

На правах рукописи

ДЗЮБА Екатерина Алексеевна

**ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ АНТРОПОГЕННОЙ
ТРАНСФОРМАЦИИ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ НА ТЕРРИТОРИИ
ПЕРМСКОГО КРАЯ**

Специальность 1.6.21. Геоэкология (географические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

**Диссертации на соискание учёной степени
кандидата географических наук**

Калининград, 2023

Работа выполнена в ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Научный руководитель: **Бузмаков Сергей Алексеевич**, доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой биогеоценологии и охраны природы, ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Официальные оппоненты: **Опекунова Марина Германовна**, доктор географических наук, профессор кафедры геоэкологии и природопользования, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»

Фронтасьева Марина Владимировна, кандидат физико-математических наук, доцент, советник при дирекции лаборатории нейтронной физики, Объединенный институт ядерных исследований (Дубна)

Ведущая организация: ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»

Защита состоится «17» марта 2023 г. в 14:00 на заседании диссертационного совета 24.2.273.01 при ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» по адресу: 236016, г. Калининград, ул. А. Невского, д. 14, ауд. «Скворечник», e-mail: tikuznetsova@kantiana.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Балтийского федерального университета им. И. Канта (г. Калининград, ул. Университетская, д. 2). Электронные версии диссертации и автореферата размещены на официальном сайте ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта»: <https://kantiana.ru/postgraduate/dis-list/dzyuba-ekaterina-alekseevna/>

Автореферат разослан «__» января 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат географических наук

Т.Ю. Кузнецова

Актуальность исследования. В настоящее время антропогенная деятельность приобрела ведущую роль в трансформации природной среды, в том числе влияя на геохимические особенности территорий, процессы миграции элементов в биосфере, их концентрирование и рассеивание. В результате чего остается важным изучение региональных особенностей распределения химических элементов. Элементный состав почв формируется под влиянием ряда факторов, из которых большую роль оказывает состав подстилающих горных пород, но часто высокие концентрации элементов связывают именно с влиянием антропогенной деятельности.

Пермский край – регион с развитой добывающей промышленностью, что является причиной постоянно нарастающей антропогенной нагрузки. Геоэкологические особенности территории края были сформированы под влиянием природных и антропогенных факторов. Важной прикладной задачей в экологической геохимии является установление геохимического фона территорий. Такие данные актуальны в рамках научных исследований, а также при проведении прикладных работ, где фон может быть применен как эталонное значение. В связи с этим актуальна разработка геохимического районирования территории Пермского края.

Наиболее важными видами промышленности на территории края являются добыча нефти и калийных солей (Верхнекамское месторождение калийных солей, далее – ВКМС). Нефтяные месторождения имеют широкое распространение по территории региона с севера на юг. При добыче нефти и калийных солей происходит антропогенная трансформация природной среды, которая выражается в изменении физико-химических параметров. Кизеловский угольный бассейн (далее – КУБ) имеет серьезное значение, представляя собой объект региональной экологической катастрофы. Вследствие ликвидации шахт, в результате которой произошел излив кислых шахтных вод, на данной территории сложилась неблагоприятная экологическая обстановка. Территория подвержена высокому уровню загрязнения, которая выражается в посттехногенной трансформации природной среды.

Объект исследования – антропогенная трансформация природной среды.

Предмет исследования – геохимические особенности и причинно-следственные связи распределения макро- и микроэлементов в почвенном покрове в результате антропогенной трансформации природной среды.

Цель исследования: геохимическая идентификация антропогенной трансформации природной среды на территории Пермского края на основе установления регионального содержания ряда макро- и микроэлементов и техногенных процессов, оказывающих влияние на изменение геохимических особенностей.

Задачи исследования:

1. Дать характеристику природным и антропогенным факторам, влияющим на геохимические особенности территории Пермского края.
2. Выявить региональное фоновое содержание ряда макро- и микроэлементов для территории Пермского края и природных районов Пермского края.
3. Охарактеризовать геохимические особенности почв территорий, подверженных техногенному воздействию.
4. Разработать природно-техногенное геохимическое районирование Пермского края.

Научная новизна работы. В ходе проведенного исследования определено региональное фоновое содержание ряда макро- и микроэлементов (Sr, Pb, As, Zn, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti) для территории Пермского края в целом, а также для отдельных природных районов. Изучено содержание макро- и микроэлементов в почвенном покрове КУБа и ВКМС. Приведены данные о формировании геохимических особенностей территории в зоне влияния нефтедобычи. По данным исследования составлено природно-техногенное геохимическое районирование Пермского края. Полученные результаты могут быть использованы для принятия управленческих решений и разработки природоохранных мероприятий на предприятиях по добыче нефти и калийных солей на территории Пермского края и других регионов РФ, а также при разработке мероприятий по снижению негативных последствий при ликвидации добычи угля.

Теоретическая значимость работы. Расширены знания об антропогенной трансформации природной среды в Пермском крае. Получены сведения о характере изменений геохимических свойств в результате конкретных видов хозяйственной деятельности на территории региона: добыча нефти и калийно-магниевого солей, посттехногенная нагрузка в районе КУБа. Исследование выполнялось в рамках реализации научного проекта поддержанного Российским

фондом фундаментальных исследований (РФФИ № 20-45-596018) и научно-исследовательских работ, выполняемых для ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ».

Практическая значимость работы. Полученные результаты имеют высокое значение при проведении комплексных экологических обследований территорий, испытывающих антропогенную нагрузку. В том числе при расчете суммарного показателя загрязнения почв химическими элементами, оценке степени антропогенной нагрузки при проведении изыскательских работ, проведении прогнозов по трансформации природной среды. Полученные знания включены в учебные программы дисциплин «Геохимия окружающей среды» и «Биогеохимия» для бакалавров направления «Экология и природопользование».

Фактический материал и методы исследования. В диссертационной работе для решения поставленных задач использованы следующие методы: лабораторный анализ (РФА, ИК-спектрометрия, потенциометрия, титриметрический метод, расчетный метод), геоинформационное картографирование, математико-картографическое и статистическое моделирование (расчет вариаций, корреляционный анализ, метод обратно-взвешенных расстояний), пространственно-временной анализ, экспертные оценки, полевой. На рис.1 представлена общая схема выполненных работ.



Рис.1. Схема исследования

В основу работы положены результаты исследований почв на 92 ООПТ (n=500), почв на территориях подверженных воздействию нефтедобычи (n=215), добычи калийно-магниевых солей (n=258) и территории ликвидации шахт КУБа

(n=206). Всего было исследовано 1 179 проб почв. Измерялось валовое содержание элементов (Sr, Pb, As, Zn, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V и Ti) методом РФА. Территория исследования представлена Пермским краем. Районы отбора проб почв представлены на рис. 2.

Личный вклад автора. Материалы, изложенные в работе, получены в период с 2014 по 2022 гг. Автор принимал непосредственное участие в полевых и камеральных работах, подготовке картографических материалов, обработке результатов. Научные статьи были подготовлены самостоятельно и в соавторстве.

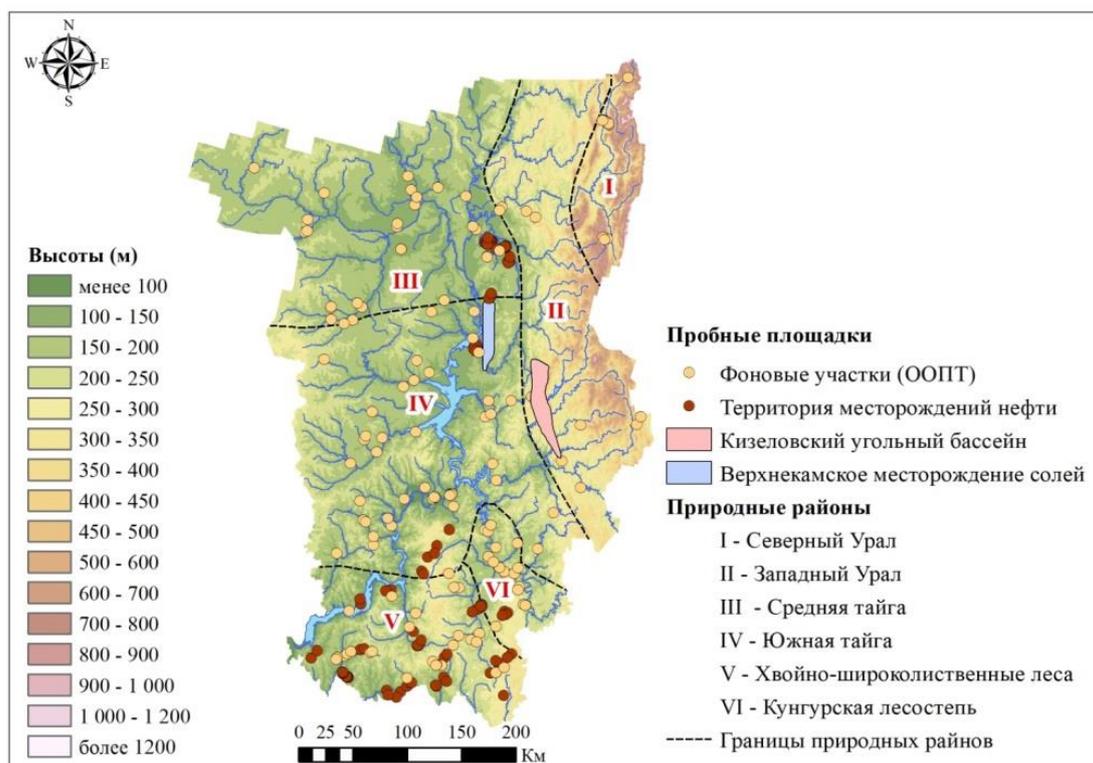


Рис. 2. Районы отбора проб для определения геохимических свойств почв

Положения, выносимые на защиту:

1. Для территории Пермского края характерна лито-халькофильная специализация с накоплением в почве Cr, As и Ti, полученные средние фоновые содержания макро- и микроэлементов в почвах для Пермского края и природных районов Пермского края могут применяться как эталонные для выявления антропогенной трансформации природной среды.

2. Посттехногенная трансформация природной среды на территории Кизеловского угольного бассейна выражается в накоплении Co, Mn, Ni, As, Cr, Zn и Sr.

3. Под влиянием добычи калийно-магниевых солей в почвах на территории Верхнекамского месторождения происходит накопление Co, Mn, V, Cr, Zn и Fe.

4. Геохимическая дифференциация природной среды Пермского края обусловлена совместным воздействием техногенных и природных факторов.

Апробация результатов исследования. Основные результаты исследований в рамках диссертационной работы были представлены на научно-практических конференциях различного уровня: XI Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Географическое изучение территориальных систем», Пермь, 2017; Школа-семинар молодых ученых «Антропогенная трансформация природной среды», Пермь, 2017, 2018, 2019, 2021, 2022 гг.; Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные проблемы освоения месторождений нефти и газа приарктических территорий России», Архангельск, 2018; Молодежная конференция «Докучаевские чтения» в Санкт-Петербургском государственном университете, 2018 и 2020 гг.; Международная Ассамблея наук о Земле (EGU), 2018 г., г. Вена, 2018; Заповедное дело: достижения, проблемы, перспективы, Оренбург, 2019; Всероссийская конференция с международным участием «Цифровая география», Пермь, 2020; XXII международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы экологии и природопользования», Москва, 2020 г.

Публикации по теме диссертации. Основные результаты исследований опубликованы в 21 научных работах, в том числе 4 статьи в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий ВАК, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, 4 в журналах, входящих в базу научного цитирования Scopus (из них 2 в журналах Q1-Q2), 9 входящих в РИНЦ и 3 РИД.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы из 422 наименований, в том числе 56 на иностранном языке. Материал работы изложен на 235 страницах и включает в себя 36 таблиц, 58 рисунков и 9 приложений.

Благодарность. Автор выражает большую признательность научному руководителю доктору географических наук, профессору *Сергею Алексеевичу Бузмакову*. Существенную помощь в сборе материала оказали сотрудники

кафедры биогеоценологии и охраны природы ПГНИУ: *Д.Н. Андреев, П.Ю. Санников, Ю.Л. Мишланова, И.Е. Шестаков, Д.Е. Сивков.*

ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Для территории Пермского края характерна лито-халькофильная специализация с накоплением в почве Cr, As и Ti, полученные средние фоновые содержания макро- и микроэлементов в почвах для Пермского края и природных районов Пермского края могут применяться как эталонные для выявления антропогенной трансформации природной среды.

В таблице 1 представлены данные о фоновом содержании элементов в почвах Пермского края.

Таблица 1

Региональное фоновое содержания макро- и микроэлементов на территории Пермского края в органогенном горизонте

Элементы	Пермский край	I – Северный Урал	II – Западный Урал	III – Средняя тайга	IV – Южная тайга	V – Хвойно-широколиственных лесов	VI – Кунгурская лесостепь
	Содержание ($\bar{x} \pm P$), мг/кг						
<i>n</i>	300	35	40	44	50	45	86
Sr	238±10	85±14	186±25	229±23	290±22	229±23	239±12,3
Pb	15±1	18±3	17±2	16±2	15±1	12±1	15±1
As	7,5±1	6,9±1	7±1	5,8±1	7,8±1	8,4 ±1	7,7±1
Zn	59±2	55±8	67±9	47±5	65±5	62±5	56±3
Ni	41±2	31±3	40±5	16±2	35±3	52±5	46±2
Co	14±1	11±1	8 ±1	6±1	9±1	8±1	24±1
Fe	24500±700	29200±3400	29800±3600	22300±1800	23600±1400	25200±2300	23400±1000
Mn	762±27	376±35	517±61	828±52	768±61	866±68	796±41
Cr	127±3	141±7	135±6	105±8	124±6	148±10	126±4
V	65±3	87±14	100±13	60±6	60±4	57±5	63±4
Ti	4200±100	5200±600	4900±500	4100±300	4000±200	4000±300	4200±200

Относительно кларка по Н.А. Григорьеву (2009) и Hu & Gao (2008) во всех природных районах отмечается накопление Cr, практически во всех накапливается Ti, кроме Южной тайги и района Хвойно-широколиственных лесов. As накапливается во всех районах, кроме Средней тайги. Ti в большей степени аккумулируется в горной части края, Cr и As в районе Хвойно-широколиственных лесов. V и Zn, напротив, рассеиваются на территории всех

природных районов. В целом можно говорить о том, что большая часть элементов относительно кларка рассеиваются или находятся на уровне близком к нему.

Относительно фона Пермского края в природных районах формируются следующие ряды аккумуляции: Северный Урал: $\frac{V}{1,3} > \frac{Fe}{1,2} = \frac{Ti}{1,2} = \frac{Pb}{1,2} > \frac{Cr}{1,1}$; Западный Урал: $\frac{V}{1,5} > \frac{Fe}{1,2} = \frac{Ti}{1,2} > \frac{Pb}{1,1} = \frac{Zn}{1,1} = \frac{Cr}{1,1}$; Средняя тайга: $\frac{Mn}{1,1} = \frac{Pb}{1,1}$; Южная тайга: $\frac{Sr}{1,2} > \frac{Zn}{1,1}$; Хвойно-широколиственных лесов: $\frac{Ni}{1,3} > \frac{Cr}{1,2} > \frac{Mn}{1,1} = \frac{As}{1,1} = \frac{Zn}{1,1}$; Кунгурская лесостепь: $\frac{Co}{1,7} > \frac{Ni}{1,1}$. Каждый природный район имеет свою геохимическую специфику.

По данным о распределении химических элементов в природных районах (рис. 3) выделяются следующие ранги кластеризации и факторы их формирования.

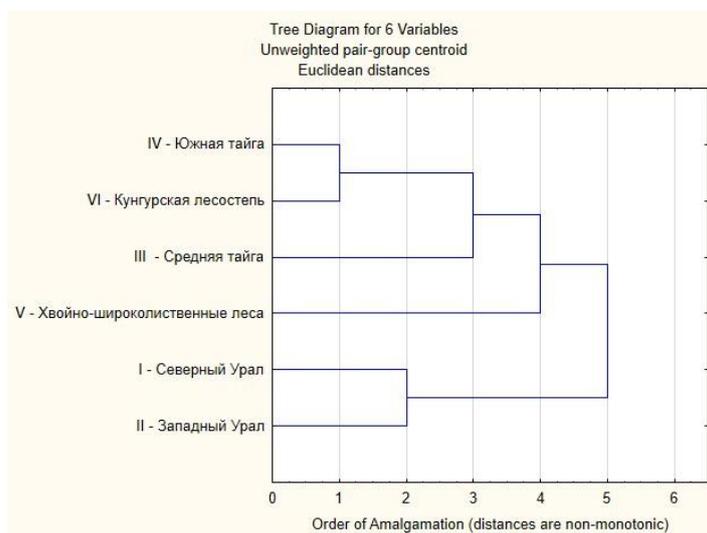


Рис. 3. Результаты кластерного анализа (природные кластеры)

Фактором первого ранга является изменение макрорельефа. Пространственная дифференциация осуществляется на горную и равнинную часть. Отдельно выделяются районы, на территории которых рельеф характеризуется как среднегорный, низкогорный и предгорный (Северный Урал и Западный Урал). Остальные районы находятся на низменной и равнинной части края.

Второй ранг представлен биоклиматическим фактором, который в свою очередь отражает комплекс климатических характеристик, влияющих на биоценотическую структуру территории. На этом уровне природные районы низменной и равнинной части края разделены на две группы: район Хвойно-широколиственных лесов (наиболее южный район края, зона подтайги) и район

Средней и Южной тайги, Кунгурской лесостепи. Представляет интерес феномен Кунгурской реликтовой лесостепи, который по геохимическому спектру более тяготеет к таежной зоне, чем к хвойно-широколиственным лесам.

Проведение оценки значимости различий позволило установить, что на территории каждого из природных районов формируется характерный геохимический фон, отличный от других природных районов. Выделенные природные районы представляют собой геохимически различные территории. В результате чего можно утверждать, что изучение геохимических особенностей целесообразно проводить в их границах. Следовательно, необходимо выявление фонового содержания элементов внутри данных районов.

В результате, относительно кларка по Н.А. Григорьеву (2009) и Hu & Gao (2008), характерной чертой Северного Урала является накопление Pb; Западного Урала – высокое накопление Cr; в Средней тайге накопление Mn; в Южной тайге накопление Sr; в районе Хвойно-широколиственных лесов высокое накопление Cr и накопление Mn; в Кунгурской лесостепи накопление Co.

2. Посттехногенная трансформация природной среды на территории Кизеловского угольного бассейна выражается в накоплении Co, Mn, Ni, As, Cr, Zn и Sr.

Для выявления геохимических особенностей, сформированных в результате посттехногенного воздействия, необходимо сопоставить сформировавшийся геохимический облик с региональным фоном для Пермского края (Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>V>Zn>Ni>Pb>Co>As) и фоновым содержанием для природного района Западный Урал (Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>V>Zn>Ni>Pb>Co>As). Абсолютный геохимический ряд для района влияния КУБа (Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>V>Zn>Ni>Co>Pb>As) схож с рядами для Пермского края и природного района Западный Урал в большей своей части. Для данной территории характерно большее содержание Co.

Относительно кларка в органогенном горизонте почвы особенно накапливается Cr, As, Co, Mn и Ni. Рассеиваются Fe и V. В подгумусовом горизонте также накапливаются Cr, Co и Mn, рассеивается Sr и V. На рис. 4 и 5 представлены геохимические спектры, отражающие накопление и рассеивание элементов относительно эталонных значений.

Контрастность наблюдается при сравнении с региональным фоном Пермского края. В поверхностном слое рассеивается только Sr, остальные

элементы аккумулируются (Co и Ni в большей степени). В подгумусовом горизонте ситуация обстоит иначе, помимо Sr рассеиваются еще несколько элементов, но Co и Ni накапливаются практически в той же степени.

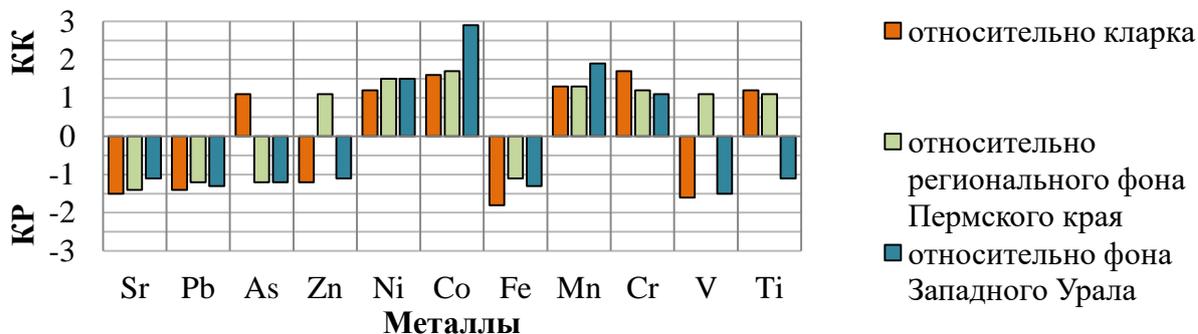


Рис.4. Аккумуляция и рассеивание металлов на исследуемой территории в органогенном горизонте, относительно кларка, регионального фона Пермского края и фона природного района Западный Урал

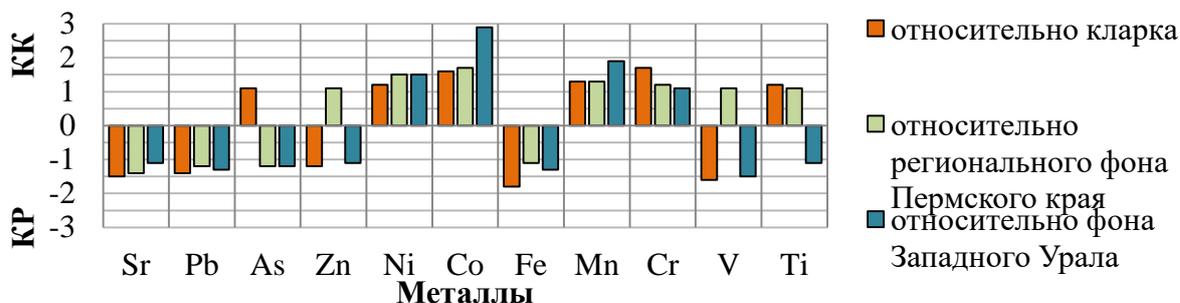


Рис.5. Аккумуляция и рассеивание металлов на исследуемой территории в подгумусовом горизонте, относительно кларка, регионального фона Пермского края и фона природного района Западный Урал

Сопоставление с региональным фоном и кларком важно и обосновано в экологической геохимии, но недостаточно. В результате такого сравнения мы получаем разницу в геохимических особенностях, которая сформирована природными и антропогенными факторами в совокупности. Для выявления влияния техногенной и посттехногенной нагрузки наиболее репрезентативно будет сопоставление с фоновым содержанием для природного района Западный Урал. Относительно него в органогенном горизонте наиболее существенно аккумулируется Co и Mn, а рассеивается V. В подгумусовом горизонте аккумулируемых элементов меньше, но так же отмечается высокое накопление Co и Mn. Для изучения распределения элементов по территории был применен метод интерполяции (рис. 6).

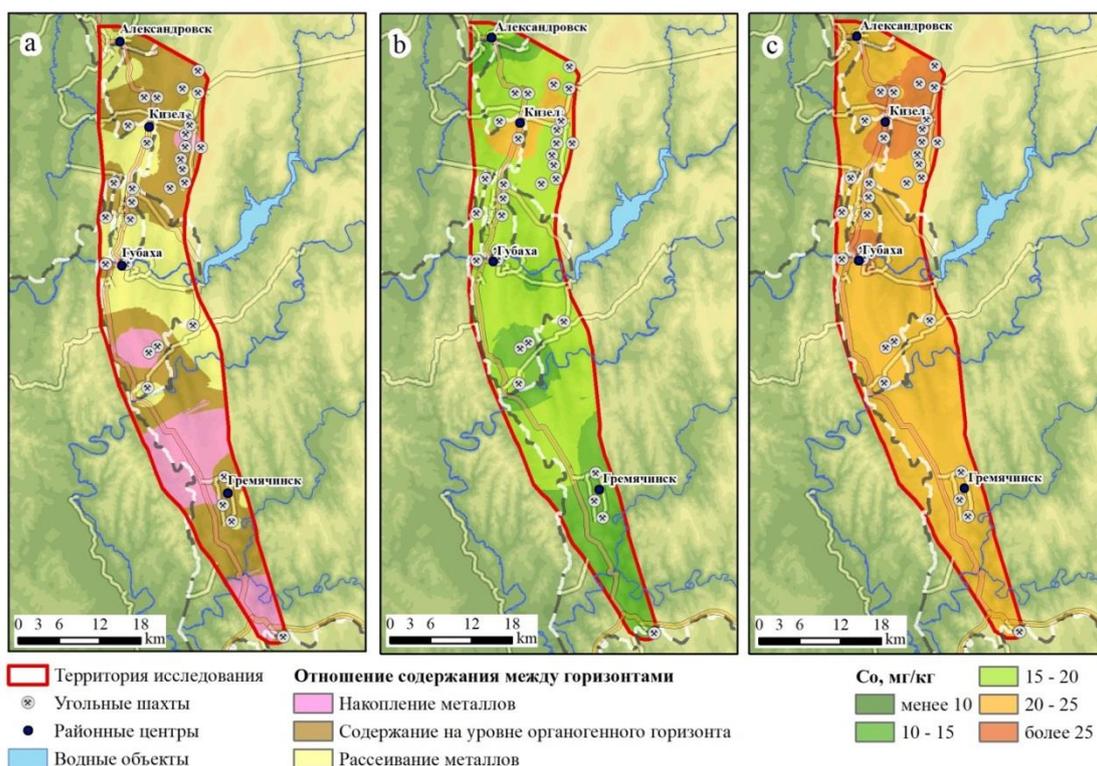


Рис. 6. Распределение Co на территории исследования

Кизеловского угольного бассейна в органогенном и подгумусовом горизонтах

А – отношение содержания Co в органогенном горизонте к подгумусовому;
 В – содержание Co в органогенном горизонте; С – содержание Co в подгумусовом горизонте

В ходе техногенной и посттехногенной трансформации в районе КУБа сформировался геохимический спектр, для которого характерно накопление Co, Mn, Ni, As, Cr, Zn и Sr в органогенном горизонте и накопление Co, Mn, Ni и Cr в подгумусовом горизонте. Геохимические особенности территории более полно характеризует органогенный горизонт почв, так как процессы миграции происходят в нем более активно.

Учитывая, что по сравнению с фоном природного района на исследуемой территории происходит накопление Co, можно сделать вывод, что Co является характерным элементом, отражающим геохимическую специфику территории КУБа. Содержание Co на территории КУБа обусловлено техногенным и посттехногенным воздействием. Когда мы анализируем соотношение содержания Co между горизонтами, то наблюдаем следующую ситуацию. Если в отдельных горизонтах мы можем увидеть повышенное содержание, в данном случае в районе города Кизел (северная часть территории), то при анализе соотношения мы можем отметить возникшую контрастность на других участках. По направлению от

центральной части к югу мы видим участки, где происходит накопление в подгумусовом горизонте. При направлении из центра на север накопление происходит в органогенном горизонте. В результате можно сделать вывод, что для территории в направлении от центра к северу наиболее активные процессы происходят в настоящее время. В южной части мы наблюдаем результат прошедшего техногенеза.

3. Под влиянием добычи калийно-магниевых солей в почвах на территории Верхнекамского месторождения происходит накопление Co, Mn, V, Cr, Zn и Fe.

Исходя из полученных данных по среднему содержанию на территории воздействия добычи калийно-магниевых солей, формируется достаточно однородный геохимический фон. В большей степени однородность распределения характерна для подгумусового горизонта. Это объясняется тем, что в органогенном горизонте биогеохимические процессы более активны, а в подгумусовом наоборот, содержание элементов более стабильно.

По ряду элементов выявлены превышения относительно ПДК (ОДК). В органогенном горизонте 1,2 ОДК для As. Содержание Mn находится на пороговом уровне ПДК. В подгумусовом горизонте превышены нормативы для As (1,2 ОДК). Суммарный показатель загрязнения почв химическими элементами составляет от 1,2 (относительно ПДК (ОДК)) до 3,4 (относительно фона Южной тайги) и находится в пределах допустимого уровня.

Исходя из полученных данных по среднему содержанию на территории воздействия добычи калийно-магниевых солей, формируется достаточно однородный геохимический фон. В большей степени однородность распределения характерна для подгумусового слоя. Это объясняется тем, что в органогенном горизонте геохимические процессы более активны, а в подгумусовом наоборот, содержание элементов более стабильно.

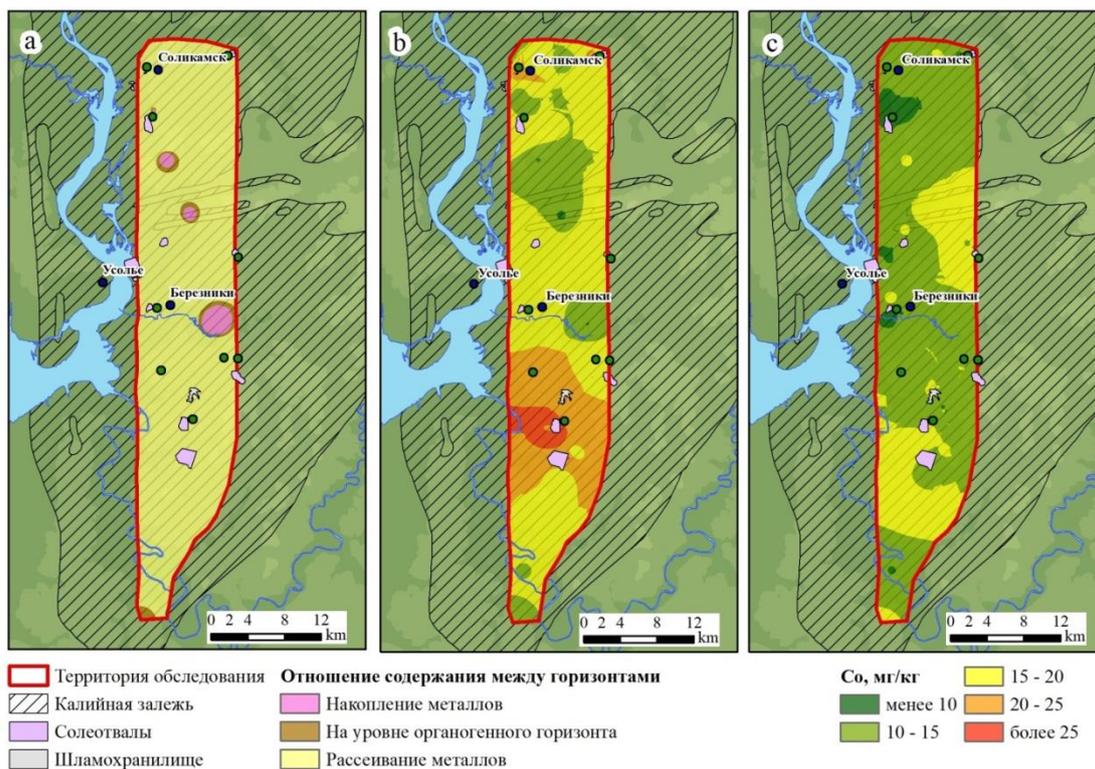
В органогенном и подгумусовом горизонтах формируются различные геохимические ряды:

- Органогенный горизонт: Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>Zn>V>Ni>Co>As>Pb
- Подгумусовый горизонт: Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>Zn>V>Ni>Pb>Co>As

Для выявления геохимических особенностей, сформированных в результате антропогенного воздействия необходимо сопоставить сформировавшиеся геохимические ряды техногенной аномалии с региональным фоном для Пермского края (Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>V>Zn>Ni>Pb>Co>As) и местным фоновым содержанием (Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>Zn>V>Ni>Pb>Co>As).

От регионального фона наиболее отличается геохимический ряд, сформировавшийся в подгумусовом горизонте, где образовалась иная группа элементов $Zn > V > Ni$. Геохимический ряд органогенного горизонта отличается группой $Zn > V > Ni > Co > As > Pb$. Если сравнить с фоном южной тайги, то геохимический ряд подгумусового горизонта полностью совпадает, а ряд органогенного горизонта отличается группой $Co > As > Pb$. Полученные данные по подгумусовому горизонту отражают общий геохимический фон природного района, а по геохимическому ряду органогенного горизонта можно судить о влиянии последствий воздействия добычи калийно-магниевых солей.

Для выявления влияния антропогенной нагрузки на данную территорию необходимо сопоставление с местным фоном. В органогенном горизонте наиболее аккумулируется 6 элементов, в том числе Mn и Zn. Элементы Ni и As подвержены рассеянию. В подгумусовом горизонте большая часть элементов рассеивается, особенно As. Подтвердились представления о накоплении тяжелых металлов, технофильных элементов в органогенном горизонте почв (рис. 7).



В процессе добычи калийно-магниевых солей на территории ВКМС формируется геохимический фон, для которого характерна аккумуляция Co, Mn, V, Cr, Zn, Fe и рассеивание Ni и As в органогенном горизонте, и аккумуляция Co, Fe и рассеивание Mn, Sr, Ni, Pb, As в подгумусовом горизонте. Накопление элементов привело к формированию геохимической аномалии, возникшей в результате техногенной трансформации природной среды.

Относительно Mn и As можно говорить о том, что территория подвержена загрязнению этими элементами, так как зафиксировано превышение нормативного содержания. Mn накапливается в органогенном горизонте как результат техногенеза, As – из-за высокого естественного местного фона.

4. Геохимическая дифференциация природной среды Пермского края обусловлена совместным воздействием техногенных и природных факторов.

Относительно фона Пермского края в природных районах формируются следующие ряды аккумулярования: Северный Урал: $\frac{V}{1,3} > \frac{Fe}{1,2} = \frac{Ti}{1,2} = \frac{Pb}{1,2} > \frac{Cr}{1,1}$; Западный Урал: $\frac{V}{1,5} > \frac{Fe}{1,2} = \frac{Ti}{1,2} > \frac{Pb}{1,1} = \frac{Zn}{1,1} = \frac{Cr}{1,1}$; Средняя тайга: $\frac{Mn}{1,1} = \frac{Pb}{1,1}$; Южная тайга: $\frac{Sr}{1,2} > \frac{Zn}{1,1}$; Хвойно-широколиственных лесов: $\frac{Ni}{1,3} > \frac{Cr}{1,2} > \frac{Mn}{1,1} = \frac{As}{1,1} = \frac{Zn}{1,1}$; Кунгурская лесостепь: $\frac{Co}{1,7} > \frac{Ni}{1,1}$. В таблице 2 представлены данные о среднем содержании элементов в органогенном горизонте почв на территориях, подверженных техногенному воздействию: добыча нефти, добыча калийных солей, добыча угля и ликвидация угольных шахт.

Таблица 2

Среднее содержание макро- и микроэлементов в результате техногенной нагрузки в органогенном горизонте

Элементы	Показатели, мг/кг	Добыча нефти (территории месторождений нефти)	Добыча калийных солей (территория ВКМС)	Добыча угля (территория КУБ)
	n	146	129	103
Sr	$\bar{x} \pm \sigma$	289±141	300±15	221±26
Pb	$\bar{x} \pm \sigma$	17,8±6,1	15,2±1,1	16,2±3,1
As	$\bar{x} \pm \sigma$	7,2±3,7	6,3±0,7	10,3±3,5
Zn	$\bar{x} \pm \sigma$	69±16,9	78±7,2	80±7,8
Ni	$\bar{x} \pm \sigma$	54±15,9	31±3,9	69±9,3
Co	$\bar{x} \pm \sigma$	7,6±2,9	18,9±4,3	24,2±2,8
Fe	$\bar{x} \pm \sigma$	23265±6300	28256±2500	24558±2000
Mn	$\bar{x} \pm \sigma$	1058±376	1002±110	1093±155
Cr	$\bar{x} \pm \sigma$	132±22,7	152±15,6	178±20
V	$\bar{x} \pm \sigma$	62±18	78±8,8	80±12
Ti	$\bar{x} \pm \sigma$	4003±110	3996±80	4673±230

В результате добычи калийных солей на территории ВКМС относительно фона Пермского края формируется ряд накопления $\frac{Co}{1,4} > \frac{Zn}{1,3} = \frac{Mn}{1,3} = \frac{Sr}{1,3} > \frac{V}{1,2} = \frac{Cr}{1,2} = \frac{Fe}{1,2}$; в посттехногенный период на территории Кизеловского угольного бассейна отмечается ряд $\frac{Co}{1,7} = \frac{Ni}{1,7} > \frac{Mn}{1,4} = \frac{Cr}{1,4} = \frac{As}{1,4} = \frac{Zn}{1,4} > \frac{V}{1,2} > \frac{Ti}{1,1} = \frac{Pb}{1,1}$.

При нефтедобыче в почвах аккумулируются следующая ассоциация $\frac{Mn}{1,4} > \frac{Ni}{1,3} > \frac{Sr}{1,2} = \frac{Pb}{1,2} = \frac{Zn}{1,2}$. Нефтяные месторождения расположены по большей части Пермского края локально, кроме того, значительная часть территории месторождений по геохимическому составу не отличается от показателей соответствующего природного района. Поэтому считаем нецелесообразным учитывать распространение добычи углеводородов для природно-техногенного районирования края.

Включение в кластеризацию территорий (ВКМС и КУБ), где формирование геохимических особенностей происходит под влиянием техногенной нагрузки (рис. 8) позволяет определить ее значимость по сравнению с природными факторами. Проводится ранжирование значимости, соотношение различных природных и техногенных факторов.

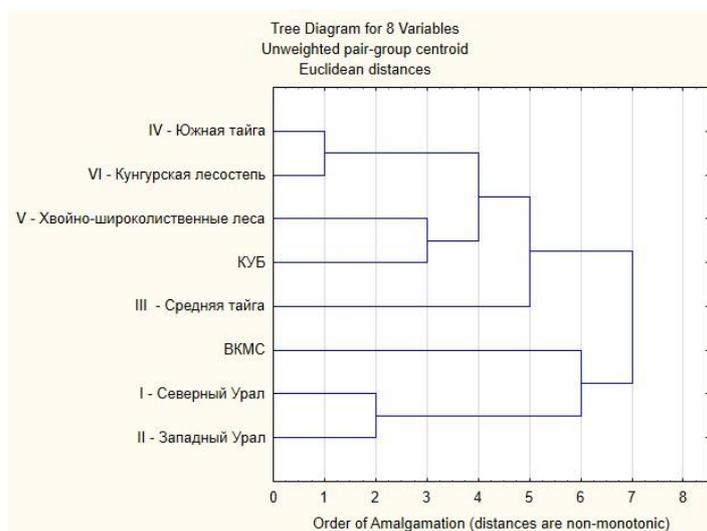


Рис. 8. Результаты кластерного анализа (природно-техногенные кластеры)

Факторами первого ранга также остаются геоморфологический и орографический. Изменение рельефа, следовательно, особенностей подстилающих пород и т.п. оказывает самое сильное влияние на геохимические особенности территории, что подтверждается и похожими исследованиями. Установлено, что территория ВКМС объединяется с территорией среднегорий,

низкогорий и предгорий, хотя находится на предгорной равнинной части края. А территории КУБа, наоборот, находясь в предгорной территории, попадает в кластер с равнинными районами.

В качестве уровня **второго ранга** становится техногенное перераспределение химических элементов под воздействием добычи калийных солей. Этот техногенный фактор более существенный, чем биоклиматическое влияние на почвенный покров.

Биоклиматические особенности средней тайги выделяем на **уровне фактора третьего ранга**.

Посттехногенная трансформация природной среды КУБа стала фактором четвертого уровня пространственной дифференциации региона, и находится по уровню сходства, между Средней тайгой и Хвойно-широколиственными лесами.

Такое размещение в кластере двух природно-техногенных территорий говорит о проявлении техногенного фактора и о мощности изменений, которые происходят при его влиянии. Природно-техногенные территории КУБа и ВКМС становятся значительно отличными по геохимическим свойствам от природного района, в границах которого располагаются. Значимость геохимических особенностей этих территорий достигает уровня района.

В таблице 3 представлены результаты по оценке значимости различий в фоновых содержаниях природных районов и средних содержаниях изученных территорий, находящихся под воздействием техногенеза.

Таблица 3

Элементы, разница по содержанию которых между исследуемыми территориями и фоновыми имеет достоверную значимость относительно t-критерия Стьюдента

	КУБ	ВКМС
Пермский край	Sr, Pb, As, Zn, Ni, Co, Mn, Cr, V, Ti	Sr, As, Zn, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti
II – Западный Урал	Sr, As, Zn, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti	–
IV – Южная тайга	–	As, Zn, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti

Территория КУБа и ВКМС имеют значимые отличия как от природных районов, на территории которых они находятся, так и в целом от регионального фона Пермского края. При сопоставлении КУБа с фоном Западного Урала было получено, что нет значимых различий только относительно содержания Pb. ВКМС не имеет значимых различий с Южной тайгой по содержанию Sr и Pb. Pb на данных территориях находится в рассеянном состоянии. Накопление Sr на

территории ВКМС обусловлено природными факторами и общим геохимическим фоном природного района.

На рис. 9 представлено полученное по результатам исследования природно-техногенное районирование Пермского края по геохимическим особенностям.



Рис. 9. Природно-техногенное геохимическое районирование Пермского края

Были выделены следующие природно-техногенные геохимические районы:

I-1-b Северный Урал лито-сидеро-халькофильной специализации с ванадий-цинково-полиметаллической ассоциацией; **II-1-a** Западный Урал лито-сидеро-халькофильной специализации с ванадий-полиметаллической ассоциацией; **II-3-c** Кизеловский угольный бассейн сидеро-халько-литофильной специализации с кобальт-марганцево-полиметаллической ассоциацией; **III-4-f** Средняя тайга сидеро-халькофильной специализации с марганцево-свинцовой ассоциацией; **IV-2-h** Южная тайга лито-халькофильной специализации со стронций-цинковой ассоциацией; **IV-5-e** Верхнекамское месторождение калийных солей сидеро-лито-халькофильной специализации с кобальт-полиметаллической ассоциацией; **V-5-g** Хвойно-широколиственных лесов сидеро-лито-халькофильной специализации с

никелево-полиметаллической ассоциацией; **VI-6-d** Кунгурская лесостепь сидерофильной специализации с кобальт-никелевой ассоциацией.

Кластер-анализ позволил выделить иерархию факторов, которые определяют геохимическую дифференциацию территории региона: макрорельеф – техногенез при добыче калийной соли – особенности биоклиматического режима средней тайги – посттехногенез после добычи каменного угля – биоклиматические параметры природных районов. Природно-техногенное районирование Пермского края отражает современное состояние и особенности протекания геохимических процессов. Наиболее существенным фактором техногенеза является добыча калийных солей. Посттехногенная трансформация природной среды после ликвидации угольных шахт по своей мощности соответствует биоклиматическим факторам.

Необходимо провести сплошные геохимические обследования окружающей среды Верхнекамского месторождения калийной соли, Кизеловского угольного бассейна для определения границ распространения техногенеза, посттехногенеза, экологических рисков, определения оптимальных способов восстановления биогеоценотического покрова.

ВЫВОДЫ:

1. Для территории Пермского края характерна лито-халькофильная специализация с накоплением в почве Cr, As и Ti. Полученные средние фоновые содержания макро- и микроэлементов в почвах для Пермского края и природных районов Пермского края могут применяться как эталонные для выявления антропогенной трансформации природной среды. В результате, относительно кларка по Н.А. Григорьеву (2009) и Hu & Gao (2008), характерной чертой Северного Урала является накопление Pb; Западного Урала – высокое накопление Cr; в Средней тайге накопление Mn; в Южной тайге накопление Sr; в районе Хвойно-широколиственных лесов высокое накопление Cr и Mn; в Кунгурской лесостепи накопление Co.

2. В ходе техногенной и посттехногенной трансформации в районе КУБа сформировался геохимический спектр, для которого характерно накопление Co, Mn, Ni, As, Cr, Zn и Sr в органогенном горизонте и накопление Co, Mn, Ni и Cr в подгумусовом горизонте. Геохимические особенности территории более полно характеризует органогенный горизонт почв, так как процессы происходят в нем более выражено.

3. В процессе добычи калийно-магниевых солей на территории ВКМС формируется геохимический фон, для которого характерна аккумуляция Co, Mn, V, Cr, Zn и Fe и рассеивание Ni и As в органогенном горизонте, а так же аккумуляция Co, Fe и рассеивание Mn, Sr, Ni, Pb, As в подгумусовом горизонте. Накопление элементов привело к формированию геохимической аномалии, возникшей в результате техногенной трансформации природной среды. Относительно Mn и As можно говорить о том, что территория подвержена загрязнению этими элементами, так как зафиксировано превышение нормативного содержания. Mn накапливается в органогенном горизонте как результат техногенеза, As – из-за высокого естественного местного фона.

4. Пространственная дифференциация геохимического состава органогенного горизонта на территории Пермского края позволяет выделить 8 природно-техногенных районов: Северного Урала, Западного Урала, Средней тайги, Южной тайги, Хвойно-широколиственных лесов, Кунгурской лесостепи, ВКМС, КУБа.

Геохимический спектр природно-техногенных районов: Северный Урал: $KK = \frac{V}{1,3} > \frac{Fe}{1,2} = \frac{Ti}{1,2} = \frac{Pb}{1,2} > \frac{Cr}{1,1}$; Западный Урал: $KK = \frac{V}{1,5} > \frac{Fe}{1,2} = \frac{Ti}{1,2} > \frac{Pb}{1,1} = \frac{Zn}{1,1} = \frac{Cr}{1,1}$; Средняя тайга: $KK = \frac{Mn}{1,1} = \frac{Pb}{1,1}$; Южная тайга: $KK = \frac{Sr}{1,2} > \frac{Zn}{1,1}$; Хвойно-широколиственных лесов: $KK = \frac{Ni}{1,3} > \frac{Cr}{1,2} > \frac{Mn}{1,1} = \frac{As}{1,1} = \frac{Zn}{1,1}$; Кунгурской лесостепи: $KK = \frac{Co}{1,7} > \frac{Ni}{1,1}$; Верхнекамского месторождения калийных солей: $KK = \frac{Co}{1,4} > \frac{Zn}{1,3} = \frac{Mn}{1,3} = \frac{Sr}{1,3} > \frac{V}{1,2} = \frac{Cr}{1,2} = \frac{Fe}{1,2}$; Кизеловского угольного бассейна: $KK = \frac{Co}{1,7} = \frac{Ni}{1,7} > \frac{Mn}{1,4} = \frac{Cr}{1,4} = \frac{As}{1,4} = \frac{Zn}{1,4} > \frac{V}{1,2} > \frac{Ti}{1,1} = \frac{Pb}{1,1}$.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в журналах ВАК

1. **Дзюба Е. А.** Определение местного фонового содержания некоторых макро- и микроэлементов в почвах Пермского края // Географический вестник. 2021. №1(56). С. 95-108. DOI 10.17072/2079-7877-2021-1-95-108.

2. **Дзюба Е.А.,** Бузмаков С.А., Андреев Д.Н., Хотяновская Ю.В. Геохимические особенности трансформации почвенного покрова при эксплуатации рудного месторождения // Геология, география и глобальная энергия. 2018. № 3 (70). С. 170-185.

3. **Дзюба Е.А.,** Бузмаков С.А. Определение фонового содержания циклических элементов в почвах Тулымского камня (Пермский край) // Известия

высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2016. № 3 (191). С. 49-57.

4. **Дзюба Е.А.**, Андреев Д.Н., Гатина Е.Л. Комплексная оценка экологического состояния почв на экологической тропе заповедника «Вишерский» с применением биотестового и геохимического методов анализа // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2016. Т. 26, № 2. С. 7-18.

Статьи, индексируемые в Scopus/WoS

5. Бузмаков С.А., Андреев Д.Н., Назаров А.В., **Дзюба Е.А.**, Шестаков И.Е., Куюкина М.С., Елькин А.А., Егорова Д.О., Хотяновская Ю.В. Реакция разных тест-объектов на экспериментальное загрязнение почв нефтью // Экология. 2021. № 4. С. 254-262. DOI 10.31857/S0367059721040053 (Q 3).

6. Buzmakov S.A., Ivshina I.B., Egorova D.O., Khotyanovskaya Y.V., Andreev D.N., Nazarov A.V., **Dziuba E.A.**, Shestakov I.E., Kuyukina M.S., Elkin A.A. Ecological criteria for assessing the content of petroleum hydrocarbons in the main soils of coniferous–deciduous forests and forest steppe // Environmental Geochemistry and Health. 2021. V. 43, № 12. P. 5099-5118. DOI 10.1007/s10653-021-00998-9 (Q 1).

7. Бузмаков С.А., Андреев Д.Н., Назаров А.В., **Дзюба Е.А.**, Шестаков И.Е., Хотяновская Ю.В. Разработка экологических критериев для допустимого содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах Пермского края // Экология и промышленность России. 2021. Т. 25, № 9. С. 62-67. DOI 10.18412/1816-0395-2021-9-62-67 (Q 2).

8. **Dziuba E.**, Andreev D., Buzmakov S. and Khotyanovskaya Yu. Geochemical features of soils from the Mid-Ural ore deposit // E3S Web of Conferences, Actual Problems of Ecology and Environmental Management: Cooperation for Sustainable Development and Environmental Safety (APEEM 2020). 2020. 169(23):01014. DOI 10.1051/e3sconf/202016901014.

Объекты интеллектуальной собственности:

9. Геоинформационная база данных геохимических свойств почв на территории Пермского края: свидетельство № 2020622894 / **Е. А. Дзюба**, С. А. Бузмаков, Д. Е. Сивков.

10. Геоинформационная база данных геохимических свойств почв ландшафтного заказника Предуралья: свидетельство № 2020622893 / **Е.А. Дзюба**, С.А. Бузмаков, Д.Е. Сивков.

11. Техногенная трансформация природной среды в карстовом районе: свидетельство № 2021620770 / Ю. В. Хотяновская, Д. Н. Андреев, С. А. Бузмаков, **Е.А. Дзюба** [и др.].

Статьи, индексируемые в РИНЦ

12. Титова Л.А., **Дзюба Е.А.** Влияние добычи нефти на природные особенности территории Пермского края // Экологическая безопасность в условиях

антропогенной трансформации природной среды: матер. Всерос. школы-семинара, Пермь, 21–22 апреля 2022 г. ПГНИУ, 2022. С. 377-380.

13. **Дзюба Е.А.** Геохимические особенности территории Пермского края, сформированные в результате техногенного и посттехногенного воздействия на природную среду // Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды: матер. Всерос. школы-семинара, Пермь, 22–23 апреля 2021 г. ПГНИУ, 2021. С. 148-154.

14. **Дзюба Е.А.** Загрязнение почв макро- и микроэлементами на территории нефтяных месторождений Пермского края // Экологические проблемы. Взгляд в будущее: IX Межд. научно-практической конф., Ростов-на-Дону, 22–23 октября 2020 г. ЮФУ, 2020. С. 215-220.

15. **Дзюба Е.А.,** Сивков Д.Е. Применение ГИС-технологий при изучении геохимических особенностей территории (на примере ландшафтного заказника "Предуралье") // Цифровая география: Матер. Всерос. научно-практической конф. с межд. уч.: в 2 т., Пермь, 16–18 сентября 2020 г. Том I. ПГНИУ, 2020. С. 243-247.

16. **Дзюба Е.А.** Геохимические особенности почв на территории ландшафтного заказника «Предуралье» (Пермский край) // Вопросы степеведения. Оренбург: ИС УрО РАН, 2019. С. 100-105.

17. **Дзюба Е.А.** Тяжелые металлы и техногенез на нефтепромысловых территориях в условиях карста // Матер. Межд. конф. «Проблемы антропогенной трансформации природной среды» (14-15 ноября, Пермь), 2019. С. 144-148.

18. **Дзюба Е.А.,** Андреев Д.Н., Шестаков И.Е. Содержание тяжелых металлов в почвах карстового района нефтедобычи (лог «Арапов ключ», Ординский район, Пермский край) // Матер. по изучению русских почв. Вып. 11 (38), 2018. С. 82-87.

19. **Дзюба Е.А.** Содержание тяжелых металлов в почвах карстового района нефтедобычи // Актуальные проблемы освоения месторождений нефти и газа приарктических территорий России. Матер. Всерос. науч-практ. конф. САФУ, 2018. С. 73-80.

20. Андреев Д.Н., **Дзюба Е.А.,** Хотяновская Ю.В. Биотический мониторинг в карстовом районе нефтедобычи (Пермский край) // Антропогенная трансформация природной среды, вып. 3, 2017. С. 87-89.

21. **Дзюба Е.А.,** Андреев Д.Н. Суммарное химическое загрязнение почв тяжелыми металлами в различных биотопах на территории Вишерского заповедника // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Том 18, №2 (2), 2016. С. 283-287.

ОГЛАВЛЕНИЕ РАБОТЫ

ВВЕДЕНИЕ

1. СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

- 1.1. Теоретические основы геохимических исследований территорий
- 1.2. Геохимия микро- и макроэлементов
- 1.3. Влияние техногенеза на распределение макро- и микроэлементов
- 1.4. Подходы по эколого-геохимическому районированию территорий
- 1.5. Геохимические исследования в Пермском крае

2. ПРИРОДНЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НА ТЕРРИТОРИИ ПЕРМСКОГО КРАЯ

- 2.1. Природные особенности Пермского края
- 2.2. Источники антропогенного воздействия на геохимические свойства почв

3. МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

- 3.1. Методика геохимического обследования почв
- 3.2. Описание фоновых территорий исследования
- 3.3. Описание территорий исследования, подверженных антропогенному воздействию
- 3.4. Объем собранного материала

4. РЕГИОНАЛЬНОЕ ФОНОВОЕ СОДЕРЖАНИЕ НЕКОТОРЫХ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ НА ТЕРРИТОРИИ ПЕРМСКОГО КРАЯ

- 4.1. Геохимические особенности, сформировавшиеся на Северном Урале в результате смены высотных поясов
- 4.2. Формирование геохимических особенностей на территории ландшафтного заказника Предуралья

5. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВ ТЕРРИТОРИЙ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ТЕХНОГЕННУМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

- 5.1. Формирование геохимических особенностей почв, подверженных воздействию нефтедобычи
- 5.2. Формирование геохимических свойств почв в районе ликвидации шахт Кизеловского угольного бассейна
- 5.3. Формирование геохимических свойств почв в районе добычи калийно-магниевых солей

6. ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ПЕРМСКОГО КРАЯ **ГЕОХИМИЧЕСКОЕ**

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ПРИЛОЖЕНИЯ

Дзюба Екатерина Алексеевна

**ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ АНТРОПОГЕННОЙ
ТРАНСФОРМАЦИИ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ НА ТЕРРИТОРИИ
ПЕРМСКОГО КРАЯ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Подписано в печать 09.01.2023 г.
Формат 60 × 90 ¹/₁₆. Усл. печ. л. 1,5
Тираж 100 экз. Заказ 2

Отпечатано Полиграфическим центром
Балтийского федерального университета им. И. Канта
236022, г. Калининград, Гайдара, 6