

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Юркевич Наталии Викторовны «Техногенные экосистемы: динамика развития и ресурсный потенциал (на примере хранилищ отходов горнорудного производства в Кемеровской области и Забайкальском крае)», представленной на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4. «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых»

Работа Юркевич Н.В., целью которой является получение количественной информации о строении и составе антропогенно нарушенных систем и выявлении закономерностей миграции вещества с водными и воздушными потоками под воздействием факторов длительного химического выветривания (на примере складированных сульфидных отходов Кемеровской области и Забайкальского края) основывается на комплексе современных методов электротомографии, геохимической и газоаналитической съемки, методах анализа состава вещества и растворов, методах постановки, реализации и интерпретации экспериментов и расчётов, использованием аналитических и численных методов решения задач и соответствием результатов современному уровню знаний в исследуемой области.

Как справедливо отмечается в работе, в результате разработки рудных месторождений по всему миру образовались отходы, отличительной чертой которых являются высокие концентрации кислотопродуцирующих сульфидных минералов, которые за счёт тонкого измельчения обладают развитой удельной поверхностью и высокой реакционной способностью.

1. Актуальность темы.

Актуальность работы Юркевич Н.В. не вызывает сомнения, так как исследования направлены на решение важной проблемы выявления закономерностей геохимической эволюции техногенных экосистем с точки зрения их вторичной переработки, как техногенных месторождений, и оценки рисков для окружающей среды.

2. Новизна, теоретическая и практическая значимость результатов исследования

Наиболее существенными положениями, определяющими новизну и теоретическую значимость результатов исследования, являются следующие.

1. Установлены закономерности эволюции техногенных экосистем Западной Сибири.

2. На основании данных комплексного применения электротомографии с верификацией геохимическим опробованием определено строение техногенных экосистем с выявлением зон окисления, геохимических барьеров и зон фильтрации дренажных растворов.

3. Показана взаимосвязь между геохимическими, электрофизическими параметрами техногенного тела и факторами окружающей природной среды (температура, влажность), оценена суточная и сезонная вариабельность системы.

4. Показано, что техногенные экосистемы являются источниками серо-, селен-, азот- и углеродсодержащих газов за счёт ряда биотических преобразований. Впервые обнаружено формирование сероуглерода, газа второго класса опасности, в приповерхностном слое воздуха над отвалами. Доказан механизм метилирования серосодержащих соединений бактериями *Bacillus Mycooides* с образованием диметилсульфида.

5. Предложена методология оценки объемов техногенных тел, ресурсов ценных и токсичных компонентов, расчета экологического ущерба и рентабельности переработки отходов цианирования, флотации и гравитационного обогащения барит-полиметаллических, полиметаллических и золотоносных руд.

Теоретическая значимость работы связана с разработкой концепции, которая позволила выявить закономерности эволюции техногенных экосистем Сибири.

Практическая значимость работы для РФ (и, в частности, для Сибири) заключается в создании научно обоснованной схемы экспертной оценки экологической опасности складирования отходов при добыче сульфидсодержащих руд с учетом экономической составляющей. Разработанная геохимико-геофизическая методика, которая была успешно использована для оценки объемов техногенного тела и ресурсов ценных компонентов крупных объектов ПАО «Газпром нефть», ГК ПАО «Норильский никель», ООО «Рециклинг» и др.

Безусловно результаты исследований могут быть адаптированы для анализа состояния подобных природно-технических систем.

Особую практическую значимость работы подчеркивает факт включения научно-обоснованных рекомендаций по паспортизации заброшенных хранилищ горнодобывающей промышленности и составлению реестра в качестве поправок к «Стратегии социально-экономического развития Сибири и Арктики» и предложения их в резолюции правительству

РФ по итогам заседания научного совета по глобальным экологическим проблемам (НС ГЭП РАН) в 2023 г.

3. Оценка содержания и завершенности диссертации и автореферата.

Диссертация Юркевич Н.В. состоит из введения, шести глав, заключения и списка использованных источников. Объем диссертации составляет 291 страницу, включает 80 рисунков, 49 таблиц и 204 цитированных источника.

Соискателем сформулированы выводы после каждой из шести глав, а также сделано заключение с общими выводами по результатам всей работы.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы ее цель, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние проблемы» рассмотрены общие вопросы преобразования вещества сульфидных отходов, формирования кислых дренажных потоков, увеличения подвижности химических элементов и образования зон геохимических аномалий в районах хранилищ отходов. Описывается определение техногенной экосистемы и гиперкриогенеза. Рассматривается проблема загрязнения окружающей среды в результате деятельности горнорудных производств. Освещаются вопросы расчетов экологических ущербов и подсчета ресурсов, критерии отнесения техногенных экосистем к месторождениям, современное состояние техногенных экосистем в России, основные направления рекультивации нарушенных земель и переработки техногенного сырья. Информация, представленная в этой главе, изложена очень информативно и подробно, дает полное представление о проблемах рассматриваемых техногенных экосистем.

Во второй главе «Характеристика объектов исследования» содержится информация об общей характеристике хранилищ отходов Салаирского рудного поля (Дюков Лог, Талмовские Пески), отвалах Урского месторождения, хвостохранилищ Комсомольского золотоизвлекательного завода (Кемеровская область), хранилищах отходов отработки руд Шахтаминского молибденового месторождения и Дарасунского рудного узла (Забайкальский край), которые были выбраны так, чтобы охватить техногенные системы разного возраста (40-100 лет), кислотности (рН 2-6), степени рекультивации на территории с резко континентальным климатом (Кемеровская область, Забайкальский край). Описывается история возникновения и основные характеристики техногенных экосистем, сформировавшихся в результате гиперкриогенных трансформаций

хвостохранилищ и отвалов. Представленный обзор современных исследований техногенных экосистем за рубежом и в России, в частности, на территории Кемеровской области и Забайкальского края, показывает, что они характеризуются недостаточной изученностью геоэлектрической зональности, химического состава, объемов отложений, а также ресурсов ценных и токсичных компонентов в них.

В третьей главе «Методология исследований» освещается алгоритм исследований, который базируется на трех основных блоках: 1) полевые геохимические и геофизические изыскания; 2) лабораторные анализы химического состава вещества и растворов; 3) эксперименты и расчёты. Приведена последовательность работ по каждому из трех вышеприведенных блоков.

Соответствующие разделы третьей главы описывают авторский алгоритм геохимических и геофизических исследований, схемы расстановок профилей электротомографии и заложения шурфов работ на каждом из объектов в отдельности, методы анализа состава вещества и растворов, методы постановки, реализации и интерпретации экспериментов и расчётов.

Информация, представленная в этой главе, изложена очень информативно и подробно, дает полное представление о применяемых методах исследований, оборудовании и программном обеспечении. Как справедливо указывается в работе синергетическое взаимодействие стало возможным за счёт применения методов разных областей наук к исследованию техногенных объектов.

В четвертой главе «Оценка строения и состава техногенных экосистем по данным геохимических и геофизических исследований» представлены результаты исследований по изучению строения хранилищ с применением метода электротомографии. Обоснована предпосылка успешного применения данного метода для выявления границ техногенной системы, заключающаяся в том, что тонкоизмельченные отходы, пропитанные высокоминерализованным поровым раствором, обладают электрическими сопротивлениями существенно ниже, чем сопротивления вмещающей среды.

В результате представленных исследований была установлена взаимосвязь электрических сопротивлений, получаемых с применением метода электротомографии, с химическим составом и петрофизическими параметрами среды. Дополнительная задача, которая также была решена, сводилась к поиску подземных путей фильтрации дренажного раствора, которые должны визуализироваться на геоэлектрическом разрезе сопротивлениями ниже, чем материал отходов.

По результатам работ были определены геоэлектрические свойства, химический состав и физические свойства вещества отходов до глубины 3 м. Определена геоэлектрическая зональность объектов до глубины 40 м. Показано, что существует обратная корреляция между удельным электрическим сопротивлением (УЭС) паст, содержанием сульфатной серы в твердом веществе, суммарными концентрациями металлов в водных вытяжках. Это свидетельствует о приуроченности зон с низкими значениями УЭС к горизонтам интенсивного окисления сульфидного вещества с образованием вторичных сульфатных минералов.

Материалы по этому разделу исследований, хорошо иллюстрированы, выводы логично вытекают из проведенных расчетов и экспериментов.

На основании полученных результатов сформулировано **первое защищаемое положение**, обосновывающее, что применение методов электроразведки позволяет визуализировать и количественно описать строение техногенных систем, поскольку геохимическая дифференциация вещества за время хранения сульфидсодержащих отходов обогащения приводит к формированию градиентной зональности удельного электрического сопротивления (УЭС): значения УЭС 1-20 Ом·м соответствуют слабо-окисленным тонкозернистым отложениям, а гипергенно-трансформированные горизонты характеризуются УЭС 21-300 Ом·м.

Положение обосновано и доказано.

В пятой главе «Обоснование механизмов миграции вещества из техногенных экосистем с водными и газовыми потоками» рассмотрена миграция поровых растворов за пределы техногенной системы, выщелачивание металлов по ходу фильтрации, формирование дренажных потоков и их попадание в горизонт подземных вод или речную сеть. На примере вещества, складированного в Дарасунском хранилище, рассмотрены механизмы гиперкриогенной трансформации сульфидсодержащих отходов, выщелачивания химических элементов и их переноса с водными потоками. Доказано, что после окисления сульфидные минералы (преимущественно пирит) разрушаются с образованием кислоты в сезонно-талом слое, так как активная зона гиперкриогенеза образуется за счет многократного замерзания и оттаивания воды при перепадах температур.

Локализация зон фильтрации дренажных вод в ослабленных (трещиноватых) грунтах в том числе с прониканием в горизонт подземных вод осуществлена при помощи электротомографии и подтверждена данными опробования скважин для исследуемых хранилищ, а также для ряда других хранилищ, не рассматриваемых в рамках данной работы.

Комплексирование данных дистанционного зондирования и геохимического анализа позволило в итоге создать модель водного переноса химических соединений.

Материалы по этому разделу исследований, также хорошо иллюстрированы, выводы логично вытекают из проведенных расчетов и экспериментов.

Полученные результаты позволили сформулировать **второе защищаемое положение**, утверждающее, что процессы окислительного выщелачивания металлов и металлоидов из вещества отходов интенсифицируются в зоне гиперкриогенеза на границе техногенных отложений и мёрзлых пород за счёт сезонного колебания температур. С дренажными потоками химические элементы попадают в горизонты подземных вод и далее – в поверхностные водотоки, в результате чего формируются гидрохимические аномалии на расстоянии до 10 км от хранилищ.

Положение обосновано и доказано.

В этой же главе, изучение сезонной и суточной динамики процессов, протекающих в системе «отходы – поровый раствор – атмосферный воздух», при помощи геохимических и геофизических методов позволило сформулировать основные закономерности формирования летучих серо-, углерод- и азотсодержащих соединений в приповерхностном слое воздуха над сульфид-содержащими отходами. Согласно экспериментальным исследованиям, сероуглерод (CS_2) и карбонилсульфид (COS) абиогенно генерируются при разложении сульфидных минералов (в основном пирита) в неравновесных условиях.

Показано, что в зоне окисления до глубины 5 м происходит активное газовыделение, в том числе газов биотического происхождения (C_2H_6S) за счет метилирования сульфидсодержащих соединений бактериями *Bacillus Mycooides*, а также CS_2 и целого спектра серо-, углерод и азотсодержащих газов. Интересно, что в этой зоне обнаружен локальный разогрев грунта под шапкой снега до $+5^{\circ}C$ при исследованиях отвала в феврале при температуре окружающей среды $-20^{\circ}C$. Именно в этой зоне в зимнее время наблюдался максимум эманацій C_2H_6S по сравнению с бесснежными участками отвала.

Полученные результаты позволили сформулировать **третье защищаемое положение**, утверждающее, что сезонные и суточные колебания температуры способствуют продукции серо-, азот- и углеродсодержащих газов из вещества сульфидсодержащих отходов. Под снежным покровом при низких положительных температурах генерация газов интенсифицируется по сравнению с открытыми участками. За эмиссию метилированных форм

серосодержащих соединений (диметилсульфид – до 420 мкг/м³) отвечают бактерии *Bacillus Mycooides*.

Положение обосновано и доказано.

В шестой главе «Объемы техногенных экосистем, ресурсы ценных и токсичных элементов, экологический ущерб и рентабельность переработки» освещаются результаты расчётов объемов изученных техногенных тел, ресурсов металлов в твёрдом веществе и их водорастворимых форм на основании комплексной геохимической и геофизической схемы исследований, предлагаемой автором.

Приведены описания схем исследований и технология расчёта объемов и ресурсов металлов для каждого объекта в отдельности с учётом индивидуальных особенностей строения каждого изучаемого объекта.

Рассмотренные хранилища отходов переработки разделены на три группы по степени трансформации. 1) начальная - ярко выражена эрозия почв вблизи отвала, растительность уничтожена кислыми стоками, отсутствует естественное озеленение поверхности хранилища (Урской отвал, Талмовские пески); 2) первая - на поверхности объектов формируется почвенный слой (Дюков лог, Дарасунское, Шахтаминское); 3) вторая - на поверхности отвала хорошо развита растительность, но почвенный слой расположен в основном по бортам и дамбам хранилищ (Комсомольский гидроотвал).

Разработаны научно обоснованные рекомендации по оценке экологических ущербов, целесообразности переработки с извлечением ценных компонентов и перезахоронением токсичных остатков, рекультивации нарушенных земель, реестр хранилищ отходов горнорудного производства в Кемеровской области и Забайкальском крае с указанием местоположения, объемов, ресурсов ценных компонентов.

Полученные результаты позволили сформулировать **четвертое защищаемое положение:**

Сопоставление объемов техногенных экосистем, ресурсов цветных и благородных металлов в каждом из объектов, полученных в результате применения авторской геохимико-геофизической методики, с экологическими ущербами от загрязнения водных и земельных ресурсов и стоимостью природовосстановительных мероприятий указывают на целесообразность переработки с извлечением золота и барита (на примере Комсомольского хвостохранилища и Урских отвалов в Кемеровской области).

Положение обосновано и доказано.

4. Достоверность и обоснованность полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Анализ выполненного диссертационного исследования позволяет утверждать, что сформулированные выводы и рекомендации являются обоснованными и достоверными. Это подтверждается также корректностью проведенных математических выводов и преобразований, соответствием используемых в диссертации методов анализа и обработки информации, эффективностью внедрения разработанных в диссертации рекомендаций.

Общие выводы по диссертации в полной мере отражают положения, выносимые на защиту.

В основу диссертационной работы положены результаты исследований по тематике геохимии техногенеза и экологической геофизики, проводимых с 2003 года автором лично в составе научного коллектива. Следует отметить значительный объем выполненных экспериментальных исследований, основывающихся на результатах анализов более 340 проб водных вытяжек, поровых, дренажных и поверхностных вод, 832 образцов вещества отходов из 85 шурфов, 92 геоэлектрических разреза, 44 пробы атмосферного воздуха на шести хвостохранилищах в Кемеровской области и Забайкальском крае, что является достаточным для статистической и геохимической оценки.

Положительным моментом является и то, что с 2006 года по 2024 год исследования соискателем проводились в рамках выполнения работ в качестве руководителя или исполнителя:

- по проектам Российского научного фонда – 2 проекта;
- по проектам Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) – 6 проектов;
- по проектам фонда президента РФ – 5 проектов;
- по проектам Фонда научных исследований (ФНИ) – 1 проект;
- по интеграционному проекту УрО СО РАН – 1 проект;
- по проекту ведомственной научной программы Министерства образования и науки РФ – 1 проект;
- по молодежным проектам, поддержанным мэрией города и администрацией Новосибирской области – 3 проекта;
- по нескольким темам Госзадания организации.

Результаты диссертационного исследования нашли достаточно полное отображение в автореферате. Основные результаты исследования широко и многопланово опубликованы в различных изданиях (общее количество публикаций составляет 65 наименований, среди которых 30 публикаций, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны

быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук (перечень ВАК), которые индексируются в международных базах данных Scopus и/или Web of Science, из них 18 в журналах первого и второго квартилей Q1 и Q2 (Scopus) и 1 публикация в научном издании, индексируемом базой данных RSCI; 1 монография; 35 публикаций в научных журналах, сборниках трудов, материалах международных и всероссийских конференций, форумов, симпозиумов.

Публикации автора диссертации в полной мере позволяют судить о сути научных и практических подходов, предложенных в диссертации.

Основные положения диссертационной работы обсуждались на многочисленных международных и всероссийских научно-практических конференциях.

5. Замечания по содержанию диссертационной работы

Несмотря на значимость и новизну представленных результатов исследований, в качестве замечаний можно выделить следующие:

- Чем обусловлено отдельное рассмотрение извлечения баритового концентрата из техногенных систем? (глава 3, п. 3.9.5.3).
- На стр.13 автореферата не корректное выражение «...в сопоставлении с данными опробования шурфа, выкопанного на глубину сезонно-талого слоя (глубина сезонного промерзания – 1.4 м)», т.к. сезонно-талый слой характеризуется глубиной сезонного оттаивания.
- Каким образом метод электротомографии позволяет выделить геохимические барьеры?
- Необходимы ли дополнительные исследования для оценки целесообразности переработки техногенных систем с извлечением ценных компонентов?
- Каковы основные факторы развития техногенных экосистем Сибири?
- Проводились ли исследования теплового загрязнения в районе изученных техногенных систем?

Однако, сделанные замечания не оказывают существенного влияния на общую положительную оценку работы.

6. Заключение

Диссертация Юркевич Наталии Викторовны, выполненная на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук «Техногенные экосистемы: динамика развития и ресурсный потенциал (на примере хранилищ отходов горнорудного производства в Кемеровской области и Забайкальском крае)», посвящена решению актуальной проблемы и является законченной научно-квалификационной работой, соответствующей паспорту научной специальности 1.6.4. «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых» (пп. 7, 14, 21, 22).

Полученные результаты свидетельствуют о решении поставленных задач и достижении цели диссертационного исследования. Диссертация написана грамотным языком, хорошо иллюстрирована рисунками и таблицами фактического и расчетного материала, полученного автором, по главам и по диссертации в целом сделаны обоснованные выводы. Автореферат отражает содержание диссертации.

Диссертация Юркевич Н.В. соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4. «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых».

Официальный оппонент:

Лолаев Алан Батразович

Доктор технических наук, профессор,

Заместитель директора по инновационному развитию Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального научного центра «Владикавказский научный центр Российской академии наук»

363110, РСО-Алания, Пригородный район, с.Михайловское, ул. Вильямса 1,
www.vncran.ru

E-mail: abl-2010@mail.ru Тел. +79280652264 (моб)

Я, Лолаев Алан Батразович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.



19.09.2024 г.

Подпись Лолаева А.Б. заверено
ведущий специалист по кадрам отдела кадров ВЖЦ РАН
Будеева М.Б. Будеев
19.09.2024