

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Забайкальский государственный университет»
(ФГБОУ ВО «ЗабГУ»)

Александрово-Заводская ул., д. 30, г. Чита, 672039 Россия

Тел. (302-2) 41-64-44, 41-66-00

Факс: (302-2) 41-64-44

Web-server: www.zabgu.ru

E-mail: mail@zabgu.ru

ОКПО 02069390, ОГРН 1027501148652

ИНН/КПП 7534000257/753601001

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор Федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Забайкальский государственный
университет», кандидат химических
наук

О. О. Мартыненко



«13» мая 2026 г.

13.05.2026 № 32-1613

На № _____ от _____

ОТЗЫВ

ведущей организации

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования

«Забайкальский государственный университет»

на диссертационную работу **Уразовой Юлии Викторовны**

«Оптимизация технологии обогащения вольфрамовых руд в условиях
замкнутого водооборота (на примере Тырныаузского месторождения)»,

представленную на соискание

ученой степени кандидата технических наук

по специальности 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых

Актуальность для науки и практики

Вольфрам – стратегическое сырье России. Оптимизация его обогащения снижает импортозависимость и укрепляет позиции на мировом рынке. Технологии обогащения вольфрамовых руд сложны из-за низких содержаний оксида вольфрама и высоких требований к качеству концентрата.

Существующие методы очистки воды не обеспечивают полного удаления вредных компонентов, что ухудшает технологические показатели обогащения. Замкнутый водооборот важен не только с технологической точки зрения, но и для снижения потребления чистой воды и минимизации загрязнения окружающей среды, особенно на Тырныаузском месторождении в Приэльбрусье.

Исследования оптимизации обогащения вольфрамовых руд с учетом водоподготовки и реагентного режима в замкнутом водообороте на примере Тырныаузского месторождения актуальны и важны для экономики, экологии и стратегии страны.

Содержание диссертационной работы

Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 102 источника, и 8 приложений. Диссертация изложена на 151 странице, содержит 34 рисунка и 43 таблицы.

Во введении представлены цель работы, ее актуальность, научная новизна и практическая значимость.

В главе 1 приведен обзор и анализ состояния минеральной базы. Разведанные запасы вольфрама значительны, но качество руд ограничивает их промышленное освоение. Анализ применяемых методов обогащения позволил сделать вывод, что гравитационные, флотационные и комбинированные методы переработки эффективны только при строгом соблюдении условий pH, ионного состава и содержания тонкодисперсных частиц. Флотация шеелитовых руд чувствительна к накоплению солей, продуктов окисления сульфидов и органических остатков в оборотной воде, что снижает гидрофобность минерала и ухудшает селективность. Традиционные жирнокислотные собиратели нестабильны при переработке сложных руд. Талловые кислоты и их продукты перспективны благодаря доступности и поверхностной активности, но требуют стандартизации и изучения взаимодействия с минералами. Классические методы очистки оборотной воды неэффективны, что ухудшает технологические показатели. В замкнутом водообороте состав воды критичен для стабильности и эффективности обогащения. Вывод: необходимы комплексные исследования для повышения стабильности и эффективности флотации вольфрамовых руд в условиях замкнутого водооборота.

В главе 2 рассмотрено Тырныаузское месторождение, которое является крупнейшее в России по запасам вольфрама и молибдена. Руды характеризуются сложным составом с преобладанием молибдошеелита, шеелита, молибденита и нерудных минералов, что влияет на флотационную селективность. Химический состав беден ценными компонентами и содержит вредные примеси, требуя точного контроля реагентов.

Дана оценка использования технологических схем обогащения в производственных условиях. Установлено, что возникают практические трудности, связанные с недостаточной селективностью флотации и отсутствием необходимой подготовки оборотной воды. Это приводит к накоплению примесей, остановке процессов по причине солеотложения на деталях оборудования. Новая технология, разработанная для возобновления работы Тырныаузского ГОКа, предусматривает применение методов гравитационного обогащения и сульфидной флотации с целью повышения качества получаемых концентратов.

В главе 3 приведены экспериментальные исследования по флотационному обогащению руды Тырныаузского (0,41% WO₃) показали необходимость корректировки технологии обогащения из-за повышенного содержания ценных компонентов в хвостах флотации. Оптимизация реагентного режима включала замену кальцинированной соды на бикарбонат натрия, снижение расхода жидкого стекла до 200 г/т и замену пенообразователя МИБК на сосновое масло. Исследования жирнокислотных собирателей

показали, что талловое масло может заменить олеат натрия: потери WO_3 составили 5,91% против 19,84%. Оптимальный расход таллового масла – 100 г/т, температура пропарки – 80 °С (извлечение WO_3 – 82,45%, содержание WO_3 – 38,5%). Замкнутый цикл обогащения показал извлечение WO_3 – 29,57%, молибдена – 45,25%, что негативно повлияло на шеелитовый цикл. Влияние на молибденовую флотацию не выявлено.

Результаты изучения соленакопления позволили сделать вывод, что основными растворенными примесями, оказывающими потенциальное влияние на флотацию, являются: карбонаты, кальций, хлориды и силикаты. Содержание других компонентов стабильно и не влияет на технологию.

В главе 4 представлены результаты исследования многоаспектного изучения взаимосвязи между свойствами реагента-собирателя таллового масла, компонентами оборотной воды и минеральной поверхностью кальцийсодержащих вольфрамовых минералов.

Изучены составы различных сортов таллового масла с помощью метода ЯМР, который показал, что в модельном эксперименте с шеелитовым концентратом и жидким стеклом при 80 °С активными компонентами таллового масла являются ненасыщенные жирные кислоты, образующие труднорастворимые комплексы с минеральной поверхностью. Смоляные кислоты практически не участвуют в сорбции, поскольку в спектрах обнаруживаются лишь их следовые количества (5%). Изучено соленакопление в оборотной воде, выделены основные препятствующие примеси. На основе полученных данных с помощью трехэтапного эксперимента определены предельные концентрации этих примесей.

Установлено, что для флотации шеелитовых минералов необходимо удалять кремний из оборотных вод, так как его высокая концентрация снижает эффективность флотации. Карбонаты стабилизируют процесс за счет подавления растворимости кальция, улучшая активность флотореагентов. Представлены данные исследования, направленные на изучение краевого угла смачивания в условиях открытого цикла, замкнутого цикла, с накоплением основных препятствующих примесей и на кондиционной воде. Описана зависимость краевого угла смачивания от времени контакта минеральной поверхности с реагентом-собирателем с помощью полиномиальной регрессии второй степени. Результаты исследования смачиваемости показали, что в открытом цикле дистиллированная вода и реагент-собиратель обеспечивают эффективное всплытие частиц, а в замкнутом цикле с примесями (карбонаты, силикаты) эффективность флотации снижается из-за конкуренции адсорбатов за активные центры на поверхности минеральных частиц.

Полученные результаты продемонстрировали, что метод кондиционирования оборотной воды эффективно удаляет мешающие примеси, восстанавливая эффективность собирателя и улучшая качество концентрата. Математический анализ подтвердил адекватность выбранной модели (коэффициентов детерминации R^2 от 0,98 до 1,0).

В главе 5 представлены результаты полупромышленных испытаний технологии флотационного обогащения в замкнутом цикле. Выход флотационного шеелитового концентрата составил 0,73 % при содержании

целевого элемента 32,4 % и извлечении на уровне 80,65 %, что сопоставимо с результатами, полученными в лабораторных условиях. Гравитационный шеелитовый концентрат имеет наибольшее содержание целевого компонента 53,8 % при выходе 0,13 %. Извлечение триоксида вольфрама в оба концентрата составило 80,65 %. Выход молибденового концентрата составил 0,042 % с содержанием ценного компонента 34,9 %. Полученные результаты подтверждают эффективность разработанного метода кондиционирования оборотной воды.

Технико-экономический анализ показал высокую инвестиционную привлекательность и экономическую эффективность проекта. Годовой доход – 6384 млн руб., расходы – 4996 млн руб., положительный чистый денежный поток – 1170 млн руб./год. NPV при ставке 25% за 4 года – 1090 млн руб. Срок окупаемости – 2,02 года. Рентабельность производства – 20,82%. Себестоимость 1 тонны концентратов – 3150,50 руб., что соответствует допустимому уровню в рамках заданных технологических и рыночных условий.

В заключении приведены основные выводы и результаты, полученные в процессе выполнения диссертационной работы.

Новизна исследований, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научная новизна работы заключается в том, что:

- установлено, что в системе «талловое масло – шеелит» активными компонентами являются полиненасыщенные жирные кислоты, которые образуют труднорастворимые комплексы на поверхности минерала; вклад смоляных кислот составляет менее 5%;
- определены пороговые значения концентраций силикатов и карбонатных ионов, лимитирующие эффективность флотации вольфрамсодержащих минералов в замкнутом водообороте; установлен стабилизирующий эффект карбонатного фона на адсорбцию реагента-собирателя;
- разработаны и проверены регрессионные зависимости второго порядка между ионным составом оборотных вод и краевым углом смачивания, влияющим на эффективность флотации; показано, что предварительное кондиционирование воды восстанавливает адсорбцию собирателя и формирует устойчивые флотокомплексы.

Анализ положений, выносимых на защиту, показывает следующее:

Положение 1. При проведении исследований установлено, что омыленное талловое масло способно избирательно связываться с поверхностью кальцийсодержащих вольфрамовых минералов через хемосорбцию полиненасыщенных кислот, что приводит к образованию гидрофобной органической пленки на поверхности минеральных частиц и увеличению содержания углерода в концентрате. Экспериментально установлено, что применение пропарки по методу Петрова с большим количеством жидкого стекла ухудшает качество оборотной воды и снижает извлечение ценных

компонентов из-за накопления депрессора, стабилизирующего коллоидную взвесь и нарушающего реагентный режим флотации. Полученные данные показали, что наличие полиненасыщенных жирных кислот способствует образованию труднорастворимых комплексных соединений, повышающих селективность флотации.

Положение 2. Разработан новый метод кондиционирования воды для стабильного извлечения ценного компонента в замкнутом водообороте. Метод включает кальций-хлоридную обработку для отделения осадка и щелочно-содовую обработку на финише. Оптимальные концентрации силикатов (60 мг/л) и кальция (20 мг/л) определены трехэтапным экспериментом с математическим планированием и ортогональным центрально-композитным планом второго порядка.

Положение 3. Подтверждена эффективность кондиционирования при исследовании с помощью метода измерения угла контакта (краевой угол смачивания) в открытом цикле, в замкнутом цикле с накоплением солей и в замкнутом цикле на кондиционированной воде. Разработанный метод кондиционирования оборотной воды опробован в лабораторных исследованиях и полупромышленных испытаниях в условиях замкнутого водооборота с предоставлением технологического регламента и расчета технико-экономических показателей. Метод обеспечивает извлечение триоксида вольфрама 82,2 %, что практически в 5 раз больше результатов, полученных в замкнутом цикле без кондиционирования оборотной воды. Выход концентрата составил 0,902 % и содержание целевого элемента в нем 39,6 % в лабораторных исследованиях, и 0,73 % при содержании 32,4 % в условиях полупромышленных испытаний. Извлечение же в шеелитовый концентрат составило 80,65 %.

Достоверность и обоснованность результатов исследований

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается проведённым комплексом экспериментально-теоретических исследований с использованием высокоточного оборудования, современных методов численного моделирования, применением стандартных и отраслевых методик, сертифицированного оборудования и апробированных компьютерных программ, оценкой полученных данных методами математической статистики. Следует отметить логическую чёткость изложения результатов исследований. Автор достаточно корректно использует известные научные методы обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций. Полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований соответствуют поставленной цели и задачам. Необходимо отметить, что диссертационная работа выполнена на основе большого экспериментального материала, полученного непосредственно лично соискателем на всех этапах исследований.

Значимость для науки и производства (практики) полученных автором диссертации результатов

Значимость результатов для науки состоит в установлении закономерностей влияния ионного состава оборотной воды на адсорбцию реагента-собирателя и поверхностные свойства шеелита, определяющие эффективность его флотационного обогащения. Научная работа раскрывает механизмы взаимодействия таллового масла с кальцийсодержащими минералами в условиях замкнутого водооборота и обосновывает технологические подходы к стабилизации процесса посредством целенаправленного кондиционирования воды.

Личный вклад автора

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач исследования, осуществлении обзора и анализа патентной и научно-технической литературы, выполнении комплекса лабораторных работ и полупромышленных испытаний, исследований влияния условий флотационного процесса на взаимодействие реагента-собирателя с минеральной поверхностью, анализе, обобщении и подготовке материалов к публикации, интерпретации данных математической обработки результатов исследований в области различных концентраций примесей с учетом изменения краевого угла смачивания.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты диссертационной работы могут быть использованы при: разработке и внедрении замкнутого водооборота для переработки кальцийсодержащих вольфрамовых руд; проектировании узлов водоподготовки с учетом пороговых концентраций карбонатов и силикатов; выборе оптимальных реагентных режимов флотации, включая переход на талловое масло; повышении извлечения триоксида вольфрама и качества концентрата в условиях высокой минерализации оборотной воды; снижении расхода свежей воды за счет применения разработанного метода кондиционирования.

Апробация результатов исследования

Основные положения и результаты исследования докладывались и обсуждались на научных мероприятиях и отражены в публикациях автора. Всего по теме диссертации опубликовано 10 работ, включая статьи в изданиях из Перечня ВАК РФ. Полученные результаты прошли апробацию в форме устных докладов, публикаций статей и тезисов.

Замечания по диссертационной работе

По диссертационной работе имеются следующие замечания, не снижающие её общей положительной оценки:

1. В исследовании механизмы взаимодействия таллового масла с поверхностью шеелита охарактеризованы преимущественно на качественном уровне. Для повышения научной ценности работы целесообразно было дополнить анализ количественными параметрами адсорбции (например, изотермами адсорбции, значениями ёмкости монослоя, константами равновесия), что дало бы возможность глубже раскрыть физико-химическую природу процесса.

2. В данном исследовании наблюдается недостаточная глубина анализа влияния тонкодисперсных фракций минералов на стабильность флотокомплексов и эффективность применяемого реагентного режима.

3. Влияние концентрации отдельных ионов оборотной воды на устойчивость флотокомплексов в работе проанализировано преимущественно на уровне технологических проявлений, без углублённого рассмотрения физико-химических механизмов комплексообразования. Расширение фундаментальной части исследования за счёт детального изучения данных процессов позволило бы существенно углубить понимание закономерностей флотации и повысить прогностическую ценность полученных результатов.

4. В диссертации недостаточно полно проанализировано влияние вариаций содержания кальцита, кварца и тонких классов крупности на устойчивость реагентного режима. Для более обоснованной физико-химической модели необходимо: количественно оценить вклад минералов и гранулометрических фракций в изменение поверхностной химии пульпы; исследовать корреляцию между содержанием компонентов и параметрами процесса (расход реагентов, селективность флотации, извлечение); изучить синергетические или антагонистические эффекты взаимодействия компонентов. Проведение дополнительных исследований по этим аспектам позволило бы получить более полную картину изучаемого явления.

Заключение

Диссертационная работа Уразовой Юлии Викторовны «Оптимизация технологии обогащения вольфрамовых руд в условиях замкнутого водооборота (на примере Тырныаузского месторождения)», представленная на соискание ученой степени кандидата наук по специальности 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых, рассмотрена, коллективно обсуждена и одобрена на заседании кафедры обогащения полезных ископаемых и химических технологий в горном деле федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Забайкальский государственный университет», протокол № 6 от 28 апреля 2026 года.

В целом диссертационная работа Уразовой Юлии Викторовны «Оптимизация технологии обогащения вольфрамовых руд в условиях замкнутого водооборота (на примере Тырныаузского месторождения)» является законченной научно-квалификационной работой, содержащей новые научно обоснованные положения и практические решения актуальной научно-практической задачи оптимизации технологии флотации кальцийсодержащих

вольфрамовых руд с использованием кондиционированной воды в условиях замкнутого водооборота.

Диссертационная работа соответствует требованиям паспорта специальности 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых, а также критериям, установленным пунктами 9-14 Положения о присуждении ученых степеней (постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 в действующей редакции). Автор диссертации, Уразова Юлия Викторовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.9. «Обогащение полезных ископаемых».


Заведующий кафедрой обогащения полезных ископаемых
и химических технологий в горном деле
федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Забайкальский государственный университет»,
кандидат технических наук по специальности
25.00.13. «Обогащение полезных ископаемых»,
доцент по кафедре «Экономическая теория»

 Щеглова Светлана Александровна


Я, Щеглова Светлана Александровна, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

 Щеглова Светлана Александровна

Профессор кафедры обогащения полезных ископаемых
и химических технологий в горном деле
федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Забайкальский государственный университет»,
доктор технических наук по специальности
25.00.13. «Обогащение полезных ископаемых»,
доцент по кафедре «Обогащение полезных
ископаемых и вторичного сырья»

 Шумилова Лидия Владимировна

Я, Шумилова Лидия Владимировна, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

 Шумилова Лидия Владимировна

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Забайкальский государственный университет»

Адрес: 672039, г. Чита, улица Александрo-Заводская, д. 30

Адрес официального сайта в сети Интернет: <https://zabgu.ru/>

E-mail: mail@zabgu.ru. Телефон: +7 (3022) 41-64-44

12 мая 2026 г.

