

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

Д 24.1.503.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук» по диссертации на соискание учёной степени кандидата наук.

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 03 июля 2025 г. № 4

О присуждении Собенину Артему Вячеславовичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Обоснование параметров технологии очистки сточных вод от тяжелых металлов при проектировании разработки медноколчеданных месторождений» по специальности 2.8.7 «Теоретические основы проектирования горнотехнических систем» принята к защите «29» апреля 2025 г. (протокол №2) диссертационным советом Д 24.1.503.01, утверждённым при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Российской Федерации «Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук» 26.09.2023, № 1834/нк в составе 17 человек.

Соискатель Собенин Артем Вячеславович, 1990 года рождения, в 2012 г окончил бакалавриат Уральского федерального университета им. Б.Н. Ельцина по специальности «Биология», в 2015 г – магистратуру по специальности «Экология и природопользование». В 2019 году закончил обучение в аспирантуре ИГД УрО РАН по специальности 25.00.36. «Геоэкология». В 2024 году в ФГБОУ ВО МГТУ им. Г.И. Носова сдал на отлично кандидатский экзамен по специальности 2.8.7 «Теоретические основы проектирования горнотехнических систем». С 2011 года (2012-2013 гг. служба в ВС РФ) работает в лаборатории экологии горного производства ИГД УрО РАН в должности научного сотрудника.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук».

Научный руководитель – кандидат технических наук Антонинова Наталья Юрьевна, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией экологии горного производства в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук», г. Екатеринбург.

Официальные оппоненты:

Гуман Ольга Михайловна, доктор геолого-минералогических наук, профессор, директор ООО «Уралгеопроект», г. Екатеринбург;

Данилов Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры геоэкологии. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», г. Санкт-Петербург;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация - Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Челябинская обл., в своём положительном

заклучении, подписанным заведующим кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых профессором доктором технических наук Гавришевым Сергеем Евгеньевичем, доцентом кафедры разработки месторождения полезных ископаемых доктором технических наук, доцентом Доможировым Дмитрием Викторовичем и доцентом кафедры разработки месторождений полезных ископаемых Карауловым Николаем Геннадьевичем, кандидатом технических наук, доцентом, утвержденным профессором, проректором по научной и инновационной работе ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова Тулуповым Олегом Николаевичем указала, что диссертация Собенина Артема Вячеславовича на тему «Обоснование параметров технологии очистки сточных вод от тяжелых металлов при проектировании разработки медноколчеданных месторождений» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполнена на актуальную тему, обладает новизной и практической ценностью. Основные результаты опубликованы в научно-технической литературе, обсуждены на научно-технических конференциях, раскрыты в 10 научных работах, в том числе 6 статьях, опубликованных в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией (ВАК) Российской Федерации, рецензируемых в международных базах Scopus и Web of Science. Кроме того, получено 2 патента на изобретения и зарегистрированы 2 базы данных. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

В целом, представленная работа соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ при Минобрнауки России № 842 от 24.09.2013, а ее автор, Собенин Артем Вячеславович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.7. «Теоретические основы проектирования горнотехнических систем».

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Антонинова Н.Ю., **Собенин А.В.**, Усманов А.И., Шепель К.В. Оценка возможности использования отходов железо-магниевого производства для очистки сточных вод от тяжелых металлов (Cd^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+}) // Записки Горного института. 2023. Т. 260. С. 257-265. DOI: 10.31897/PMI.2023.34

2. **Собенин А.В.**, Антонинова Н.Ю., Усманов А.И., Шепель К.В. Удаление ионов меди из промышленных сточных вод с использованием отходов железомagneйного производства // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2023. № 2. С. 32-42. DOI: 10.21440/0536-10.

3. Корнилков С.В., Антонинова Н.Ю., **Собенин А.В.**, Усманова В.А., Усманов А.И. Об основных положениях методики проектирования мероприятий, локализирующих миграцию тяжелых металлов в почвах и техногенных грунтах // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 6(166) С. 85-94. DOI 10.26730/1999-4125-2024-6-85-94. – EDN LUMHKA.

4. **Собенин А.В.**, Антонинова Н.Ю., Усманов А.И., Шепель К.В. Оценка влияния вещественного состава ложа биологических прудков на очистку сточных вод предприятий горнометаллургического комплекса // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 5-2. С. 273-282. DOI 10.25018/0236_1493_2021_52_0_273. – EDN OSCEZY.

5. Антонинова Н.Ю., **Собенин А.В.**, Усманов А.И., Горбунов А.А. Обоснование возможности применения отходов производства гуминовых препаратов для очистки сточных вод от металлов (Cd^{2+} , Zn^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+}) с целью разработки эффективных

мероприятий по экологической реабилитации // Записки Горного института. 2024. Т. 267. С. 421-432. EDN NYTVJH

6. **Собенин А. В.**, Антонинова Н. Ю., Горбунов А. В., Якупов Д. Р. Использование производственных отходов в целях очистки сточных вод от тяжелых металлов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2024. № 12(1). С. 47–66. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_121_0_47.

7. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023623743 Российская Федерация. Адсорбционная ёмкость железо-магниевого композиционного состава по отношению к тяжелым металлам (Cu 2+, Zn 2+, Fe 3+, Mg 2+, Ni 2+): № 2023623462: заявл. 20.10.2023: опубл. 02.11.2023 /Н. Ю. Антонинова, **А. В. Собенин**, А. И. Усманов, А. А. Горбунов; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук.

8. Патент № 2800460 С1 Российская Федерация, МПК В01J 20/04, В01J 20/06, С02F 1/28. Железо-магниевый композиционный состав для очистки сточных вод: № 2022124852: заявл. 28.09.2022: опубл. 21.07.2023 / Н. Ю. Антонинова, **А. В. Собенин**, А. И. Усманов [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук.

9. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024625407 Российская Федерация. Влияние тяжелых металлов на морфологические показатели растений *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., произрастающих на отработанном медно-колчеданном месторождении: № 2024625407: заявл. 29.10.2024: опубл. 22.11.2024 /Н. Ю. Антонинова, **А. В. Собенин**, А. И. Усманов, В. А. Усманова; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук.

10. Патент на изобретение Отходы гуминового производства для очистки сточных вод: № 2023133123; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук. **Собенин Артем Вячеславович**, Усманов Альберт Исмагилович, Антонинова Наталья Юрьевна, Горбунов Алексей Александрович.

На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы:

Отзыв ведущей организации – Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Челябинская обл. подписанный заведующим кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых профессором доктором технических наук Гавришевым Сергеем Евгеньевичем, доцентом кафедры разработки месторождения полезных ископаемых доктором технических наук, доцентом Доможировым Дмитрием Викторовичем и доцентом кафедры разработки месторождений полезных ископаемых Карауловым Николаем Геннадьевичем, кандидатом технических наук, доцентом, утвержденным профессором, проректором по научной и инновационной работе ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова Тулуповым Олегом Николаевичем. Отзыв положительный.

Замечания:

1. Исследование соответствует паспорту научной специальности 2.8.7. «Теоретические основы проектирования горнотехнических систем», но не содержит четких

рекомендацией в виде алгоритмов для проектирования и внедрения технологии очистки сточных вод с применением производственных отходов.

2. Не понятно почему для определения кратности превышения содержания в почве загрязняющих веществ допустимой концентрации для условий торфяно-подзолисто-глеявые почв (табл.1. дисс. стр. 48), которые как правило, относятся к кислым почвам, по СанПиН 1.2.3685-21 принято значение ОДК валового содержания для почв близким к нейтральным, (нейтральные (суглинистые и глинистые), $pH_{КС1} > 5,5$).

3. В представленном исследовании отсутствует обоснование выбора узколиственного кипрея (Иван-чая) в качестве индикаторного растения для оценки биоаккумуляции тяжелых металлов. Кроме того, не раскрыто количество особей, отобранных по различным точкам мониторинга. Эти пробелы в информации затрудняют оценку репрезентативности выборки.

4. Для железо-магниевого композиционного состава (ЖМКС) был проведен анализ сорбционной емкости. После контакта воды с ЖМКС pH изменился до 5,01. При таком значении pH железо (Fe^{3+}) в сточной воде находится в состоянии гидроксида, что подтверждается резким снижением концентрации железа уже при pH 4,1 (см. табл. 7 дисс.). Это означает образование хлопьевидного осадка с развитой поверхностью, обладающего высокой сорбционной способностью к тяжелым металлам. В этих условиях заявленная сорбционная емкость ЖМКС оказывается завышенной. В исследовании отмечено, что при минимальной дозировке отходов (0,1 г) процент удаления загрязнителей низкий, особенно для кадмия (0%). Это указывает на осадительный механизм действия вещества за счет повышения pH системы, что и отражено в предлагаемой технологии очистки.

5. В технологической схеме очистки высокоминерализованных сточных вод с использованием ЖМКС и ОГП, а также в тексте диссертации не указано количество образующегося осадка. Необходимо было привести материальный баланс, который является обязательным этапом при разработке и проектировании схем очистки сточных вод.

6. В работе отсутствует схема цепей аппаратов, что затрудняет оценку правильности выбора оборудования и расчёт затрат на очистку. Не описан способ подачи, дозирования и смешивания реагентов со сточной водой. Непонятно, как будет осуществляться опускание предварительно подготовленного материала - ЖМКС с дозировкой 10 г/л - в пруд на первом этапе очистки на время, не превышающее 180 минут (как указано на 92 странице диссертации).

7. Для реализации очистки в числе прочего оборудования указаны 4 аэратора ВФ-370 для обеспечения циркуляции воды в водоеме, предотвращения застойных зон. По паспортным характеристикам, указанном на сайте поставщика, аэратор ВФ-370 предназначен для водоёмов объёмом до 90 м³, следовательно, 4 аэратора на 360 м³, а запроектированные пруды с аэраторами каждый имеют объём 5000 м³. Следовательно, применение данных аэраторов в указанных количествах будет неэффективно.

Отзыв официального оппонента

Гуман Ольга Михайловна, доктор геолого-минералогических наук, профессор, директор ООО «Уралгеопроект», г. Екатеринбург. Отзыв положительный.

Замечания:

1. Автор диссертации не приводит ссылки на «региональных, уральских ученых», знающих медно-колчеданные месторождения Урала и состав сопутствующих при

отработке и на постэксплуатационном этапе поверхностных и подземных вод. Приведу примеры некоторых из них:

- Геолого-промышленные типы месторождений меди, цинка, свинца на Урале (геологические условия размещения, история формирования, перспективы): научная монография / Е. С. Контарь; Департамент по недропользованию по Уральскому федеральному округу (Уралнедра). Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2013. – 199 с.
- Елохина С.Н., Рыженко Б.Н. (2014) Вторичное минералообразование в природно-техногенных гидрогеологических системах колчеданных месторождений. Моделирование фазы $(Fe,Mg)SO_4 \cdot 7H_2O$ при окислении сульфидов Дегтярского медноколчеданного месторождения. Геохимия (2), 178-192.
- Смирнов С.С. Зона окисления сульфидных месторождений. М.: АН СССР, 1951. 334 с.
- Вахрушева З. Г. Некоторые данные о рудах и геохимических ореолах колчеданных месторождений Урала// Геология, геохимия и полезные ископаемые Урала. Межвузовский научный тематический сборник. Вып.1. Свердловск, изд. УПИ, 1977. - С.14-24.
- Вершинин А.С., Вахрушева З.Г. О геохимическом спектре медноколчеданных месторождений Урала// Геология и поиски месторождений редких и цветных металлов. Тр.Свердловского ордена Трудового Красного Знамени горного института им. В.В.Вахрушева. Вып. 112, Свердловск, 1975. - С.118-123.
- Крайнов С. Р., Рыженко Б. Н., Швец В. М. Геохимия природных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты / М: Наука, 2004. - 677 с.
- Ранжирование источников антропогенного воздействия на геологическую среду на примере ведения мониторинга Волковского рудника/ Парфенова Л. П., Копенкина О. А. //Известия Уральского государственного горного университета. Вып. 19. Серия: Геология и геофизика. 2004. С. 200-203.
- Рыбникова Л. С. Процессы формирования подземных вод в горнодобывающих районах Среднего Урала на постэксплуатационном этапе. Авт. на соиск. уч. ст. докт.геол-мин. наук, Москва, 2019. 45 с.
- Емлин Э.Ф. Техногенез колчеданных месторождений Урала. Свердловск: Изд-во УрГУ, 1991. 256 с.

2. Это привело к тому, что перечень тяжелых металлов выбран произвольно, исходя из группы месторождений. Наши исследования на ряде месторождений показали следующие результаты:

Название месторождений Ряды по кратности превышения ПДК

Название месторождений	Ряды по кратности превышения ПДК
Гумешевское (скарново-медно-порфировый генетический тип) шахтный ствол	Cd> Al> Mn> Fe> Ni (1000)
Дегтярское (медно-колчеданное) шахтный ствол	Fe> Al > Mn (100-1000)
Северо-Ольховское (медно-колчеданное) подотвальные воды	Fe > Al > Cd > Mn > Cu (100-1000)
Левихинское месторождение (медно-колчеданное) карьер, затопленный водой	Al> Fe> Mn(100-1000)

Очень жаль, что в перечень изучаемых элементов не попали алюминий и марганец, хотя при оценке качества воды в Свердловской области на стр. 14 марганец обозначен как один из основных загрязнителей.

3. По тексту диссертации перечень изучаемых элементов меняется:

- стр.7 при формулировании цели работы – Cu, Zn, Cd, Fe,
- на стр. 75 при характеристике отходов после взаимодействия со сточными

водами появляются Co, Mg.

4. Глава 1.1.2. Сформулирована следующим образом – Источники поступления ТМ в водные экосистемы: классификация и характеристики. К недостаткам этой главы можно отнести то, что отсутствуют примеры Уральских объектов, а также то, что общая классификация источников поступления ТМ в водные экосистемы должна быть доработана к данному виду месторождений, т.к. такие процессы как добыча полезного ископаемого, выветривание и отходы могут быть территориально и по временному признаку объединены, т.е. являться единым источником воздействия.

5. При оценке загрязнения водных объектов необходимо выполнять полный макрокомпонентный состав воды, что позволит контролировать правильность лабораторных исследований, дать наименование воды. Не ясно как будет выполнена очистка воды от сульфатов.

Отзыв официального оппонента

Данилов Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры геоэкологии. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», г. Санкт-Петербург. Отзыв положительный.

Замечания:

1. Более детальное описание механизма действия реагентов и сорбентов: в главе, посвященной применению отходов ЖМКС и ОГП, было бы полезно более подробно описать механизм взаимодействия этих веществ с тяжелыми металлами. Каким образом происходит связывание и осаждение металлов? Какие химические реакции при этом протекают? Более глубокое понимание этих процессов позволило бы еще эффективнее оптимизировать технологию очистки.

2. Более широкий спектр анализируемых загрязнителей: Работа фокусируется на тяжелых металлах. Однако, сточные воды горнодобывающих предприятий могут содержать и другие загрязняющие вещества (например, сульфаты, нефтепродукты, взвешенные вещества). Рассмотрение комплексного состава сточных вод и влияния предложенных методов очистки на другие загрязнители повысило бы ценность исследования.

3. Масштабируемость предложенных решений: Хотя в работе приведено экономическое обоснование эффективности предложенных решений, желательно было бы более подробно обсудить вопросы масштабируемости. Насколько легко можно адаптировать предложенные технологии для предприятий различной мощности? Какие факторы могут ограничивать масштабирование?

4. Сравнительный анализ с альтернативными технологиями: в работе упоминаются существующие технологии очистки, но было бы полезно представить более детальный сравнительный анализ предложенного метода с другими, альтернативными, технологиями. Это позволило бы лучше оценить преимущества и недостатки предложенного подхода.

5. Географическая ограниченность исследования: Работа сосредоточена на медноколчеданных месторождениях Свердловской области. Возникает вопрос о применимости предложенных решений в других регионах с иными геологическими, климатическими и гидрологическими условиями. Необходимо более четко обозначить границы применимости результатов исследования и обсудить возможные адаптации технологий для других регионов.

6. Влияние сезонных колебаний: в работе, возможно, недостаточно внимания уделено влиянию сезонных колебаний температуры, осадков и гидрологического режима на эффективность процессов водоотведения и водоочистки. Например, как изменяется состав и объем сточных вод в разные сезоны? Как это влияет на эффективность использования предложенных реагентов и сорбентов? Учет этих факторов позволит повысить надежность и устойчивость предложенных решений.

На автореферат также поступили отзывы:

1. Организация: ООО «УралГеоПроект», (г. Магнитогорск).

Подписан: **Гоготин Алексей Анатольевич**, кандидат технических наук, директор

Замечания: Без замечаний. Отзыв положительный

2. Организация: ООО «НПО УГГУ», (г. Екатеринбург)

Подписан: **Исаков Сергей Владимирович**, кандидат технических наук, генеральный директор

Замечания: 1. Из автореферата не ясно по каким критериям возможно адаптировать технологию под разные производственные мощности?

2. В тексте автореферата не раскрыто понятие «особенности функционирования ГТС». В чем оно заключается? Отзыв положительный

3. Организация: ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» (г. Екатеринбург)

Подписан: **Студенок Геннадий Андреевич**, кандидат технических наук, доцент, Заведующий кафедрой инженерной экологии.

Замечания: Без замечаний. Отзыв положительный

4. Организация: ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет» (г. Чита)

Подписан: **Лизункин Михаил Владимирович**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых».

Замечания: в положении №3, выносимом на защиту, указано снижение затрат с 119,15 руб/м³ до 4,20 руб/м³. Из текста автореферата не совсем ясно, за счет чего достигается такое существенное снижение затрат. В частности, необходимо было указать, какие затраты входят в расчет (реагенты, электроэнергия, оплата труда и т.д.). Отзыв положительный

5. Организация: Горный институт – обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ «Кольский научный центр» РАН (ГоИ КНЦ РАН) (г. Апатиты).

Подписан: **Рыбин Вадим Вячеславович**, доктор технических наук, доцент. Руководитель лаборатории Геомониторинга и устойчивости бортов карьеров отдела геомеханики, главный научный сотрудник.

Замечания:

Имеющееся замечание по работе, как это часто бывает, является продолжением её достоинств. Представляется, что рассмотрение данной работы в рамках одной специальности 2.8.7 - «Теоретические основы проектирования горнотехнических систем», несколько сужает круг специалистов-экспертов, которые могли бы дать оценку работы, и не вполне оправдано. Отзыв положительный

6. Организация: ФГБУН Ботанический сад УРО РАН (г. Екатеринбург)

Подписан: **Шавнин Сергей Александрович**, доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории Экологии древесных растений.

Замечания: в работе проведено ценное исследование влияния высокоминерализованных сточных вод на растительность, произрастающую на территории месторождения, и предложена оценка эффективности доочистки методом биотестирования. Однако, остается неясным, как именно результаты анализа растительности, в частности, обратная экспоненциальная зависимость между концентрацией металлов в сточной воде и морфологическими показателями растений, были использованы при обосновании параметров разработанной технологии очистки сточных вод. Требуется более четкое пояснение, каким образом данные биотестирования и анализ растительности были интегрированы в процесс проектирования и оптимизации технологии водоочистки? Отзыв положительный

7. Организация: АО «Мальшевское рудоуправление» (Свердловская область, пгт. Мальшева)

Подписан: **Чепуштанов Станислав Михайлович**, Технический директор

Замечания: 1. Что за особенности функционирования горнотехнических систем рассматривает автор?

2. В работе представлено экономическое обоснование эффективности предложенных

методов очистки, однако из автореферата не ясно влияет ли объем сточных вод, поступающих на очистные сооружения на эффективность их работы и требуется ли значительная корректировка технологического процесса при увеличении водопритоков. Отзыв положительный

8. Организация: ФГБУН Институт экономики УрО РАН (г. Екатеринбург)

Подписан: **Семячков Александр Иванович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, руководитель центра геоэкологии и природопользования.

Почечун Виктория Александровна, доктор географических наук, доцент, заведующая лабораторией оценки эколого-экономического ущерба.

Замечания: 1. Рассматривали ли Вы возможные технологии извлечения полезных компонентов из сточных вод?

2. Является ли Ваша технология универсальной? Применима ли она для других типов месторождений? Отзыв положительный

9. Организация: ИГД ДВО РАН обособленное подразделение ХФИЦ ДВО РАН (г. Хабаровск)

Подписан: **Озарян Юлия Александровна**, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Сектора горной информатики

Замечания: 1. Из автореферата не ясно, данные о загрязнении рек Свердловской области (стр. 3) получены ли автором диссертации лично?

2. На рис. 2 представлены результаты оценки влияния тяжелых металлов на замедление процессов самовосстановления. Автор формулирует выводы о динамике естественного восстановления исследуя влияние тяжелых металлов в сточных водах только для одного Иван-чая (лат. Шашаеregion) и по одному показателю (длина побегов)? К сожалению, в тексте автореферата не обнаружено пояснений по этому вопросу. Отзыв положительный

10. Организация: ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» (г. Екатеринбург)

Подписан: **Болтыров Владимир Босхаевич**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Профессор кафедры геологии и защиты в чрезвычайных ситуациях.

Стороженко Любовь Александровна, кандидат геолого- минералогических наук, доцент. Заведующая кафедры геологии и защиты в чрезвычайных ситуациях

Замечания: Без замечаний. Отзыв положительный

11. Организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет». (г. Томск)

Подписан: **Таловская Анна Валерьевна**, доктор геолого-минералогических наук, доцент по кафедре геоэкологии и геохимии, профессор отделения геологии. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования.

Замечания: Без замечаний. Отзыв положительный

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что они являются высококвалифицированными специалистами в области проектирования природоохранных мероприятий, оценке точности и надежности принимаемых решений, имеют научные публикации и широко известны своими научными достижениями в данной сфере исследований. Оппоненты не являются работниками организации, где выполнялась диссертация, соавторами соискателя, членами диссертационного совета, а также являются работниками разных организаций.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– **разработана** научная идея применения схем последовательного осаждения и сорбции тяжелых металлов Cu, Zn, Cd, Fe, с использованием производственных отходов, обеспечивающая достижение максимальной эффективности технологии водоочистки производительностью до 1500-1600 м³/сутки при проектировании горнотехнических систем;

– **доказаны** значения параметров подсистемы водоотведения и очистки сточных вод (степень извлечения металлов, дозировка реагентов и сорбентов, время контакта и рН) как элемента горнотехнической системы;

– **выведены зависимости**, характеризующие влияние высокоминерализованных сточных вод, формирующихся при разработке медноколчеданных месторождений, на биологические растительные ресурсы, применение которых обеспечивает совершенствование организации производственных процессов;

– **предложена перспектива** использования образованного в процессе очистки сточных вод ферро-магниевого мелиоранта (ФММ) с дозировкой в 60г/м².

Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:

– **доказаны** положения, вносящие вклад в развитие научных знаний в области совершенствования теории проектирования систем водоотведения и водоочистки при разработке медноколчеданных месторождений;

– **применительно к проблематике диссертации результативно** использован комплекс существующих базовых методов исследований, в том числе методов моделирования, экспериментальные исследования, атомно-абсорбционной спектрометрии, потенциометрии, системный анализ существующих методов очистки сточных вод от тяжелых металлов, анализ нормативных документов, обобщение результатов выполненных исследований;

– **изложены** условия применения технологии очистки высокоминерализованных сточных вод за счет последовательного применения железомagneвиевого композиционного состава (ЖМКС) и отходов гуминового производства (ОГП);

– **раскрыта** проблема недостаточной эффективности очистки высокоминерализованных сточных вод от тяжелых металлов традиционными методами;

– **выявлены** закономерности взаимовлияния времени контакта, дозировки реагентов, эффективности извлечения металлов при оптимизации процесса очистки сточных вод;

– **проведена модернизация** технологии очистки сточных вод, обеспечивающей достижение допустимых концентраций по тяжелым металлам (Cu, Zn, Cd, Fe).

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

– **разработана безотходная** технология очистки промышленных сточных вод, позволяющая снизить затраты на очистку с 119,15 руб./м³ (при существующих подходах) до 4,20 руб./м³, обеспечить соответствие сточных вод нормативам ПДК по меди, цинку, кадмию и железу при проектировании природоохранных мероприятий;

– **предложена** методика расчета параметров технологии очистки сточных вод, обеспечивающая достижение максимальной эффективности подсистемы водоотведения и очистки сточных вод как элемента горнотехнической системы;

– **определены** численные критерии для мониторинга эффективности (до 99,99%) удаления тяжелых металлов (Cu, Zn, Cd, Fe) из высокоминерализованных сточных вод (рН 2,33-2,91) при последовательном применении железомagneвиевого композиционного состава (ЖМКС) и отходов гуминового производства (ОГП) в дозировке 10 г/л при времени контакта 120-180 минут,

– **представлены** перспективы исследования по практическому применению материалов, образованных в результате очистки сточных вод, в качестве мелиорантов;

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

- для экспериментальных работ: результаты получены с использованием сертифицированного оборудования;
- теория построена на известных, проверяемых данных, согласуется с опубликованными экспериментальными результатами по теме диссертации;
- идея базируется на анализе и обобщении практики отечественного и зарубежного передового опыта по различным методам очистки сточных вод;
- идея базируется на соответствии современным требованиям к охране окружающей среды при проектировании горнотехнических систем;
- использованы авторские экспериментальные исследования очистки сточных вод с применением производственных отходов, а также результаты, полученные другими исследованиями по рассматриваемой тематике;
- установлено качественное совпадение авторских данных с результатами, представленными в независимых источниках по исследуемой тематике;
- использованы современные методики сбора и обработки исходной информации и экспериментальных данных.

Личный вклад соискателя заключается в:

- определении целей и задач исследования, проведении экологического мониторинга земельных, водных и растительных ресурсов в зоне влияния изучаемого объекта;
- выполнении лабораторных исследований для определения сорбционных характеристик и химической эффективности материалов на основе промышленных отходов, используемых для удаления тяжелых металлов из сточных вод;
- выявлении закономерностей процесса извлечения тяжелых металлов из растворов сточных вод;
- разработке технологии очистки и оценке ее эколого-экономической эффективности при проектировании подсистемы водоотведения и очистки как элемента горнотехнической системы.

Научная новизна исследования заключается в:

- **Установлена** закономерность функционального роста эффективности извлечения цинка, меди и кадмия из фильтрата сточных вод со временем взаимодействия с отходами производства (ЖМКС и ОГП) до 120–180 минут и их дозировкой 10 г/л, что необходимо учитывать при проектировании горнотехнических систем.
- **Обоснованы** параметры очистки высокоминерализованных сточных вод от металлов (Cu, Zn, Cd, Fe) при использовании последовательного двухэтапного внесения отходов железо-магниевого производства и гуминовых препаратов.
- **Предложена** методика расчета параметров технологии очистки сточных вод, обеспечивающей достижение максимальной эффективности подсистемы водоотведения как элемента горнотехнической системы.

Диссертация по своей тематике и решаемой задаче соответствует п. 3 паспорта научной специальности 2.8.7. «Теоретические основы проектирования горнотехнических систем»: совершенствование организации производственных процессов в связи с особенностями функционирования, реконструкции, технического переоснащения горнотехнических систем.

Диссертация Собенина А.В. является квалификационной работой, в которой изложено решение актуальной научно-практической задачи - обоснованы параметры безотходной технологии очистки высокоминерализованных сточных вод, с использованием отходов железо-магниевого производства и гуминовых препаратов, что имеет существенное значение при проектировании систем водоотведения и очистки сточных вод как элемента горнотехнической системы.

На заседании 03 июля 2025 года диссертационный совет принял решение присудить ученую степень кандидата технических наук Собенину Артему Вячеславовичу.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 9 докторов наук по специальности рассматривая диссертации 2.8.7. - «Теоретические основы проектирования горнотехнических систем», из 17 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – **16**, против – **нет**, недействительных – **нет**.

Председатель диссертационного
совета Д 24.1.503.01 чл.-корр. РАН



Яковлев Виктор Леонтьевич

Ученый секретарь
Диссертационного совета

Панжин Андрей Алексеевич

«03» июля 2025 г.