



СИБИРСКИЙ  
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ | SIBERIAN  
FEDERAL  
UNIVERSITY

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Сибирский федеральный университет»

660041, Красноярский край,  
г. Красноярск, проспект Свободный, д. 79  
телефон: (391) 244-82-13, тел./факс: (391) 244-86-25  
http://www.sfu-kras.ru, e-mail: office@sfu-kras.ru

ОКПО 02067876; ОГРН 1022402137460;  
ИНН/КПП 2463011853/246301001

23.10.2023 № Б/ч  
на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе  
ФГАОУ ВО «Сибирский  
федеральный университет»  
Денис Сергеевич Гу



«23» октября 2023 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Целюка Дениса Игоревича  
на тему «Научное обоснование развития техногенеза природно-  
технических систем намывных хранилищ горнопромышленных отходов  
Енисейской Сибири, геоэкологические последствия» представленную на  
соискание ученой степени

доктора геолого-минералогических наук по специальности  
1.6.21 – Геоэкология.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Общий объем работы составляет 357 страниц, в том числе рисунков – 203, таблиц – 72, список использованных источников включает 237 наименований. Общее количество использованных источников, включая зарубежные публикации, говорит о квалифицированной проработке рассматриваемой проблемы и постановке соответствующей цели работы и решаемых задач.

### Актуальность

Актуальность рассматриваемой проблемы бесспорна. В настоящее время природные комплексы, расположенные в Сибири и на Дальнем Востоке, испытывают колоссальные техногенные воздействия от добычи и обогащения минерального сырья. Являясь мощной минерально-сырьевой базой нашей страны, территория Сибири еще долгое время будет испытывать негативное техногенное воздействие, а нарастающие объемы добычи минеральных

ресурсов различных видов будут способствовать увеличению масштабов негативного воздействия. Рост и масштаб негативного воздействия на территории Сибири и Дальнего Востока отмечается как научными институтами и организациями расположенными непосредственно в регионе, так и ведущими отраслевыми институтами нашей страны. Одним из основных объектов размещения отходов являются намывные хвостохранилища и золоотвалы. Объемы образования данных отходов горнопромышленного производства, будут только возрастать. Намывные объекты, размещения намывных отходов, являются составной частью функционирования природно-технических систем «намывные хранилища отходов – природные воды». Функционирование данных систем сопровождается негативным воздействием на природную среду. В связи с тем, что в обозримом будущем ожидается рост горнопромышленного производства, исследования проведенные автором являются весьма актуальными, поскольку позволяют оценить экологическую опасность техногенных объектов на природную среду и разработать мероприятия по предупреждению негативных последствий.

#### Новизна полученных результатов

Изучение воздействия объектов размещения на окружающую среду проводилось многими исследованиями. Однако, при проведении исследований применялись методики направленные на оценку влияния объектов размещения отходов на природные компоненты. При этом считалось, что процессы техногенеза развиваются достаточно ограничено и заключаются в развитии гипергенных процессов в верхнем горизонте горнопромышленных отходов, размещаемых на накопителях. В связи с этим применяемые методики как научного, так и практического подхода базировались на исследованиях химического и минерального состава вещества только в верхней части разрезов намывных техногенных массивов.

Однако проведенные исследования автора впервые показали, что деструкция минерального состава, процессы растворения, разложения, окисления минеральных форм, а также ионного обмена и переноса вещества водными растворами, происходящие внутри накопителей, определяют физико-химическую зональность техногенных массивов, обуславливают различия геохимической специфики технических и техногенных вод накопителей, а также техногенного фильтрата. Установлено, что процессы вторичного минералообразования в техногенных массивах оказывают существенное влияние на качественный состав техногенного фильтрата и миграционную

активность водорастворимых ингредиентов. Техногенные процессы, протекающие внутри намывных накопителей, оказывают воздействие на состояние природной среды, определяют экологическую опасность промышленных объектов и являются основой формирования и функционирования природно-технических систем.

Автором впервые разработана, обоснована и применена методика научных исследований комплексного изучения взаимного влияния природных, технических и техногенных факторов, формирующих развитие экологических опасных процессов, происходящих в природно-технических системах «намывные техногенные объекты – природные воды». Это позволило впервые проследить стадийность развития техногенеза в природно-технических системах.

#### Апробация работ и публикации

Результаты исследований опубликованы в 50 научных работах, в том числе в одной монографии, 19 статьях в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Российской Федерации, двух патентах. Основные научные положения работы обсуждались на 25 международных, всероссийских и региональных конференциях.

Работа выполнялась в рамках государственного контракта «Осуществление мониторинга подземных вод в зоне влияния промышленных отвалов предприятий Красноярского края» (2008). Исследования автора были поддержаны КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности»: «Оценка ресурсного потенциала хвостов горнорудного производства с целью расширения минерально-сырьевой базы золота Красноярского края и разработки рекомендаций для выбора оптимальной технологической схемы их комплексного использования» (2010); «Оценка ресурсного потенциала хвостов железорудного производства Красноярского края, научное обоснование технологических решений их комплексного использования» (2011); «Оценка условий применения метода кучного выщелачивания золота при разработке лежалых хвостов золото-кварцевых руд (на примере месторождений ООО «Соврудник»)» (2011); «Разработка рациональной технологии переработки лежалых хвостов из хвостохранилища ОАО «Краснокаменское рудоуправление» с получением товарного железорудного концентрата» (2012); «Проведение исследований по повышению эффективности применения метода кучного выщелачивания золота при вовлечении в промышленное производство лежалых хвостов золото-

сульфидных руд» (2013). В трех из которых автор был руководителем, а в двух исполнителем.

Результаты работ неоднократно докладывались в Министерстве природных ресурсов Красноярского края, на заседаниях Экспертной комиссии КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки науки и научно-технической деятельности», внедрены на горнодобывающих предприятиях ООО «Соврудник», ЗАО «Артемовская золоторудная компания», ОАО «Краснокаменский рудник».

#### Обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации

Составными параметрами функционирования каждой системы является: намывной накопитель отходов, массив техногенных отложений, технические поверхностные воды, техногенный водоносный горизонт, техногенный фильтрат, природный водоток. Развитие техногенеза в природно-технических системах включает следующие этапы:

**1 этап.** Преобразование вещества техногенных осадков в объектах накопления;

**2 этап.** Формирование химической специализации водной среды в накопителях;

**3 этап.** Формирование химической специализации техногенного фильтрата и миграционных параметров химических ингредиентов, в том числе загрязняющих веществ в природно-технических системах;

**4 этап.** Развитие экологических опасных процессов, формирующихся под влиянием техногенеза в природно-технических системах.

Развитие первого этапа техногенеза обусловлено преобразованием техногенных осадков в объекте накопления определяющих образование геохимической зональности представленной верхним и нижним горизонтом.

По химическому составу техногенные осадки разделяются на верхний и нижний горизонт. Характерными отличительными особенностями является распределение валовых концентраций химических веществ в вертикальном строении техногенных массивов исследованных природно-технических систем представленных основными соединениями и микроэлементным составом.

По минеральному составу техногенные осадки также разделяются на два горизонта. Верхний горизонт, представленный преимущественно первичными слабо измененными минералами и минеральными комплексами, поступающими в отвалы в составе отходов. Нижний горизонт характеризуется

деструкцией минералов, окислением и образованием вторичных и новообразованных минеральных форм. В системе золоотвалов нижние горизонты характеризуются образованием вторичного кальцита, гипса, барита, гидроксидов железа, цеолитов аморфной карбонатной массой. В системе хвостохранилищ ЗИФ изменение техногенных осадков нижнего горизонта характеризуется полным окислением первичных сульфидов до гидроксидов железа, образованием сульфатов, гипса, гетита, сульфоарсенатов, тонкокристаллических и коллоидных гидроксидов железа, аморфной сульфатной и сульфатно-железистой массой. В системе хвостохранилищ железорудных обогатительных комплексов минеральный состав нижних горизонтов сформирован гидроксидами железа, мартитизированными поликомпонентными формами магнетита, аморфной глинисто-железистой массой. Таким образом в результате проведенных исследований автором впервые установлено зональное строение техногенных массивов.

*Второй этап развития техногенеза* обусловлен формированием водной системы намывных накопителей отходов. Водная система в намывных накопителях представлена техническими поверхностными водами, включающими водную фазу пульпы и осветленные воды прудов отстойников и водами техногенного водоносного горизонта, расположенными в нижней части техногенных массивов.

По химическому составу воды техногенного водоносного горизонта отличаются от технических вод. В системе золоотвалов техногенный водоносный горизонт представлен высокощелочными показателями водной среды. Химический состав вод обусловлен высвобождением кальция и натрия при деструкции карбонатов и алюмосиликатов в нижнем горизонте золовых массивов. Большую роль при этом играют растворенные соли и углекислота  $\text{CO}_2$ .

В системе хвостохранилищ ЗИФ водная среда техногенного водоносного горизонта переходит в кислый состав. Изменение химической формулы техногенных вод в нижних горизонтах происходит в результате преобразования и деструкции сульфидных минералов. Большую роль при этом играют растворенные соли и серная кислота, участвующая в качестве самостоятельного окислителя и расходуемая на разрушение первичных минералов

В хвостохранилищах железорудных ГОКов техногенный водоносный горизонт характеризуется повышенными содержаниями железа. Что определяется поступление в водные растворы элементов высвободившихся в

процессе мартитизации магнетита и обусловленные процессами дезинтеграции алюмосиликатов.

Как показали исследования, в нижнем техногенном водоносном горизонте происходит деструкция и окисление минеральных комплексов. В результате этого, в технические воды системы поступает широкий комплекс химических соединений и металлов, что подтверждается распределениями водорастворимых концентраций веществ в вертикальном разрезе техногенных отложений золоотвалов и хвостохранилищ.

Таковыми образом автором впервые в системе функционирования намывных накопителей отходов выявлено образование и функционирование техногенного водоносного горизонта, установлены условия его формирования.

Третий этап техногенеза определяется образованием техногенного фильтрата. Источником техногенного фильтрата является техногенный водоносный горизонт. В водах техногенного фильтрата исследованных систем установлено четыре группы элементов различающихся по миграционным параметрам. Высоко подвижные, подвижные, слабо подвижные и инертные.

Влияние на миграционные свойства элементов оказывают процессы вторичного минералообразования, развитые в придонной части техногенных отложений и создающие геохимический барьер на пути продвижения фильтрата. При образовании новообразованных минеральных форм из техногенных вод происходит сорбция рассеянных элементов, которые в составе новообразованных фаз накапливаются в намывных накопителях.

В системе золоотвалов можно выделить образование аморфных новообразованных карбонатных фаз и землистых карбонатных новообразований сорбирующих в себе широкий спектр элементов. В системе хвостохранилищ ЗИФ формируются аморфные сульфатные и сульфатно-железистые образования, сульфоарсенаты, аморфные гидроксиды железа, глинисто-сульфатно-карбонатные образования, а также барит, гипс, самородная сера, гетит аккумулируются широкий спектр элементов. В хвостохранилищах железистых хвостов вторичные минеральные выделения образованы аморфной железисто-алюмосиликатной минеральной фазой, скрытокристаллическими водными силикатами железа и гидроксидами железа.

За пределами промнакопителей техногенный фильтрат подвергается воздействию окислительного и сорбционного барьеров. Действие окислительного барьера связано с разгрузкой фильтрационных потоков в нейтральные природные воды. Где фильтрат техногенных вод распространяется

в виде гелеобразных субстанций. При нейтрализации фильтрата, на береговой зоне водотоков, происходит выпадение вторичных новообразованных натечных, коллоидных фаз. Выше уреза воды в зоне обезвоживания и воздействия кислорода происходит их кристаллизация в плотные корковидные образования. При больших увеличениях они представляют собой чередование зон свободного роста, хорошо ограненных кристаллических форм минералов, которые к периферии перекрываются его сплошными микрокристаллическими землистыми новообразованиями.

В системе золоотвалов действие окислительного барьера характеризуется образованием зернистых карбонатных корок, состоящих из кристаллических форм кальцита, гипса, барита. В системе хвостохранилищ ЗИФ действие окислительного барьера обусловлено образованием обильной рыжей взвесью и корками гидрооксидов железа, концентрирующимися на урезе водного потока реки. Корки сформированы кристаллическими минеральными формами и структурами свободного роста в окружении метакolloидных сплошных землистых масс. Присутствие водной растительности в водотоке также способствует появлению новообразованных железистых минеральных фаз в виде дендритовидных и сетчатых форм. В системе хвостохранилищ железорудных ГОКов действие окислительного барьера сопровождается окислением растворенного железа в фильтрате до твердых трехвалентных гидроксидов железа.

Воздействия фильтрационных растворов на речные системы, напрямую зависит от сорбционных свойств иловых фракций донных отложений. При попадании техногенных растворов в речной водоток, в донных отложениях часть элементов сорбируется, а другая группа в составе природных вод мигрирует в составе водного потока.

Четвертый этап включает развитие экологических опасных процессов формирующихся под влиянием техногенеза в природно-технических системах, что наглядно проявляется на примере ртутного загрязнения региона.

На территории Енисейской Сибири можно выделить три типа природно-технических систем содержащих ртуть.

*Специфика ртутного загрязнения речных долин, обусловленная воздействием намывных законсервированных техногенных объектов малопродуктивных фабрик* рассмотрена на примере намывной природно-технической системы Богунаевской ЗИФ. Ресурсный потенциал техногенной металлической ртути в хвостах оценивается порядка 400 кг. В связи с

отсутствием постоянно действующего техногенного водоносного горизонта, процессы техногенеза практически не выражены. Загрязнение р. Богунай происходит за счет механического перемещения ртутьсодержащих хвостов из техногенного массива в природный водоток.

*Специфика ртутного загрязнения речных долин, обусловленная воздействием намывных реорганизованных техногенных объектов крупных ЗИФ* рассмотрена автором в работе на примере намывной природно-технической системы Советской ЗИФ.

Общее содержание ртути в хвостохранилище оценивается в 94 тонны. Ртуть преимущественно сконцентрирована в нижнем горизонте техногенных отложений хвостохранилища. Происходящие процессы техногенеза и кислый состав вод способствует ее переходу в растворенные формы и дальнейшей миграции в составе техногенного фильтрата в природный водоток. На участке реки в зоне воздействия фильтрата содержания ртути превысило ПДК в 43 – 160 раз. Накопление ртути зафиксировано в составе практически всех вторичных новообразованных минеральных, аморфных и скрытокристаллических фаз гидроксидов железа, а также в минеральных формах адсорбированных на водной растительности. Вода в водотоке является чрезвычайно грязной и не пригодна для всех видов водопользования.

*Специфика ртутного загрязнения речных долин, обусловленная воздействием намывных новейших (современных) техногенных систем крупных горно-обогатительных комбинатов* рассмотрена на примере намывной природно-технической системы Новоангарского ГОКа. В хвостохранилище Новоангарского обогатительного комбината общее количество ртути составляет около 140 тонн. Валовые содержания ртути тесно коррелируют с сфалеритом и галенитом. Процессы техногенеза, высвобождают из сульфидов свинца и цинка группу химических элементов, в том числе ртуть. В результате фильтрации техногенных вод, ртутью заражены поверхностные воды р. Картичный, где содержание токсичного металла в воде в районе хвостохранилища превышает ПДК в 35 раз и поверхностных водах р. Ангары в 11 раз.

Положение значительно усугубляется тем, что многие полигоны хранения ртутьсодержащих промышленных отходов, располагаются на территории населенных пунктов. Кризис негативного воздействия на природную среду и население остро проявляется на территории Республики Хакасия в Орджоникидзевском районе, а также в северных районах



Красноярского края, являющихся основными центрами золотодобычи. Перечень болезней в районах высоко коррелирует с результатами исследований заболеваний на Семеновской ЗИФ.

Для оценки экологической опасности функционирования природно-технических систем впервые научно обоснованы критерии оценки экологической опасности техногенного воздействия намывных хранилищ отходов горнопромышленных комплексов на природную среду. Установлено, что основой негативного воздействия на окружающую среду является повышение класса опасности отходов, связанного с деструкцией минерального состава техногенных осадков, перераспределением химических компонентов в техногенных массивах. Критерии экологической опасности функционирования систем позволили сформировать предложения по совершенствованию экологического мониторинга, нормативно правового-регулирования механизмов оценки воздействия данных объектов на окружающую среду, что позволит усовершенствовать систему государственного управления в области обращения с горнопромышленными отходами.

Таким образом, автором впервые рассмотрены и детально изучены и обоснованы особенности развития техногенеза в природно-технических системах Енисейской Сибири.

Установлено, что в результате развития процессов техногенеза в накопителях промышленных отходов формируется техногенный фильтрат, содержащий широкий спектр миграционно-активных химических веществ несущих экологическую опасность для природной среды.

Процессы техногенеза, происходящие в природно-технических системах, способные вызвать и создать региональные изменения природной среды, приводят к кризису загрязнения рек и селитебных зон.

Научное обоснование процессов техногенеза, рекомендуется положить в основу для подтверждения природопользователями информации о классах опасности содержащихся в накопителях отходов, а также использовать для прогноза уровня негативного воздействия промнакопителей на природную среду.

#### Значимость результатов для науки и производства

Теоретическая значимость работы заключается в развитии фундаментальных научных представлений о техногенных процессах, происходящих при деструктивном воздействии на отходообразующие минералы и минеральные комплексы технических вод. Исследование

техногенных процессов, приводящих к формированию техногенного водоносного горизонта, позволили создать модель развития техногенеза внутри намывных накопителей горнопромышленных отходов, обусловленную взаимодействием осадков и водных растворов и на основе ее разработать и внедрить методику комплексного анализа функционирования природно-технических систем ««намывные техногенные объекты – природные воды». В соответствии с принятой автором моделью и методикой проведения научных исследований установлено, что процессы техногенеза формируют насыщенность техногенного фильтрата загрязняющими ингредиентами. Обоснованы особенности поведения загрязняющих веществ, при поступлении их из промнакопителя в природный водоток. Отмечено влияние геохимических барьеров на миграционные свойства технофильных элементов, поскольку они формируют уровень загрязнения и определяют степень экологической опасности промнакопителей, как источников загрязнения природной среды.

Разработанные теоретические модели развития техногенеза в природно-технических системах послужили основой для оценки экологической опасности эксплуатируемых намывных накопителей горнопромышленных отходов. Установлено, что основой негативного воздействия на окружающую среду является повышение класса опасности отходов, связанного с деструкцией минерального состава техногенных осадков, перераспределением химических компонентов и миграцией сконцентрированных в техногенном фильтрате загрязняющих ингредиентов в природные водотоки. Установленные критерии экологической опасности функционирования систем позволили сформировать предложения по совершенствованию экологического мониторинга. Созданы пионерные способы вовлечения лежалых намывных хвостов в повторную отработку, что подтверждено экспертизой ФГБУ «Федеральный институт промышленной собственности» и защищено двумя патентами.

#### Достоверность защищаемых положений

Достоверность защищаемых положений определяется объемом фактического материала, собранного на разнообразных техногенных объектах и проанализированного современными лабораторно-аналитическими методами. Анализы выполнены в аккредитованных лабораториях ГПКК «Красноярский научно-исследовательский институт геологии и минерального сырья», Института химии и химической технологии СО РАН, проектно-изыскательского института «Красноярскгидропроект» филиал ОАО «СибЭНТЦ», Центральная лаборатория ОАО «Красноярскгеология», ФГБУ

«Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М.Федоровского», ОАО «Иркутский научно-исследовательский институт благородных и редких металлов и алмазов», Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН. В основу расчетов положены апробированные методики, представленные в работах П.А. Удодова, А.И. Перельмана, С.Л. Шварцева. Статистическая обработка информации проведена с помощью программных комплексов Statistika и Statsoft с учетом фактической дисперсии концентрации данных на техногенных и природных объектах. Математическая обработка осуществлялась комплексом Matlab, графические построения выполнены с помощью AutoCad, CorelDraw, Surfer. Построенные физико-химические модели природно-технических систем «намывной накопитель отходов – природные воды» отражают основные закономерности техногенных процессов и согласуются с результатами гидрохимических наблюдений в районе антропогенного изменения речных систем.

#### **Замечания по диссертационной работе**

1. Не совсем понятно, каким образом результаты исследований, вопросы техногенеза, которые изложенные в работе соотносятся с действующими нормативно-правовыми документами?

2. Как практически могут быть реализованы представленные результаты исследований для снижения негативного воздействия по отдельным группам загрязнителей?

3. В работе следовало бы более подробно рассмотреть систему защитных сооружений направленных на предотвращение фильтрации техногенного фильтрата в природные водные объекты.

4. Каким образом выявленные процессы вторичного минералообразования могут оказать влияние на практике при извлечении полезных компонентов из намывных накопителей горнопромышленных отходов Енисейской Сибири?

5. В работе следовало бы более подробно представить возможности комплексного использования технофильных элементов, т.к. представленные результаты исследований показали, что концентрации некоторых из них являются весьма перспективными для извлечения?

6. При характеристике хранилищ отходов обогащения руд недостаточно уделено внимания первичному распределению вещества в хвостах, которое зависит от технологии складирования (намыва) хвостов, а

также анализу химизма остаточных реагентов в оборотных водах обогатительных фабрик.

7. В четвертом защищаемом положении рассмотрены вопросы только ртутного загрязнения. Однако, в накопителях промышленных отходов присутствуют и такие элементы как мышьяк, кадмий, свинец и другие, не менее опасные чем ртуть. Желательно оценить их влияние на водные объекты подверженные негативному воздействию.

Несмотря на отмеченные замечания, диссертационная работа Целюка Дениса Игоревича на тему «Научное обоснование развития техногенеза природно-технических систем намывных хранилищ горнопромышленных отходов Енисейской Сибири, геоэкологические последствия» является законченным научным исследованием и соответствует пунктам 9, 10, 11, 12, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.21 - Геоэкология.

Отзыв подготовлен доктором геолого-минералогических наук (специальность 25.00.11) Макаровым Владимиром Александровичем.

Отзыв обсужден и одобрен на расширенном заседании кафедры техносферной безопасности горного и металлургического производства, протокол № 2 от 17.09.2023 г.

Председатель заседания:  
Профессор кафедры  
геологии месторождений  
и методики разведки,  
д-р геол.- минерал. наук, профессор

Макаров Владимир Александрович

Секретарь заседания:  
Заведующий кафедры  
техносферной безопасности  
горного и металлургического  
производства», канд. техн. наук

Гильманчина Татьяна Ренатовна

ОГАОУ ВО СФУ  
Подпись Макаров Владимир Александрович  
Делопроизводитель  
« 23 » ОКТ 2023

