 градусов, что не позволило продолжить бурение даже современными на тот момент техническими средствами, поскольку термостойкость существующего бурового оборудования не превышает 200-300 градусов.

Водные буровые растворы сохраняют технологические свойства до 230-250 градусов. При более высокой температуре приходится переходить на нефтяную основу растворов и применять более сложные смеси.

Таким образом, высокая температура земных недр остается одним из главных факторов, ограничивающих глубину научного бурения.

Серьезные технические трудности связаны с самопроизвольным искривлением глубоких скважин в процессе бурения из-за неравномерного разрушения пород на забое, геологических неоднородностей разреза и других причин. Например, забой Кольской скважины на глубине около 12 километров отклонился от вертикали на 840 метров.

Существуют технические приемы удержания скважины в вертикальном положении. Так, благодаря удачной конструкции специального приспособления скважина *КТБ-Обернфальц* в Германии оставалась до глубины 7500 метров самой вертикальной скважиной в мире. Однако глубже это приспособление вышло из строя из-за высокой температуры и давления, и скважина пошла своим путем. В конечном итоге ствол скважины отклонился от вертикали на 300 м на глубине 9101 метров.

Самые большие проблемы возникают с измерительной аппаратурой, особенно с электроникой, которая отказывает уже при 150 градусов.

Сверхглубокое бурение потребовало создания специальной измерительной аппаратуры, контролирующей условия вдоль ствола и на забое. Малопригодной оказалась обычная технология каротажа с датчиками, которые опускают в скважину на термостойком кабеле. В результате длительных поисков удалось разработать телеметрическую и другую электронную аппаратуру, крепящуюся на буровом снаряде, а также автономные измерительные приборы, которые опускаются вниз и выносятся наверх потоком бурового раствора – то есть сигналы датчиков передаются не по проводам, а гидравлическим способом путем создания импульсов давления в буровом растворе.

Следует отметить, что глубокие и сверхглубокие скважины имеют телескопическую конструкцию. Бурение начинают с самого большого диаметра, а затем переходят на меньшие. Так, в Кольской скважине диаметр с 92 сантиметров в верхней части снизился до 21,5 сантиметров. А в скважине *КТБ-Обернфальц* – с 71 сантиметра до 16,5 сантиметров.

Механическая скорость бурения сверхглубоких скважин составляет 1-3 метра в час. За один рейс между спускоподъемными операциями можно углубиться на 6-10 метров. Средняя скорость подъема колонны буровых труб равна 0,3-0,5 метров в секунду. В целом бурение одной сверхглубокой скважины занимает годы и стоит очень дорого. Например, бурение сверхглубокой скважины в Германии обошлось в 583 миллионов немецких марок.

Кольская сверхглубокая скважина была заложена в 1970 году.

Толщи осадочных пород к тому времени были хорошо изучены при добыче нефти. Интереснее было бурить там, где вулканические породы возрастом около 3 млрд. лет выходят на поверхность (для сравнения: возраст Земли оценивается в 4,5 млрд. лет). Для добычи

полезных ископаемых такие породы редко бурят глубже 1-2 км. Предполагалось, что уже на глубине 5 км гранитный слой сменится базальтовым.

Выбору места для скважины способствовало и то, что здесь находится *печенегский прогиб* – огромная чашеподобная структура, как бы вдавленная в древние породы. Ее происхождение связано с глубинным разломом.

Геологический разрез, построенный на основании данных бурения (стрелки от колонки А к колонке Б указывают, на какой глубине встречены прогнозируемые породы). На этом разрезе верхняя часть (до 7 км) – толща протерозоя со слоями вулканических (диабазы) и осадочных пород (песчаники, доломиты). Ниже 7 км – толща архея с повторяющимися пачками пород (в основном гнейсы и амфиболиты). Ее возраст – 2,86 млрд. лет.

Ствол скважины со многими пробуренными и потерянными стволами (ниже 7 км). Скважина словно извивается, потому что коронка постоянно отклоняется в сторону менее прочных пород.

Проходка до глубины 7 263 м заняла 4 года. Бурение велось серийной буровой установкой «Уралмаш-4Э», которую применяют для бурения скважин при поиске и разведке месторождений нефти и газа.

6 июня 1979 года скважина побила рекорд в 9 583 м., ранее принадлежавший скважине *Берта-Роджерс* (англ.) (нефтяная скважина в Оклахоме).

В 1983 году пробурили 12 066 метров и временно остановились – готовились к Международному геологическому конгрессу, который должен был проходить в 1984 году в Москве.

27 сентября 1984 года бурение было продолжено. При первом же спуске произошла авария – оборвалась буровая колонна. Бурение возобновили с глубины 7 000 м – и к 1990 году новое ответвление достигло глубины 12 262 метра. Колонна снова оборвалась, и бурение было завершено.

С глубины 7 263 метра бурение продолжили установкой с более мощным автоматизированным оборудованием «Уралмаш-15000».

4. Обсуждение

Использование бурильной колонны из лёгких сплавов (стальная просто разорвалась бы от своего веса). Вес колонны составлял около 200 тонн.

Использование турбинного колонкового бурения (турбина длиной 46 метров; твердосплавная коронка диаметром 214 мм; диаметр керна 60 мм). Через все секции турбины проходит керноприемник.

Ресурс одной коронки – приблизительно 4 часа, за это время удаётся пробурить 7-10 метров. В среднем за месяц удавалось пробурить 60 м. На проходку последних 5 км скважины было использовано 50 км труб. Такова степень их износа. На спуск и подъём колонны уходило до 18 часов при автоматическом разборе колонны на секции.

Как правило, поднятый керн рассыпался, так как не выдерживал резкой смены давлений.

До глубины примерно 7 км скважина пересекала прочные, сравнительно однородные породы, и поэтому ствол скважины был ровный, почти соответствующий диаметру бурения.

Однако на глубине 7 км пошли менее прочные трещиноватые, переслаивающиеся с небольшими очень твердыми прослойками породы – гнейсы, амфиболиты. Бурение осложнилось. Ствол принял овальную форму, появилось множество каверн. Участились аварии.

Плотность трещин на большой глубине, вопреки ожиданиям, увеличивалась. На глубине присутствовала также вода, заполнявшая трещины. Температура на большой глубине поднималась почти до 200 градусов. Неожиданным было обнаружение большого количества водорода.

С глубин более 5 км средний выход керна составил только около 30%, а с глубин более 9 км это были порой лишь отдельные бляшки толщиной 2-3 см, соответствующие наиболее прочным прослойкам.

27 сентября 1984 года достигли глубины 12,066 км, приготовились к подъему колонны. Попробовали. Не идет. На таких глубинах уже не раз наблюдались *прихваты* – когда какая-то секция колонны словно прилипает к стенкам.

Чтобы стронуть колонну с места, требуется усилие, превышающее ее вес (около 200 тонн). Так поступили и на этот раз, но колонна не сдвинулась. Немного прибавили усилие, и стрелка прибора резко сбавила показания. Колонна сильно полегчала, такой потери веса при нормальном ходе операции быть не могло. Начали подъем: поочередно отвинчивали одну за другой секции.

При последнем подъеме на крюке висел укороченный кусок трубы с неровным нижним краем. Это означало, что в скважине остались не только турбобур, но и 5 км труб.

На протяжении семи месяцев осуществлялись безуспешные попытки вернуть прихваченный снаряд. После этого попытки были прекращены и начато бурение нового обходного ствола с глубины 7 км. созданием уступа чуть выше потерянной части. Всего в скважине было пробурено 12 таких обходных стволов. Четыре из них – протяженностью от 2 200 до 5 000 м.

Надо сказать, что именно после седьмого километра геологические условия для работы особенно сложны. Бурение, эксплуатация оборудования и аппаратуры идут на предельном режиме.

В этом причина особой длительности последней фазы бурения.

Исследователи выделили в скважине 12 уровней, различаемых по физическим свойствам. Более глубокие уровни, как правило, обладали более высокой *анизотропией*. На средних уровнях высокая анизотропия позволила предположить тектоническую активность слоёв.

На этих образцах керна хорошо видны косые полосы, означающие, что здесь скважина проходила через пласты, расположенные наклонно. Уникальное кернохранилище, где на полках в ящиках в строгом порядке, пронумерованные, разложены керны всей двенадцатикилометровой скважины. Всего таких ящиков на складе порядка 900.

5. Заключение

Задачи, поставленные в проекте сверхглубокого бурения, в целом можно считать выполненными. В частности:

- ✓ разработана и создана особая исследовательская аппаратура и технология сверхглубокого бурения;
- ✓ получена информация о физическом состоянии, свойствах и составе горных пород в их естественном залегании и по керну до глубины 12 262 м. Например, в интервале 1,6-1,8 км были вскрыты промышленные медно-никелевые руды – обнаружен новый рудный горизонт;
- ✓ образцы пород, извлеченных из Кольской скважины с глубины около 3 км, почти полностью соответствует по составу лунному грунту, доставленному советским луноходом;
- ✓ геологический прогноз разреза скважины не оправдался. Картина, которая ожидалась на протяжении первых 5 км, в скважине растянулась на 7 км, а дальше появились совсем неожиданные породы. Прогнозируемых на глубине 7 км базальтов не нашли, даже когда опустили до 12 км;
- ✓ неожиданными, принципиально новыми оказались и данные о процессе рудообразования в глубинных слоях земной коры. Так, на глубинах 9-12 км встретились высокопористые трещиноватые породы, насыщенные подземными сильно минерализованными водами. Эти воды – один из источников рудообразования. Раньше считали, что такое возможно лишь на значительно меньших глубинах. Именно в этом

интервале в керне обнаружили повышенное содержание золота – до 1 г на 1 т породы (концентрация, которая считается пригодной для промышленной разработки);

✓ изменились и представления о тепловом режиме земных недр, о глубинном распределении температур в районах базальтовых щитов. На глубине более 6 км получен температурный градиент 20⁰С на 1 км вместо ожидавшегося (как и в верхней части) 16⁰С на 1 км.

Библиографический список

[1] Герасимов В.О. Проект развития Кольской Сверхглубокой скважины как объект туристского притяжения // География, экология, туризм: научный поиск студентов и аспирантов. – Тверь, ТГУ, 2023. – С. 137–141.

[2] Косарев Я.С. Новые подходы по изучению керна Кольской сверхглубокой скважины // Актуальные вопросы геологии в современном научном мире. – Пермь, ПГНИУ, 2024. – С. 39–42.

Анализ влияния ориентации образцов на прочность цементного камня

Г.С. Гурков, Е.С. Сурменев, А.В. Коротков, Г.Р. Романов

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Е-mail gogagur03@gmail.com, surmen2004@yandex.ru, korotkov@ex.istu.edu,
grom123456@mail.ru

Аннотация. Цементирование скважин является важной частью их строительства, поскольку от этого зависит срок эксплуатации. В процессе твердения цементный раствор под действием гравитации подвержен седиментации. Это является причиной неоднородности цементного камня – образуются горизонтальные слои. Слоистость цементного камня приводит к разности прочностных характеристик в разных частях скважины. Особенно это значимо при креплении наклонно-направленных интервалов – на вертикальном и горизонтальном участках слои располагаются различным образом относительно оси скважины. Целью исследования является выявление зависимости прочностных характеристик от ориентации образца. Объектом исследования выступали образцы-балочки цементного камня размером 40×40×160 мм, сформированные при атмосферном давлении и температуре 30⁰С в горизонтальном и вертикальном положении. По результатам ряда экспериментов по определению прочности выявлены зависимости её величины от положения образца в пространстве при схватывании.

1. Введение

В последние десятилетия проблема выхода из строя скважин стоит наиболее остро. Основной причиной необходимости ремонта или перевода скважин в число неработающих является нарушение целостности цементного камня и как следствие – заколонные перетоки, грифоны, обводнение продукции [1].

В настоящее время большая часть разработок ученых нефтегазового сектора направлена на повышение качества цементирования обсадных колонн на стадии строительства скважин. Скважина является долгосрочным сооружением и при её эксплуатации на цементный камень действуют агрессивные среды, циклически меняющаяся температура, пластовое давление и прочие негативные факторы. В этой связи цементное кольцо должно обеспечивать герметичность скважины на протяжении всего срока её службы [1,2].

Важнейшим требованием к высокоэффективным тампонажным материалам, технологическим свойствам растворов и физико-механическим свойствам образующегося

цементного камня наряду с остальными является обеспечение невысокой, но допустимой стандартом, ранней прочности образующегося камня с повышенной замкнутой общей пористостью [3].

2. Материалы и методы

Объектом исследования служили балки, отлитые с водоцементным отношением 0,44. Навески воды и цемента замешивались в мешалке постоянной скорости, в соответствии с требованиями раздела 4.2 ГОСТ 34532-2019. После заливания в емкость миксера воды, скорость вращения мешалки постепенно увеличивалась до 4 тыс. оборотов в минуту. Затем, в течение 15 секунд к объему воды добавлялся цементный порошок, скорость вращения мешалки доводилась до 12 тыс. оборотов в минуту и поддерживалась в течение 35 секунд. Готовый цементный раствор разливался в заранее подготовленные и смазанные солидолом формы размером 40×40×160 мм. Формы с цементным раствором устанавливались в водяную баню, предварительно нагретую до 30°C, где они находились на протяжении 48 часов. По истечении указанного периода времени формы разбирались для извлечения затвердевших образцов, над которыми проводились испытания на прочность (на сжатие) с помощью гидравлического пресса. Измерение прочности осуществляется путём фиксирования значения нагрузки на образец, достаточной для его разрушения. Для определения влияния ориентации слоев образца на прочность балочки распиливались на четыре равные части размером 40×40×40 мм и проводились испытания.

3. Результаты

В таблицах 1, 2 представлены результаты испытаний на сжатие образцов-балочек с горизонтальной ориентацией формы при схватывании цементного камня. В первом случае слои образца были расположены параллельно приложенной нагрузке (рис. 1. А), во втором – перпендикулярно (рис. 1. Б).

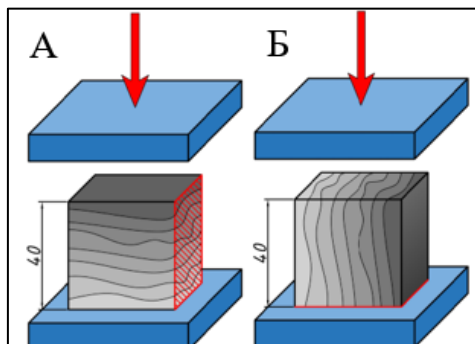


Рисунок 1. Схематичное изображение прикладываемой нагрузки относительно расположения слоев цементного камня, где А – слои образца расположены параллельно приложенной нагрузке, Б – слои образца расположены перпендикулярно приложенной нагрузке

Таблица 1

Результаты измерений прочности на сжатие исследуемых образцов с горизонтальной ориентацией формы при схватывании цементного камня

Предел прочности на сжатие, МПа		
33,932	34,309	34,430
33,750	33,806	33,542

Таблица 2

Результаты измерений прочности на сжатие образцов, распиленных на 4 части с горизонтальной ориентацией формы при схватывании цементного камня

Предел прочности при сжатии, МПа				Среднее значение, МПа
Нагрузка параллельно слоям	24,696	19,969	24,569	23,7425
	29,676	20,629	30,077	
Нагрузка перпендикулярно слоям	-	34,977	29,990	34,7875
	-	34,598	32,323	

Результаты показали, что прочность образца во втором случае была выше. Это объясняется тем, что в первом случае, когда нагрузка была параллельна слоям, некоторые слои образца испытывали меньшее напряжение, что снижало общую прочность образца. Во втором случае, когда нагрузка была перпендикулярна слоям, все слои подвергались равномерному напряжению, что способствовало увеличению общей прочности образца.

В таблице 3, 4 представлены результаты испытаний на сжатие балок с вертикальной ориентацией формы при схватывании цементного камня. Во всех случаях нагрузка была приложена перпендикулярно слоям образца (рис. 1. Б).

В таблице 3 отражены результаты прочности на сжатие половинок балочек, полученных после испытаний на изгиб. Были обозначены верхний и нижний интервалы балочек, согласно их расположению в форме при застывании. При анализе результатов было отмечено, что с увеличением залегания слоев прочность на сжатие возрастает. Для подтверждения этой теории было принято решение на следующем этапе исследования делить балочки на четыре равные части и повторить испытания.

Таблица 3

Результаты измерений прочности на сжатие исследуемых образцов с вертикальной ориентацией формы при схватывании цементного камня

Предел прочности на сжатие, МПа			
Верхняя половина образца	32,636	29,768	32,940
Нижняя половина образца	35,076	35,171	36,423

Таблица 4

Результаты измерений прочности на сжатие образцов, распиленных на 4 части с вертикальной ориентацией формы при схватывании цементного камня

Предел прочности на сжатие, МПа			
Верхняя часть	26,149	26,063	27,430
Верхняя часть середины	29,697	27,750	30,502
Нижняя часть середины	36,811	34,313	37,840
Нижняя часть	37,427	38,192	39,323

По результатам, полученным в ходе испытания, видно, что с увеличением глубины залегания слоев прочность на сжатие возрастает. Это связано с тем, что в процессе формирования цементного раствора возникает явление седиментации, то есть происходит осаждение твердых частиц под действием силы тяжести.

4. Заключение

Высокое качество крепления обсадных колонн в первую очередь характеризуется герметичностью цементного кольца между колонной и породой. Оценка качества крепления обсадных колонн на сегодняшний день является нетривиальной задачей, поскольку существующие методы анализа зачастую демонстрируют противоречивые и взаимоисключающие результаты [4].

Проведенные исследования выявили ряд зависимостей, анализ которых дает основание полагать, что существующие методики исследования цементного камня несовершенны и нуждаются в доработке и корректировке. Для этого авторами планируется проведение ряда дополнительных исследований, в том числе в термобарических условиях.

Библиографический список

- [1] Мелехин А.А., Крысин Н.И., Третьяков Е.О. Анализ факторов, влияющих на долговечность цементного камня за обсадной колонной // Нефтепромысловое дело. – 2013. – № 9. – С. 77-82.
- [2] Грибенников О.А., Черкасова Е.В. Анализ качества крепления эксплуатационных колонн и корректирующие мероприятия для повышения качества// Ашировские чтения. – 2021. – № 1 (13). – С. 56–60.
- [3] Белей И.И., Родер С.А. Особенности разработки и применения тампонажных растворов с расширяющимися добавками для цементирования обсадных колонн // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – М.: ОАО "ВНИИОЭНГ", 2012. – № 10. – С. 40–46.
- [4] Ширяев А.Б. Оценка качества крепления ствола скважины при цементировании обсадных колонн в условиях изменения сечения ствола скважины / А.Б. Ширяев, Ю.Л. Логачев // Евразийский союз ученых. – 2015. – № 10-3(19). – С. 83–88.

Разработка системы бурового раствора с целью повышения эффективности строительства эксплуатационных скважин с горизонтальным окончанием

М.Н. Котякова, Д.П. Потапов, Г.Р. Романов

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Email: mkotyakova03@gmail.com, potapoff.mitya2012@yandex.ru, grom123456@mail.ru

Аннотация. В результате исследований была разработана новая система буровых растворов, отвечающая современным требованиям бурения и вскрытия горизонтальных скважин, не уступающая по эффективности биополимерным растворам. Промысловые испытания показывают, что разработанные растворы технологичны в применении, легко модифицируются, позволяя регулировать их свойства в достаточно широких пределах с использованием традиционного оборудования.

1. Введение

Строительство эксплуатационных скважин является важным этапом в освоении нефтяных и газовых месторождений. Буровые растворы играют ключевую роль в обеспечении эффективности данного процесса, поскольку они обеспечивают стабилизацию стенок скважины, предотвращают возникновение осложнений и обеспечивают качественное выполнение геофизических исследований. В связи с этим, разработка новых систем буровых растворов является актуальной задачей для обеспечения максимальной производительности и

качества строительства скважин. В настоящее время строительство эксплуатационных скважин, особенно с горизонтальным окончанием, является важной и актуальной задачей в нефтегазовой отрасли. Бурение таких скважин позволяет увеличить продуктивность месторождений, а также снизить затраты на разработку новых участков. Однако, для обеспечения максимальной эффективности процесса бурения, необходимо использовать передовые технологии и материалы.

Одним из ключевых элементов, обеспечивающих успешное бурение скважин, является система бурового раствора. Разработка эффективной системы бурового раствора позволяет решить ряд задач, включая очистку ствола скважины от выбуренной породы, поддержание стабильности стенок скважины, предупреждение прихвата инструмента и контроль гидростатического давления в скважине.

2. Материалы и методы

В исследовании применены следующие методы:

1. Промысловые испытания
2. Специальные методики проведения исследований
3. Расчёты различных процессов в стволе горизонтальной скважины
4. Добавление поверхностно-активных веществ (ПАВ)
5. Рассмотрение различных составов на основе жирных кислот касторового или лёгкого таллового масла, алкилсиликоната натрия и полиэтиленгликоля.

3. Результаты исследования и их анализ

В современном мире существует множество различных технологий бурения скважин, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки. Выбор конкретной технологии зависит от множества факторов, таких как геологические условия, глубина скважины, требуемая производительность и т.д.

Одной из наиболее распространенных технологий бурения является роторное бурение. Этот метод предполагает использование вращающегося бурового долота, которое разрушает породу и выносит ее на поверхность с помощью промывочной жидкости. Роторное бурение позволяет бурить скважины большой глубины и диаметра, а также обеспечивает высокую скорость проходки.

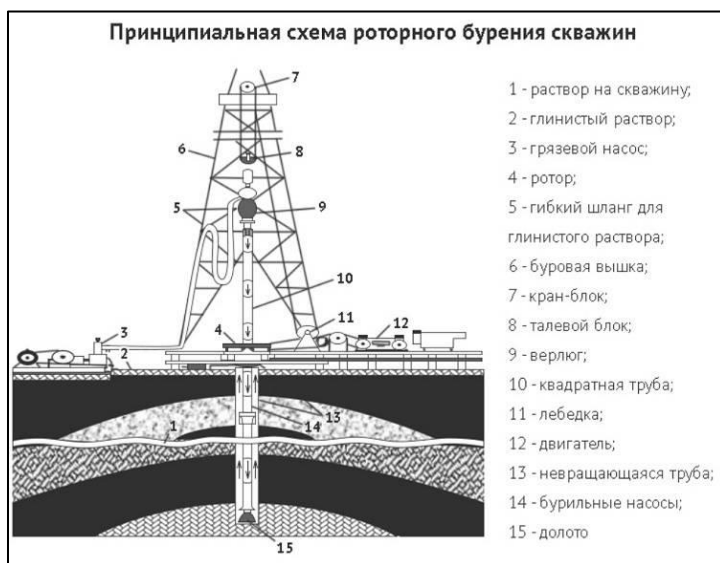


Рисунок 1. Роторное бурение

Другой технологией бурения является бурение с использованием винтовых забойных двигателей. В этом методе буровое долото соединяется с двигателем, который находится на забое скважины. Забойный двигатель приводит в движение буровое долото, которое разрушает породу и выносит ее на поверхность. Бурение с забойными двигателями позволяет снизить расход промывочной жидкости и уменьшить загрязнение окружающей среды. Однако этот метод не позволяет бурить скважины большого диаметра и глубины.



Рисунок 2. Винтовой забойный двигатель

Еще одной технологией бурения является направленное бурение. Этот метод позволяет бурить скважины под заданным углом и в заданном направлении.

Направленное бурение используется для бурения скважин на нефть и газ, а также для прокладки трубопроводов и кабелей.

Таким образом, выбор технологии бурения зависит от многих факторов и должен быть сделан на основе анализа всех возможных вариантов.

Как и в любой другой области, в бурении скважин существуют различные технологии, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки. Например, роторное бурение является одним из самых распространенных методов, так как оно позволяет бурить глубокие и широкие скважины с высокой скоростью проходки.

Выбор технологии бурения зависит от многих факторов, таких как глубина скважины, геологические условия и требуемая производительность. Поэтому, прежде чем выбрать технологию бурения, необходимо провести анализ всех возможных вариантов и определить, какая из них наиболее подходит для конкретного проекта.

▪ **Исследование свойств различных материалов для создания бурового раствора, включая наночастицы и другие инновационные материалы**

Буровой раствор является ключевым элементом процесса бурения скважин. Он выполняет множество функций, таких как очистка ствола скважины, поддержание стабильности ее стенок, предотвращение прихвата инструментов и контроль гидростатического давления.

Наночастицы представляют собой частицы размером менее 100 нанометров. Они обладают уникальными свойствами, такими как высокая удельная поверхность, низкая токсичность и высокая реакционная способность. В связи с этим наночастицы могут быть использованы для создания новых материалов для буровых растворов с улучшенными свойствами.

Инновационные материалы — это материалы, которые обладают уникальными свойствами и могут быть использованы в различных отраслях промышленности, включая бурение скважин. К таким материалам относятся биополимеры, нанокompозиты, углеродные нанотрубки и многие другие.

В рамках исследования свойств различных материалов для создания бурового раствора были проведены эксперименты с использованием наночастиц и инновационных материалов. В ходе экспериментов были определены оптимальные параметры бурового раствора и его свойства.

Результаты экспериментов показали, что использование наночастиц в составе бурового раствора может улучшить его свойства, такие как вязкость, плотность и другие. Также было установлено, что использование инновационных материалов, таких как биополимеры и нанокомпозиты, также может улучшить свойства бурового раствора.

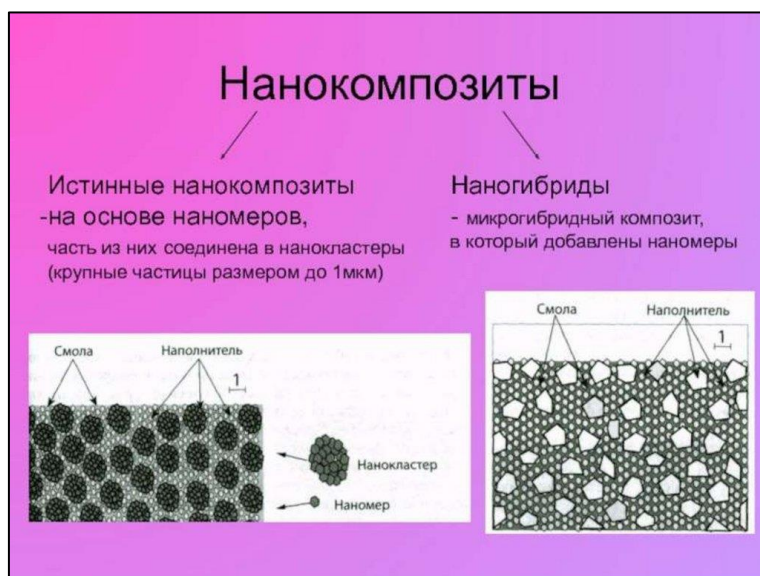


Рисунок 3. Виды нанокомпозитов

Использование наночастиц и инновационных материалов в составе буровых растворов может существенно улучшить их свойства и сделать процесс бурения более эффективным и безопасным.

Вот некоторые составы высокоэффективных экологически безопасных смазочных добавок на основе жирных кислот растительного происхождения:

- **Серия «ФК» и «ФК-2000».** Смазочные добавки на основе фосфатидов, эфиров и калиевых солей жирных кислот растительных масел.
- **«Биолуб Green™».** Композиция на основе растительных масел и производных жирных кислот. Применяется для обработки буровых растворов на водной основе с целью снижения внутрискважинных сил трения, уменьшения и профилактики прихватаопасных ситуаций при проводке вертикальных, наклонно направленных скважин.
- **Определение оптимальных параметров бурового раствора, таких как плотность, вязкость, pH и содержание добавок.**

Важным аспектом исследования свойств различных материалов для создания бурового раствора является определение оптимальных параметров раствора. Эти параметры включают в себя плотность, вязкость, уровень pH и содержание различных добавок.

Плотность бурового раствора — это масса единицы объема раствора. Она влияет на способность раствора удерживать частицы породы во взвешенном состоянии и предотвращать их оседание на стенки скважины. Оптимальная плотность раствора зависит от геологических условий и глубины скважины.

Вязкость бурового раствора – это свойство, которое определяет его способность сопротивляться течению. Чем выше вязкость раствора, тем лучше он удерживает частицы породы во взвешенном состоянии.

Уровень pH бурового раствора влияет на его коррозионную активность и стабильность. Оптимальный уровень pH раствора должен быть близок к нейтральному (pH=7). Если уровень pH слишком низкий, раствор может быть коррозионно-активным и повредить оборудование. Если уровень pH слишком высокий, раствор может стать нестабильным и потерять свои свойства. Добавки могут включать в себя полимеры, глины, смазывающие добавки и другие материалы.

Параметры бурового раствора	
Плотность	определяет гидростатическое давление на забой и стенки скважины столба бурового раствора. Не должна превышать давления гидроразрыва и давления поглощения пласта.
Условная вязкость	величина характеризующая сопротивление течению и, в тоже время, определяющая эффективность очистки забоя. Должна находиться в зоне оптимальных значений.
Водоотдача	величина количества фильтрата бурового раствора, выделяющегося при создании нагрузок на буровой раствор. Должна быть минимальна.
СНС	усилие, при котором начинается разрушение структуры, отнесенное к единице площади. Должно быть минимальным, но достаточным для удержания шлама в растворе.
Содержание твердых примесей	количество твердых примесей в буровом растворе. Должно быть минимальным. Характеризует абразивную составляющую бурового раствора.
ДНС	динамическое напряжение сдвига. С ростом показателя растет выносная способность бурового раствора при всех прочих равных условиях.
pH	щелочность бурового раствора. С ростом показателя растет опасность неустойчивости стенок скважины, снижение естественной проницаемости пластов, химическое диспергирование глин.

Рисунок 4. Параметры бурового раствора

Новая система буровых растворов, отвечающая современным требованиям бурения и вскрытия горизонтальных скважин, может включать следующие компоненты:

- жирные кислоты касторового или лёгкого таллового масла;
- алкилсиликонат натрия;
- полиэтиленгликоль.

Такие растворы обладают комплексом свойств, требуемых для горизонтального бурения:

- работоспособны в широком диапазоне концентраций и температур;
- обеспечивают высокую степень ингибирования глинистой фазы и низкую фильтрацию;
- имеют требуемые поверхностно-активные свойства фильтратов, позволяя сохранять естественную проницаемость коллекторов.

Разработка методов контроля за процессом бурения с использованием систем GPS и других технологий.

В рамках исследования свойств различных материалов для создания бурового раствора также необходимо разработать методы контроля за процессом бурения. Для этого можно использовать системы GPS, которые позволяют отслеживать положение буровой установки в режиме реального времени. Также можно использовать другие технологии, такие как лазерные сканеры и датчики давления, чтобы получить более точную информацию о процессе бурения.

1. Системы GPS. Системы глобального позиционирования (GPS) используются для определения местоположения буровой установки и контроля за ее перемещением. С помощью GPS можно определить координаты буровой установки с высокой точностью и в режиме реального времени.

Для контроля за процессом бурения используются и другие технологии:

- Система GPS. Используется для определения координат буровой установки и контролировать ее перемещение.
- Лазерные сканеры. Лазерные сканеры позволяют получать трехмерную модель местности вокруг буровой установки, что позволяет контролировать процесс бурения на большой глубине и предотвращать аварийные ситуации.
- Датчики давления. Используются для измерения давления в скважине и контроля за состоянием бурового раствора.

Таким образом, контроль за процессом бурения является важным этапом в процессе бурения. Использование различных систем, включая GPS, датчики давления и лазерные сканеры, позволяет контролировать процесс бурения и обеспечивать его безопасность.

4. Обсуждение

В современном мире, в условиях активного освоения новых месторождений нефти и газа, вопрос об эффективности и безопасности буровых растворов приобретает все большее значение. Буровой раствор является важным компонентом процесса бурения скважин, так как он обеспечивает стабилизацию ствола скважины, охлаждение и смазывание бурового инструмента, а также удаление шлама из скважины. Перед тем как новая система бурового раствора была внедрена на практике, она прошла ряд испытаний в лабораторных условиях. В ходе этих испытаний были определены основные характеристики раствора, такие как вязкость, плотность, водоотдача, фильтрационные свойства и коррозионная активность. Также были проведены испытания на устойчивость к воздействию высоких температур и давлений, а также на совместимость с различными породами. Результаты испытаний показали, что новая система бурового раствора обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными системами. Прежде всего, она обладает более высокой вязкостью, которая позволяет лучше стабилизировать ствол скважины и предотвращать его осыпание. Кроме того, новая система имеет более низкую водоотдачу, что снижает риск возникновения проблем, связанных с потерей циркуляции раствора в скважине. Также было отмечено, что новая система обладает хорошей совместимостью с различными типами пород, что позволяет использовать ее в широком диапазоне условий бурения. Кроме того, она устойчива к воздействию высоких температур, что делает ее более предпочтительной для использования в глубоких скважинах. Новая система бурового раствора уже начала использоваться на ряде месторождений нефти и газа. В результате ее применения было отмечено снижение износа бурового оборудования, увеличение скорости бурения и снижение затрат на ремонт и обслуживание скважин.

5. Заключение

Таким образом, на основании результатов экспериментальных испытаний можно сделать вывод о высокой эффективности новой системы бурового раствора. Она обладает улучшенными характеристиками по сравнению с традиционными системами, что позволяет

повысить безопасность и эффективность процесса бурения скважин. Дальнейшее применение данной системы на практике подтверждает ее эффективность и перспективность для использования в нефтегазовом секторе.

Библиографический список

- [1] Бурение наклонных, горизонтальных и многозабойных скважин / А.С. Повалихин, А.Г. Калинин, К.М. Бастриков [и др.]. – Москва: ЦентЛитНефтеГаз, 2011. – 645 с.
- [2] Бурение и опробование разведочных скважин : учеб. пособие для студентов по спец. «Технология и техника разведки месторождений полезных ископаемых» / В.И. Власюк, А. Г. Калинин, А. А. Анненков. - Москва : ЦентЛитНефтеГаз, 2010. – 860 с.
- [3] Бурение скважин : учеб.пособие для вузов / В.В. Нескоромных, М-во образования и науки РФ, Сиб. федер. ун-т, Сиб. эксперт. клуб. – М. : ИНФРА-М ; Красноярск : СФУ, 2015. – 351 с.
- [4] Бурение нефтяных и газовых скважин : учеб. для вузов по спец. «Технология и комплекс. механизация разраб. нефтяных и газовых месторождений» / Н.Г. Середа, Е.М. Соловьев. – 3-е изд., стер. – М. : Альянс, 2011. – 453 с.;
- [5] Технология бурения нефтяных и газовых скважин. Том 5 [Электронный ресурс] : учебник. – Тюмень :ТюмГНГУ, 2014. – 322 с.

Проблема с пластовой водой при эксплуатации на установке переработки нефти (УПН) на месторождениях Восточной Сибири

А.С. Тетерина, М.А. Файзулина, Д.В. Ильченко, Ж.Ц. Бадмаев, К.Г. Кожевников
Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия
E-mail: teterinaa314@gmail.com

Аннотация. Проблема с пластовой водой при эксплуатации на установке переработки нефти на месторождениях Восточной Сибири представляет серьезное вызов для нефтегазовой промышленности в данном регионе. В данной статье выявляются основные проблемы, связанные с ее наличием на установке по переработке нефти. Анализируются методы обработки, очистки и утилизации пластовой воды в условиях Восточной Сибири, включая технологии водоподготовки и способы повторного использования. Представляются результаты исследований, а также предлагаются рекомендации по снижению негативного воздействия пластовой воды на процессы переработки нефти с целью оптимизации производственных процессов и сокращения экологического воздействия на окружающую среду.

1. Введение

В настоящее время при эксплуатации объекта установки подготовки нефти (УПН), установка подготовки сернистой нефти и газа (УПСНГ), существует проблема с наличием промежуточного слоя (промслоя) в технологических резервуарах, содержание которого меняется и составляет от 100 кубов до 1000 кубов в каждом резервуаре. Метод подготовки данного продукта неэффективный (сбор, отстой и вывоз на утилизацию). Данный промежуточный слой содержит в себе нефтепродукты. При этом наличие промслоя осложняет процесс водоподготовки пластовой воды, усложняет процесс учёта добытого углеводородного сырья (УВС).

2. Материалы и методы

В исследовании применены причины появления промысловой воды, технологии по очистке пластовой воды на УПН, сравнительный анализ различных методов работы с пластовой водой и их эффективность.

3. Результаты исследования и их анализ

Основная причина сероводородный фонд, поступающий на УПСНГ. В пробе на входе установки содержится от 2% до 15% промежуточного слоя, схема образования и движения промслоя наглядно представлена на рисунке 1. Суммарно за год с добывающего фонда поступает 146000 тыс. куб метров прослая, в результате длительных отстоев, данный объём превращается в стойкую эмульсию объёмом 2300 куб. Также в причины можно отнести отсутствие на УПСНГ технологической схемы водоподготовки, существующие аппараты представляют собой обычные емкостные аппараты без каких либо конструктивных особенностей, позволяющих проводить очистку пластовой воды до приемлемого качества. Также существующие на объекте отстойники не предназначены для очистки пластовой воды с содержанием нефтепродуктов выше 50 мг/дм³, при этом на вход аппаратов для доочистки пластовой воды с УПСНГ приходит пластовая вода с примесями и нефтью с содержанием нефти до 2% и содержанием промежуточного слоя. Технические характеристики данных сосудов приведены в таблице 1, и они не соответствует для должной водоподготовки.

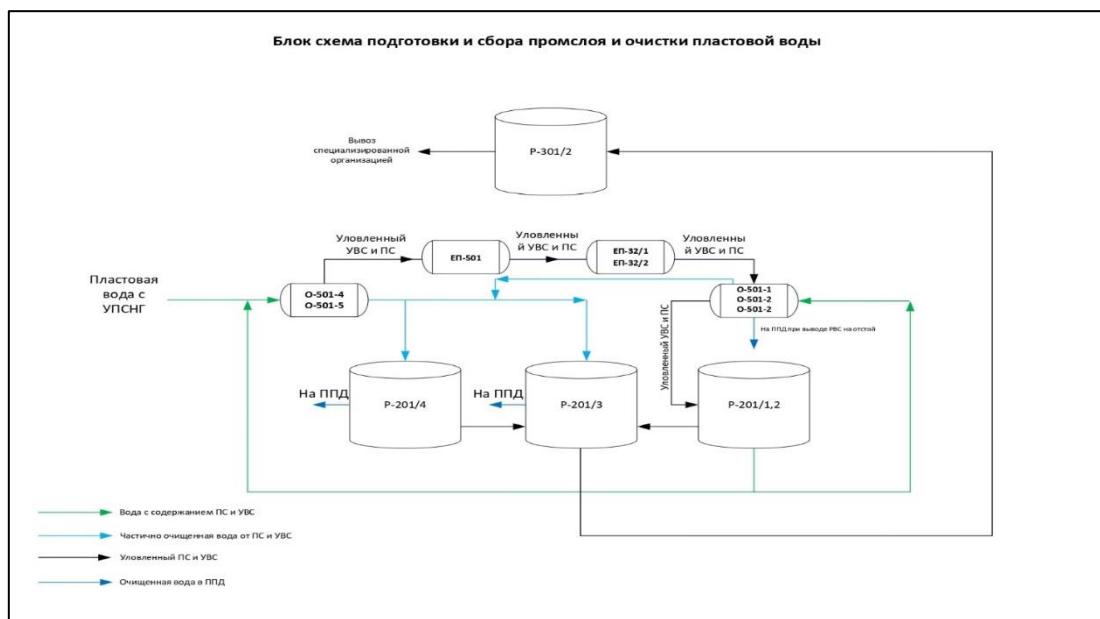


Рисунок 1. Блок-схема существующего процесса

Таблица 1

Техническая характеристика отстойников		
Техническая характеристика		
1	Аппарат предназначен для хранения пластовой воды	
2	Давление рабочее, МПа (кгс/см ²)	Корпус- не более 0.98(9.8)
		Подогреватель-не более 2.5(25)

3	Давление расчетное, МПа (кгс/см ²)	1.0(10)
4	Давление гидроиспытания, МПа (кгс/см ²)	Корпус- не более 1.4(14) Подогреватель-не более 3.8(38)
5	Испытательная среда и продолжительность испытания, мин.	Вода,30
6	Температура испытательной среды, °С	5-40
7	Расчетная температура, °С	100
8	Максимально-допустимая рабочая температура стенки, °С	100
9	Минимально-допустимая рабочая температура стенки, °С	-60
10	Прибавка на коррозию, мм	2
11	Номинальный объем аппарата, м ²	200
12	Максимально-допустимая рабочая температура среды, °С	Корпус- 40 Подогреватель-300
13	Минимально-допустимая рабочая температура среды, °С	Корпус-0 Подогреватель-1
14	Допускаемое число циклов нагружения	не более 1000
15	Аппарат может устанавливаться в районах с сейсмичностью	Не более 6 баллов
16	Класс герметичности по ОСТ 26.260.14-2001	5

За 1 год накапливается 2300 промслоя, половина утилизируется без извлечения УВС, отсутствует технология и оборудование. После всего цикла отстоя в данной эмульсии содержится 14% нефти, результат лабораторных испытаний при отгонке на центрифуге. Осложнения водоподготовки, ввиду большого содержания промслоя (оборудование УПН не предназначено для подготовки и отстоя средней фазы (промслой, нефтешлам, времени отстоя недостаточно). Качество воды составляет от 50 мг/дм³ до 0,1% в пересчёте на год потери по нефти составляют 800 (при максимально достигнутом качестве подтоварной воды 150 мг/дм³) тонн в год, при этом качество подтоварной воды при проведении процессов сбора и отстоя составляет до 0,5% УВС, это дополнительно 900 тонн нефти в год по причине неудовлетворительного качества пластовой воды. 322 тонн невозвратных потерь при утилизации стойкой эмульсии после отстоя в Р. Дополнительные затраты по сбору и транспортировку стойкой эмульсии звеном ООО «ГТС» в количестве 5 млн. в год на перекачку с резервуара в резервуар и на утилизацию [8].

Реализуемые цехом подготовки и перекачки нефти и газа (ЦППНГ) мероприятия по увеличению времени отстоя, путём модернизации резервуара под пластовую воду и дальнейшее разделение очищаемой воды УПСНГ и УПН позволит улучшить ситуацию с качеством подтоварной воды ровно до того момента пока не начнётся реализация

строительства сетей для завод неорганической химии (ЗНХ). Воды станет в два раза больше и по технологическим решениям, вода будет снова объединена в одном РВС. Например, сейчас скорость обновления среды в резервуаре составляет 6 раз в сутки, чего совершенно недостаточно. После реализации мероприятий и ввода в цикл составит 3 раза в сутки. При запуске ЗНХ скорость обновления будет 10 раз в сутки. Так как придётся один резервуар держать под водой для ЗНХ, другой после ЗНХ. При этом вопрос потерь УВС с нефтешлама (промслоя) остаётся открытым.

4. Обсуждение

Для полного разделения и подготовки пластовой воды и дальнейшей утилизации образованного продукта (промлой-нефтешлам) необходимо организовать технологическую линию, которую возможно организовать в перспективе с помощью существующего оборудования и дополнительной мобильной установки для утилизации шлама [6].

Для полного разделения необходимо организовать и спроектировать следующую линию: Сбрасываемую с УПСНГ пластовую воду направить в резервуар вертикальный стальной (РВС), так как пластовая вода очищается дополнительно в отстойниках (О) то уловленный УВС и (промлой-нефтешлам) направляется в технологический резервуар (Р) и далее круговорот по установке УПН, от чего нужно уйти [4]. Предлагается уловленную эмульсию направить по трубопроводу в Р (сейчас используется для накопления и сбора промслоя-нефтешлама). С РВС организовать забор отстоянного промслоя в РВС, забор организовать по трубопроводу с применением насоса типа НШ для агрессивных сред [3].

Так как на объекте разработки аппараты О технически не способны тщательно отделить нефтепродукты, необходимо провести их модернизацию, а именно убрать существующие внутренние устройства и смонтировать коалисцирующие элементы. Практика подобных работ по замене внутренних устройств СРД имеется (замена внутренних устройств в сепараторах первой ступени УПН импульсный нейтронный метод (ИНМ), для улучшения сепарации газа). По мере отстоя и накопления собирать насосом чистую с самого верха нефть. Дополнительно обвязать выход с Р на насосную пластовую воду для ЗНХ. Главное исключить смешение воды с УПСНГ, так как снизится время отстоя, в результате чего содержащиеся мехпримеси (сульфиды и др.) будет уносить на ЗНХ. А для утилизации и переработки самого нефтешлама использовать следующий процесс, сбор частично отстоянного промслоя-нефтешлама (НШ) забирать насосом НШ и направлять по трубопроводу (трубопровод труба в трубе, в котором организовать циркуляцию тепло спутника для нагрева среды, с целью более качественной прокачки за счёт снижения вязкости, и для процесса улучшения дальнейшей сепарации) далее продукт направить в трёхфазный сепаратор трикантер (центрифуга), который будет разделять три среды, остатки нефти, примеси, воду. нефть возвращать на УПН, остатки на сжигание во вращающуюся печь [1].

Для реализации данного решения нужна сама мобильная установка по утилизации, два трубопровода, и переоборудование внутренних устройств резервуаров. Модернизация двух аппаратов О. Два насоса НШ для агрессивных сред. Плюс усиленное антикоррозионное покрытие для резервуара. Практика накопления и длительного хранения данного продукта РВС приводит к затяжным ремонтам РВС. Два раза проводился внеплановый ремонт (простой оборудования, замена листов РВС, АКЗ) [2].

Либо также вывозить на утилизацию специализированной организацией, но предварительная сепарация в сепараторе трикантере так или иначе нужна. Можно включить дополнением к ТЗ по сетям ЗНХ [5].

На рисунке 2 показана предлагаема схема по очистке пластовой воды.

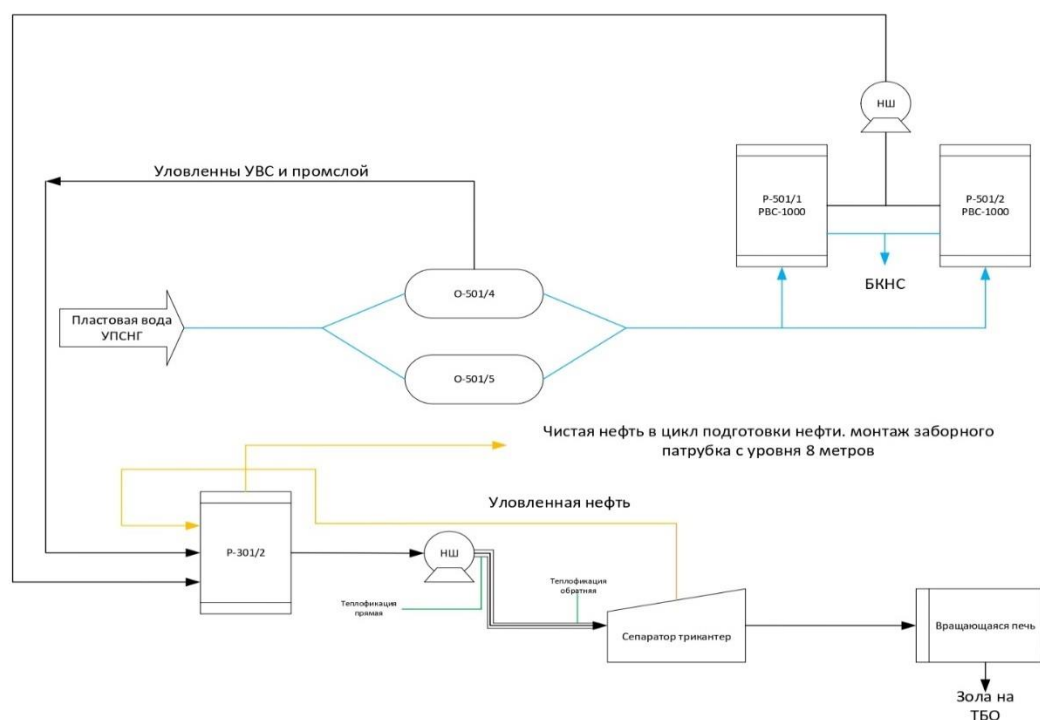


Рисунок 2 Предлагаемая схема по очистке

5. Заключение

Снижение настоящих потерь, минимум 322 тонны нефти в год и потери по причине высоких нефтепродуктов в системе поддержания пластового давления (ППД), а это при расчёте на качество 150 мг/дм³ 800 тн в год, затраты на утилизацию шлама, а это бизнес-процесс, состоящий из 3 человек и автоцистерны минимум 5 млн/год. Устранение причины будущих проблем завода неорганической химии, который будет использовать сырьё с УПН. Снижение нагрузки с оперативного персонала УПН, процесс трудозатратен, нет для этого стационарных линий, используются мембранный насос на шлангах высокого давления и многократные технологические переключения. Уберём затраты на внеплановую зачистку подземных емкостей (ЕП). (четыре внеплановые зачистки в год, так же дополнительно уберём работы крановой установки, насос 1 раз в месяц подлежит подъёму и чистке). Мобильная установка по утилизации нефтешлама также предназначена для утилизации продуктов зачистки аппаратов и емкостей, перерабатывать загрязнённый нефтепродуктами грунт[7]. Нефтешлам накапливается и на других объектах. Образованный зольный остаток захоранивается, либо золошлаковые отходы (ЗШО) можно использовать в производстве бетона, дорожном строительстве, могут быть использованы взамен песка и цемента [4]. Практика в России данных решений достаточная. Организация такого решения уберёт множество проблем. Увеличение срока службы насосного оборудования УПН. За прошедший год суммарно накоплено 2300 куб. промежуточного слоя, уже с учётом времени отстоя и сбора отстоявшейся нефти результат анализа в точке забора на утилизацию составляет 14% нефтепродукта, который мы не можем извлечь и не можем продолжать отстаивать, так как возникает необходимость наполнения РВС ввиду накопления в водяных и технологических РВС следующей партии промежуточного слоя.

Библиографический список

- [1] Мухамадуллина А.М., Абызгильдина С.Ш. Механизм процессов образования, стабилизации и разрушения нефтяных эмульсий // Материалы 67-й науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых: В 2 Кн. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2016. – Кн. 1. С. 271-272
- [2] Инсинератор для обезвреживания отходов. Вращающаяся печь. – URL: <https://zaobt.ru/videos/insinerator-dlya-obezvrezhivaniya-otxodov-vrashhayushhayasya-pech-2>
- [3] Куцуев К.А. Электронная библиотека диссертаций : специальность 05.17.07 «Химия и технология топлив и специальных продуктов» : автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук / Куцуев Климентий Анатольевич ; Уфимский государственный нефтяной технический университет. – Уфа, 2003. – 24 с
- [4] Соколов Л.И. Переработка и утилизация нефтесодержащих отходов. М.: Инфра-Инженерия, 2017.
- [5] Сбор и подготовка скважинной продукции. Методические указания к практическим занятиям для студентов специальности 21.05.06 «Нефтегазовая техника и технологии» / сост. Г.Ю. Коробов, А.Н. Паляницина. – СПб., 2021. – 61 с.
- [6] Водоочистка. Средства и методы. – М.: ИПК «Издательство стандартов».
- [7] Ахметов, А.Ф., Гайсина, А.Р., Мустафин, И.А. Методы утилизации нефтешламов различного происхождения // Нефтегазовое дело. – 2011. – №3.
- [8] Экологические решения для нефтесодержащих отходов ООО «ГТС». – URL: <https://nefteshlamov.net/>

Увеличение производительности технологии бурения карбонизированных песчаников

И.А. Иванов, М.П. Бритт, А.С. Офицеров, Т.А. Холмирзоев, К.Г. Кожевников, Г.Р. Романов
Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия
E-mail kosmos@istu.edu

Аннотация. В работе рассмотрен эффективный способ разрушения горных пород на забое в наклонно-направленных и искривленных скважинах. Произведен обзор технологии и техники резонансного бурения. Также представлены итоги численного анализа и представлены методы реализации технологии.

1. Важность

Многие зачастую встречаются с задачей проходки в горизонтальном стволе. Решение же не всегда возможно определить и приходится тратить драгоценное время на строительство. Следовательно важность предоставленной темы – найти технологии по увеличению проходки на сложных участках горизонтального ствола, где находятся карбонизированные песчаники.

Карбонизированные песчаники – это песчаники с содержанием карбонатного цемента, который делает его прочным и абразивным тем самым резко ухудшая проходку, и увеличивая потери времени в несколько раз. Решение же этой задачи можно достигнуть за счет применения взамен статической нагрузки, динамическую. Для создания этой нагрузки можно использовать различные методы.

2. Способы создания динамической нагрузки

Для бурения твердых пород в горизонтальном стволе трудно повысить проходку, соответственно, нужно создать свежие технологии, чтобы преодолеть имеющееся трудное положение. Данные замеров во время бурения показывают, что вибрация при проскальзывании может вызывать нешуточные колебания скорости и крутящего момента при глубоком бурении в трудных пластах. Для ограничения вибрации при проскальзывании за

последние несколько лет было создано немного типов технологий породоразрушающего бурения и новых инструментов (например, свежее устройство для резонансного бурения, роторно-ударное бурение, инструменты для крутильного ударного бурения, ультразвуковой виброударник, гидравлические осциллирующие ударные устройства, а также импульсные виброударники). Перечисленные способы ударного бурения превосходят остальные технологии бурения при бурении твердых пород.

Первоначально направленность удара гидравлических ударных устройств в основном осевое. При бурении в твердом и хрупком пласте осевое ударное бурение может повысить глубину резания и привести к образованию наибольшего количества шлама. Впрочем, при бурении в мягком пластичном пласте возвратно-поступательное осевое воздействие приведет к уплотнению пласта, а осевые ударные элементы мешают вторжению долота в более глубокий пласт. Способность истирать породу в окружном направлении также ограничена. После этого разрабатывается режим торсионного удара для повышения производительности резания окружной породы вокруг стенки скважины. На самом деле, взаимодействие между долотом и ударным элементом сильно важно для инструментов для бурения с крутильным ударом. Ударный режим как обычного роторно-ударного, так и торсионно-ударного бурения показывает однополярность. Впрочем, ради одномерного ударного бурения в мягких породах и переслаивающихся породах сохраняются отдельные проблемы и ограничения. Каждый метод по-своему уникален, однако все схожие параметры перечислены выше.

3. Резонансное бурение

С увеличением глубины скважины твердость породы увеличивается, что приводит к тому, что породу будет нелегко разбить. Поэтому представлено бурение с резонансным усилением в качестве одной из новых эффективных технологий бурения для повышения производительности бурения.

Направленное бурение обширно применяется при бурении нефтяных и газовых скважин по всему миру, таких как горизонтальные скважины, скважины с большим отклонением и скважины с расширенным охватом. Однако при наклонно-направленном бурении, особенно в горизонтальных скважинах, появляется множество проблем, таких как большое сопротивление трению, непростая передача веса на долото и низкая скорость проходки. Траектории наклонно направленных скважин становятся все больше нерегулярными и глубокими; бурение горизонтальных скважин, скважин с расширенным охватом и скважин с немалым отклонением столкнется с еще большими проблемами. Если траектория на горизонтальном участке довольно длинная, то свой вес буровых инструментов и сопротивление трению станут неимоверно большими; в результате колебания не могут быть качественно переданы из-за большого сопротивления трению, вызванного контактом между бурильной колонной и стенкой скважины. Изгиб также будет происходить в бурильной колонне под действием колебаний и сопротивления трения.

Основное внимание уделяется технико-экономическому обоснованию бурения с резонансным усилением, представлены результаты численного анализа и презентованы методы реализации технологии. Прodelываются два вида численного моделирования, включая модальный анализ и анализ гармонии горных пород и индентор. Кроме того, частота возбуждения оптимизируется в соответствии с практическими условиями эксплуатации для анализа того, является ли. Может быть достигнуто бурение с усилением резонанса. Наши исследования подтверждают, что как горная порода, так и буровое долото могут быть резонансными, и существуют разные резонансные частоты и режимы вибрации в разных порядках, которые связаны исключительно с присущими им характеристиками. Кроме того, если пробуренная порода представляется резонансной и легко разрушается, буровое долото не будет разрушено. В результате может быть достигнуто бурение с усилением резонанса и оптимизация частоты возбуждения — это резонансная частота пробуренной породы.

Впрочем, бурение с резонансным усилением все еще находится на стадии лабораторных исследований, многочисленные исследователи приложили усилия для его изучения. Проведено множество исследований по бурению с резонансным усилением и показал, что скорость проникновения в 10 раз выше, чем при традиционных способах бурения. Предлагаем свежий метод передачи колебательной энергии от высокочастотных низкоамплитудных механических колебаний к низкочастотным высокоамплитудным механическим колебаниям с целью ударного бурения. За этим исследованием проведено моделирование системы виброударного бурения и представили итоги численного анализа и сравнения двух выбранных моделей, которые представляли собой недавно разработанную модель существующей экспериментальной установки и упрощенная низкоразмерная модель соответственно. В последние годы для обеспечения будущей осуществимости технологии было использовано улучшенное вращательное бурение с применением резонанса. Резонансный молоток бурение исследуется для бурения твердых пород с помощью рис-gio университет и csiro petroleum. . Механизмы разрушения горных пород этой технологии были изучены как теоретически, так и экспериментально.

Основываясь на принципе наименьшего действия, было предложено уравнение микровибрации породы ради анализа воздействия частоты ударов буровых инструментов, собственной частоты породы и других факторов на разрушающий эффект породы. Затем было введено моделирование вибрационного отклика породы на гармонический удар и были представлены итоги численного анализа и экспериментов в помещении. Может быть внедрена улучшенная технология бурения.

4. Обзор технологии

Поскольку преимущественно значительной предпосылкой является то, что пробуренная порода может резонировать, проводится модальный анализ породы для нахождения резонансной частоты породы. Кроме того, буровое долото не должно резонировать, когда резонирует порода, поэтому также проводится модальный анализ индентора. В порядке чтобы оптимизировать частоту возбуждения, проводится анализ гармоник для доказательства резонансных частот породы и индентора в реальных условиях эксплуатации. Наконец, предложены методы реализации технологии бурения с резонансным усилением.

5. Модальный анализ породы

Резонанс горных пород является необходимым условием для резонанса. Улучшенное бурение. Чтобы выяснить, может ли горная порода и буровое долото быть резонансными и какова их резонансная частота, проводится моделирование с использованием модуля модального анализа ansys для расчета их резонансной частоты. в моделировании тип элемента выбирается как камень. Камень моделируется в виде куба размером 300 мм × 300 мм × 300 мм.

При моделировании выбираются три типа горных пород, а именно песчаник, известняк и песчаник с карбонатным цементом. Главные физические параметры горных пород представлены в таблице 1, а образец сетки для горных пород показан на рисунке 1.

Таблица 1

Основные физические свойства пород

Название породы	Модуль упругости	Сила трения	Плотность
Песчаник	$4 * 10^{10}$	0,36	2560
Известняк	$3,7 * 10^{10}$	0,31	2660
Карбонизированный песчаник	$2,6 * 10^{10}$	0,27	2750

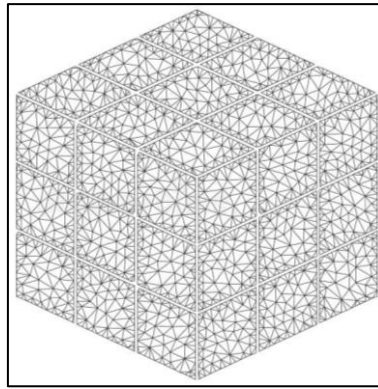


Рисунок 1. Образец модели камня.

Резонансные частоты горных пород в разные порядки резонансных частот, это в основном зависит от модуля упругости породы. Поскольку резонансная частота системы связана только с присущими ей характеристиками, резонансная частота породы связана с ее физическими свойствами Рисунок 2.

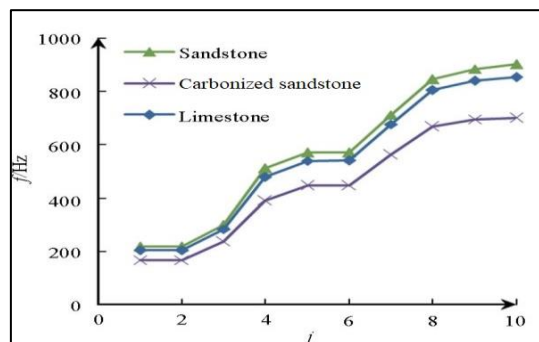


Рисунок 2. Кривые резонансной способности пород

6. Модальный анализ индентора

Чтобы упростить вычисления, буровое долото можно рассматривать как сферический индентор, поскольку резонансная частота не имеет никакого отношения к его структуре. Тот же метод используется для исследования резонансной частоты из индентора. Основные физические параметры индентора представлены в таблице 2, а образец сетки для индентора показан на рисунке 3.

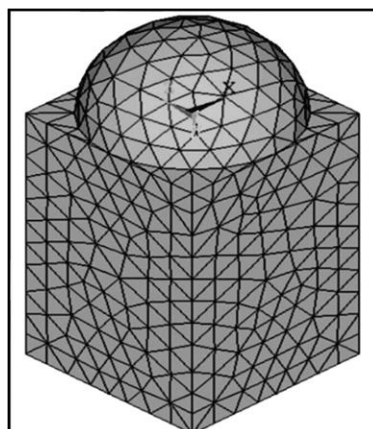


Рисунок 3. Образец сетки для индентора

Таблица 2

Основные физические параметры индентора

Название породы	Модуль упругости	Сила трения	Плотность
Цементированный карбид	$4 * 10^{10}$	0,36	2560
Алмаз	$3,7 * 10^{10}$	0,31	2660

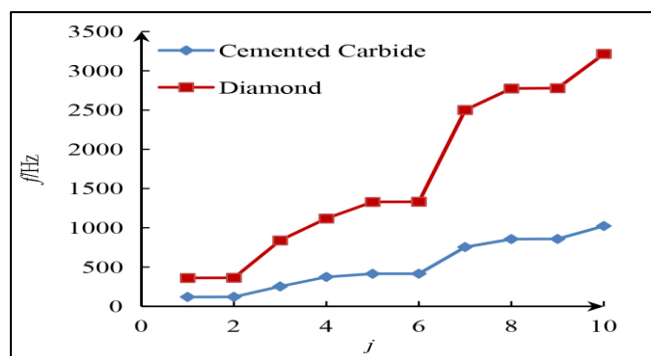


Рисунок 4. Кривые резонансной частоты индентора.

Как видно из рисунка 4, индентор из разных материалов также имеет разные резонансные частоты. Это означает, что индентор тоже можно сделать резонансным. Сравнение рисунков 4 и 3 можно сделать вывод, что резонансная частота индентора с алмазом очень близка к таковой у породы, однако резонансная частота индентора с цементированным карбидом значительно выше, чем у породы. Таким образом, лучше выбрать сверло с цементированным карбидом, чтобы пробуренная порода могла быть резонансной при возбуждении гармонической вибрации, в то время как буровое долото не было бы разрушено.

7. Оптимизация частоты возбуждения

Модуль анализа гармоник используется для оценки резонансных частот породы и индентора при возбуждении гармонических колебаний. Частота возбуждения составляет 0-1000 гц и 0-2000 гц соответственно.

Кроме того, существует только одна степень свободы в вашем направлении для камня и только одна степень свободы вращения для индентора.

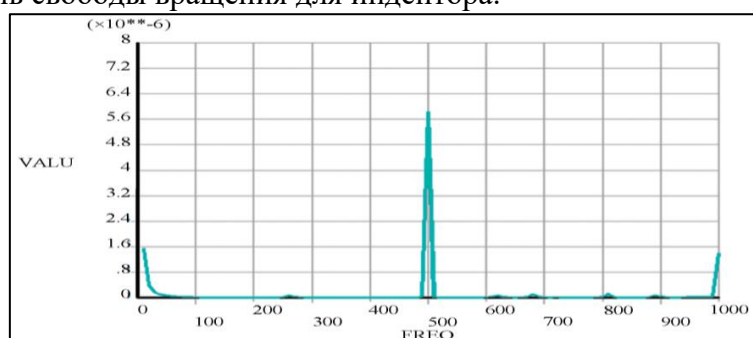


Рисунок 5. Резонансная частота карбонизированного песчаника при частоте возбуждения 0-1000 Гц

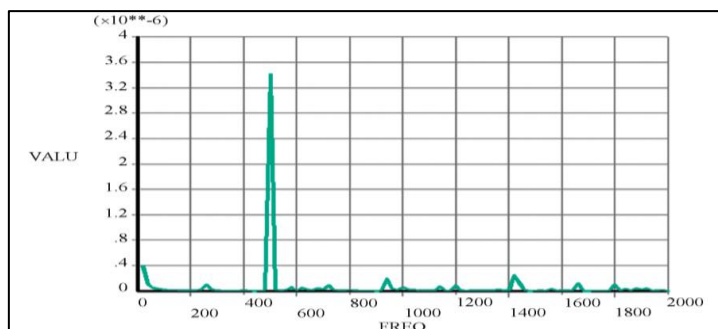


Рисунок 6. Резонансная частота карбонизированного песчаника при частоте возбуждения 0-2000 Гц

На рис. 5 и рис. 6 показаны кривые гармонического отклика песчаника при частоте возбуждения 0-1000 Гц и 0-2000 Гц соответственно. Интуитивно понятно, что резонансная частота песчаника в обоих случаях одинакова. Здесь песчаник имеет только одну степень свободы, которая соответствует реальной ситуации. Основываясь на теории вибрации, существует только одна резонансная частота, соответствующая системе только с одной степенью свободы. Таким образом, песчаник будет резонансным при любой частоте возбуждения, как и алмазный индентор.

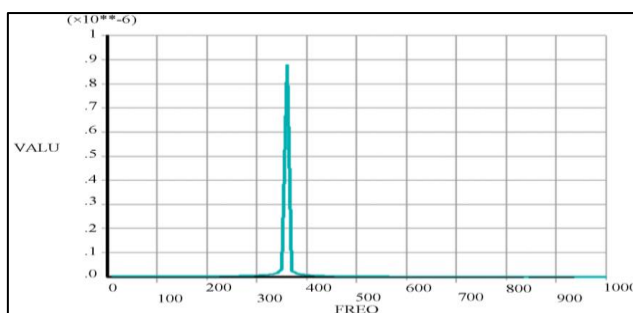


Рисунок 7. Резонансная частота индентора при частоте возбуждения 0-1000 Гц

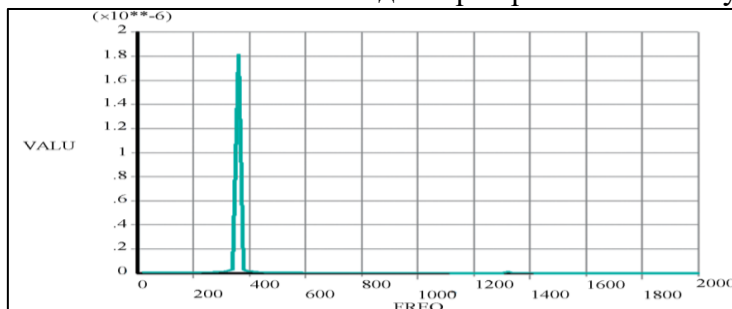


Рисунок 8. Резонансная частота индентора при частоте возбуждения 0-2000 Гц

Вдобавок можно получить, что резонансная частота песчаника составляет 500 гц, а частота карбидного индентора составляет 370 гц при той же частоте (см. Рисунки 7 и 8) возбуждения, что означает, что когда просверленная порода является резонансной и легко разрушается, буровое долото является стабильным и надежным. В результате оптимизации частоты возбуждения получается резонансная частота пробуренной породы.

8. Технология резонансного бурения

С целью дальнейшего содействия применению технологии бурения с резонансным усилением было предложено несколько методов с момента предложения технологии бурения. Раскрыл способ управления роторным сверлом с усилением резонанса, содержащим роторное сверло и

генератор колебаний для приложения осевой колебательной нагрузки к роторному сверлу, как показано на рисунке 9.

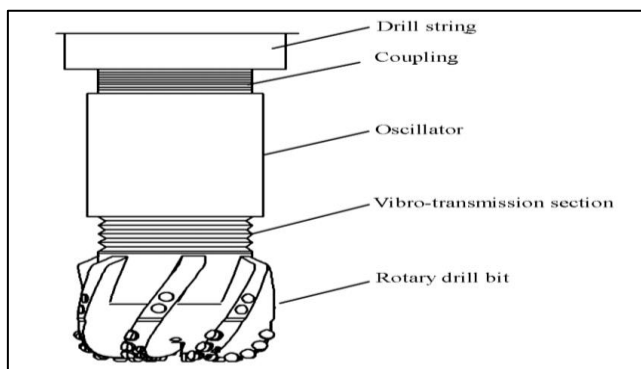


Рисунок 9. Иллюстративный пример модуля вращательного бурения с резонансным усилением

Рассматриваются два главных управляющих параметра, включая управляющую частоту и динамическую силу генератора, которые управляются контрольными сигналами, представляющими прочность на сжатие сверлящего материала. Здесь используется механизм обратной связи с замкнутым контуром в реальном времени для регулировки управляющей частоты и динамического усилия в соответствии с изменениями прочности на сжатие. Он содержит источник питания, контроллер, генератор, датчики и процессор, а принципиальная схема представлена на рисунке 10.

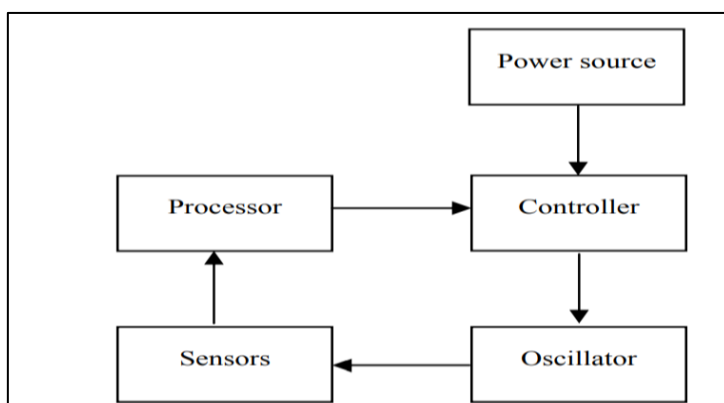


Рисунок 10. Принципиальная схема, иллюстрирующая скважинный механизм обратной связи с замкнутым контуром в реальном времени

Кроме того, устройство также предназначено для применения при вращательном бурении с резонансным усилением. Его основными компонентами являются: верхний тензометр для измерения статической и динамической осевой нагрузки, блок виброизоляции, опционально задняя масса генератора, генератор для приложения осевой колебательной нагрузки к буровому долоту, блок передачи вибрации, нижний тензодатчик для измерения статической и динамической осевой нагрузки. Загрузка, соединитель для сверла и сверло, имеющие ссылку на рисунок 11.

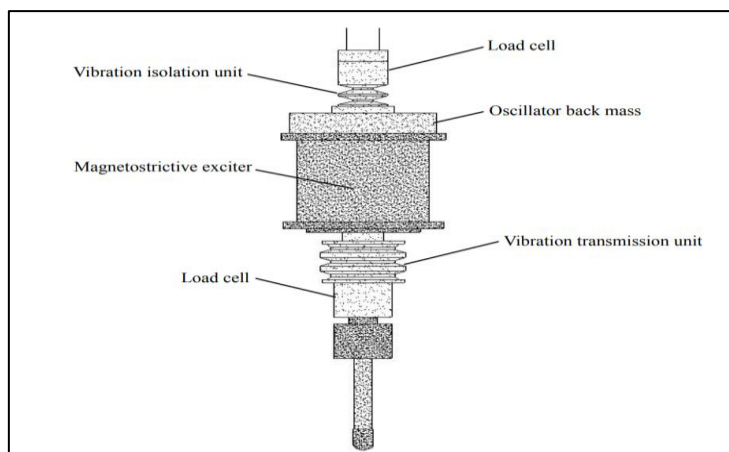


Рисунок 11. Схема модуля бурения с резонансным усилением

Подобным образом, он управляется глубинным механизмом обратной связи с замкнутым контуром в режиме настоящего времени. На рисунке 12 показан вариант осуществления устройства.

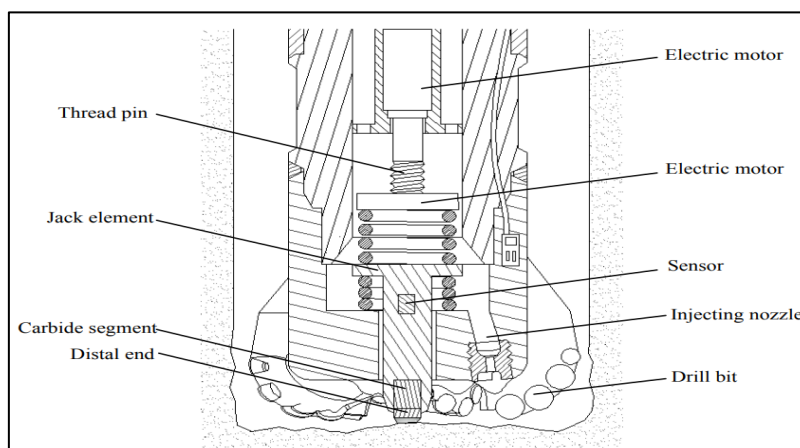


Рисунок 12. Схема поперечного сечения варианта осуществления бурового долота для бурения с усилением резонанса

Средство бурения скважины включает этапы развертывания бурового долота, прикрепленного к бурильной колонне, в стволе скважины, при этом буровое долото имеет осевой домкратный элемент с дистальным концом, выступающим за рабочую поверхность бурового долота, зацепление дистального конца элемента домкрата с пластом таким образом, что пласт прикладывает силу реакции к элементу домкрата, в то время как бурильная колонна вращается, и прикладывает силу к элементу домкрата, которая противодействует силе реакции, так что элемент домкрата вибрирует и вызывает вибрацию пласта на его резонансной частоте, что вызывает вибрацию пласта.

Высокочастотная импульсно-струйная установка для резонансного бурения, включающая небольшой гидрогенератор, регистратор плотности, инструмент звукового каротажа, контроллер и ультразвуковой преобразователь. Структурная схема высокочастотной импульсной струйной установки показана на рисунке 13.



Принцип работы установки заключается в том, что небольшой гидрогенератор производит электроэнергию для регистратора плотности и инструмента звукового каротажа, а контроллер анализирует данные с регистратора плотности и инструмента звукового каротажа для определения резонансной частоты пробуренной породы. Затем высокочастотный сигнал возбуждения, который присваивается ультразвуковому преобразователю от контроллера, преобразуется в ультразвуковой сигнал для применения к буровому раствору. После прохождения бурового раствора через буровое долото образуется высокочастотная импульсная струя для воздействия на пробуренную породу, что делает породу резонансной.

9. Заключение

В данной теме основное внимание уделяется технико-технологическому обоснованию бурения с резонансным усилением, представлены итоги численного анализа и представлены методы реализации технологии. Выполняются два вида численного моделирования, включая модальный анализ и анализ гармонии породы и индентора. Кроме того, частота возбуждения оптимизируется в соответствии с фактическими условиями эксплуатации, чтобы проанализировать, может ли быть достигнута технология резонансного бурения. Согласно модальному анализу, можно сделать вывод, что как порода, так и буровое долото могут быть резонансными, и существуют разные резонансные частоты и режимы вибрации в разных порядках, которые связаны только с присущими им характеристиками. Опираясь на анализе гармонии, подсознательно понятно, что когда пробуренная порода обладает резонансом и легко разрушается, буровое долото является стабильным и надежным. В результате оптимизации частоты возбуждения получается резонансная частота пробуренной породы. Для осуществления бурения с усилением резонанса предложены некоторые способы и устройства. Резонансное возбуждение может подаваться на породу посредством механической вибрации и гидравлического удара и может управляться глубинным механизмом обратной связи с замкнутым контуром в реальном времени. В результате будут проведены дополнительные исследования для дальнейшего понимания механизма разрушения горных пород и содействия реализации бурения с резонансным усилением.

Подобные проблемы, как большое сопротивление трению, трудная передача веса на долото и низкая скорость проходки, зачастую встречаются при нынешнем наклонно-направленном бурении, особенно при бурении горизонтальных скважин. В этом исследовании была представлена нелинейная динамическая имитационная модель горизонтальной скважины, учитывающая случайное взаимодействие между бурильной колонной и стволом скважины, а

также долотом и породой. В этом исследовании были смоделированы и сравнены динамические характеристики забойного узла при бурении с мешалкой и без нее, а также рабочий механизм и параметры оптимизации мешалки. Полевое применение мешалки также моделируется для оптимизации конструкции и рабочих параметров. Итоги показывают, что использование этого сможет увеличить эффективность передачи веса на долото и снизить сопротивление трению, давление и возможность возникновения изгиба бурильной колонны.

Библиографический список

- [1] Ультразвуковое бурение. Применение и преимущества : сайт ООО «Граунд Инжиниринг». – URL: <https://georesin.ru/tehnoblog/ultrazvukovoe-burenie/>
- [2] Резонансное сверление (RED) : сайт Абердинского университета. – URL: <https://www.abdn.ac.uk/engineering/research/resonance-enhanced-drilling-red-147.php> (на англ.)
- [3] Резонансное бурение: способ и аппаратура : поисковая служба Google Patents. – URL: <https://patents.google.com/patent/EP2230375B1/en> (на англ.)
- [4] Анализ процесса бурения турбобуром в условиях возникновения резонанса : Всероссийский отраслевой информационно-технический журнал «СФЕРА НЕФТЬ И ГАЗ». – URL: <https://xn--80aaigboe2bzaiqsf7i.xn--p1ai/ugtu1-2023-5>
- [5] Усиленное резонансом бурение: способ и устройство : поисковая служба Google Patents. – URL: <https://patents.google.com/patent/EA022613B1/ru>

УДК 622.411.34

Способ вскрытия продуктивного пласта на газоконденсатных месторождениях «М-25» Республики Узбекистан в условиях сероводородных агрессий

О.А. Брагина, Ш.Ш. Хушвактов, А.Г. Вахромеев, С.А. Сверкунов

Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

ИФ ООО «РН-Бурение», Иркутск, Россия

Email: grom123456@mail.ru

Аннотация. В статье обсуждаются результаты геоэкологического мониторинга газовых месторождений в Южном Узбекистане с глубокими запасами. Рассматриваются вопросы безопасности при разведке и разработке нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений. Особое внимание уделяется поиску эффективных решений для нейтрализации сероводорода и серосодержащих соединений при вскрытии пласта с аномально высоким пластовым давлением (до 100 МПа) и температурой (до 200°C), а также с высоким содержанием сероводорода более 7%. Цель данных работ - найти эффективные решения для бурения нефтегазоконденсатных месторождений в Южном Узбекистане в условиях сероводородной агрессии, обеспечивая безопасные условия труда, защиту здоровья персонала и населения, а также сохранение благоприятной окружающей среды. Это достигается через использование лучших технологий и международных практик.

1. Введение

Геоэкологический мониторинг газоконденсатных месторождений «М-25» Республики Узбекистан

Газовое Месторождение «Мустакилликнинг 25 йилиги» расположено на территории Байсунского района Сурхандарьинской области. в 20 км к юго-востоку от райцентра г. Байсун в 46 км северо-западнее г. Кумкурбан.

Месторождение «Мустакилликнинг 25 йилиги» является крупнейшим неразработанным на данный момент газовым месторождением в Узбекистане. Оценка запасов газа составляет более 150 млрд. кубометров сырого газа, а само месторождение характеризуется очень сложными горно-геологическими условиями. За последующие сорок с лишним лет ввести месторождение в эксплуатацию не удавалось, поскольку его запасы являются трудно извлекаемыми, газ высокосернистый. Юрские отложения представлены известняками с порово-трещинным типом коллектора, аномально-высокими пластовым давлением (до 100 МПа) и температурой (до 200° С). Основная часть запасов газа имеет высокое содержание диоксида углерода и сероводорода [1-5].

Исследования проводятся на основе Указа президента Республики Узбекистан Шавката Миромоновича Мирзиёева «О совершенствовании системы мониторинга окружающей природной среды» от 21.04.2017 г., по безопасному ведению работ при разведке и разработке нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений с высоким содержанием сероводорода выше 6%. Выполнены ряд мероприятий по охране атмосферного воздуха, составлен итоговый экологический мониторинг на газоконденсатных месторождениях Южного Узбекистана «Узбекистон Мустакиллиги» в 2017 по 2021 году. Анализируется итоги государственного геоэкологического мониторинга на газовое месторождении Южного Узбекистана, выделяются проблемные геоэкологические аспекты при разведке и разработки газовых месторождения указанной системы и исследуется правовая основа деятельности субъектов государственной системы мониторинга окружающей среды. Указывается на необходимость изменения и дополнения законодательства для более эффективного управления природопользованием и обеспечением геоэкологической безопасности при помощи системы Геоэкологического мониторинга. Обоснована необходимость создания региональной системы геоэкологического мониторинга, оснащенной современным программным обеспечением в целях онлайн мониторинга состояния окружающей среды Сурхандарьинской области. [1-2]

Анализ существующих методов удаления сероводорода

Поиск осуществлялся с использованием электронной базы данных научной электронной библиотеки «Elibrary.RU», всероссийская патентно-техническая библиотека ВПТВ, электронной базы данных «ЕРО» и «WIPO», научных публикаций, интернет-сайтов.

В течение предыдущих 40-50 лет, как в России, так и за рубежом, синтезировано, исследовано и запатентовано несколько десятков неорганических и органических соединений, пригодных для борьбы с проявлениями сероводорода при строительстве нефтяных и газовых скважин. В решение теоретических и практических вопросов очистки газов от сероводорода значительный вклад внесли работы: Балацкий О.Ф., Вакулюк П.Г., Власенко В.М., Барахтенова Л.А., Зиновьева Л.М., Иванова Н.Н., Потапов А.Г., Кузьменко Н.М., Шпилов Д.Д., Ашраф Ахмед., Афанасьев Ю.М., Фролов Г.С., Е.Н.Буглов, Е.Г.Васенёва и других.

Таблица 1 содержит сведения о ряде таких промышленно выпускаемых реагентов [1,2,5,7,9].

Таблица 1

Реагенты-нейтрализаторы для борьбы с сероводородной агрессией

Химический класс соединений	Химическое название реагента-нейтрализатора	Химическая формула реагента-нейтрализатора	ГОСТ или ТУ на реагент-нейтрализатор	Техническое название реагента-нейтрализатора
1	2	3	4	5

Гидроксиды металлов	Гидроксид натрия	NaOH	ГОСТ 55064-2012	Каустическая сода
	Гидроксид калия	KOH	ГОСТ 24363-80	Едкий калий
	Гидроксид кальция	Ca(OH) ₂	ГОСТ 911111179-2018	Известь
Оксиды металлов	Оксид железа (III)	Fe ₂ O ₃	ТУ 2123-001-55311-2016	Реагент ЖС-7У
	Оксиды железа (II + III)	Fe ₃ O ₄	ГОСТ 28195-89	Магнетит, ЮГОК. СНУД
	Оксид марганца (II)	MnO	ТУ-64-5-15-77	ВНИИТБ-1
Соли металлов	Бикарбонат железа (II)	Fe (HCO ₃) ₂	ГОСТ 5494-74	Сидерит
	Железо хлорное (III)	FeCl ₃	ГОСТ 4147-74	Железо хлорное
	Карбонат цинка	Zn(CO ₃) ₂	ГОСТ 3640-64	Цинк углекислый
	Пентагидрат сульфата меди	CuSO ₄ ·5H ₂ O	ГОСТ 19347-2014	Медный купорос
Окислители	Калий бихромат	K ₂ Cr ₂ O ₇	ГОСТ 10652-73	Хромпик
	Калий перманганат	KMnO ₄	ГОСТ 20490-75	Марганцовка
Хелаты	Нитрилотриацетат цинка	N(CH ₃ CO ₃) ₃ Zn	ГОСТ 10652-75	Трилон А с цинком

Отрицательное влияние:

В целом, соединения цинка Zn(CO₃)₂ широко используются в качестве поглотителей, заменяя собой проблемные поглотители на основе меди CuSO₄·5H₂O. Соединения цинка действуют амфотерно, что позволяет им поглощать H₂S в различных окружающих условиях, но при избыточно высоком pH могут образовываться цинкат-ионы, которые могут негативно влиять на свойства буровых растворов. Важно отметить, что коммерчески доступным поглотителем на основе железа является пористый магнетит (Fe₃O₄), который реагирует с H₂S, образуя стабильный пирит. Однако, реакция между магнетитом и H₂S ограничивается внешней поверхностью частицы из-за быстрого образования слоя продуктов реакции, что может приводить к неполному превращению магнетита. Кроме того, щелочная среда, присутствующая в буровых растворах, может отрицательно влиять на кинетику реакции.

Другой подход к удалению H₂S из буровых растворов: Использование окислителей. Они могут окислять H₂S до безопасных соединений серы, таких как S⁰ или SO₄²⁻. Например, KMnO₄, H₂O₂, K₂S₂O₃ и Ca(ClO)₂ могут использоваться в нужных дозах для этой цели. Окислители быстро и необратимо реагируют с сульфидами и легко диспергируются в буровых растворах благодаря их высокой растворимости.

2. Исследования химических методов удаления сероводорода

H₂S (гидросульфид) — это сероводород, который может быть образован в результате различных процессов, включая буровые работы. Его встречают в различных регионах мира, включая Россию, Китай и страны Ближнего Востока, такие как Саудовская Аравия, Ирак, Оман, Сирия и Египет. Значительные количества H₂S могут создавать серьезные проблемы

для здоровья и безопасности во время буровых операций. Он также может вызывать кислую коррозию оборудования из-за образования коррозионного сульфида железа. Образующийся коррозионный сульфид железа может прочно прилипнуть к стальным поверхностям в виде накали. Кроме того, H_2S может вступать в реакцию со сталью, что приводит к разрушению металла из-за водородного охрупчивания или растрескивания под напряжением.

Когда H_2S попадает в буровой раствор, это может вызвать множество проблем:

- Влияние на вязкость, потери жидкости и плотность раствора
- Проблемы с отклонением скважины
- Снижение pH, делая раствор более агрессивным
- Возможное воздействие на металлические компоненты

Человеческий нос очень чувствителен к запаху сероводорода (H_2S). Большинство людей могут почувствовать запах тухлых яиц при довольно низких концентрациях этого газа в воздухе от 0,01 до 1,5 частей на миллион (ppm), и этот запах становится более неприятным при концентрациях от 3 до 5 ppm. В области безопасности очень важно соблюдать регулярные стандарты и рекомендации, чтобы защитить здоровье и жизнь работников. Следует быть бдительным и следить за уровнями H_2S , даже если обоняние может быть обезболено большими количествами вещества.

Поглотители H_2S , используемые с буровыми растворами

Поглотители H_2S , используемые с буровыми растворами, часто включают в себя различные химические соединения, такие как железоокисные поглотители, аминные соединения или оксиды железа. Эти вещества помогают поглотить сероводород (H_2S) из буровых растворов, что позволяет обезвредить его вредное воздействие и защитить оборудование от коррозии. Использование специализированных добавок и химикатов для удаления H_2S помогает минимизировать риски и обеспечить экологическую безопасность на месте работы. Технологии и методы, основанные на ионном осаждении или поверхностной адсорбции, играют важную роль в этом процессе. Следует соблюдать все необходимые меры предосторожности для предотвращения выбросов этого опасного газа.

В Таблице 1., описаны поглотители H_2S , используемые при бурении. Нефтегазовой промышленностью постоянно стремятся к совершенствованию методов обработки и очистки для безопасности и эффективности. Исследования в разработке идеального поглотителя для удаления H_2S без нежелательных побочных продуктов должны помочь улучшить процессы и условия работы в этой отрасли.

Алкоаноламины, такие как МЭА, ДЭА и МДЭА, действительно играют важную роль в процессе обессеривания сернистого газа на поточных установках. Их регенерируемые свойства делают их эффективными для многократного использования, что экологически безопасно. Регулирование параметров бурового раствора в процессе бурения, таких как концентрации аминов, температура, давление и другие, имеет ключевое значение для минимизации проблем эксплуатации и обеспечения эффективной очистки газов.

МЭА (моноэтаноламин) действительно имеет широкий спектр применения в различных отраслях, включая литературу, косметику, чистящие средства, пластификаторы и другие. Его способность улучшать стабильность материалов и обеспечивать функциональные характеристики делает его ценным компонентом в различных продуктах и процессах.

Эта работа будет первой в своем роде в оценке МЭА в качестве поглотителя H_2S в буровых растворах. Исследование включает оценку добавления МЭА с целью улучшения удаления H_2S и изменения других свойств раствора, таких как щелочность, реология и характеристики фильтрации. Кроме того, важно рассмотреть и сравнить скорости коррозии для полученных буровых растворов. Результаты данной работы могут принести новые знания о применении МЭА в буровой деятельности.

Исследование звучит очень интересно. Добавление МЭА для улучшения удаления H_2S и изменения других свойств раствора может принести революционные изменения в буровой

отрасли. Сравнение скоростей коррозии также играет важную роль в обеспечении эффективности и безопасности процессов. Результаты этой работы точно помогут углубить наше понимание применения МЭА в буровой деятельности.

Материалы

Рецепт бурового раствора, полученной в полевых условиях, был использован для приготовления 350 мл проб бурового раствора на водной основе. Базовая жидкость была добавлена пресная вода и некоторые функциональные добавки последовательно в условиях окружающей среды с использованием высокоскоростного Миксер Hamilton Beach. Практические добавки были смешаны поддерживать вязкость, щелочность, потерю жидкости, набухание сланца и фильтрация. Из барита в количестве 150 г было получено 1,486 вес бурового раствора г/см³ (12,4 фунтов на галлон). Каждый поглотитель H₂S был добавлен в конце и перемешивали 10 мин. В таблице 2 представлен буровой раствор рецептура с указанием последовательности смешивания, количества, смешивания время и функция каждого компонента

В полевых условиях было проведено испытание линейки из пяти промышленно - доступных реагентов - нейтрализаторов сероводорода: оксид и карбонат цинка, диоксид марганца, оксид титана и оксид железа и выявлено, что добавка 10 кг каждого из реагентов на 1 кубический метр глинисто-полимерного бурового раствора (ГПБР), достаточна для полного обезвреживания ГПБР от имеющегося в нём сероводорода. При этом основные технологические параметры бурового раствора остаются в приемлемых рамках.

Таблица 2

Состав основания и поглотителя H₂S бурового раствора

№п/п	Наименование компонентов	Количество добавляема я вещества г/см ³	Время перемешиван ия (мин)	Функция использования
1	Вода	308	1	Тех. Вода
2	Пеногаситель	0,08	20	Пеногаситель
3	Биополимер	1	15	Контроль водоотдачи
4	Крахмал	6	15	Контроль потерь жидкости
5	Пак-Р	1,5	10	Контроль потерь жидкости
6	NaCl	60	1	Стабилизатор сланца
7	Каустическая сода	0,5	10	Регулятор щелочности
8	CaCO ₃	15	10	Для стабилизации
9	Барит	150	10	Утяжелитель
10	Поглотитель H ₂ S	0/1	10	Поглотитель H ₂ S

Три различных химических реагента, используемых в качестве поглотителей H₂S. Триазин: - Жидкая фаза, плотность: 1,073 г/см³, pH: 10,5, Концентрация: 60 об.%. 2.SourScav: Порошок на основе глюконата железа плотность: 0,7 г/см³, pH: 4,5., Концентрация: 60 об.%. 3.МЭА (C₂H₇NO): Органическая вязкая бесцветная жидкость, плотность: 1,01 г/см³, pH: 12,1.

Кроме того, МЭА образуется в результате реакции оксида этилена с аммиаком и обладает аммиачным запахом.

Экспериментальная работа

В исследовании проведены лабораторные испытания для изучения применения МЭА с буровым раствором на водной основе.

Провели эксперименты по удалению H_2S в условиях окружающей среды для оценки способности базового раствора и жидкостей, содержащих H-iron, триазин и МЭА, по удалению H_2S . Схема испытания описана на рисунке 2.

В эксперименте по 10 см^3 каждой пробы бурового раствора помещалось в бюретку с вводом газа из баллона, содержащего 100 ppm H_2S . Выходное отверстие бюретки подключено к детектору газа MultiRAE с минимальным пределом обнаружения 0,1 ppm.

Использовался расходомер для контроля скорости потока газа $150\text{ см}^3/\text{мин}$. Концентрация газа на выходе регистрировалась до достижения максимальной концентрации 100 ppm.

Способность нейтрализовать H_2S (в мг H_2S /л бурового раствора) для каждого состава бурового раствора была рассчитана по уравнению насыщения.

Ёмкость насыщения (мг/л)

$$\ddot{E} = 150 \times 10^{-7} \times \rho \times \int_0^{t_s} (100 - C_{out}) dt \quad (1)$$

где ρ – плотность H_2S ($1,391\text{ мг/см}^3$),

t_s – время насыщения в минутах при концентрации H_2S на выходе 100 ppm,

C_{out} – концентрация H_2S на выходе газового потока.

Работа проводилась с помощью pH-метра для измерения значений pH каждого бурового раствора. В реологических измерениях использовались стандартные процедуры API с использованием вискозиметра OFITE модели 900 при 120°F . Измеренные реологические свойства включали пластическую вязкость (PV), предел текучести (YP) и прочность геля через 10 секунд и 10 минут. Значения PV (сП) и YP (фунт/100 фут²) были рассчитаны на основе пластической модели Бингама, используя зависимость напряжения сдвига от скорости сдвига. Кроме того, прочность геля. Значения измерялись путем кратковременного перемешивания пробы жидкости при низкой скорости сдвига (т.е. 3 об/мин) после статического состояния в течение 10 с и 10 мин. Эти реологические измерения были выполнены для базовые, эталонные и растворы, содержащие МЭА.

Фильтрационные испытания с использованием фильтр-пресса высокого давления и высокой температуры (НРНТ) были проведены для всех буровых растворов в соответствии со стандартами API. Испытание проводилось с использованием керамического диска толщиной 40 мкм для проверки эффективности фильтрации при перепаде давления 300 psi и температуре 250°F . Объем фильтрованной жидкости регистрировали в течение 30 минут и измеряли толщину и вес полученной фильтрационной корки. В эксперименте проводилось сравнение скорости коррозии жидкости с МЭА, базовой и эталонной жидкостей на металлических образцах из обсадной стали N80. Испытание на коррозию НРНТ проводилось при высокой температуре и давлении в антикоррозионных автоклавных ячейках в течение 6 часов.

3. Исследование коррозии

Тесты коррозии помогают определить скорость коррозии металла в различных средах. В данном исследовании использовался раствор с MnO , основа и h-iron при 250°F и давлении 300 psi. Металлический купон с корпусной стали N80 выдерживался в растворе 6 часов для оценки скорости коррозии. Скорость коррозии вычисляется делением потерянного веса на площадь поверхности образца.



Рисунок 1. До и после освоение переводника НКТ 114,1 мм.
Скорость коррозии за 6 часов при забойной условие

Согласно исследованию коррозии, базовая жидкость корродирует со скоростью $1,1 \times 10^{-4}$ фунта/фут², при использовании h-iron и МЭА или MnO коррозия практически исключена, использование h-iron, МЭА или MnO действительно может быть эффективным способом предотвращения коррозии базовой жидкости. Нулевая скорость коррозии говорит о высокой надежности этих веществ в защите от коррозии буровых оборудования. Это важно для сохранения чистоты и экологической безопасности области.

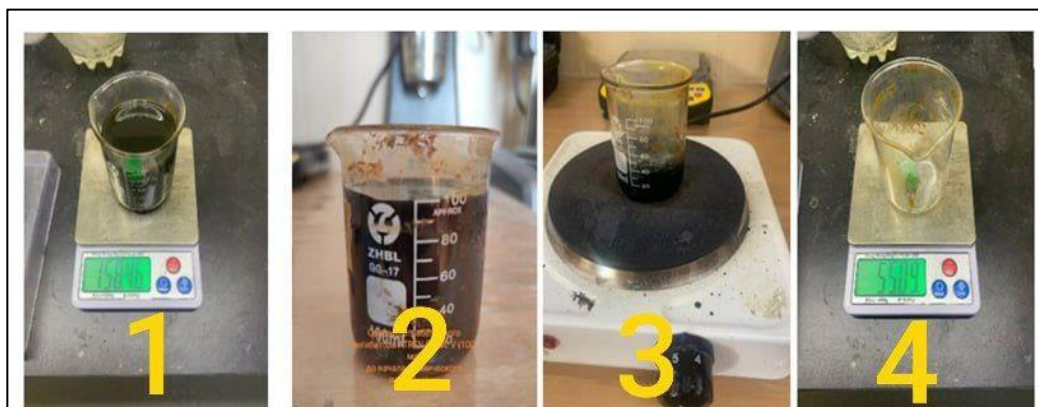


Рисунок 2. Исследование воздействия МЭА и h-iron на 90 минут термической коррозии на отобранные пробы забойной воды, насыщенной сероводородом до 80 ppm



Рисунок 3. Исследование воздействия МЭА и h-iron на 90 минут термической коррозии на переводнике НКТ 114мм

Исследования показали, что ингибиторы коррозии МЭА и h-iron действительно эффективны против коррозии при таких экстремальных условиях. Отлично, что отобранные пробы не показали наличие осадка и металл остался абсолютно чистым

Выводы

В этом исследовании производительности MnO и МЭА и h-iron его влияние на буровой раствор показали интересные результаты в качестве поглотителя H_2S для улучшения нейтрализации сероводорода из состава бурового раствора во время бурения. Одновременно решались несколько геоэкологических задач, таких как:

1. Сокращение выбросов вредных газов в атмосферу
2. Восстановление и охрана экосистем
3. Устойчивое использование природных ресурсов
4. Очистка водных ресурсов от загрязнений
5. Уменьшение отходов и их переработка
6. Охрана животного мира и биоразнообразия

Исходя из этой работы, добавка MnO в растворы может успешно нейтрализовать сероводорода H_2S . Это приведет к безопасным с экологической и геоэкологической точек зрения, улучшит операции по бурению, а также обеспечит хорошую реологию жидкости, фильтрационные характеристики и защиту от коррозии. MnO также поддерживает безопасный уровень pH, что делает его подходящим для бурения кислых углеводородных образований. Однако, для полевых испытаний требуются дополнительные исследования, чтобы оценить эффективность в условиях АВПД, а также учесть любые изменения в составе бурового раствора.

1. Использование МЭА и h-iron значительно увеличило способность водного раствора удалять H_2S , а использование MnO кажется еще более эффективным за счет увеличения нейтрализации сероводорода. Нейтрализация H_2S очень важна для нефтегазовых отраслей, особенно для геоэкологической безопасности и заботы о окружающей среде.

2. Добавление MnO в буровой раствор помогло поддерживать pH на безопасном уровне (11,3), что играет важную роль в предотвращении кислотных образований при бурении. pH (7,9) действительно является критически низким значением для буровых растворов.

3. Для обеспечения желаемых характеристик бурового раствора, таких как Apparent Viscosity (AV), Plastic Viscosity (PV), Yield Point (YP) и Gel Strength, важно правильно подбирать компоненты, такие как h-iron, МЭА и MnO. Буровые растворы должны обладать определенными реологическими свойствами для эффективного бурения. H-iron (гидрокарбонат железа), МЭА (моноэтаноламин) и MnO (оксид марганца) могут использоваться для достижения нужных реологических характеристик. Важно учитывать реакции компонентов между собой, их концентрации и взаимодействия с другими добавками в растворе для достижения оптимальных результатов. Эффективное управление AV, PV, YP и прочностью геля поможет обеспечить стабильность и эффективность процесса бурения. И h-iron и МЭА, и MnO не вызывают коррозии, о чем свидетельствует почти нулевая скорость коррозии, достигаемая с помощью этих веществ.

Библиографический список

- [1] Республика Узбекистан. Законы. Экологический Кодекс Республики Узбекистан – Ташкент, 2010. –159 с.
- [2] Республика Узбекистан. Указ Президента Республики Узбекистан «О совершенствовании системы мониторинга окружающей природной среды» на 21 апреля 2017 года. – Ташкент, 2017. № УП 5024
- [3] Khushvaktov Sh.Sh., Bragina O.A., Vakhromeev A.G., Tashkevich I.D.Sverkunov S.A., Hydrogen-sulfide aggression as one of the problematic geological factors complicating exploration and development of gas condensate fields by deep wells in the Southern Uzbekistan // Строительство

нефтяных и газовых скважин на суше и на море: Научно-технический журнал. – Москва, 2023. – №5 (365) – С.46–53.

[4] Хушвактов Ш.Ш., Тимофеева С.С., Вахромеев А.Г., Основные геолого – геоэкологические аспекты разведки и разработки газоконденсатных месторождений Южного Узбекистан глубокими скважинами / С.С.Тимофеева, А.Г.Вахромеев, Ш.Ш. Хушвактов // Проблемы геологии, разработки и эксплуатации месторождений и транспорта трудно извлекаемых запасов углеводородов. – Ухта: Изд-во УГТУ, 2022. – № К65 – С.68-74.

[5] А.С. 1040125 СССР, Е 21 В 43/23. Реагент для борьбы с сероводородом при освоении газовой скважины / В.Д.Шугорев, Л.Т.Дытук, и др. (СССР). // Бюл. Открытия. Изобретения. –1983. – №33. – С. 118.

[6] Салех А.И.Ш. «Разработка основ технологии селективной очистки углеводородных газов от сероводорода» 05.14.16. – Волгоград, 1999. – 139 с.

[7] Рязанов Я.А. Энциклопедия по буровым растворам. – Оренбург: Летопись, 2005. – 664 с.

[8] Бурение глубоких скважин в условиях сероводородной агрессии: обзорная информация. – Москва: ВНИИОЭНГ, 1981. – 60 с.

[8] Тимофеева С.С., Ботиров Т.В., Мусаев М.Н., Бобоев А.А. Математическая модель и мониторинг загрязнения приземного слоя атмосферы горнопромышленного региона // Journal of Advances in Engineering Technology, no. 2, 2021, pp. 39. doi:10.24412/2181-1431-2021-2-3-9

[10] Буглов Е.Н., Васенёва Е.Г. Бурение скважин в условиях сероводородной агрессии: Текст научной статьи по специальности «Энергетика и рациональное природопользование».

УДК 622.24

Меры для защиты оборудования и инструментов от воздействия сероводорода и его отрицательного влияния на процессы бурения

Ш.Ш. Хушвактов, А.Г. Вахромеев, О.А. Брагин, С.А. Сверкунов

Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

ИФ ООО «РН-Бурение», Иркутск, Россия

Email: grom123456@mail.ru

Аннотация. Работа посвящена технико-геологическим осложнениям, возникающим в процессе бурении глубоких скважин в условиях высокого давления (АВПД) с высоким содержанием сероводорода в газовых скважинах в различных регионах мира, и технологиям, которые позволили бы преодолеть эти затруднения. В частности, это касается южных областей Узбекистан и стран ближнего зарубежья, а именно, Казахстана, Северный Кавказ, Киргизия и Туркменистан. Общим в своём большинстве месторождения углеводородов этих площадей характеризуются глубинным залеганием продуктивных отложений (более 4000 м), высокими температурными характеристиками геологического разреза (200 °С и выше), наличием попутного нефтяного газа (ПНГ) и неуглеводородных компонентов кислотного характера. Разработка статического исследования ингибиторов коррозии, таких как Ингибиторы коррозии серии SCIMOL WS™, Н-iron (гидрокарбонат железа), МЭА (моноэтаноламин) может действительно помочь достичь нужных реологических характеристик. Это отличное решение для увеличения эффективности и снижения воздействия на окружающую среду при бурении глубоких скважин в условиях высокого давления (АВПД) с высоким содержанием сероводорода в

газовых скважинах южного Узбекистана. В этом статическом исследовании ингибиторов коррозии, производительности Ингибиторы коррозии серии SCIMOL WST[™] и МЭА и h-iron его влияние на буровой раствор показали интересные результаты в качестве поглотителя H₂S. Одновременно решались несколько геоэкологических задач.

1. Введение

Сероводород, который попадает в буровой раствор, может привести к разрушению инструментов и оборудования из-за водородного охрупчивания и электрохимической коррозии. Согласно современным представлениям, влияние сероводорода на электродные реакции объясняется образованием промежуточных соединений металл-сероводород, которые ускоряют процессы электрохимической коррозии. сероводородные среды могут быть опасны из-за своего воздействия на материалы. Присутствие сероводорода может способствовать общей коррозии, вызывать наводороживание стали и приводить к охрупчиванию металла, а также к коррозионному растрескиванию оборудования и инструментов. Процесс водородного охрупчивания происходит при условии напряженности металла (внутреннее давление, сжимающие и растягивающие нагрузки и др.).

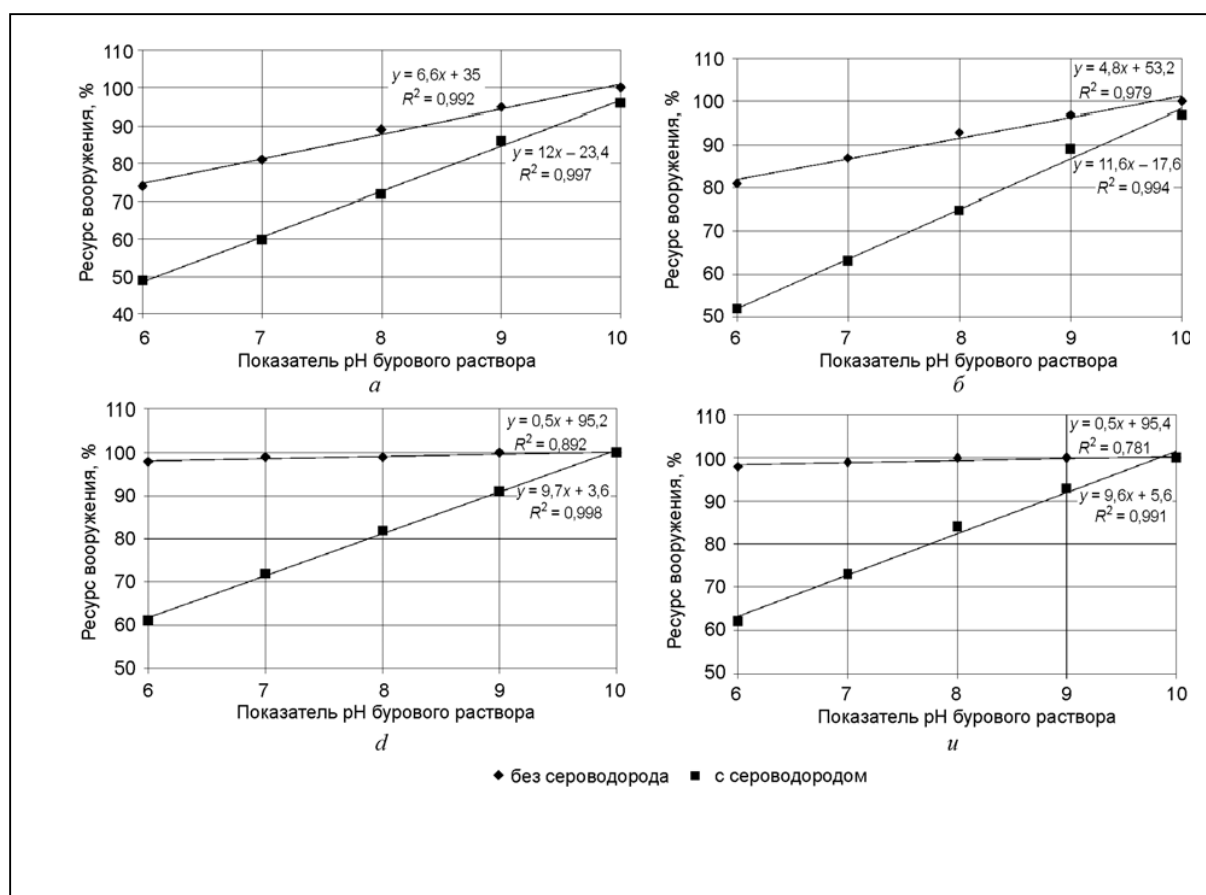
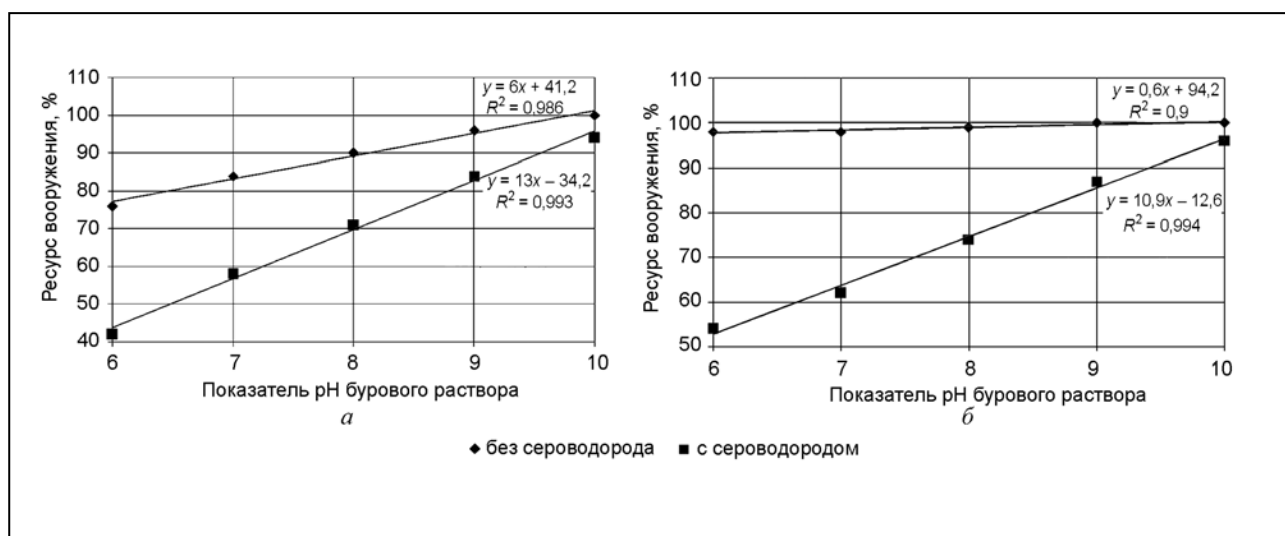
При этом разрушение в среде сероводорода наступает в результате хрупкости металла без каких-либо признаков коррозии [3]. Это типичный признак водородного охрупчивания металла, который может привести к серьезным проблемам с прочностью материала. Понимание этих особенностей помогает инженерам и научным работникам выявлять и исправлять возможные проблемы с материалами, подверженными подобным разрушениям. При вскрытии пластов с высоким содержанием сероводорода следует быть осторожным из-за опасности разрушения металла. Особенно критичным является водородное расслоение и растрескивание, которые могут возникнуть на отдельных участках, в то время как остальная поверхность остаётся неповреждённой.

В работе [3] показано, что сероводород в буровом растворе уменьшает срок службы буровых оборудование, КНБК и шарошечных долот, вызывая преждевременный износ. Используя статистический анализ, автор исследования изучил влияние сероводорода и показателя pH на стойкость КНБК и долот. Статистический анализ проводился на данных, полученных при бурении скважин в Сурхандарьинской экспедиции. В работе также определены различные коэффициенты, влияющие на стойкость долот, включая влияние сероводорода и pH. Содержание сероводорода в растворе колебалось от 1 до 6%, что было подтверждено лабораторными исследованиями и анализом керна.

Таблица 1

Анализ образца забойной тех. воду после освоение скважин

№	Параметров	Ед. изм.	Фактическое данные	Базовой данные тех воду
1	Плотность	г/см ³	1,14	1,00
2	pH	ед	4,3	8-9
3	H ₂ S	ppm	40-80	0
4	Общая жёсткость	мг/л	1300	280
5	Жёсткость по Ca ⁺	мг/л	400	140
6	Жёсткость по Mg ⁺	мг/л	830	140
7	Содержание Cl	мг/л	27000	5000



Зависимость ресурса шарошечных долот с фрезерованными зубьями от значения pH раствора указывает на максимальное значение ресурса при $pH = 10$ и минимальное при $pH = 6$. Кроме того, если в растворе присутствует H_2S , увеличение pH увеличивает ресурс вооружения. Статистически, зависимость ресурса долот с твердосплавными зубьями от показателя pH не установлена, но при наличии сероводорода увеличение pH также

увеличивает ресурс. Результаты статистического анализа влияния показателя pH при отсутствии и наличии сероводорода в процентном выражении представлены в табл. 2 и на рис. 1

Таблица 2

Влияние показателя pH бурового раствора на стойкость вооружения шарошечных долот при отсутствии и наличии сероводорода

Тип вооружения	Значения ресурсов вооружения (%) от pH раствора при отсутствии H ₂ S				Значения ресурсов вооружения (%) от pH раствора при наличии H ₂ S			
	7	8	9	10	7	8	9	10
Фрезерованное	84	90	96	100	58	71	84	94
Твердосплавное	98	99	100	100	62	74	87	96

Статистический анализ исследования показывает, что ресурс опор типов В и Н зависит от значения pH бурового раствора. Наибольшее значение ресурса наблюдается в щелочной среде при pH = 10, а минимальное - в кислотной среде при pH = 6. При добавлении H₂S в раствор увеличение pH бурового раствора способствует росту ресурса опоры. Влияние pH на стойкость опор типов НУ и АУ не установлено, но при наличии H₂S увеличение pH также способствует увеличению ресурса опоры.

Таблица 3

Влияние показателя pH бурового раствора на стойкость опор шарошечных долот при отсутствии и наличии сероводорода

Тип опоры	Значения ресурсов опор (%) от pH раствора при отсутствии H ₂ S					Значения ресурсов опор (%) от pH раствора при наличии H ₂ S				
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
В	74	81	89	95	100	49	60	72	86	96
Н	81	87	93	97	100	52	63	75	89	97
НУ	98	99	99	100	100	61	72	82	91	100
АУ	98	99	100	100	100	62	73	84	93	100

Сероводород может привести к коррозии металлических деталей оборудования, что в свою очередь может ухудшить производительность бурового процесса и увеличить расходы на обслуживание и замену инструмента. Кроме того, сероводород может ускорить разрушение пород, что также может усложнить буровые операции. Поэтому важно принимать меры для защиты оборудования и инструментов от воздействия сероводорода и его отрицательного влияния на процессы бурения.

2. Анализ существующих технологий нейтрализации вредных веществ из состава бурового раствора.

Буровые растворы являются неотъемлемой частью любого процесса бурения и выполняют множество важных функций: обеспечивает качественное вскрытие продуктивных пластов; обеспечивает смазывающее и антикоррозионное действие на буровой инструмент; охлаждает и смазывает долото; предотвращает возможность возникновения экологических осложнений при бурении.

В практике бурения применяют буровые растворы на водной (техническая вода, растворы солей и гидрогеля, полимерные, полимер-глинистые и глинистые растворы), углеводородной (известково-битумный раствор, инвертная эмульсия) и азрированных основах. Правильный выбор добавок и дизайн буровых растворов играют важную роль в бурении нефти и газа. Водные растворы часто предпочтительны из-за их технических, коммерческих и экологических характеристик. Для нейтрализации вредных веществ в буровом растворе существует несколько современных технологий. Применение специальных реагентов, таких как оксиды металлов или полимеры, позволяет уменьшить воздействие вредных веществ. Эти реагенты могут связывать или нейтрализовать токсичные компоненты, делая их менее опасными для окружающей среды.

В течение предыдущих 40-50 лет, как в России, так и за рубежом, синтезировано, исследовано и запатентовано несколько десятков неорганических и органических соединений, пригодных для борьбы с проявлениями сероводорода при строительстве нефтяных и газовых скважин. В решение теоретических и практических вопросов очистки газов от сероводорода значительный вклад внесли работы: Балацкий О.Ф., Вакулюк П.Г., Власенко В.М., Барахтенова Л.А., Зиновьева Л.М., Иванова Н.Н., Потапов А.Г., Кузьменко Н.М., Шпилов Д.Д., Ашраф Ахмед., Афанасьев Ю.М., Фролов Г.С., Е.Н.Буглов, Е.Г.Васенёва и других.

3. Новый метод или некоторые недостающие пробелы по эффективности удаления H_2S и его влиянию на свойства буровых растворов.

В этой статье проводится исследование по удалению H_2S с использованием составов буровых растворов на водной основе, содержащих MnO и МЭА, h-iron ингибиторы поглотителя сероводорода. Исследование также оценивает влияние этих поглотителей на реологические свойства и водоотдачу базового бурового раствора. Это исследование представляет собой новый вклад в этой области, заполняя некоторые недостающие пробелы по эффективности удаления H_2S и его влиянию на свойства буровых растворов.

2.1. Материалы и методы

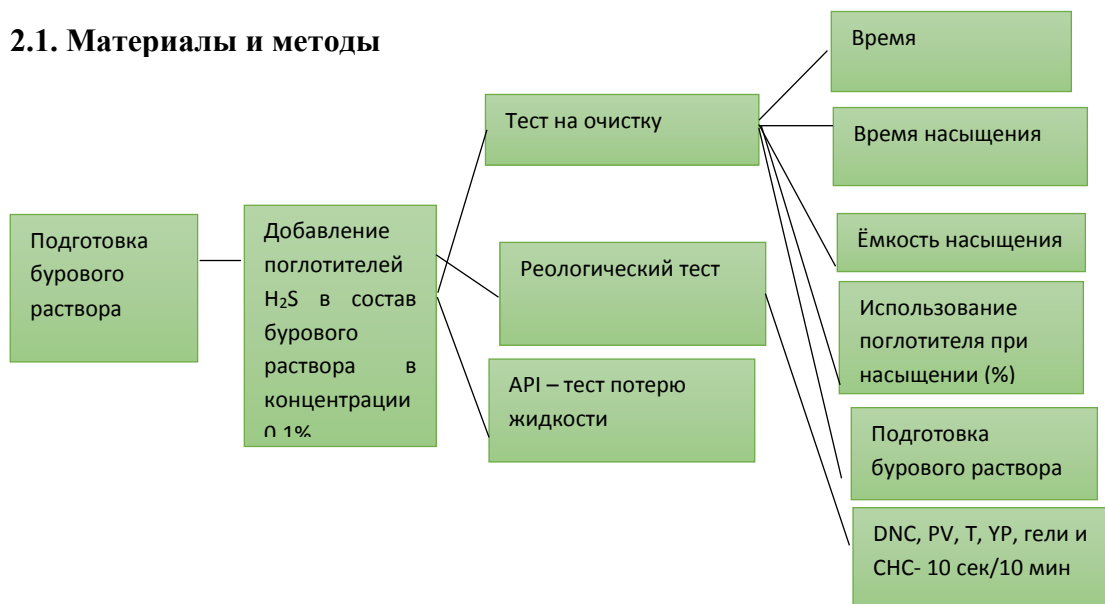


Таблица 1. Методология исследования.

2.2. Составы буровых растворов

Буровой раствор на водной основе (т.е. базовый буровой раствор) был приготовлен путем добавления к дистиллированной воде. Составы (т.е. составы) буровых растворов (т.е. основы и буровых растворов, содержащих поглотитель H_2S), использованных в этом исследовании,

перечислены в Таблице 1.

Приготовили свежее приготовленный раствор с плотностью 1,75 гр/см³.

Отобрал 1 литр раствора и ввел указанные концентрации нейтрализатора, диспергировали 1 час.

После диспергации, согласно по новый методике определения нейтрализатора, отобрал 350 мл раствора и вводил раствор сульфида натрия 100 000 мг/л Na₂S, начиная с низкой концентрации 0,5 мл и до появления слабого потемнения на свинцовой полоске при взаимодействии серной кислоты 5Н, 4 капли. Время диспергации раствора с нейтрализатором и сульфидом натрия 15 мин.

Концентрацию добавок принимали в массовых процентах (мас. %). Ингредиенты этих буровых растворов тщательно перемешивались в дистиллированной воде с помощью высокоскоростного пляжного миксера Hamilton. Последовательность смешивания и время смешивания каждой добавки приведены в Таблице 1. Все добавки смешивали последовательно со скоростью смешивания 21000 об/мин.

Вывод

В данном исследовании было проведено сравнение эффективности включения MnO в буровой раствор с базовым раствором и коммерческим поглотителем МЭА, h-iron с применением модифицирующими реагентами. Было оценено реологические свойства, фильтрующие свойства, коррозионное сходство и другие ключевые характеристики новой жидкости для бурения. Основной упор был сделан на использование MnO как поглотителя для удаления H₂S из буровой жидкости с целью повышения эффективности и безопасности процесса бурения. Лабораторные и полевые испытания необходимы для оценки применимости новой рецептуры бурового раствора.

2.3. Материалы

Важно правильно сбалансировать добавки для достижения нужных свойств раствора. Понадобилось сделать много экспериментов, прежде чем добиться оптимального состава раствора

Буровой раствор для нейтрализации сероводорода, используемая в этом исследовании, была создана по рецепту исследователя, используемой в реальных условиях. Это включало последовательное добавление различных добавок к буровому раствору в дистиллированную воду в условиях окружающей среды с использованием высокоскоростного блендера. Процедура приготовления базового раствора начиналась с введения в воду пеногасителя, известного как пеногаситель. Впоследствии были добавлены модифицированный полимер Green Pac LV, модифицированная глина ПБМБ (для регулирования потерь жидкости и улучшения вязкости), Калий хлорид (для стабилизации сланца) и каустическая сода (для регулирования щелочности). Для достижения плотности 9,8 фунтов на галлон (ppg) в качестве связующего и утяжеляющего материала был введен карбонат кальция и барит. После этого в базовый буровой раствор добавляли коммерческие или предлагаемые поглотители H₂S. Конкретная последовательность и количества каждой добавки в составе бурового раствора приведены в таблице 3.

Таблица 4

Рецептура

Компонент	количество
дистиллированная вода	316 см ³
Пеногаситель	0,08 см ³
Green Pac LV	1 г
Глина ПБМБ	6 г

Компонент	количество
Калий Хлор	34 г
каустическая сода	0,25 г
Барит (карбонат кальция) (50 мкм + 25 мкм)	36 + 24 г
Нейтрализаторы H ₂ S	0/1 г

2.4 Экспериментальная работа

Методика, использованная в этом исследовании, проиллюстрирована на таблице 3 и описана ниже.

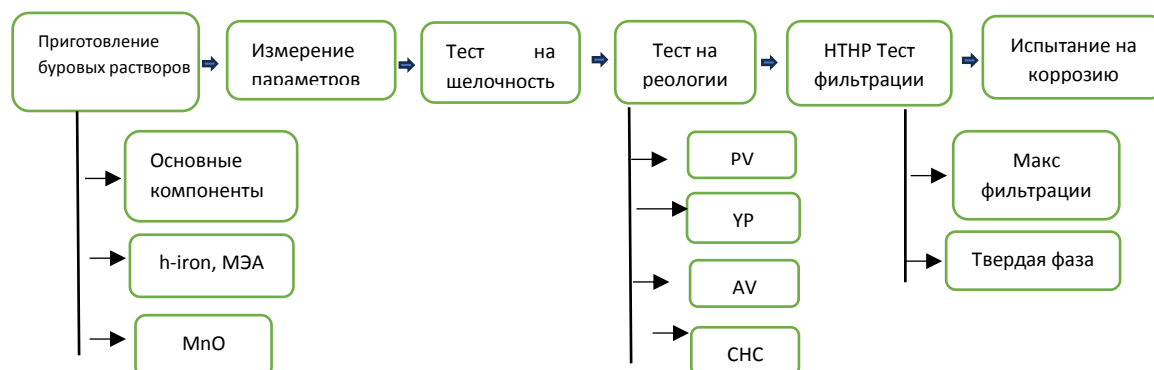


Таблица 5. Экспериментальный подход

Результаты исследования могут дать понимание эффективности MnO в сорбции H₂S, показать его способность нейтрализовать сероводород, а также определить влияние на физико-химические характеристики бурового раствора на основе воды.

Было проведено нейтрализация сероводорода (H₂S) путем воздействия 10 см³ приготовленного на основе бурового раствора в полевых условиях к потоку газа H₂S. Источником H₂S является цилиндр, содержащий 100 ppm H₂S (балансовый газ метана). Скорость потока газа на входе поддерживалась постоянной на уровне 150 см³/мин с помощью расходомера, оснащенного регулирующим клапаном. Используя газоанализатор (MultiRAE Lite-PGM-6208), концентрацию H₂S в отходящем потоке непрерывно контролировали и анализировали до точки насыщения. Эта точка достигается, когда концентрации H₂S на выходе и входе равны (т.е. 100 частей на миллион). Тест проводился при комнатной температуре.

Важно измерять pH бурового раствора для контроля щелочности. Использование калиброванного цифрового pH-метра от Mettler Toledo поможет точно определить этот параметр. Это важно для понимания реологии и фильтрационных свойств раствора.

Пластическая вязкость (PV), кажущаяся вязкость (AV), предел текучести (YP) и прочность геля - все эти параметры играют важную роль при изучении поведения буровой жидкости при бурении нефтяных или газовых скважин. Использование вискозиметра прямой индикации (реометр FAN) при 169°F для измерения реологических характеристик жидкости звучит продвинуто и точно. Показания (вискозиметра FAN) определялись по показаниям отклонения шкалы (Ф) при различных скоростях сдвига в диапазоне от 3 до 600 об/мин. Пластиковая модель Бингама обычно используется для аппроксимации реологических данных жидкости, учитывая их поведение как пластиковую жидкость с учетом пластической вязкости и кажущейся вязкости.

Статической напряжением сдвига играет особое значения в буровом растворе. Измерили начальную прочность геля (10 сек-гель) и через 10 секунд после статического периода при 3

об/мин. Конечную прочность геля (10 мин-гель) измерили после 10 минут оставления жидкости нетронутой.

$$AV = \phi^{600rpm} \times 2AV\phi = \phi^{600rpm^2} \quad (1)$$

$$PV = \phi^{600rpm} - \phi^{300rpm} \quad PV = \phi^{600rpm} - \phi^{300rpm} \quad (2)$$

$$YP = 2 \times \phi^{300rpm} - \phi^{600rpm} \quad YP = 2 \times \phi^{300rpm} - \phi^{600rpm} \quad (3)$$

Для оценки фильтрационного поведения приготовленных буровых растворов было проведено статическое испытание на водоотдачу в соответствии с рекомендуемой практикой Американского института нефти (API). Эксперимент проводился в высокотемпературном фильтр-прессе высокого давления (НТНР) OFITE при температуре 250 °F в течение 30 минут с перепадом давления до 300 фунтов на квадратный дюйм, а в качестве фильтрующего материала использовался керамический диск диаметром 40 мкм. В ходе испытания фильтрат получали в цилиндре и записывали его объем через разные промежутки времени. Дополнительно также определяли толщину фильтрационной корки.[12]

2.5. Измерение pH

Измерения щелочности оснований для бурения флюидов и растворов показали различные значения pH: 11,0, 7,9 и 11,3. Использование ингибиторы коррозии значительно снижало pH из-за низкого pH и присутствия железа, вызывая образование побочных продуктов на основе сульфида железа. Добавление MnO к жидкости для бурения приводило к незначительному увеличению pH. В общем, оптимальный диапазон pH для водных растворов обычно составляет от 9,0 до 11,0. Однако в присутствии H₂S рекомендуется поддерживать более высокий уровень pH, чтобы компенсировать подкисляющее действие H₂S. Для бурения в кислой среде необходим минимальный уровень pH 10. Исходя из этих требований, pH, достигаемый при использовании жидкости, содержащей MnO, соответствует нормам, в то время как использование ингибиторы коррозии требует более тщательного контроля щелочности

Вывод

Реологические свойства бурового раствора играют важную роль в процессе бурения. Увеличение значений AV, PV и YP обычно может улучшить эффективность бурения и контроль за шламом.

Добавление веществ как ингибиторы коррозии МЭА, h-iron и MnO увеличивает эффективности нейтрализации сероводорода и реологические параметры бурового раствора, что может улучшить его способность к очистке ствола скважины, уменьшить вероятность засора в процессе бурения и обеспечить лучшее удержание шлама в статических условиях.

Также, прочность геля важна для удержания шлама и контроля над проходкой. Высокие значения реологических параметров и прочности геля могут способствовать более эффективному бурению скважины.

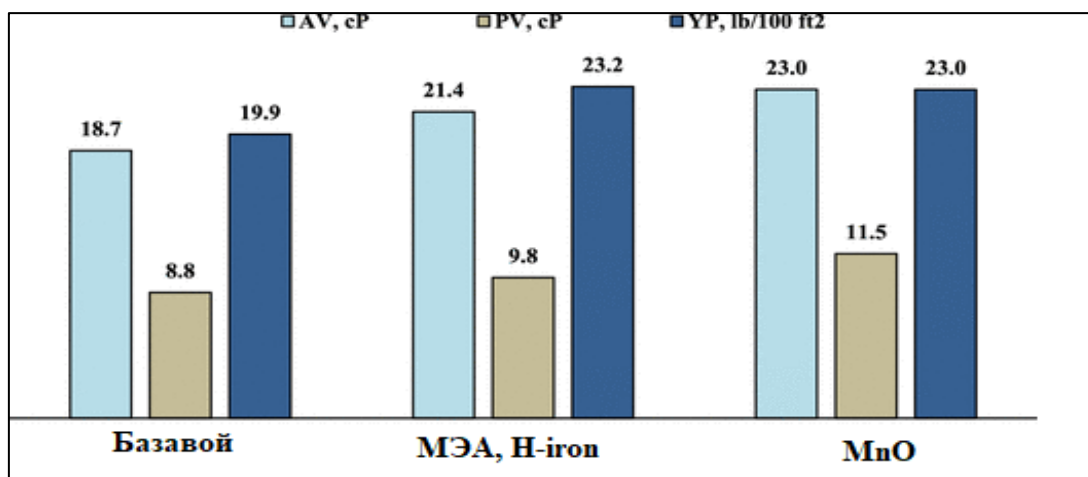


Рисунок 2. Реологические особенности рассматриваемых растворов

Для эффективного бурения важно использовать буровые растворы с низким PV (условная вязкость) и высоким YP (пластическая вязкость). Это помогает улучшить текучесть жидкости, минимизировать потери давления и обеспечить хорошую несущую способность во время бурения. Высокое значение YP, не превышающее 50 фунтов/100 футов, указывает на большую несущую способность во время обращения. Кроме того, для достижения лучших показателей потери жидкости рекомендуется, чтобы AV превышал 15 сП и предпочтительно находился в диапазоне от 20 до 35 сП

2.6. Исследование коррозии

Тесты коррозии помогают определить скорость коррозии металла в различных средах. В данном исследовании использовался раствор с MnO, основа и h-iron при 250°F и давлении 300 psi. Металлический купон с корпусной стали N80 выдерживался в растворе 6 часов для оценки скорости коррозии. Скорость коррозии вычисляется делением потеряннного веса на площадь поверхности образца.



Рисунок 4. До и после освоение переводника НКТ 114,1 мм.
Скорость коррозии за 6 часов при забойной условие

Согласно исследованию коррозии, базовая жидкость корродирует со скоростью $1,1 \times 10^{-4}$ фунта/фут², при использовании h-iron и МЭА или MnO коррозия практически исключена, использование h-iron, МЭА или MnO действительно может быть эффективным способом предотвращения коррозии базовой жидкости. Нулевая скорость коррозии говорит о высокой

надежности этих веществ в защите от коррозии буровых оборудования. Это важно для сохранения чистоты и экологической безопасности области.



Рисунок 4. Исследование воздействия МЭА и h-iron на 90 минут термической коррозии на отобранные пробы забойной воды, насыщенной сероводородом до 80 ppm.



Рисунок 5. Исследование воздействия МЭА и h-iron на 90 минут термической коррозии на переводнике НКТ 114мм

Исследования показали, что ингибиторы коррозии МЭА и h-iron действительно эффективны против коррозии при таких экстремальных условиях. Отлично, что отобранные пробы не показали наличие осадка и металл остался абсолютно чистым

Выводы

В этом исследовании производительности MnO и МЭА и h-iron его влияние на буровой раствор показали интересные результаты в качестве поглотителя H_2S для улучшения нейтрализации сероводорода из состава бурового раствора во время бурения, одновременно решались несколько геоэкологических задач, таких как:

1. Сокращение выбросов вредных газов в атмосферу
2. Восстановление и охрана экосистем
3. Устойчивое использование природных ресурсов
4. Очистка водных ресурсов от загрязнений
5. Уменьшение отходов и их переработка
6. Охрана животного мира и биоразнообразия

Исходя из этой работы, добавка MnO в растворы может успешно нейтрализовать сероводорода H_2S . Это приведет к безопасным с экологической и геоэкологической точек зрения, улучшит операции по бурению, а также обеспечит хорошую реологию жидкости, фильтрационные характеристики и защиту от коррозии. MnO также поддерживает безопасный уровень pH, что делает его подходящим для бурения кислых углеводородных образований.

Однако, для полевых испытаний требуются дополнительные исследования, чтобы оценить эффективность в условиях АВПД, а также учесть любые изменения в составе бурового раствора.

7. Использование МЭА и h-iron значительно увеличило способность водного раствора удалять H_2S , а использование MnO кажется еще более эффективным за счет увеличения нейтрализации сероводорода. Нейтрализация H_2S очень важна для нефтегазовых отраслей, особенно для геозкологических безопасности и заботы о окружающей среде.

8. Добавление MnO в буровой раствор помогло поддерживать pH на безопасном уровне (11,3), что играет важную роль в предотвращении кислотных образований при бурении. pH (7,9) действительно является критически низким значением для буровых растворов.

9. Для обеспечения желаемых характеристик бурового раствора, таких как Apparent Viscosity (AV), Plastic Viscosity (PV), Yield Point (YP) и Gel Strength, важно правильно подбирать компоненты, такие как h-iron, МЭА и MnO . Буровые растворы должны обладать определенными реологическими свойствами для эффективного бурения. H-iron (гидрокарбонат железа), МЭА (моноэтаноламин) и MnO (оксид марганца) могут использоваться для достижения нужных реологических характеристик. Важно учитывать реакции компонентов между собой, их концентрации и взаимодействия с другими добавками в растворе для достижения оптимальных результатов. Эффективное управление AV, PV, YP и прочностью геля поможет обеспечить стабильность и эффективность процесса бурения. И h-iron и МЭА, и MnO не вызывают коррозии, о чем свидетельствует почти нулевая скорость коррозии, достигаемая с помощью этих веществ.

Библиографический список

- [1] Республика Узбекистан. Законы. Экологический Кодекс Республики Узбекистан – Ташкент, 2010. – 159 с.
- [2] Республика Узбекистан. Указ Президента Республики Узбекистан «О совершенствовании системы мониторинга окружающей природной среды» на 21 апреля 2017 года. – Ташкент, 2017. № УП 5024.
- [3] Khushvaktov Sh.Sh., Bragina O.A., Vakhromeev A.G., Tashkevich I.D.Sverkunov S.A., Hydrogen-sulfide aggression as one of the problematic geological factors complicating exploration and development of gas condensate fields by deep wells in the Southern Uzbekistan // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море: Научно-технический журнал. – Москва, 2023. – №5 (365) – С.46–53.
- [4] Хушвактов Ш.Ш., Тимофеева С.С., Вахромеев А.Г., Основные геолого – геозкологические аспекты разведки и разработки газоконденсатных месторождений Южного Узбекистан глубокими скважинами / С.С.Тимофеева, А.Г.Вахромеев, Ш.Ш. Хушвактов // Проблемы геологии, разработки и эксплуатации месторождений и транспорта трудно извлекаемых запасов углеводородов. – Ухта: Изд-во УГТУ, 2022. – № К65 – С.68-74.
- [5] А.С. 1040125 СССР, Е 21 В 43/23. Реагент для борьбы с сероводородом при освоении газовой скважины / В.Д.Шугорев, Л.Т.Дытюк, и др. (СССР). // Бюл. Открытия. Изобретения. – 1983. – №33. – С. 118.
- [6] Салех А.И.Ш. «Разработка основ технологии селективной очистки углеводородных газов от сероводорода» 05.14.16. – Волгоград, 1999. – 139 с.
- [7] Рязанов Я.А. Энциклопедия по буровым растворам. – Оренбург: Летопись, 2005. – 664 с.
- [8] Бурение глубоких скважин в условиях сероводородной агрессии: обзорная информация. – Москва: ВНИИОЭНГ, 1981. – 60 с.
- [8] Тимофеева С.С., Ботиров Т.В., Мусаев М.Н., Бобоев А.А. Математическая модель и мониторинг загрязнения приземного слоя атмосферы горнопромышленного региона // Journal of Advances in Engineering Technology, no. 2, 2021, pp. 39. doi:10.24412/2181-1431-2021-2-3-9

- [10] Буглов Е.Н., Васенёва Е.Г. Бурение скважин в условиях сероводородной агрессии: Текст научной статьи по специальности «Энергетика и рациональное природопользование».
- [11] Каримова А.Р., Ипатова Е.А., Абдюшев Р.Р., Хамзин Ю.А., Давлетшин, А.Р., Шириязданов Р.Р. Проблемы и перспективы переработки попутных нефтяных газов // НефтеГазоХимия. – 2015. – №1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-perspektivy-pererabotki-poputnyh-neftyanyh-gazov> (дата обращения: 16.10.2023).
- [12] Рустамов З.А., Брюхова К.С. Проблема утилизации попутного нефтяного газа. Анализ и современное состояние // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2019. – № 58.
- [13] Постановление Правительства РФ от 08.11.2012 № 1148 (ред. от 13.12.2019) // Собрание законодательства РФ. - 2012. - № 47. Ст. 6499] и №1381 от 17 декабря 2016 г. [О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 8 ноября 2012 г. № 1148 : Постановление Правительства РФ от 17.12.2016. № 1381 // Собрание законодательства РФ. – 2016. – № 52 (Часть V). - Ст. 7648.].
- [14] Подбор состава вытесняющего газа для условий нефтяного месторождения Центрально-Хорейверского поднятия / А.А. Медведев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2019. – № 9. – С. 94–97
- [15] Патент № 2745489 Российская Федерация, МПК E21B 43/16 (2006.01), C09K 8/58 (2006.01). Способ газозиклической закачки смеси диоксида углерода с попутным нефтяным газом при сверхкритических условиях в нефтедобывающую скважину: № 2020133426: заявл. 12.10.2020: опубликовано 25.03.2021 / Волков В.А., Беликова В.Г., Прохоров П.Э., Турапин А.Н., Керосиров В.М. Афанасьев С.
- [16] Гарифуллин Р.Г. Очистка нефти от сероводорода в промысловых условиях / Р.Г. Гарифуллин, А.М. Мазгаров, И.К. Хрущева // Технологии нефти и газа. – 2007. – № 1. – С. 11–18;
- [17] Промысловая очистка нефтей от сероводорода и меркаптанов/ А.М. Мазгаров; А.Ф. Вильдано
- [18] Мазгаров А.М., Вильданов А.Ф. Новые катализаторы и процессы для очистки нефтей и нефтепродуктов от меркаптанов // Нефтехимия. – 1990. – Т. 39, № 5. – С. 371–378
- [19] Копылов А.Ю., Мазгаров А.М., Вильданов А.Ф., Инебаев Д.К. Совершенствование технологии демеркаптанзации Тенгизской нефти на основе экстракционного процесса // Химическая промышленность сегодня. – 2010. – № 4. – С. 45–53.
- [20] Вильданов А.Ф., Аслямов И.Р., Хрущева И.К., Аюпова Н.Р., Сафиуллина А.К. Окислительно-каталитический процесс ДМС-1МА для очистки тяжелых нефтей от сероводорода и меркаптанов // Нефтяное хозяйство. – 2012. – № 11. – С. 138–140
- [21] Богатырев, Т. С. Исследование и подбор новых реагентов для нейтрализации сероводорода. / Т.С. Богатырев, Ф.Р. Исмагилов // Сборник трудов II Международной научно-практической конференция «Инновационные технологии в производстве, науке и образовании». Т. 1. – Грозный, – 2012. – С. 382–389; автореферат канд. Дисс. Т. С. Богатырев. – Астрахань 2014. – 22 с
- [22] Р.Г. Пучина и др./ Современная практика предупреждения и удаления солеотложений // Нефтегазовое дело, -2020.- т.18, № 2. -С. 72-77
- [23] Коробков Ф.А., Комлева Т.И., Хрущева И.К., Набиев А.И. // IOAO «ВНИИУС», Казань : Казанский (Приволжский) Федеральный университет, 2020.
- [24] Маркин А.Н., Низамов Р.Э., Суховерхов С.В. Нефтепромысловая химия: практическое руководство. – Владивосток: Дальнаука, 2011. – 288 с.
- [25] Кашавцев В.Е., Гаттенбергер Ю.П., Люшин С.Ф. Предупреждение солеобразования при добыче нефти. – М.: Недра, 1985. – 215 с.
- [26] Кашавцев В.Е., Мищенко И.Т. Солеобразования при добыче нефти. – М.: Орбита, 2004. – 432 с.
- [27] Глуценко В.Н., Денисова А.В., Силин М.А., Пташко О.А. Ингибиторная защита нефтепромыслового оборудования от коррозии и солеотложений. – Уфа: Китап, 2013. – 592 с.
- [28] Антипин Ю.В., Валеев М.Д., Сыртланов А.Ш. Предотвращение осложнений при добыче обводненной нефти. – Уфа: Башкирское книжное издательство, 1987. – 168 с.

- [29] Емков А.А. Методы борьбы с отложениями неорганических солей в оборудовании подготовки нефти. Серия: Техника и технология добычи нефти и обустройство нефтяных месторождений. – М.: ВНИИОЭНГ, 1988. – Вып. 4.с.51
- [30] Люшин С.Ф., Глазков А.А., Галеева Г.В., Антипин Ю.В., Сыртланов А.Ш. Отложения неорганических солей в скважинах призабойной зоны пласта и методы их предотвращения. – М.: ВНИИОЭНГ, 1983. – 100 с.
- [31] Маркин А.Н., Подкопай А.Ю., Низамов Р.Э. Коррозионные повреждения насосно-компрессорных труб на месторождениях Западной Сибири // Нефтяное хозяйство. – 1995. – № 5. – С. 30-33.
- [32] Присяжнюк В.А. Физико-химические основы предотвращения кристаллизации солей на теплообменных поверхностях // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2003. – № 10. – С. 26-30.
- [33] Шангараева Л.А. Обоснование технологии предотвращения выпадения сульфата бария в скважинном
- [34] Хуршудов А.Г., Залялиев М.А., Плечев А.В., Никифоров С.Ю. Предотвращение отложений сульфата бария путем магнитной обработки жидкости // Нефтяное хозяйство. – 1995. – № 5-6. – С. 56-58.
- [35] Пат. 2570870 РФ, МПК Е 21 В 37/00. Электромагнитный излучатель, устройство и способ ингибирования образования отложений и коррозии скважинного оборудования / С.Ш. Шарипов, В.Г. Акшенцев, А.С. Шулаков, С.Н. Греков, С.Р. Алимбекова, Р.И. Алимбеков, В.А. Докичев. 2014123667/03; Заявлено 10.06.2014; Опубл. 10.12.2015. Бюл. 34.
- [36] Исаков А.В. Активная защита оборудования от солеотложений // Инженерная практика. – 2014. – № 2. – С. 10-11.
- [37] Камалетдинов Р.С. Обзор существующих методов предупреждения и борьбы с солеотложением в погружном оборудовании // Инженерная практика. – 2009. – № 12. – С. 12-15.
- [38] Абдуллаев А.Н., Мудуев М.М., Султанов Ю.И. Ультразвуковой способ предотвращения твердых отложений // Нефтепромысловое дело. 1979. – № 7. – С. 13-14.
- [39] Силин М.А. Промысловая химия. – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2016. – 350 с.
- [40] Жуков А.Ю. Методы «зеленой» химии: новые экологичные решения в области нефтепромысловых реагентов // Нефтяное хозяйство. – 2010. – № 8. – С. 138-139.

Критерии авторства

Хушвактов Ш.Ш., Вахромеев А.Г., Брагина О.А., Сверкунов С.А. подготовили статью, имеют равные авторские права и несут одинаковую ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Исследование и совершенствование техники и технологии по освоению скважин в сложных горно-геологических условиях

Э.Б. Элмуратов, П.С. Пушмин

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Email: Elmurodov_08@mail.ru, pps@ex.istu.edu

Аннотация: Вскрытие пласта и вызов притока углеводородного сырья-УВ является самым важным этапом строительства скважин. В статье посвящена внедрение новых инновационных технологии и новый метод освоения скважин

в осложненных условиях основанной на циклические гидродинамические воздействия на пласт. Данная методика является наиболее выгодной по затрачиваемым времени и денежным средствам.

1. Введение

В настоящее время существует высокая потребность в бурении геологоразведочных скважин для уточнения местоположения залегания полезных ископаемых существующих месторождений, а также разведки новых перспективных площадей. Освоение скважины составляет особый технологический цикл, который завершает ее строительство. Как нам известно, качество освоения и результаты последующей эксплуатации скважины зависят от того, насколько удастся восстановить фильтрационные характеристики продуктивных пластов-коллекторов на стадии первичного и вторичного вскрытия пласта, вызова притока, применения различных методов интенсификации притока из пласта.

Освоение скважин, это комплекс технологических работ по вызову притока флюида (газа) из пласта в скважину, обеспечивающего ее продуктивность в соответствии с локальными-местными добычными возможностями пласта или с достижением необходимой приемистости. Качество освоения, по существу, определяет темпы и характер разработки месторождений. Под опробованием пласта понимается комплекс работ, проводимых в целях вызова притока из пласта, отбора проб пластовой жидкости, оценки характера насыщенности пласта и определения его ориентировочного дебита. При проведении испытаний ставятся более широкие задачи, чем при опробовании. Под испытанием пласта понимается комплекс работ, обеспечивающий вызов притока, отбор проб пластовой жидкости и газа, выявление газосодержания пласта, определение основных гидродинамических параметров пласта (пластовое давление, гидропроводность, коэффициент продуктивности и др.).

Испытание скважин проводится в целях: установления промышленной газоносности пластов, оценки их продуктивной характеристики, получения необходимых данных для подсчета запасов УВ сырья и составления проектов разработки месторождений; получения достоверной информации, необходимой для оценки коллекторских свойств пород продуктивных пластов; определения основных гидродинамических параметров (продуктивности и т.д.); определение степени загрязнения объекта; выбора способа и оптимального режима эксплуатации скважины и месторождения в целом.

Задачами испытания пластов являются: оценка продуктивности объекта (пласта); отбор проб пластовых флюидов для исследования; оценка коллекторских свойств пласта; оценка степени загрязнения призабойной зоны пласта (ПЗП).

Испытание проводится как в процессе бурения скважины, так и после окончания бурения, после спуска и цементировании эксплуатационной колонны. Испытание и опробование пластов в процессе бурения проводится последовательно разбуривания перспективных горизонтов (метод «сверху вниз» или в целом несколько продуктивных горизонтов и пластов. Испытание пластов после завершения бурением и креплением скважины проводится в обсаженном стволе в последовательности «снизу вверх» с учетом результатов испытания скважины на продуктивность в открытом стволе. Испытания начинают с самого нижнего объекта, в его интервале обсадную колонну перфорируют и осуществляют вызов притока. Отбирают пробы пластовой жидкости и проводят необходимые измерения.

После завершения испытания нижнего объекта выше перфорированного участка создают цементный мост или мостовую пробки «легко-разбуриваемый в дальнейшем». Затем перфорируют обсадную колонну против следующего продуктивного интервала, испытывают его на продуктивность и подобным образом последовательно все последующие объекты, перемещаясь снизу-вверх. Способ опробования пластов после завершения бурением скважины имеет ряд недостатков: загрязнение пройденных продуктивных объектов при добурировании скважины, спуске и цементировании обсадной колонны; необходимость спуска

и цементирующей обсадной колонны, которая в данном случае необходима для разобщения опробуемых объектов.

Преимущества испытания пластов в процессе бурения заключаются в том: что, данные о гидродинамических характеристиках пласта получаются более объективными, так как, призабойная зона пласта еще интенсивно не загрязнена буровым и цементным растворами; на проведение исследований требуется меньшее время, чем на испытание в обсаженном стволе.

В исследовании скважин применяют ряд методов для оценки продуктивности разреза, которые можно разделить на две группы – косвенные и прямые.

- методы, отнесённые к косвенным, позволяют получить характеристики косвенным образом указывающие на возможность присутствия газа в исследуемом интервале. К косвенным методам относят оперативный геолого-технический контроль в процессе бурения и геофизические методы исследования в скважине. Косвенные методы не позволяют определить промышленное значение продуктивных объектов, так как они не дают полных сведений о флюиде пласта и обеспечивают лишь данные, необходимые для обоснования выбора интервалов, подлежащих опробованию и испытанию пластов.

- Прямые методы базируются на непосредственных свидетельствах о присутствии продукта-газа (отбор пробы, получение притока и т.д.) и данные методы осуществляют вызовом притока газа из пласта.

Гидродинамические исследования скважин (ГДИС) — это выполнение различных мероприятий по сбору данных (давление, температура, уровень жидкости, дебит и др.), отбору проб пластовых флюидов (нефти, воды, газа и газоконденсата) в работающих или остановленных скважинах и их регистрации во времени. Основными задачами проведения ГДИС являются расширение знаний о коллекторе и получение информации о состоянии конкретной скважины, используемой для сбора данных. В ходе исследований рассчитывается объём коллектора. Различают ГДИС на установившихся режимах фильтрации – метод снятия индикаторной диаграммы (ИД) и на неуставившихся режимах – методы кривой восстановления давления (КВД), кривой падения давления (КПД), кривой восстановления уровня (КВУ) или кривой притока (КП).

Метод снятия индикаторной диаграммы (ИД) позволяет определить оптимальный способ эксплуатации скважины и изучить влияние режима работы скважины на величину дебита; Метод кривой восстановления давления (КВД) используется в случае фонтанирующих с высокими и устойчивыми дебитами скважин. Исследование методом КВД заключается в регистрации давления в остановленной скважине, которая была закрыта путём герметизации устья после кратковременной работы с известным дебитом (тест Хорнера); Метод кривой восстановления уровней (КВУ) используется в случае нефонтанирующих или неустойчиво фонтанирующих скважин с низкими пластовыми давлениями. Гидропрослушивание используется для изучения параметров пласта (пьезопроводность, гидропроводность), линий выклинивания, тектонических нарушений и т. п. Сущность метода заключается в наблюдении за изменением уровня или давления в реагирующих скважинах, обусловленным изменением отбора жидкости в соседних возмущающих скважинах. Газоконденсатные месторождения Республики Узбекистан основная часть запасов газа имеет высокое содержание диоксида углерода и сероводорода (рисунок 1).

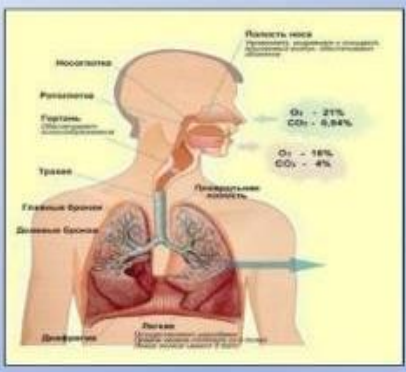




H₂S - сероводород

- ◆ Строение (схема)
- ◆ Вид химической связи – ковалентная полярная
- ◆ Получают взаимодействием разбавленных кислот с сульфидами: $\text{FeS} + 2\text{HCl} \rightarrow \text{FeCl}_2 + \text{H}_2\text{S} \uparrow$ или сплавлением парафина с серой.
- ◆ Физические свойства сероводорода – горючий, бесцветный, сильно ядовитый газ с характерным запахом тухлых яиц, плохо растворим в воде. При растворении в воде образует слабую сероводородную кислоту.
- ◆ Хим. свойства: H₂S в природе при недостатке кислорода окисляется до серы: $2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$
В воздухе горит синим пламенем: $2\text{H}_2\text{S} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{SO}_2$
- ◆ Роль:
 - *очень ядовит, но имеет лечебное значение, т. к. входит в состав минеральных вод,
 - *применяется для получения серной кислоты и серы.

Углекислый газ



Возможные названия	Оксид углерода(IV), диоксид углерода, сухой лёд
Химическая формула	CO₂
Тип химической связи	Ковалентная полярная
Физические свойства	Газ без цвета, запаха и вкуса, не поддерживает горение, в 1,5 раза тяжелее воздуха

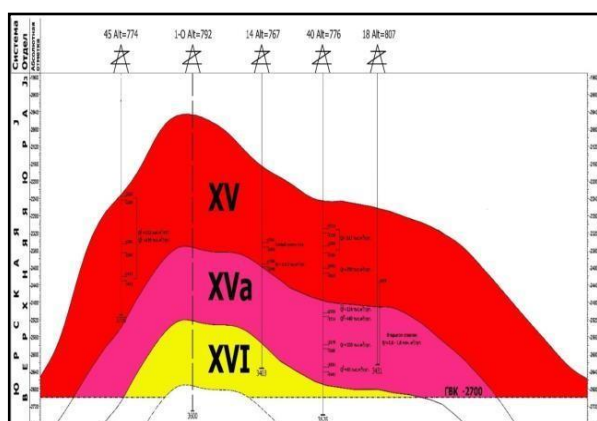
Рисунок 1. Газоконденсатные с высоким содержанием диоксида углерода и сероводорода

Также неразведанные месторождений Республики (где не проводится добычи флюида газа), по стратиграфию сложно-построенная залежь приуроченный к юрским подсолевым карбонатным отложениям, то есть газовой коллектор XV и XVa карбонатных горизонтов Юры (рисунок 2): основная часть- метан (80-82%), присутствие сероводорода в большом количестве (H₂S- 8% и более) и углекислого газа (CO₂-12,7%), высокими пластовыми давлениями до 65 мПа-АВПД и Пластовая температура: T=125-133°C, где по результату геологоразведочных и буровых работ обнаружен крупный запас высокосернистого газа (оценено промышленные запасы углеводородного сырья по категории C1).

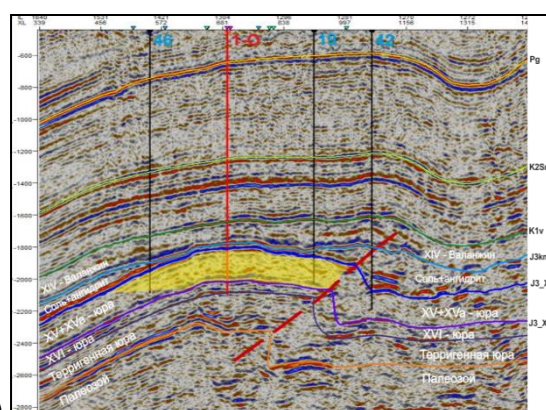
- (a)
- (б)
- (в)



(a)



(б)



(в)

Рисунок 2. Продуктивные горизонты газового месторождения, схематичный геологический разрез-(а); Сейсмический разрез по линии скважин с указанием целевого интервала (б); Бурение скважин и риски геологических осложнений (в)

Промышленная газоносность месторождения связана с юрскими карбонатными отложениями (общая мощность около 600-700м);

- XV горизонт представлен пересаживанием ангидритов и известняков;
- XVa горизонт представлен известняками, преимущественно мелководных лагунных фации;
- XVI горизонт сложен плотными, глинистыми известняками с прослоями мергели и известковистых глин.

При бурении глубоких скважин АВПД возникают осложнения геологического характера: - Поглощения бурового раствора; / Газопроявление ГНВП; - Осыпи и обвалы стенок скважины, образование желоба; - Сужение ствола скважины.

Как следствие, появляются нижеследующие риски, влияющие навремя и материальные ресурсы строительства скважин: - Потери бурового раствора: / Прихват/поломка бурового инструмента; - Смятие обсадных колонн; - Повторное перебуривание-бурение боковых дополнительных стволов.

Применение технологии DST при испытании скважин (рисунок 3). Испытание пластов на трубе (далее DST) является одним из наиболее важных методов заканчивания скважин и один из основных видов, которое используется для оценки пласта и свойств коллектора.



Рисунок 3. Технологии DST при испытании скважин

Освоения и испытания скважин на продуктивность при строительстве поисково-разведочных (и эксплуатационных скважин «план») на месторождения ближне Зарубежных стран успешно проводятся с внедрением новых и перспективных технологии DST-Drill Stem Test (испытание пластов на трубе) при испытании в обсаженном стволе скважины (также в открытом стволе).

Использование компоновки DST (Drill Stem Test – Испытание пластов на трубах) позволяет помимо;

- получения параметров пласта, такие как пластовая температура и давление в реальном времени, с установкой в цилиндр манометров «держатель манометров, нет необходимости подвешивать на проволоке, что минимизируется риск» не менее двух проверенных в установленном порядке регистраторов давления и температуры (рисунок 4);



Рисунок 4. Глубинный автономный манометр на держателе (контейнер).

- сократить время на проведение ГДИ ГКИ и глушение скважины;
- сократить времени на спуско-подъемных операций СПО;
- проведение стимуляции пласта, операции по СКО с закачкой в продуктивный пласт без извлечения инструмента;
- долговечность эксплуатации скважины (за счёт герметизации кольцевого/затрубного пространство «между инструментами и обсадной колонны» с помощью подвесного механического извлекаемого полнопроходного пакера типа RTTS (рисунок 5);

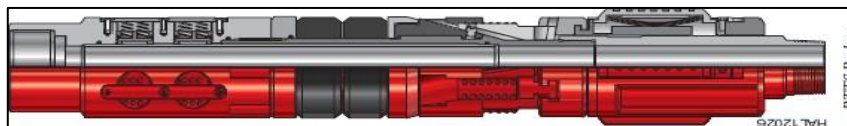


Рисунок 5. Пакер типа RTTS.

- проводить глушение скважины, антигидратные мероприятия в стволе скважины, перевод скважины на другую технологическую жидкость и блокирующие составы без воздействия на сам пласт, не ухудшая фильтрационно-емкостные свойства пород.

- данная операция реализуется за счет системы гидравлических клапанов-отсекателей и пакеров. При испытании скважины с помощью компоновки DST общее время испытания объекта сокращается практически в 1,5-2 раза.

При спуске компоновки DST, должен быть OMNI клапан в открытом положении (рисунок 6), а RD клапан в закрытом положении (рисунок 7);



Рисунок 6. Многоцикловой циркуляционный клапан OMNI

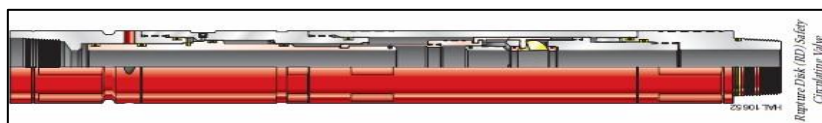


Рисунок 7. Циркуляционный RD клапан.

Пакер типа RTTS – подвесной работающий при высоком

- OMNI- клапан полнопроходный циркуляционный многоцикловой при контролируемом давлении, прикрепляется выше пакера и обеспечивает возможность прямой и обратной промывки и замену жидкости в инструменты. OMNI клапан, представляет собой клапан, работающий под действием давления в затрубном пространстве, за счет циклического изменения колебание давления в затрубье, которое повышается заранее до определенного уровня, а затем сбрасывается.

- Конструктивные особенности: -благодаря наличию способность многократных открытий и закрытий, может проведение работ подкисления, разрыва и других возбуждений скважины после окончания исследования; - облегчает процесс исследования и снижает стоимость; - может применять в агрессивной среде кислоты;

- Циркуляционный предохранительный RD клапан с разрывным диском прикрепляется выше пакера и является однократным полнопроходным предохранительным циркуляционным клапаном с управлением по давлению в затрубном пространстве. Этот клапан работает как предохранительный и циркуляционный клапан. Обозначение RD указывает на использование разрывного диска (Rupture Disk). Данный инструмент работает как предохранительный клапан, когда давление в затрубном пространстве (избыточное давление) достигает заранее заданного значения. При этом давлении шаровой клапан отсекает испытательную колонну ниже шарового клапана и обеспечивает связь между затрубным пространством и испытательной колонной через циркуляционные отверстия над

шаровым клапаном. Главным образом, данный инструмент используется в конце испытания скважины для глушения скважины.

- Пакер типа RTTS – подвесной работающий при высоком дифференциальном давлении в агрессивной среде и пакер имеет в своем составе механизм, механические плашки, пакерующий элемент и гидравлический прижимной механизм, препятствующий сдвигу инструмента вверх.

Основные функции заключаются в герметизации кольцевого затрубного пространство «между НКТ и ОК» и предотвращении перемещения бурового ствола вниз по скважине. Пакеры используемые в инструменте являются временными, что их можно извлечь на поверхность в отличие от других типов постоянных пакеров, которые остаются в скважине. Пакеры очень часто повышают дебит скважины направляя пластовые флюиды в односторонний трубный канал, а не в затрубное пространство. Пакеры, обычно устанавливаются выше зоны перфорации, чтобы предотвратить вытекание пластовых флюидов через затрубное пространство на поверхность.

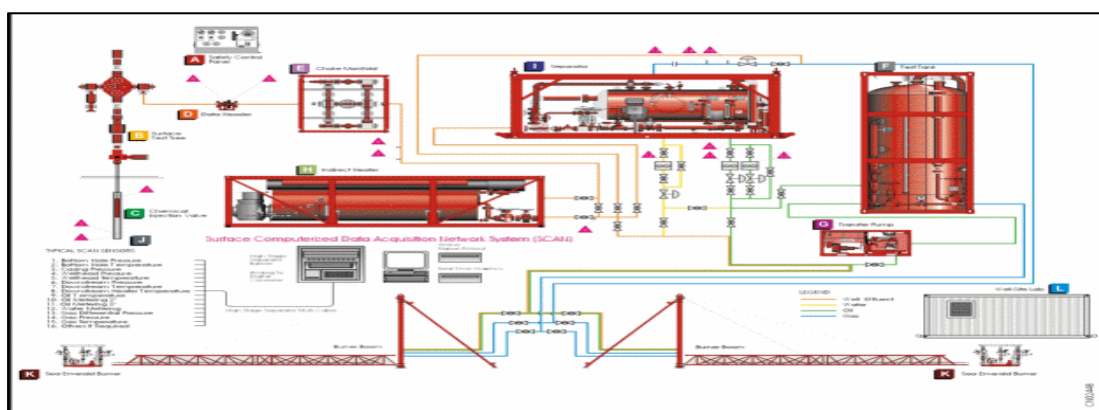


Рисунок 8. Типовая схема наземного оборудования для испытания

Типовая схема наземного оборудования для испытания (Рис.-8). Перед началом освоения к устью скважины монтируется Фонтанная арматура и для разделения потока флюида используется трехфазный горизонтальный сепаратор.

Динамика записи:

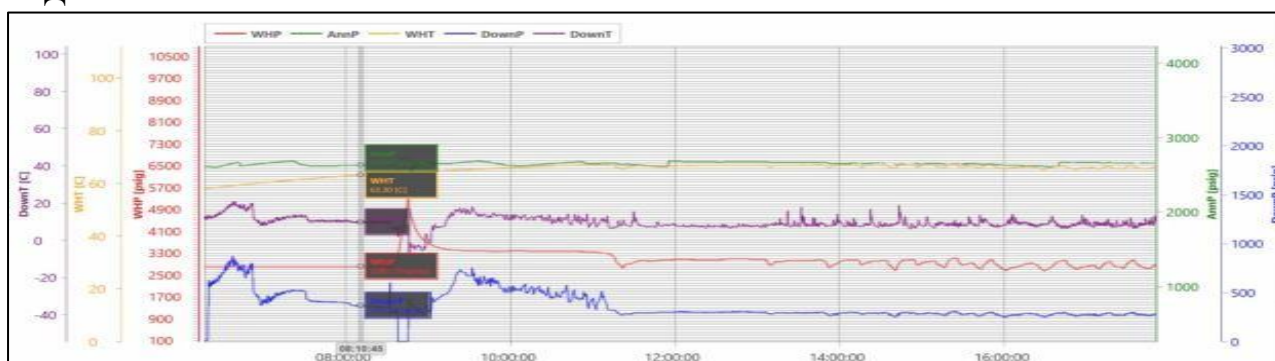


Диаграмма 1. Динамика изменения устьевых давления и температуры в процессе испытания скважины

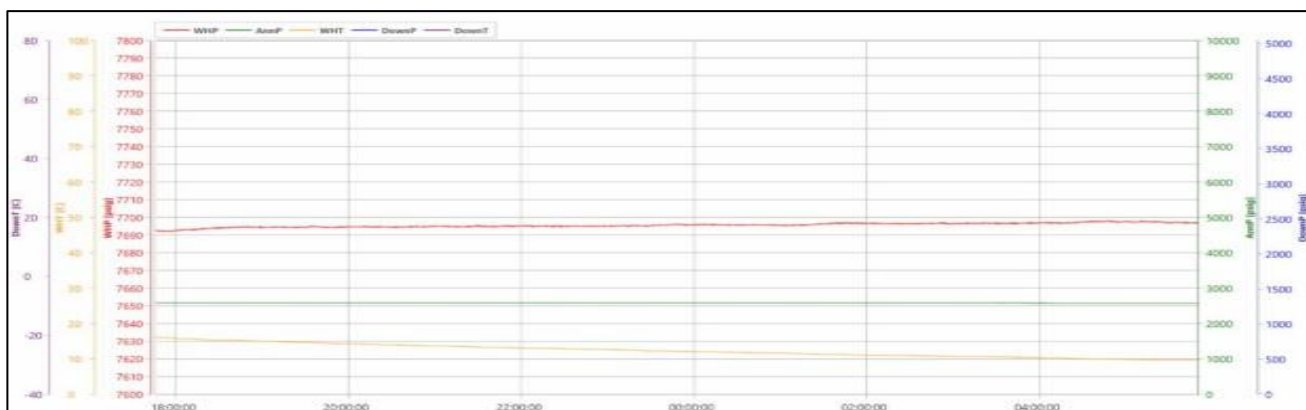


Диаграмма 2. Динамика записи КВД, при закрытом состоянии скважины.

Нефть и природный газ в республике добываются в пяти нефтегазовых регионах: «Устьюртский регион», «Бухара-Хивинский регион», «Юго- Западный Гиссарский регион», «Сурхандарьинский регион» и «Ферганская впадина». За весь период проведения разведывательных работ в Узбекистане открыто около 246 месторождения нефти и газа. Потребление энергоресурсов в Узбекистане тоже высокое.

2. Заключение

Современная инновационная технология, предназначенная для проведения испытания, позволяет провести испытание скважины в кратчайшие сроки при максимальном уровне информативности. Использование оборудования DST (испытание на трубах) позволяет за один спуск инструмента произвести весь комплекс запланированных операций, таких как перфорация, соляно-кислотная обработка-СКО, снятие КВД (Метод кривой восстановления давления, см-Диаграмм) и индикаторных диаграмм, кривых притока, дебитометрию, термометрию и отбор поверхностных и глубинных проб.

Интеграция результатов испытаний и данных обязательна для завершения строительства скважины. Подход к завершению скважины без проведения испытаний пластов на трубе DST, это – большая потеря. Использование компьютерных систем сбора, хранения и обработки информации, высокоточных глубинных измерителей давления и температуры выводит промысловые исследования на новый более качественный уровень.

Библиографический список

- [1] Шагиев Р.Г. Исследование скважин по КВД. – М. : НАУКА, 1998.
- [2] Басарыгин Ю.М., Будников В.Ф., Булатов А.И., Проселков Ю.М. Технологические основы освоения и глушения нефтяных и газовых скважин. – М. : Недра-Бизнесцентр, 2001.
- [3] Пример обработки данных, полученных в ходе испытания скважины №2 Кишинская / сайт StudFiles. – URL: <https://studfile.net/preview/9217938/page:9/>
- [4] URL: <http://petrowiki.org/Packers>
- [5] Energy Glossary. – URL: <http://glossary.oilfield.slb.com>
- [6] United States Department of Labor. – URL: https://www.osha.gov/SLTC/etools/oilandgas/well_completion/well_completion.htm

Глушения скважин с использованием блокирующих составов

В.И. Варданян, Н.С. Намолов, Г.Р. Романов

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Email: rgr@ex.istu.edu

Аннотация. Авторы статьи рассматривают блокирующие составы «ФРИ» и «КАРП» для глушения скважин.

1. Введение

Разработка нефтяных и газовых месторождений в настоящее время осложнена геологическими характеристиками, поскольку значительная часть продуктивных пластов представлена карбонатными трещинными коллекторами с высоким газовым фактором. Наличие на месторождении пластов с системами сообщающихся трещин разной степени раскрытости и протяженности требует особого, дифференцированного подхода к планированию операций глушения скважин, связанных с разработкой и выбором блокирующих составов для конкретных объектов планируемого применения. Поскольку от качества перекрытия продуктивных интервалов зависит степень влияния технологической жидкости на фильтрационно-емкостные свойства призабойной зоны пласта, кроме того, повышается риск возникновения неконтролируемых осложнений при проведении подземного ремонта скважин в сложных горно-геологических условиях, увеличивается срок освоения и вывода скважины на режим эксплуатации.

2. Оборудования для приготовления блокирующих составов

Смесители и перемешивающие устройства — основной элемент оборудования для приготовления буровых растворов.

Буровой раствор может приготавливаться:

- из сухих порошкообразных материалов
- из влажных порошкообразных материалов
- из комковатых материалов

Структура исходного материала прямо обуславливает выбор смесителя и перемешивающего устройства. Для приготовления бурового раствора из комковатых материалов необходимо сначала провести процедуры предварительного дробления, что достигается при помощи гидравлического диспергатора.

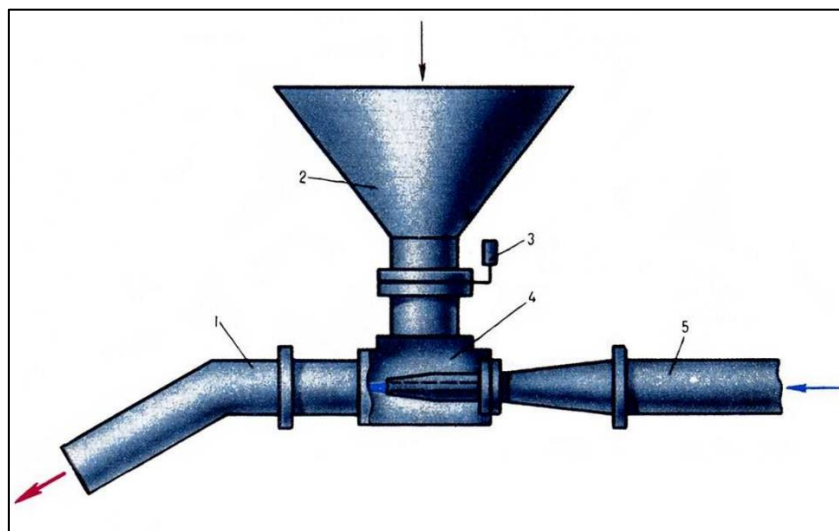


Рисунок 1. Гидрозжекторный смеситель

1 – Выход потока, 2 – Воронка, 3 – Шиберная задвижка, 4 – Эжектор, 5 – Подача потока жидкости

Гидравлический диспергатор - составляющая смесителя активно применяется при строительстве и капитальном ремонте скважин в нефтяной и газовой промышленности, в частности для процедур тонкого измельчения твердых и жидких фаз бурового раствора

Порошкообразные материалы для приготовления бурового раствора используются чаще, нежели комковатые.

Для работы с обоими упомянутыми материалами могут использоваться смесители и перемешивающие устройства с механическими и гидравлическими мешалками, однако предпочтение отдается гидравлическим смесителям в силу более высокой производительности и экономного расхода материалов.

В ряду гидравлических мешалок широкое применение находят гидроэжекторные смесители блоков приготовления бурового раствора (БПР)

Гидроэжекторные смесители БПР — это струйный аппарат, использующий кинетическую энергию жидкости для формирования гидросмеси. При недостаточной плотности бурового раствора проводится повторное смешение.

Гидроэжекторный смеситель характеризуется невысоким КПД, однако обладает высокой надежностью благодаря отсутствию подвижных частей.

Механические смесители больше подходят для работы с буровыми растворами из комковатых материалов

Применение:

- приготовления и утяжеления буровых растворов из комковатых структур
- приготовления жидких химических веществ-реагентов

Механические смесители характеризуются высоким качеством приготовления наряду с низкой производительностью.

В общем случае мешалки бывают:

- горизонтальными с боковым монтажом
- горизонтальными с боковым креплением
- вертикальными с верхним монтажом
- вертикальными с верхним креплением

Также выделяют такие виды мешалок как:

- ускорители потока
- погружные мешалки

2. Блок приготовления растворов

БПР — блоки приготовления бурового раствора, используемые при бурении или ремонте скважин. В них смешиваются и хранятся технические жидкости из порошкообразных материалов — буровые растворы, химические реагенты.

Блок приготовления бурового раствора состоит из цилиндрических емкостей (силосов) с аэратором для подачи сжатого воздуха от компрессора. На одной емкости устанавливается гидросмесительная воронка. С помощью цементовозов через загрузочный отсек порошок поступает в смеситель и смешивается с водой. Дозирование порошка осуществляется с помощью гидравлического измерителя. Готовый раствор поступает в разгрузочное устройство. Также блок комплектуется фильтрами для жидкости, обязательно оснащается ограждением.

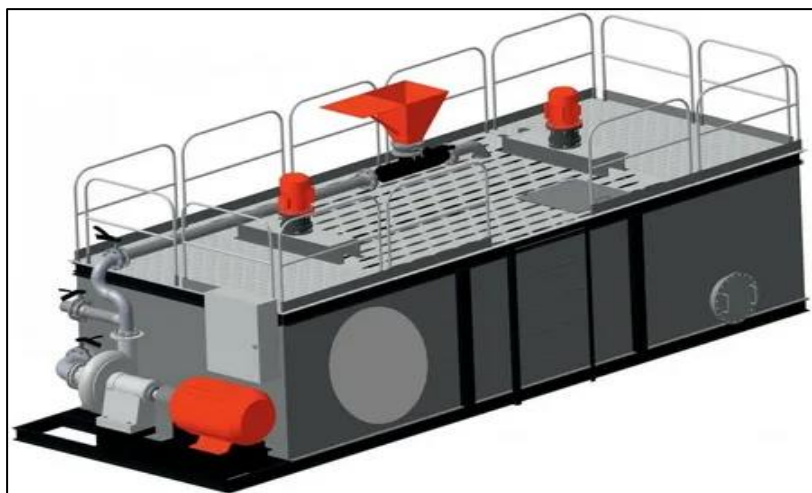


Рисунок 2. Блок приготовления растворов

Преимущества применения БПР

Блок приготовления бурового раствора — незаменимая часть оборудования скважин, так как их использование позволяет значительно улучшить работу таких объектов:

- достигается значительная экономия времени на приготовлении рабочих жидкостей;
- в агрегате можно одновременно смешивать раствор в период циркуляции жидкости;
- оборудование отличается простым управлением;
- процессы смешивания происходят экологично и безопасно;
- с помощью БПР можно организовать обратное снабжение водой.

3.Блокирующие состав

3.1 Блокирующий состав ФРИ

Изобретение относится к нефтегазовой промышленности, в частности к буровым растворам на водной основе, применяемым при заканчивании скважин, и к технологическим жидкостям, используемым при проведении подземных ремонтов скважин на месторождениях с трещинно-поровым типом коллектора в условиях аномально низких пластовых давлений и высокого газового фактора. Техническим результатом предлагаемого изобретения является обеспечение регулирования времени гелеобразования, позволяющего доставлять состав непосредственно на забой скважины, и термостабильности состава при возможности регулирования реологических свойств состава, сохранении фильтрационно-емкостных характеристик призабойной зоны пласта. Блокирующий биополимерный состав ИНК-ФРИ содержит полисахаридный гелеобразователь, в качестве которого используют биополимер, крахмал, каустическую соду и воду.



Рисунок 3. Блокирующий состав «ФРИ»

Таблица 1

Полимерный блокирующий состав «ИНК-ФРИ» параметры

НАЗНАЧЕНИЕ	Сбалансированная система с добавлением биополимера, крахмала, каустической соды. Состав предназначен для глушения скважин с аномально низким пластовым давлением или предотвращения фильтрации жидкости глушения в пласт	
СВОЙСТВА	• Принцип действия — образование малопроницаемой фильтрационной корки на поверхности породы. В зависимости от проницаемости коллекторов производится подбор кислоторастворимого кольматанта, • Эффективен при глобальных поглощениях, • После глушения фильтрационная корка деблокируется при освоении скважины – все, • При необходимости быстрого запуска – все компоненты растворяются в кислоте.	
ХАРАКТЕРИСТИКИ	Показатель	Значение
	Внешний вид	Порошок от белого до серого цвета
	Состав	сбалансированная система с добавлением карбонатного кольматанта, полимерные компоненты – на основе биоразлагаемых полисахаридов
	Плотность системы	1,03-1,4 г/см ³
	Тип коллектора	Карбонатный или терригенный коллектор

3.2 Блокирующий состав КАРП

При приготовлении блокирующего состава КАРП за основу берется блок состав ФРИ.

Пропорции химии на 10м³:

Каустическая сода 1 мешок весом 25 кг, далее добавляется 4 мешка крахмального реагента, общей массой 10кг. Следующим этапом идет ввод биополимера ксантанового типа «Гамаксан» также 4 мешка каждый массой по 25 кг. Это является базой приготовления блокирующего состава «ФРИ». После ввода всех реагентов, идет добавления кольматанта. В качестве кольматанта используются твердая фаза мраморной крошки, фракцией 1.5–2 мм. На

10м3 добавляется 3 мешка мраморной крошки, общим весом 3 тонны, каждый мешок составляет 1 тонну.

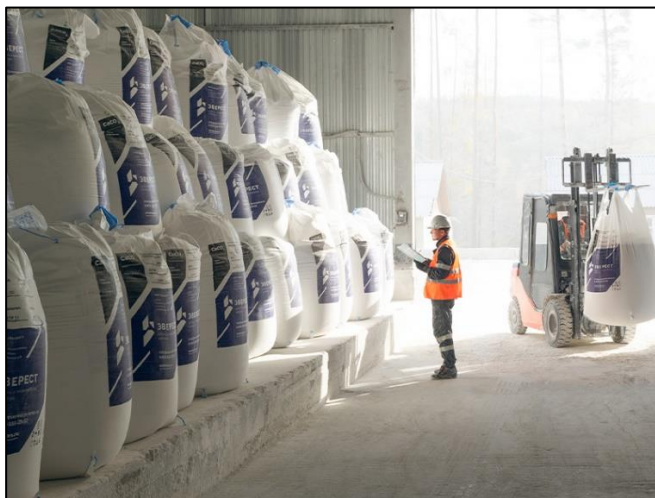


Рисунок 4. Мраморная крошка

Библиографический список

- [1] Патент RU 2 757 626 C1 Российская Федерация, C09K 8/035 (2021.08); C09K 8/44 (2021.08). Блокирующий биополимерный состав / подготовлен Санкт-Петербургским горным университетом : заявлено 30.04.2021, опубл. 19.10.2021 / Бондаренко А.В., Мардашов Д.В., Исламов И.Р. – 9 с. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2757626C1_20211019?ysclid=lna3ipcm1c280651631
- [2] Ремонт БПР буровой / сайт ООО «Скважинные сервисные технологии». – URL: <https://sst-service.ru/news/remont-bpr-burovoj/>
- [3] Металлоконструкции / сайт Azimuth Drilling. URL: <https://azimuth-drilling.com/catalog/1/>

Научное издание

Геонауки – 2024
Геология, поиски и разведка
полезных ископаемых
и методы геологических исследований

Материалы
XIX Всероссийской научно-технической конференции

(г. Иркутск, 15–18 апреля 2024 г.)

Дата выхода в свет 23.12.2024.

Зак. 29. Поз. Плана 38_1.

Усл. печ. л. 46,75.

Оригинал-макет подготовлен в типографии
Издательства ФГБОУ ВО «Иркутский национальный
исследовательский технический университет»
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83