

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертационную работу

**ЦЕЛЮКА ДЕНИСА ИГОРЕВИЧА**

«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

### **Актуальность темы диссертации**

Диссертационная работа Целюка Дениса Игоревича направлена на решение фундаментальных и прикладных проблем взаимодействия техногенных объектов и природных компонентов в природно-технических системах «намывной накопитель отходов - природные воды». Экологическая опасность эксплуатации намывных накопителей проявляется в загрязнении природных вод химическими токсикантами, а кроме того, они являются объектами накопленного вреда для окружающей среды (НВОС). Степень опасности накопителей для природных водотоков зависит от развития техногенных процессов, протекающих во всех природно-технических системах независимо от их промышленной принадлежности, поскольку в процессе вторичного преобразования вещественного состава отходов происходит выщелачивание токсикантов и обогащение ими техногенных вод, циркулирующих внутри накопителей.

Данные исследования взаимовлияния природных техногенных намывных систем, базирующихся на физико-химических трансформациях источников поступления технофильных элементов в природную среду, являются основой для раскрытия закономерностей опасных геоэкологических процессов, происходящих в системе «намывные техногенные объекты – природные воды».

Научно обоснованные факторы и критерии раскрытия процессов техногенеза позволяют дать комплексную геоэкологическую оценку воздействия техногенных объектов на природную среду, обосновать и разработать мероприятия по предотвращению экологических кризисов.

Необходимость поиска решений сложных проблем, связанных с ресурсосбережением и рациональным использованием минеральных ресурсов, соответствует основным ориентирам государственной политики в области экологической безопасности Российской Федерации, положениям, утвержденным Правительством РФ в «Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года» и в «Прогнозе научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года».

Таким образом, актуальность диссертационного исследования Целюка Д.И., направленного на решение комплекса острых геоэкологических проблем, не вызывает сомнений.

*Целью работы* является исследование развития процессов техногенеза, определяющих особенности функционирования ведущих природно-технических систем «намывные техногенные объекты – природные воды» для комплексной оценки их воздействия на природные водотоки Енисейской Сибири, научного обоснования критериев оценки их экологической опасности и разработки мероприятий по предотвращению экологических кризисов.

В диссертационной работе автором представлено решение следующих *задач*:

1. Изучение особенностей вещественного состава техногенных осадков в намывных накопителях горнопромышленных отходов и влияния процессов техногенеза на их преобразование;

2. Исследование химического состава техногенных вод в намывных накопителях горнопромышленных отходов и их типизация по качественному составу;

3. Исследование техногенных процессов, формирующих качественный состав дренажного фильтрата, поступающего из намывных накопителей горнопромышленных отходов в природную среду;

4. Изучение воздействия техногенных вод на природные водотоки, исследование особенностей миграционных свойств технофильных элементов при взаимодействии фильтрата с природными водами.

5. Исследование геоэкологических последствий эмиссии технофильных элементов в окружающую среду в процессе промышленного использования природно-технических систем Енисейской Сибири на примере ртутного загрязнения. Научное обоснование критериев оценки экологической опасности их функционирования.

### **Структура и содержание работы**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, списка литературы. Текст изложен на 357 страницах, содержит 72 таблицы, 203 рисунка, список литературы включает 237 источников.

Диссертация оформлена в соответствии с установленными требованиями, материал изложен грамотно и логически последовательно, выводы аргументированы.

В диссертационной работе, на основании анализа отечественных и зарубежных исследований в области современного состояния проблемы техногенной трансформации природной среды и способов ее решения, лично автором поставлена цель работы, определены задачи, требующие решения, представлены полученные результаты, а также выводы и рекомендации.

*Во введении* обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследований, представлены описание научной новизны, теоретической и практической значимости, приведены положения, выносимые на защиту.

*В первой главе* «Состояние проблемы, методологическое обеспечение постановки работ» проведен анализ исследований, касающихся фундаментальных проблем взаимодействия техногенных объектов и природных компонентов. Суще-

ствующая постоянная взаимосвязь технических вод из промышленных накопителей с природными водотоками доказывает наличие постоянно действующих природно-технических систем, функционирующих по типу «намывные техногенные объекты – природные воды». В соответствии с изложенными автором особенностями строения природно-технических систем, развитие техногенеза в природно-технических системах включает несколько этапов: преобразование вещества техногенных осадков в объектах накопления; формирование химической специализации водной среды в накопителях; формирование химической специализации техногенного фильтрата и миграционных параметров химических ингредиентов, в том числе, загрязняющих веществ в природно-технических системах; развитие экологически опасных процессов, формирующихся под влиянием техногенеза в природно-технических системах.

Во второй главе «Особенности вещественного состава техногенных осадков в намывных накопителях промышленных отходов» приведены результаты исследований химического, микроэлементного и минерального состава массивов техногенных отложений золотизвлекающего, железорудного и теплоэнергетического производства. Установлены закономерности неоднородного строения техногенных массивов.

Состав техногенных осадков, размещаемых в намывных золоотвалах и хвостохранилищах, определяется веществом перерабатываемого на промышленных объектах природного сырья. Тип золовых осадков обусловлен качеством углей, сжигаемых на ТЭЦ и ГРЭС Восточной Сибири. Состав лежалых хвостов в значительной мере зависит от промышленного типа рудного сырья. Техногенные отложения в промышленных накопителях неоднородны по вещественному составу. Зональное строение обусловлено процессами вторичного преобразования осадков, залегающих в нижних горизонтах техногенных массивов. Произошедшие модификации минеральных выделений в техногенных осадках обусловлены процессами замещения первичных минералов вторичными образованиями и формированием новообразованных тонкокристаллических и аморфных минеральных фаз, цементирующих обломочный материал.

Внутри техногенных массивов выделяется два осадочных горизонта, различающихся между собой по содержанию и спецификации геохимических элементов. В верхнем горизонте формируются ассоциации, генетически связанные с первичным минеральным составом отходов, поступающих в накопители от промышленных объектов. В нижнем горизонте характер ассоциаций меняется, первичные связи распадаются и формируются новые группы элементов, образование которых определяется процессами замещения первичных минералов на вторичные формы и появлением новообразованных минеральных фаз.

Автором доказано, что массивы отложений в намывных накопителях промышленных отходов гетерогенны по вещественному составу. Техногенные отложения верхнего горизонта сложены первичным и слабоизмененным минеральным

комплексом сбрасываемых отходов. Обводненные техногенные осадки нижнего горизонта характеризуются замещением первичного минерального состава на вторичные формы, появлением новообразованных веществ коллоидного и аморфно-глинистого состава, способных накапливать химические вещества опасного и умеренно опасного классов.

*В третьей главе «Химический состав техногенных вод в намывных накопителях промышленных отходов»* изложены результаты изучения химического состава технических поверхностных и вод техногенного водоносного горизонта в накопителях.

Выделены химические типы техногенных вод и геохимические ассоциации элементов, содержащиеся в них. Комплекс техногенных вод в намывных накопителях включает в себя технические поверхностные воды и техногенный водоносный горизонт. Технические поверхностные воды формируются жидкой фазой пульпы и концентрируются в виде осветленных вод в границах прудов отстойников. Образование техногенного водоносного горизонта связано с фильтрацией технических вод из прудов отстойников через толщу техногенных осадков в придонную часть промнакопителей. При достижении фильтратом водоупорных отложений или горных пород, подстилающих днище промышленных бассейнов, формируются воды, постоянно циркулирующие в нижних горизонтах толщи техногенных отложений в пределах всей площади технических сооружений.

Установлено, что технические поверхностные воды и воды техногенного водоносного горизонта отличаются друг от друга по химическому составу, минерализации и показателю pH. Химическую спецификацию водной среды определяют катионы кальция, магния, натрия, калия, железа, а также анионы сульфатов, гидрокарбонатов, хлора. Технические поверхностные воды по химическому составу тесно связаны с жидкой фазой пульпы, формирование которой обусловлено технологическими водами, используемыми в производственном процессе. На качество воды техногенного водоносного горизонта существенное влияние оказывают процессы вторичного преобразования минерального состава техногенных осадков, залегающих в нижнем горизонте лежалых хвостов.

Таким образом, автором научно обосновано, что водоносная система в намывных накопителях сформирована из поверхностных технических вод (пульпа и осветленные воды прудов-отстойников) и вод техногенного водного горизонта, обогащенных токсичными веществами в результате деструкции минеральной фазы нижнего горизонта.

*В четвертой главе «Воздействие намывных накопителей промышленных отходов на природные водотоки»* изложены результаты исследований качественного состава техногенного фильтрата, определены миграционные способности химических элементов и пути их водного транзита в природно-технических системах. Поступая за пределы промнакопителей в виде фильтрата техногенные воды способны оказывать негативное воздействие на природную среду. По химическому составу фильтрационные растворы сопоставимы с водами техногенных водоносных

горизонтов, залегающими в придонной части золоотвалов и хвостохранищ. Природа этой связи носит генетический смысл и определяет механизм зависимости экологической опасности фильтрата от концентрации и водной подвижности токсичных ингредиентов, присутствующих в составе техногенных вод.

На формирование химического состава техногенного фильтрата существенное влияние оказывают процессы, развивающиеся в системе "техногенный водоносный горизонт — техногенные осадки". Производными этой связи являются дизинтеграция и растворение минеральных форм и комплексов, а также вторичное минералообразование. Процессы, выраженные через нестабильность кислотно-щелочного потенциала, равно как и окислительной, глеевой и восстановительной обстановки, определяют геохимическое состояние водной среды внутри промнакопителей и контролируют подвижность каждого ингредиента, вплоть до осаждения их в новообразованных вторичных минеральных фазах. Выпадающие из растворов вторичные минералы, большей частью проявляющиеся в виде аморфных и микрокристаллических форм, существенно снижают миграционную активность большинства ингредиентов. К данной группе относятся минеральные ассоциации цементации обломочного материала и заполнения пустот в осадочных толщах техногенных массивов. Вторичные минеральные новообразования, при формировании своей структуры, способны захватывать не образующие собственных минеральных форм рассеянные элементы, а также сорбировать их на своей поверхности. Воздействие на природные водотоки, высачивающегося за пределы промнакопителей техногенного фильтрата, осуществляется в два этапа.

Первый этап связан с разгрузкой техногенных фильтрационных потоков в нейтральные природные воды. На участках их взаимодействия формируется встречный геохимический барьер. При нейтрализации фильтрата, на береговой зоне водотоков, вблизи уреза вод происходит выпадение вторичных новообразованных фаз. Активное воздействие атмосферного кислорода способствует росту кристаллических и субкристаллических форм из аморфных и коллоидных новообразованных минеральных фаз.

Второй этап воздействия фильтрационных растворов на речные системы, сменяющий этап выпадение минеральных новообразований в прибрежной зоне, напрямую зависит от способности ионных форм элементов в составе смешанных природно-техногенных вод переноситься природными водотоками на значительные расстояния. Большую роль при этом играет возможность элементов противостоять процессам сорбции, на которые способны иловые фракции донных отложений. В процессе исследований автором установлено, что техногенный водоносный горизонт является источником загрязнителей, которые в составе фильтрата поступают в природные водные объекты. Масштаб распространения ионов токсичных веществ из техногенного фильтрата зависит от интенсивности действия геохимических барьеров: окислительного (атмосферного), где происходит их выпадение в составе новообразованных кристаллических минеральных фаз и сорбционного (при-

родный водоток), где поллютанты аккумулируются новообразованными аморфными минеральными фазами в илистых фракциях речных осадков.

В пятой главе «Региональные особенности изменения окружающей среды, обусловленные функционированием горнопромышленных природно-технических систем Енисейской Сибири» обоснованы и рассмотрены модели функционирования природно-технических систем. На основе ртутного загрязнения промышленных регионов Енисейской Сибири исследованы последствия эмиссии технофильных элементов в природные водотоки и оценены геоэкологические последствия негативного влияния техногенеза. Представлено научное обоснование критериев оценки экологической опасности функционирования природно-технических систем. Подготовлены предложения по совершенствованию управления в области обращения с горнопромышленными отходами.

### **Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**

Обоснованность научных положений, достоверность результатов и выводов диссертационного исследования Целюка Д.И. обеспечивается значительным объемом фактического материала, собранного на разнообразных техногенных объектах и проанализированного современными лабораторно-аналитическими методами в авторитетных лабораториях.

Анализы выполнены в аккредитованных лабораториях: ГПКК «Красноярского научно-исследовательского института геологии и минерального сырья», Института химии и химической технологии СО РАН, проектно-изыскательского института «Красноярскгидропроект», ОАО «Красноярскгеология», ФГБУ «Всероссийского научно-исследовательского института минерального сырья им. Н.М.Федоровского», ОАО «Иркутского научно-исследовательского института благородных и редких металлов и алмазов», Института 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 программных комплексов 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.

В процессе исследований изучено более 2000 проб золошлаковых отложений из золоотвалов ТЭС и лежалых хвостов горнорудных комплексов, 500 проб подземных вод из сети наблюдательных скважин золоотвалов; 200 проб поверхностных вод и 300 проб донных отложений из водотоков в зоне влияния намывных

накопителей промышленных отходов Енисейской Сибири. Общее количество выполненных анализов, включая результаты водных, кислотных вытяжек и экспериментальных исследований, составило более 10000 элементо-определений.

В работе использованы результаты исследований физических свойств золотых отложений и лежалых хвостов горнопромышленного производства; химических и спектральных полуколичественных и количественных анализов; количественного химического, спектрального атомно-эмиссионного и атомно-абсорбционного анализа, масс-спектрометрического метода с индуктивно связанной плазмой (ISP-MS) грунтов и донных отложений, химического анализа техногенных вод и фильтрационных растворов, гидрохимического анализа природных вод; рентгенофазовых, термогравиметрических, локальных рентгеноспектральных анализов, растровой электронной микроскопии.

Научные результаты работы широко апробированы на Всероссийских и международных научных конференциях, опубликованы в 35 печатных работах, из них 19 публикаций в ведущих периодических изданиях, определенных ВАК РФ, 1 монография, получено 2 патента РФ на изобретение.

Реализованные в ходе выполнения диссертационной работы задачи обладают несомненной научной новизной.

#### **Научная новизна положений, выводов и рекомендаций**

Автором впервые раскрыты особенности процессов, определяющие развитие техногенеза, как внутри намывных накопителей горнопромышленных отходов, так и в зонах их влияния на природную среду. Показано, 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. Определена ведущая роль окислительного воздействия атмосферного кислорода на миграционные свойства технофильных элементов в зоне разгрузки техногенного фильтрата из намывных накопителей промышленных отходов. Оценено влияние сорбционного барьера на миграционную активность ионных форм элементов в природной водной среде.

Обоснована 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». На основе изучения особенностей технической эмиссии ртути в регионе оценены масштабы негативных последствий воздействия технофильных элементов на природную среду экологически опасных природно-технических систем Енисейской Сибири.

Новизна подтверждается внедрением результатов исследований на производственных объектах горнопромышленного комплекса. Автором созданы пионерные способы вовлечения лежалых намывных хвостов в повторную отработку, что подтверждено экспертизой ФГБУ «Федеральный институт промышленной собственности» и защищено двумя патентами. 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».

Автором получено 2 патента на изобретение: от 27.11.2012 № 2468103 «Способ извлечения золота из лежалых хвостов намывных хвостохранилищ»,

от 22.04.2014 № 2520229 «Способ извлечения железорудного концентрата из лежалых намывных хвостов мокрой магнитной сепарации железных руд скарно-магнетитового типа».

Таким образом, подавляющее большинство результатов диссертационной работы получено впервые, работы автора носят приоритетный характер, в силу чего новизна полученных результатов не вызывает никаких сомнений.

Совокупность результатов экспериментальных исследований и сформулированных на их основе выводов и положений можно квалифицировать, как крупное достижение в геоэкологии в части развития научных представлений о техногенных процессах, происходящих при деструктивном воздействии на отхообразующие минералы и минеральные комплексы технических вод, разработки корректирующих мероприятий по совершенствованию экологического мониторинга с целью ликвидации накопленного вреда окружающей среде, что соответствует задачам государственной политики в области экологической безопасности.

### **Теоретическая и практическая значимость результатов работы**

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.

Установлено, что процессы техногенеза формируют насыщенность техногенного фильтрата загрязняющими ингредиентами.

Поскольку автором показано, что в массивах намывных хвостов происходит высвобождение минеральных компонентов, которые могут служить техногенным сырьем для повторного извлечения. В главе 5 желательно было бы оценить ресурс-

ный потенциал использования этих хвостов в качестве техногенных месторождений.

### Замечания

Принципиальных замечаний по диссертационной работе Целюка Дениса Игоревича не имеется. При этом в качестве замечаний рекомендательного характера необходимо отметить следующее:

1. Восприятие представленной в диссертации информации осложняет недостаточность графических материалов, отражающих общее расположение изученных природно-технических систем на территории Енисейской Сибири, а также схем изученных объектов. Оптимальным было бы представить технические характеристики объектов, содержащих намывные горнопромышленные отходы.

2. В содержании главы 4 с практической точки зрения интересным представляется раздел, в котором были бы отражены технические мероприятия по защите природных водотоков от воздействия техногенного фильтрата поступающего из намывных накопителей горнопромышленных отходов.

3. При характеристике типов распределения ртути в природно-технических системах «намывные законсервированные техногенные объекты малопроизводительных бегунных фабрик», «намывные реорганизованные техногенные объекты крупных ЗИФ», «намывные новейшие (современные) техногенные системы крупных горнообогатительных комбинатов» (глава 5) для улучшения восприятия материалов исследования целесообразным было бы показать графические материалы, характеризующие их пространственное размещение на территории Енисейской Сибири.

4. Главу 5 желательно дополнить материалами, характеризующими распределение ртути, не только в водотоках и донных илах, но и во всей цепочке водных экосистем, включающих гидробионты и представителей ихтиофауны.

5. Поскольку автором в главе 5 показано, что в массивах намывных хвостов происходит высвобождение минеральных компонентов, которые могут служить техногенным сырьем для повторного извлечения, то целесообразным представляется (в дополнение к имеющимся материалам исследования) проведение оценки ресурсного потенциала использования этих хвостов в качестве техногенных месторождений.

### Заключение

Критический анализ диссертационной работы Целюка Дениса Игоревича позволяет сделать заключение о том, что, несмотря на высказанные замечания, соискателем на высоком уровне проведено серьезное научное исследование по актуальной теме в области геоэкологии – научное обоснование развития техногенеза природно-технических систем намывных хранилищ горнопромышленных отходов

Енисейской Сибири и оценка геоэкологических последствий. Полученные в ходе выполнения работы результаты соответствуют поставленным автором целям и задачам.

Диссертационная работа содержит ряд новых фундаментальных результатов, расширяющих научные представления о процессах развития техногенеза, формирующих развитие природно-технических систем, что является стратегической задачей геоэкологического прогнозирования. Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

Диссертация является завершенным научным исследованием, которое может быть квалифицировано как новое крупное научное достижение в области геоэкологии, полностью соответствующее Стратегии экологической безопасности Российской Федерации.

Диссертационная работа «Научное обоснование развития техногенеза природно-технических систем намывных хранилищ горнопромышленных отходов Енисейской Сибири, геоэкологические последствия» соответствует пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842), предъявляемым к работам, представленным на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук, а ее автор, Целюк Денис Игоревич, заслуживает присуждения ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.21 – Геоэкология .

Официальный оппонент:

доктор технических наук по специальности

25.00.36 – Геоэкология (технические науки),

профессор, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность»

Федеральное государственной бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения»

664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15

тел.: 8(983)- 41-65-007

E-mail: lrush@mail.ru

« 26 » 10 2023г.

Руш ЕленаАнатольевна

Подпись д.т.н., профессора Руш Е.А. заверяю

Подпись <u>Руш ЕА</u>
<b>ЗАБЕРЯЮ:</b>
Начальник общего отдела ИргУПС
Подпись <u>Ирина Куркина</u>
« 20 » 10 2023г.

