

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
на диссертацию **Хайрулиной Елены Александровны**
«Ландшафтообразование в условиях техногенного галогенеза»
по специальности 1.6.21. Геоэкология на соискание ученой степени
доктора географических наук

В последнее время в ландшафтно-экологических исследованиях большое внимание уделяется оценке состояния природной среды при разработке месторождений полезных ископаемых, преобразованию потоков вещества и площадному распространению загрязнения. Несмотря на несомненные успехи в теории и практике оценки геоэкологического состояния ландшафтов и их техногенной трансформации, до сих пор сохраняется ряд нерешенных вопросов как фундаментального, так и прикладного характера.

Во-первых, до сих пор до конца не установлены факторы формирования и особенности геохимической структуры природных и природно-техногенных ландшафтов в районах распространения галогенных формаций. Исследования обычно проводятся в районах нефтегазодобычи и горнорудного производства; посвящены изучению состояния одного или нескольких компонентов ландшафтов, либо определению одного из биогеохимических показателей. Комплексных исследований с определением пространственно-временных изменений и преобразований наземных и аквальных ландшафтов в зоне воздействия калийного производства известно немного.

Во-вторых, не установлены закономерности и механизмы латеральной и радиальной миграции химических элементов при разработке месторождений калийных солей, отсутствуют критерии отбора эколого-геохимических индикаторов состояния наземных и аквальных ландшафтов при техногенном галогенезе, обладающих наибольшей информативностью для индикации тех или иных характеристик техногенной трансформации.

В-третьих, не разработаны принципы и методические рекомендации контроля и снижения негативного воздействия объектов калийного производства и восстановления нарушенных земель.

Все отмеченные проблемы в геоэкологических исследованиях техногенного галогенеза рассматриваются и, в значительной мере, решаются в диссертационной работе Е.А. Хайрулиной. Благодаря этому диссертация отличается актуальностью, научной новизной и практической значимостью.

В целом представленная к защите диссертационная работа Е.А. Хайрулиной нацелена на решение важной в теоретическом и практическом отношении проблемы: установление пространственно-временных закономерностей формирования природно-техногенных ландшафтов в районах интенсивного техногенного галогенеза. Несмотря на хорошую изученность ландшафтно-геохимических процессов и генезиса формирования засоления в естественных условиях, техногенный галогенез при разработке месторождений калийных солей изучен недостаточно, поэтому **актуальность** постановки и адекватного решения этой проблемы не вызывает сомнения.

Научная новизна полученных результатов заключается в установлении многофакторности техногенного галогенеза в таежных ландшафтах, наиболее ярко проявляющегося в супераквальных ландшафтах. Впервые установлено, что в аллювиальных почвах наиболее интенсивно проявляются процессы засоления в результате близкого расположения или площадной разгрузки засоленных подземных вод. При этом в районах влияния калийных предприятий в аллювиальных ландшафтах

установлены процессы активизации сульфидогенеза и оксидогенеза с формированием техногенных сульфидных солончаков. Впервые предложена система эколого-геохимических индикаторов для оценки трансформации таежных природных геосистем в условиях техногенного галогенеза. Показана эффективность использования соотношений макрокомпонентов для идентификации воздействия калийной промышленности.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, определяется большим и разноплановым фактическим материалом, положенным в основу диссертационного исследования. Химико-аналитические исследования поверхностных, подземных и талых снеговых вод, донных отложений, почв и растений проводились в ряде аккредитованных лабораторий РФ, а также Университета Колледжа Лондона. Определение макро- и микрокомпонентов осуществлялось стандартными методами агрохимического анализа и содержания макроэлементов. Микроэлементы определялись методом ICP-MS после микроволнового кислотного разложения. С помощью микроскопического анализа определены минеральные компоненты почв и донных отложений, морфология и микроструктура образцов. Выполнен анализ таксономического разнообразия микрофлоры с помощью метагеномного анализа по генам 16S рРНК.

Результаты, положенные в основу диссертационного исследования, получены автором при выполнении проектов Министерства образования и науки РФ и грантов РФФИ, апробированы на многочисленных (более 20) всероссийских и международных конференциях, прошли рецензирование в журналах системы цитирований Scopus и Web of Science, в том числе журналах Q1. По теме диссертации опубликовано более 50 научных работ, в том числе, 23 статьи в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук.

Практическая ценность полученных результатов связана с разработкой принципов мониторинга состояния окружающей среды при освоении месторождений калийных солей, с учетом особенностей миграции химических элементов. На их основе возможно прогнозирование негативных последствий на новых участках разработки месторождений калийных солей и других видов горного производства, отходы которых содержат водорастворимые соли. Эффективность разработанного подхода показана на примере реализации Программ экологического мониторинга состояния окружающей среды на участках разработки калийных солей на Усть-Яйвинском, Палашерском и Балахонцевском лицензионном участках. По теме диссертационного исследования зарегистрирован патент Российской Федерации «Состав для снижения водопроницаемости горных пород и способ тампонирувания водопроницаемости участков горных пород».

Значимость результатов для науки определяется дальнейшим развитием концепции функционирования природно-технических систем на примере трансформации геохимической структуры и функционирования ландшафтов в условиях техногенного галогенеза, выделении этапов аккумуляции и рассеивания химических элементов в техногенных потоках в природных и природно-техногенных ландшафтах.

Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения и приложения. Она изложена на 285 страницах и включает 35 таблиц, 77 рисунков, перечень иллюстраций и таблиц, список литературы из 316 источников.

В первой главе «**Методология исследований природного и техногенного галогенеза**» (с. 14-49) на основе изучения обширного числа литературных источников рассмотрены теоретические основы и современное состояние исследований природного и

техногенного галогенеза. Большое внимание уделено таким процессам как биогенез, механогенез, седиментогенез, сульфидогенез, оксидогенез, определяющим интенсивность биогеохимического круговорота и химический состав компонентов ландшафтов. Здесь же дается характеристика геохимических барьеров и их влияния на интенсивность миграции и аккумуляции вещества в техногенно преобразованных ландшафтах. Следует согласиться с автором, что основное внимание в опубликованной литературе уделяется главным ионам (хлоридам, сульфатам, калию, натрию); роль элементов примесей в формировании геохимической специфики засоленных ландшафтов изучена недостаточно. Вместе с тем, поступление высокоминерализованных вод активизирует выщелачивание веществ из горных пород, донных отложений и почв и способствует активному вовлечению их в биогеохимическую миграцию.

В главе рассмотрены проблемы нормативного обеспечения оценки засоления почв, связанные с отсутствием соответствующих ПДК или ОДК. Приведенные в тексте нормативные показатели требуют корректировки, поскольку упоминаемые ГОСТ 4233-77, ГОСТ 12.1.5, МУ 2.1.7.730-99 и др. утратили силу в связи с принятием СанПиН 1.2.3685-21 («Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания») (*замечание 1*).

В этой же главе представлены объекты и методы проводимых исследований, даны схемы расположения точек опробования компонентов природных ландшафтов. Однако представленные рисунки мало информативны (рис. 1.1, 1.3, 1.4, 1.5); на них нет подписей водных объектов, населенных пунктов, привязки точек к объектам исследования или скважинам (*замечание 2*). Отсутствие масштаба и разномасштабность представленного иллюстративного материала не позволяют соотнести расположение точек опробования. При характеристике методик полевых, лабораторных и камеральных исследований, по мнению оппонента, необходимо было указать общее количество наблюдений, проведенных геоботанических описаний, отобранных и проанализированных проб природных вод, снега, почв, растений, зоопланктона и зообентоса, количество микробиологических и микроскопических исследований и т. д. Эту информацию можно было представить по тексту в соответствующих подразделах главы 1 или в таблицах при интерпретации данных (глава 5, приложения). Кроме того, необходимо было указать какие кислоты использовались при микроволновом разложении проб для анализа микроэлементного состава. Этим определяется ответ на важный вопрос: проводилось определение валового содержания химических элементов или это соответствующие кислотные вытяжки? (*замечание 3*).

Во второй главе «**Эколого-геохимические характеристики калийных месторождений**» (с. 50-68) дана информация о распространении и запасах калийных месторождений, геохимической специфике калийной солевой толщи хлоридного, сульфатного и сульфатно-хлоридного типов. Детально рассмотрено распределение металлов, концентрирующихся в нерастворимом остатке калийных руд (Br, Rb, Cs, Tl, Fe, Mn, Co, Cr, Cu), увеличение концентрации которых может наблюдаться при формировании как естественного, так и техногенного газогенеза. Автор справедливо отмечает, что на распространение загрязнения большое влияние оказывают природные условия, в том числе, гидрометеорологические и орографические факторы. На примере анализа экологических проблем при разработке калийных месторождений Белоруссии, Германии, Франции и Канады автор приходит к выводу, что засоление окружающей среды происходит повсеместно, и основными источниками загрязнения служат солеотвалы, шламохранилища и рассолосборники. По мнению оппонента, в этой главе необходимо было бы дать характеристику экологических проблем изученного автором

месторождения, провести сравнительный анализ с опубликованными литературными данными и обобщить информацию (*замечание 4*).

В третьей главе «**Природные факторы формирования ландшафтно-геохимической структуры районов развития галогенных формаций**» (с. 69-100) дается детальная характеристика объектов, изученных в ходе диссертационного исследования: Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей, ООПТ «Дурнятская котловина», участков размещения древних рассолоподъемных скважин на территории Пермского края. На примере Верхнекамского месторождения проведен анализ природных зональных и азональных факторов, определяющих экологические условия и природные особенности ландшафтов района. Вместе с тем, нельзя согласиться с размещением информации о крупных литогеохимических аномалиях ряда химических элементов в подразделе «3.1. Зональные факторы». Эта информация относится к проявлению азональной дифференциации и должна находиться в подразделе «3.2. Азональные факторы» (*замечание 5*).

В этой главе автором рассматривается и обосновывается первое защищаемое положение «В условиях гумидного климата Среднего Предуралья в районах разработки месторождения солей водная техногенная миграция водорастворимых солей и элементов-примесей определяет трансформацию ландшафтно-геохимических процессов и биоразнообразия наземных и аквальных ландшафтов». Территория ООПТ «Дурнятская котловина», где обильны выходы карстовых источников сульфатного и хлоридно-натриевого химического состава, и участки пяти древних рассолоподъемных скважин рассматриваются автором в качестве фоновых, для которых характерно формирование галогенеза под влиянием природных факторов. В связи с этим, по мнению оппонента, в конце главы необходимо было обобщить всю изложенную информацию по всем изученным параметрам и дать соответствующее заключение (*замечание 6*).

В главе четыре «**Техногенные факторы, сопровождающие разработку калийных месторождений**» (с. 100-116) на основе анализа технологии калийного производства автор приходит к выводу, что экологическая обстановка на месторождении складывается, главным образом, за счет рассеивания поллютантов воздушными и водными миграционными потоками, связанными с выбросами и сбросами обогатительных фабрик и размещением твердых отходов. К числу ведущих техногенных факторов ландшафтообразования отнесены геохимическая специфика разрабатываемой солевой залежи, технология обогащения руды и способы складирования отходов. На основе результатов химического и минералогического анализов установлены процессы, развивающиеся при размещении отходов калийного производства в солеотвалах и шламохранилищах. Отмечено засоление верхнего горизонта почв, связанное с аэротехногенным поступлением хлоридов и сульфатов калия и натрия. В веществе объектов хранения отходов выявлено высокое содержание соединений азота, а также Zn и Cu, способных вовлекаться в водную и воздушную миграцию. Принципиально важным в экологическом отношении представляется вывод о развитии гипергенных процессов в солеотвалах и шламохранилищах, приводящих к увеличению подвижных форм химических элементов в сточных хлоридно-натриевых водах этих объектов. За счет выщелачивания глинистых минералов, присутствующих в солеотвалах и шламохранилищах, наблюдается повышение концентрации элементов-примесей, которые легко мигрируют в легкорастворимой форме в окружающую среду. К числу специфических экологических проблем Верхнекамского месторождения солей отнесено количественные показатели соотношений содержания в добываемой породе Na^+ , K^+ ,

Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} и элементов примесей Sr, Rb, Cs, Fe, а также активная миграция поллютантов с водными и воздушными потоками в окружающей среде.

Пятая глава «Ландшафтно-геохимическая структура верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей» (с. 117-187) является основополагающей в диссертационном исследовании. В ней рассматриваются и обосновываются основные теоретические положения, выносимые на защиту. В главе приводится глубокий и всесторонний анализ результатов исследования снежного покрова, поверхностных и подземных вод, донных осадков, почв, биоты аквальных систем и растительности на территории Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. Однако отсутствие статистических показателей содержания химических элементов в почвах и донных отложениях, снижает информативность полученных результатов (*замечание 7*). Сопряженный анализ химического и минералогического составов донных отложений позволил автору сформулировать и доказать второе защищаемое положение: «Формирование сульфидных солончаков с осаждением минералов железа на поверхности почв происходит в супераквальных ландшафтах в результате активизации хлоридно-натриевыми техногенными потоками процессов выщелачивания и ионного обмена в системе вода–порода». На основе большого фактического материала показано увеличение содержания ионов Cl^- , K^+ , Na^+ , сопровождающееся повышением концентрации Fe и SO_4^{2-} в результате выщелачивания и ионного обмена в системе вода–порода. В почвенной толще установлено образование сероводорода, снижение значения окислительно-восстановительного потенциала, развитие восстановительных условий, и формирование гидротроилитового горизонта, характеризующих процессы развития галогенеза техногенного происхождения.

Разработанная система индикаторов техногенного загрязнения легла в основу третьего защищаемого положения «Эколого-геохимическая оценка трансформации ландшафтно-геохимической структуры на месторождениях калийных солей проводится с использованием комплекса атмогеохимических, гидрохимических, почвенно-геохимических и биогеохимических индикаторов, учитывающих специфику техногенного и природного засоления». Автором предложены и внедрены в практику эколого-геохимические индикаторы, включающие атмосферные, геологические, гидрологические, почвенные и биотические показатели. Важным представляется расчёт индикаторных отношений макрокомпонентов Cl/Na , Cl/SO_4 и Na/K при анализе экологического состояния снежного покрова для оценки качества атмосферного воздуха, Na/K и Na/Cl – для природных вод, коэффициента адсорбируемости натрия – для почв. Эффективными биоиндикаторами служат количество видов в составе биоценоза и запасы биомассы.

По материалам, представленным в этой главе, формулируется четвертое защищаемое положение «Снижение негативного воздействия отходов калийного производства обеспечивается системой мониторинга, отражающей специфику миграции основных загрязнителей, и комплексом природоохранных мероприятий на объектах хранения отходов». Конкретные предложения и мероприятия по снижению негативного воздействия калийного производства на окружающую среду изложены в шестой главе «Теоретические основы комплексных природоохранных мероприятий для районов освоения калийных месторождений» (с. 188-217). Принимая во внимание решение первоочередной задачи природоохранных мероприятий по снижению фильтрации стоков в местах складирования отходов, автором разработаны теоретические основы направлений природоохранных работ и предложена система мероприятий, включающая создание защитного экрана в основании солеотвалов и перехват с поверхности отходов

атмосферных осадков. Эффективность тампонирования пород оценивалась по скорости фильтрации воды или раствора через породу (песок, сильвинит, галит) до и после кристаллизации соли кальция на основе лабораторных экспериментов и моделирования геохимических процессов. Перехват атмосферных осадков предлагается осуществлять с помощью формирования почвенного и растительного покровов, устойчивых к высокому содержанию легкорастворимых солей. Для технической рекультивации предлагается использовать строительные отходы и вскрышные породы, накопленные в большом объеме в Березниковско-Соликамском промышленном узле. Для биорекультивации проведен отбор наиболее устойчивых и широко распространенных видов с учетом их экологических особенностей. Немаловажным является тот факт, что в перечень рекомендуемых растений включены только аборигенные виды, что исключает возможность биологического загрязнения территории. В целом, предложенные мероприятия по снижению негативного воздействия калийного производства на окружающую среду представляются достаточно обоснованными и реально осуществимыми.

Заключение содержит 10 выводов (с. 218-222), которые в целом отвечают поставленным в работе задачам и подтверждены результатами собственных исследований, отличаются оригинальностью, новизной, теоретической и практической значимостью. Автореферат диссертации отражает основное содержание работы, которая полностью соответствует заявленной специальности (1.6.21. Геоэкология).

Завершая рассмотрение содержания исследования, необходимо подчеркнуть, что диссертационная работа представляет самостоятельное оригинальное исследование. Основные выводы и рекомендации диссертации представляются правомерными. Положения, выдвинутые на защиту, в необходимой мере обоснованы. Замечания, отмеченные в отзыве, не ставят под сомнение главные научные результаты диссертационного исследования.

Диссертационная работа «Ландшафтообразование в условиях техногенного галогенеза» соответствует требованиям действующего Положения о порядке присуждения ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук НИ ТГУ, ее автор, Е.А. Хайрулина, заслуживает присуждения ученой степени доктора географических наук по специальности 1.6.21. Геоэкология.

Официальный оппонент:

профессор кафедры геоэкологии
Института наук о Земле Федерального
государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Санкт-Петербургский
государственный университет»

199034, г. Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7/9
8 (812) 328-20-00, spbu@spbu.ru, <https://spbu.ru>

доктор географических наук (25.00.23 физическая география и
биогеография, география почв и геохимия ландшафтов)

профессор по специальности «Геоэкология»
21.11.2022

Подпись М.Г. Опекуновой удостоверяю

