

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

на правах рукописи

Дзюба Екатерина Алексеевна

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

Специальность 1.6.21. Геоэкология (географические науки)

Диссертация
на соискание учёной степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
Бузмаков Сергей Алексеевич
доктор географических наук, профессор

Пермь, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ.....	11
1.1. Теоретические основы геохимических исследований территорий	11
1.2. Геохимия микро- и макроэлементов.....	13
1.3. Влияние техногенеза на распределение макро- и микроэлементов	16
1.3.1. Влияние нефтяного загрязнения на распределение макро- и микроэлементов	18
1.3.2. Влияние добычи калийных солей на распределение макро- и микроэлементов в почвах	20
1.3.3. Влияние добычи каменного угля и ликвидации добычи на распределение макро- и микроэлементов.....	21
1.4. Подходы по эколого-геохимическому районированию территорий.....	25
1.5. Геохимические исследования в Пермском крае.....	27
Выводы по главе 1.....	29
2. ПРИРОДНЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НА ТЕРРИТОРИИ ПЕРМСКОГО КРАЯ.....	31
2.1. Природные особенности Пермского края.....	31
2.2. Источники антропогенного воздействия на геохимические свойства почв.....	42
Выводы по главе 2.....	48
3. МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	49
3.1. Методика геохимического обследования почв	49
3.2. Описание фоновых территорий исследования	56
3.2.1. Описание исследуемой территории заповедника «Вишерский».....	58
3.2.2. Описание исследуемой территории ландшафтного заказника «Предуралье» ...	59
3.3. Описание территорий исследования, подверженных антропогенному воздействию	62
3.3.1. Описание территорий, находящихся под воздействием нефтедобычи.....	62
3.3.2. Описание территории Верхнекамского месторождения калийных солей.....	68
3.3.3. Описание территории Кизеловского угольного бассейна	71
3.4. Объем собранного материала	74
Выводы по главе 3.....	75
4. РЕГИОНАЛЬНОЕ ФОНОВОЕ СОДЕРЖАНИЕ НЕКОТОРЫХ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ НА ТЕРРИТОРИИ ПЕРМСКОГО КРАЯ.....	77
4.1. Геохимические особенности, сформировавшиеся на Северном Урале в результате смены высотных поясов.....	92
4.2. Формирование геохимических особенностей на территории заказника Предуралье	99

Выводы по главе 4.....	105
5. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВ ТЕРРИТОРИЙ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ТЕХНОГЕННУМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ	108
5.1. Формирование геохимических особенностей почв, подверженных воздействию нефтедобычи	108
5.1.1. Накопление макро- и микроэлементов в почве при экспериментальном загрязнении нефтью	119
5.2. Формирование геохимических свойств почв в районе ликвидации шахт Кизеловского угольного бассейна.....	126
5.3. Формирование геохимических свойств почв в районе добычи калийно-магниевых солей	139
Выводы по главе 5.....	149
6. ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОЕ ГЕОХИМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ПЕРМСКОГО КРАЯ	151
Выводы по главе 6.....	158
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	159
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	161
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Описание пробных площадок заповедника «Вишерский»	197
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Физико-химические свойства почв заказника «Предуралье».....	199
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Описание точек обследования на территории заказника «Предуралье» .	202
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Содержание нефтепродуктов и хлоридов в почвах на территории нефтяных месторождений.....	204
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Физико-химические свойства почв в карстовом районе нефтедобычи (лог «Арапов ключ»).....	206
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. Карты распределения элементов на территории заказника «Предуралье»	209
ПРИЛОЖЕНИЕ 7. Результаты измерений содержания макро- и микроэлементов в почвах на территории нефтяных месторождений, мг/кг.....	214
ПРИЛОЖЕНИЕ 8. Результаты измерений содержания макро- и микроэлементов в почвах на территории Кизеловского угольного бассейна, мг/кг	220
ПРИЛОЖЕНИЕ 9. Результаты измерений содержания макро- и микроэлементов в почвах на территории Верхнекамского-месторождения солей, мг/кг	227

ВВЕДЕНИЕ

В данное время происходит постоянное увеличение техногенного воздействия на природную среду, что отмечают многие ученые. Антропогенная деятельность преобрела 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, особенно в зонах гипергенеза. Причем в данном случае необходимо разделять исследования по установлению фоновых региональных содержаний элементов для конкретной территории и изучение особенностей техногенного преобразования геохимических особенностей импактных территорий.

Закон В.И. Вернадского о всеобщем рассеянии химических элементов утверждает, что во всех природных объектах есть все химические элементы, но их распространение носит неравномерный характер (*Вернадский, 2001*). Почва, как биокосная система, не является исключением из данного закона. В различных природных комплексах элементы распределены неравномерно. Знание содержания химических элементов в исследуемой системе или отдельном объекте помогает в решении различных экологических проблем. Также для этих целей необходимо знать эталонные содержания химических элементов в подобных системах или объектах. Почва относится к числу особо важных объектов исследования в данной проблеме (*Алексеев, 2000; Алексеев и др., 2002*).

В зависимости от геологического строения и преимущественного развития в отдельных регионах пород того или иного типа среднее содержание некоторых химических элементов в их пределах может существенно отличаться от среднего содержания этих же элементов в других регионах и от кларка земной коры в целом (*Алексеев, 2000*). По мнению В.И. Вернадского употребление «кларков» для вычисления концентрации и рассеяния химических элементов данной местности в вопросах прикладного характера в очень большом количестве случаев может дать неверное понятие. По его мнению, для практических задач нужно исходить не из кларков, а из среднего состава пород биосферы данной местности (*Вернадский, 2001*). Чтобы охарактеризовать общие геохимические особенности таких регионов, было введено такое понятие, как местные, или региональные, кларки (*Алексеев, 2000*). Они

представляют собой средние содержания химических элементов в земной коре определенных регионов и могут быть массовыми, атомными, объемными.

Содержание многих химических элементов и соотношение различных форм нахождения стало зависеть от хозяйственного использования территории (*Зимовец, Федоров, 2013; Пинский и др., 2014; Минкина и др., 2015*). Это привело к тому, что во многих случаях установить среднее содержание химических элементов для почв, до антропогенного воздействия на них, стало практически невозможно.

Геохимические исследования почв включают в себя количественный и качественный анализ, определение содержания химических веществ и элементов, и позволяют выявить степень антропогенной трансформации окружающей среды и ее компонентов в отдельности (*Бузмаков, 2012*).

Важную роль при геохимическом анализе почв занимает определение содержания микро- и макроэлементов. В повышенных концентрациях они оказывают токсическое действие на растения, животных и человека (*Алексеенко и др., 2013; Алексеенко и др., 2002; Алексеенко, 2000*). Почва является основной средой, в которую попадают микро- и макроэлементы, в том числе из атмосферы и водной среды. Она же служит источником вторичного загрязнения приземного воздуха и вод, попадающих из неё в Мировой океан. Из почвы они усваиваются растениями, которые затем попадают в пищу более высокоорганизованным животным (*Алексеенко и др., 2002*). Продолжительность пребывания загрязняющих компонентов в почве гораздо выше, чем в других частях биосферы. Это приводит к изменению состава и свойств почвы как динамической системы и в конечном итоге вызывает нарушение равновесия экологических процессов (*Алексеенко, 2000*). При необходимости контроля над техногенным загрязнением почв микро- и макроэлементами принято определять их валовое содержание (*Андреев, 2013*).

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. Особенно актуальна эта проблема для горнодобывающих районов, где из-за высокого загрязнения возможно рассеивание на большие расстояния потенциальных опасных элементов.

Пермский край – регион с развитой добывающей промышленностью, что в свою очередь 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. Эти данные актуальны в рамках научных исследований, а также при проведении прикладных работ, где фон может быть применен как эталонное значение. В результате встала проблема разработки геохимического районирования территории Пермского края.

Наиболее важными видами промышленности на территории края на данный момент являются добыча нефти и калийных солей (Верхнекамское месторождение калийных солей, далее – ВКМС). Причем нефтяные месторождения имеют достаточно 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 природной среды.

Кизеловский угольный бассейн (далее – КУБ) имеет серьезное значение, представляя собой объект региональной экологической катастрофы. Вследствие ликвидации шахт на данной территории сложилась неблагоприятная экологическая обстановка, территория подвержена высокому уровню загрязнения. Добыча угля, даже после ликвидации месторождений, оказывает влияние на природную среду, вследствие чего происходит посттехногенная трансформация 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.

Соответствие паспорту специальности:

1.6. Глобальные и региональные экологические кризисы – комплексные изменения окружающей среды, приводящие к резкому ухудшению условий жизни и хозяйственной деятельности. Геоэкологические последствия природных и техногенных катастроф.

1.8. Природная среда и геоиндикаторы ее изменения под влиянием урбанизации и хозяйственной деятельности человека: химическое и радиоактивное загрязнение почв, пород, поверхностных и подземных вод и сокращение их ресурсов, наведенные физические поля, изменение криолитозоны.

Научная новизна работы. В ходе проведенного исследования было 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 Кизеловского угольного бассейна и Верхнекамского месторождения калийных солей. 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 Кизеловского угольного бассейна. 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: лабораторного анализа (рентгенофлуоресцентный анализ, инфракрасная спектроскопия, 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.

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 Кизеловского угольного бассейна (n=206). Всего было исследовано 1 179 проб почв. Измерялось валовое содержание элементов (Sr, Pb, As, Zn, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti) методом РФА. Территория исследования представлена Пермским краем. Отбор почв проводился на ООПТ и участках испытывающих антропогенную нагрузку.

Личный вклад автора. Материалы, изложенные в работе, были 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.

Положения, выносимые на защиту:

1. Для территории Пермского края характерна лито-халькофильная специализация с накоплением в почве Cr, As и Ti, а 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:

1. XI Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Географическое изучение территориальных систем», Пермь, 2017.

2. Всероссийская Школа-семинар молодых ученых «Антропогенная трансформация природной среды», Пермь, 2017, 2018, 2019, 2021, 2022 гг.

3. Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные проблемы освоения месторождений нефти и газа приарктических территорий России», Архангельск, 2018.

4. Молодежная конференция «Докучаевские чтения» в Санкт-Петербургском государственном университете, 2018 и 2020 гг.;

5. Международная Ассамблея наук о Земле (EGU), 2018 г., г. Вена, 2018.

6. Заповедное дело: достижения, проблемы, перспективы, Оренбург, 2019;

7. Всероссийская конференция с международным участием «Цифровая география», Пермь, 2020.

8. 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*.

.

1. СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

1.1. Теоретические основы геохимических исследований территорий

Большой вклад в развитие геохимии принесли такие ученые, как В.И. Вернадский, В.М. Гольдшмидт, А.Е. Ферсман, А.А. Сауков, Ф.У. Кларк, А. Кабата-Пендиас, А.И. Перельман, А.П. Виноградов, М.А. Глазовская, Н.С. Касимов, Б.Б. Полюнов, А.Б. Ронов, Ю.Е. Саэт и другие. Основной проблемой исследования в геохимии была и остается проблема миграции химических элементов, изучение закономерностей аккумуляции и рассеивания веществ. В ходе изучения факторов, которые оказывают влияние на геохимические процессы, высокую роль играет учет кларков элементов.

А.И. Прельман (1979) выделяет основные направления геохимии, к которым относится геохимия процессов, геохимия систем и геохимия элементов. Е.П. Янин (2018) выделяет установление закономерностей поведения химических элементов в геосферах Земли, как основную теоретическую проблему геохимии, которая решается выполнением следующих задач (Янин, 2018):

- исследование распространенности химических элементов и определение среднего состава земной коры;
- установление закономерностей распределения элементов и их изотопов в Земле в целом, ее геосферах, горных породах, рудах, минералах, почвах, водах, живых организмах;
- изучение миграции химических элементов, приводящей к их концентрированию или рассеянию, образованию горных пород и минералов, геохимических провинций, месторождений полезных ископаемых и связанных с ними геохимических ореолов и потоков рассеяния;
- установление закономерностей изменения химического состава окружающей среды (биосферы и ее составных частей) в условиях техногенного воздействия.

Принцип историзма, который основан на изучении эволюции миграции элементов за период геологической истории, особенностей состава геосфер Земли прошлых геологических эпох, геохимических факторов возникновения и развития жизни и среды

ее обитания, является важнейшим методологическим принципом в геохимии (Янин, 2018).

Фактический материал геохимии – это количественные данные о содержании и распределении химических элементов и их изотопов в различных компонентах, о формах нахождения элементов и их поведении в природных и техногенных системах (Янин, 2018).

Методической основой геохимических исследований являются проведение природной характеристики территории и ее компонентов, применение современных физических, физико-химических и химических методов (в том числе для определения содержания элементов), а так же математические и статистические методы обработки данных (Янин, 2018). Несмотря на то, что приведенные методы стали основой для проведения геохимических исследований, данные методы не являются собственно геохимическими, геохимия заимствует их из других наук. В рамках развития научного знания и подходов по изучению геохимических особенностей территории в геохимии были выработаны и собственные методы исследования (Янин, 2018):

- метод глобальных геохимических констант (кларков химических элементов);
- изучение механизма формирования и химической эволюции земной коры на основе представлений о геохимических циклах с учетом принципиальной роли живого вещества;
- геохимическое картирование и районирование;
- методы физико-химического анализа парагенезиса химических элементов;
- метод анализа изменений в геологических процессах соотношений содержания близких по геохимическим свойствам элементов и особенно изотопов
- и др.

Во многом геохимия изучает именно распределение химических элементов в компонентах природной среды. Изучение микроэлементов в почвах имеет длительную историю. Появление сведений о микроэлементах в природных средах относится к концу 19-го-началу 20-го века. В 1872 году К.А. Тимирязев впервые доказал необходимость цинка для высших растений, в 1897 году французский ученый Г. Бертран определил микроэлементы как химические элементы, которые необходимы для живых организмов и присутствуют в природных средах в микроколичествах. К середине XX столетия

биохимики и физиологами были получены экспериментальные доказательства участия микроэлементов в важнейших ферментативных и обменных процессах в живых организмах, в том числе и человека (*Авцын, 1991; Школьник, 1950*). В 1889 году Ф.У. Кларком впервые было сделано обобщение данных по химическому составу горных пород. Позже собственные кларки были предложены А.Е. Ферсманом (*1933*), В.М. Гольдшмидтом (*1937*), А.П. Виноградовым (*1962*), С.Р. Тейлором (*1964*), К.Г. Ведеполем (*1967*), А.А. Беус и др. (*1976*), Д.М. Шоу и др. (*1976*), С. Гао и др. (*1998*), Р.Л. Рудник и С. Гао (*2003*), Н.А. Григорьев (*2009*). Исследования в области геохимии и почвоведения (*Вернадский, 1936; Виноградов, 1953; Виноградов, 1960; Виноградов, 1952; Глазовская, 1957; Добровольский, 1963; Добровольский, 1988; Добровольский, 1983; Зырин, 1968; Зырин и др., 1961; Ковальский, 1974; Ковальский, Андрианова, 1973; Ковда и др., 1959; Троицкий, 1960*) выявили географические закономерности и региональные особенности изменения содержания микроэлементов в горных породах, почвах, растениях. Н.С. Касимов и Д.В. Власов (*2015*).

Г.В. Мотузова (*2012*) обобщая современные знания о микроэлементах, выделяет ряд сформированных в экологической геохимии парадигм. Ее обобщение заключается в том, что, во-первых, самым значимым фактором в накоплении элементов в почвах является элементный состав пород. Относительно верхнего почвенного горизонта, в частности органогенного, помимо состава подстилающих пород, влияние оказывают биогеохимические процессы. При условии техногена на конкретной территории именно он становится преобладающим по влиянию фактором. Миграция в радиальном и латеральном направлениях является причиной дифференциации почвенного профиля и геохимических ландшафтов. Микроэлементы, находящиеся в почвах, входят в состав различных соединений, и могут быть изучены в валовой и подвижных формах. Изучение подвижных форм актуально при изучении миграции элементов в сопредельные среды, при изучении же средних содержаний актуально изучение валовой формы.

1.2. Геохимия микро- и макроэлементов

Почвы являются природными накопителями тяжелых металлов в окружающей среде и основным источником загрязнения сопредельных сред, включая высшие растения. Тяжелые металлы находятся в почве в виде различных химических

соединений. В почвенном растворе они присутствуют в форме свободных катионов и ассоциатов с компонентами раствора. В твердой части почвы они находятся в форме обменных катионов и поверхностных комплексных соединений, в виде примесей глинистых минералов, в форме собственных минералов, устойчивых осадков малорастворимых солей (*Казакова, 2009*).

Аккумуляция и миграция тяжелых металлов в почвах естественных ландшафтов определяется типом почвообразования. А.П. Виноградов (1957) и Г.В. Добровольский (1996) утверждают, что около 50% всего количества тяжелых металлов, находящиеся в твердой фазе почвы, связаны гидроксидом железа. Часть тяжелых металлов прочно связана с глинистыми минералами, а обменные формы, связанные как с минералами, так и с органическим веществом, составляют малую часть от общей массы тяжелых металлов в профиле почв.

К тяжелым металлам относятся свыше 40 химических элементов таблицы Менделеева с атомными массами, превышающими 50 атомных единиц, или химические элементы с удельным весом выше 5 г/см^3 . Не все тяжелые металлы представляют одинаковую опасность для живых организмов. По токсичности и способности накопления более десяти элементов признаны приоритетными загрязнителями биосферы. Среди них выделяют: ртуть, свинец, кадмий, медь, олово, цинк, молибден, кобальт, никель (*Казакова, 2009*).

К циклическим элементам В.И. Вернадский относит те, которые участвуют в различных геохимических циклах. Выделение группы циклических элементов удобно в рамках исследований по экологической геохимии (*Алексеев и др., 2013*).

Основными источниками загрязнения почв опасными тяжелыми элементами являются (*Водяницкий, 2013*):

- 1) аэральные выпадения из стационарных источников и средств передвижения;
- 2) гидрогенное загрязнение при поступлении промышленных сточных вод в водоемы;
- 3) осадки сточных вод;
- 4) отвалы золы, шлака, руд, шламов и т.п.;
- 5) разливы нефти и солевых растворов в местах нефтедобычи.

Классификации химических элементов проводились многими учеными. Одной из наиболее известных является классификация В.М. Гольдшмидта. Выделенные им группы элементов в значительной мере отражают их преимущественное накопление в определенных слоях (сферах) Земли. Ученый установил связь элементов, преобладающих в каждой из выделенных им геосфер, с величинами атомных объемов элементов (*Алексеевко и др., 2013*).

Элементы, характеризующие каждую из сфер, располагаются в определенных частях кривой атомных объемов (восходящие и нисходящие ветви, вершины и т.д.). Так В.М. Гольдшмидтом были выделены элементы (*Алексеевко и др., 2013*):

- атмосферные (благородные газы, N);
- литофильные (Na, Mg, Al, Si, K, Ca и др.);
- халькофильные (Cu, Zn, Ag, Pb, Hg, As и др.);
- сидерофильные (Fe, Co, Ni, платиноиды).

Первые концентрируются преимущественно в атмосфере, вторые – в каменной оболочке, третьи подобны меди и образуют сульфиды, четвертые подобны железу. Предполагаемая первоначально связь элементов с определенными сферами не имеет четких закономерностей, однако названия групп элементов сохранились. Стоит отметить, что многие элементы могут относиться сразу к нескольким группам (*Алексеевко и др., 2013*).

Более дробное и обоснованное разделение элементов на отдельные группы характеризует классификацию В.И. Вернадского (таблица 1.2.1), в которой элементы разделены на шесть групп. В первую (благородные газы) и вторую (благородные металлы) группы объединены 12 элементов, для которых характерно существование преимущественно в самородном состоянии, а, следовательно, они не характерны для целого ряда геохимических циклов. К третьей группе (циклические элементы) отнесено наибольшее число элементов – 44, все они участвуют в различных геохимических циклах. В четвертую группу объединены 11 элементов, для которых в литосфере наиболее характерно состояние рассеяния. В пятой группе находятся 7 сильно радиоактивных элементов, в шестой – 15 элементов редких земель (*Алексеевко и др., 2013*). Классификация В. И. Вернадского более удобна, чем ранее рассмотренная, для использования в экологической геохимии. Этому особенно способствует выделение групп циклических, радиоактивных и рассеянных элементов (*Алексеевко и др., 2013*).

Геохимические группы элементов (по данным В.И. Вернадского)по *Алексеевко и др., 2013*

Название группы	Элементы	n
Благородные газы	He, Ne, Ar, Kr, Xe	5
Благородные металлы	Ru, Rh, Pd, (Os), Ir, Pt, Au	7
Циклические элементы	H, Be, B, C, N, O, F, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, (Cr), Mn, Fe, Co, (Ni), Cu, Zn, (Ge), As, Se, Sr, (Zr), Mo, Ag, Cd, (Sn), Sb, (Te), Ba, (Hf), (W), (Re), (Hg), (Tl), (Pb), (Bi)	44
Рассеянные элементы	Li, Sc, Ga, Br, (Rb), Y, (Nb), In, I, Cs, Ta	11
Элементы сильно радиоактивные	Po, Rn, Ra, Ac, Th, Pa, U	7
Элементы редких земель	La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu	15

Еще более применимой должна стать при изучении биосферы и ноосферы классификация элементов А.И. Перельмана, по особенностям гипергенной миграции. В основу этой классификации положены наиболее характерные особенности миграции химических элементов в биосфере и их способность концентрироваться на определенных геохимических барьерах (*Алексеевко и др., 2013*).

В геологии довольно часто также используют классификации химических элементов А.Е. Ферсмана и А.Н. Заварицкого, которые приводятся в большинстве учебников по геохимии (*Алексеевко и др., 2013*).

1.3. Влияние техногенеза на распределение макро- и микроэлементов

В понимании А.Е. Ферсмана (*Янин, 2018*) техногенезом является полиэлементным источником загрязнения и приводит к формированию в окружающей среде аномальных геохимических полей (техногенных геохимических аномалий), фиксируемых для химических элементов с высокой технофильностью, повышенной токсичностью, высоким уровнем биопоглощения и обладающих выраженной биоактивностью (*Янин, 2018*).

По данным Ю.Е. Саета и др. (1985) ежегодно со всеми видами отходов в крупных городах в природную среду попадают около 5 тыс. тонн Zn, по 2 тыс. т Cu и Cr, 1100 т Pb, по 300 т Ni, Sb, W, около 50 т Cd и Mo, около 50 т Cd и Mo, около 50 т Ag и др. (Саеет и др., 1985).

По В.И. Вернадскому (положение о ведущей геохимической роли живого вещества) критерием загрязненности или незагрязненности территории является

состояние живых организмов, а в частности территория не загрязнена, если (Глазовская, 2007):

- Не нарушаются газовые, концентрационные и окислительно-восстановительные функции живого вещества системы, регулирующие геохимическое самоочищение системы;
- Биохимический состав первичной и вторичной продукции не изменяется настолько, чтобы вызвать нарушение жизненных функций в каком-либо из звеньев пищевых цепей не только данной системы, но и за ее пределами (при отчуждении биологической продукции);
- Не понижается биологическая продуктивность системы;
- Не понижается информативность системы: сохраняется необходимый для существования системы генофонд;

При нарушении приведенных выше параметров, согласно В.И. Вернадскому, происходит техногенная трансформация природной среды, вплоть до разрушения (Глазовская, 2007). С целью оценки влияния техногенеза на изменение геохимических свойств территорий Н.П. Солнцевой была составлена классификация техногенных факторов (Глазовская, 2007), представленная на рис. 1.2.1.



Рис. 1.2.1. Классификация техногенных факторов по Н.П. Солнцевой (Глазовская, 2007)

1.3.1. Влияние нефтяного загрязнения на распределение макро- и микроэлементов

Загрязнение тяжелыми металлами происходит в ходе попадания в почву вместе с разлитой нефтью и солевыми растворами в местах нефтедобычи. Кроме прямого поступления нефти и солевых растворов, рассматривают загрязнение сопутствующими тяжелыми металлами. Их попутное поступление в почву усугубляет негативное влияние углеводородов и минеральных солей, тормозя процесс естественного самовосстановления почвы (Водяницкий, 2013). В результате освоения нефтяных месторождений происходит геомеханическое воздействие на почвы и растений (Опекунов и др., 2012). Под влиянием объектов инфраструктуры нефтегазовых промыслов наблюдается локальное загрязнение поверхностных горизонтов почв (Опекунова и др., 2020).

Основная проблема при загрязнении нефтью – развитие «битумогенеза», т.е. образование на поверхности торфа битумной корки, блокирующей произрастание растительности. Применяемое при ремедиации искусственное окисление нефти часто бывает малоэффективным в силу различных причин, в том числе из-за токсического действия компонентов нефти (тяжелых металлов и других веществ), попадающих на поверхность вблизи мест нефтедобычи (Водяницкий, 2013). При этом увеличивается биологическая доступность ряда тяжелых металлов (Ogbo, Okhuoia, 2011).

На территориях нефтяных месторождений преобладающими веществами группы полиароматических углеводородов являются низкомолекулярные соединения – нафталин (12%), фенантрен (23%) и флуорантен (16%), что связано с загрязнением легкой нефтью в результате бурения скважин (Опекунова и др., 2022). Основными показателями загрязнения отходами бурения при нефтедобычи являются высокие концентрации Sr, Ba, нефтяных углеводородов и ионов Cl (Opekinov et.al., 2022).

Установлено, что в составе нефти всегда присутствуют два тяжелых металла: Ni и V (Органическая геохимия, 1974). Так же выявляются и другие тяжелые металлы: Cr и Zn (Пиковский и др., 2009). В местах добычи нефти почвы загрязняются также компонентами минерализованных промысловых стоков, буровых растворов и шламов (Иларионов, 2004). В шламовые амбары поступают хлоридно-кальциевые рассолы, обогащенные Fe, Mn, Pb, Sn, Zn, Cu, Ba (Дорожжуква, Янин, 2006; Черников, 2002).

Загрязнение в районах нефтедобычи зависит от типа почв. В минеральных почвах с высоким фоновым содержанием металлов превышение фона часто оказывается

незначительным (*Fiedler et.all, 2009*), но торфяные почвы с низким фоновым содержанием тяжелых металлов загрязняются гораздо сильнее. С нефтью, пластовыми водами и буровыми растворами в торфяные почвы могут поступать V, Ba, Cu, Pb, Cd, Ni, Cr, Zn (*Арестова и др., 2006*). Содержание многих из них многократно увеличивается в золе выживших растений (*Солнцева, 1998*). По данным М.Г. Опекуновой и др. (2007) основными индикаторами нефтяного загрязнения являются повышенные концентрации в почвах Ba, Hg, Zn, Cu, Pb и нафталина одновременно в торфянистых и минеральных горизонтах.

С течением времени органические компоненты нефти окисляются, и их доля в почве снижается (хотя часто очень медленно, возможно, из-за влияния сопутствующих тяжелых металлов). Если они не вымываются и не поступают в водотоки и водоемы, то могут подавлять развитие биоты и ингибировать рост растительности неопределенно долго (*Водяницкий, 2013*). Наиболее чутко на воздействие со стороны объектов добычи углеводородов реагирует растительность, в противопоставление почве и водным объектам (*Опекунова, 2018*).

В Пермском крае выделяют несколько источников заполнения карстовых полостей нефтью: аварийные разливы нефти на поверхности с последующим стоком углеводородной жидкости в карстовые воронки, захоронение отходов в виде слива нефтепродуктов и сточных вод в карстовые воронки (*Максимович и др., 2005; Максимович, Хайрулина, 2011; Оборин и др., 2008; Оборин и др., 1990; Пиковский и др., 2009; Пиковский и др., 2008*). Крупным источником поступления нефти в зону открытого карста является подъем пластовой жидкости по трещинам в горных породах из нефтяной залежи при повышении давления в пласте, а также при разгерметизации обсадных колонн в скважинах (*Пиковский и др., 2014*).

Установлено, что районы развития карстовых образований и присущие им водотоки обладают спецификой, способствующей более интенсивному распространению загрязнения (*Polemio et all, 2009; Waltham et all, 2005*). Доказано, что в случае нефтяного загрязнения ситуация усложняется меняющимся в ходе миграции составом компонентов нефти, растворимостью и адгезией к породам (*Соколов и др., 2015*). Районы развития карста отличаются существенным снижением степенью защищенности подземной гидросферы (*Мещерякова, 2015*) и имеют ряд особенностей, которые создают особые условия для распространения нефтяного загрязнения. Зона

аэрации в таких районах отличается крайне высокой проницаемостью из-за значительной трещиноватости, наличия поноров, воронок, котловин и других карстовых форм. Пустотность массива может достигать 30% и более. Поверхностный сток и, соответственно, загрязнители в таких случаях практически беспрепятственно инфильтруются в массив, загрязняя подземные воды. При значительных утечках нефти трещиноватые зоны и полости могут являться коллекторами нефти и способствовать формированию своеобразных техногенных месторождений (*Мещерякова, Максимович, 2009*). При отсутствии покровных отложений, роль которых в предотвращении загрязнения подземных вод весьма высока, атмосферные осадки, а также проливы, разливы, в том числе нефти практически беспрепятственно поглощаются поверхностными карстовыми формами (*Мещерякова, Максимович, 2011*).

Выделяются элементы, содержание которых обусловлено именно нефтяным загрязнением. В данном случае достаточно универсальным для всех природных зон считается Sr (*Орекунов et.al, 2022*), а также говорят о загрязнении почв V, Ni, Cr, As, Ti (*Водяницкий, 2013; Бачурин, 2019*) (условно к ним добавляют Pb и Zn). При оценке распространения загрязнения вокруг месторождения актуальным является содержание Zn и Pb (*Гамм, Гамм, 2015*). Ni и Cd относят к металлам, которые присутствуют в составе нефти, а значит являются важными для мониторинга нефтезагрязненных территорий (*Турковская и др., 2020*).

1.3.2. Влияние добычи калийных солей на распределение макро- и микроэлементов в почвах

Россия, наряду с Канадой, Белоруссией, Китаем и Германией, является лидером по добыче и производству калийных солей, доля в мировых запасах составляет 22%. В промышленных объемах добыча калийных солей в Российской Федерации ведется только на ВКМС, в Пермском крае.

Добыча и производство калийных солей оказывает негативное воздействие на окружающую природную среду. Это воздействие проявляется в нарушении геолого-структурного строения подрабатываемой территории (*Батулин и др., 2018*), образовании большого объема отходов (*Хайрулина, 2018*), загрязнении поверхностных и подземных вод (*Baure et.al., 2005*), трансформации почвенно-растительного покрова (*Хайрулина и др., 2021*), вплоть до образования солончаков (*Еремченко и др., 2017*).

Образование отходов в ходе разработки месторождений ведет к образованию солеотвалов (терриконов) с рассолосборниками и шламохранилищ, которые, в свою очередь, являются нестационарными источниками выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Также загрязняющие вещества поступают в поверхностные и подземные воды (*Лискова, 2017*) (со стоками с солеотвалов), в почвы (*Khayrulina et.al., 2021*) (в результате чего происходит засоление почв). Отходы представлены легкорастворимыми компонентами (хлоридами калия, натрия и магния) и содержат большое количество потенциально токсичных элементов (Sr, Mn, Ni, Co, Cr, Zn и др.), а также реагентов, используемых для обогащения полезных ископаемых (*Лискова, 2017*).

Помимо загрязнения, актуальной для данной территории является воздействие на недра (*Nitzsche et.al., 2021*). Из-за большого объема изъятия пород возникают пустоты и происходят провалы, которые представляют опасность для людей, проживающих на данной территории. Суммируя все проблемы, возникающие при добыче калийных солей, можно сделать вывод, что в результате происходит антропогенная трансформация природной среды, которая ведет к значительному ухудшению состояния окружающей среды.

Важной частью антропогенной трансформации природной среды является изменение геохимических свойств почвенного покрова (*Андреев, Бузмаков, 2021*). Оно выражается в аккумуляции элементов в концентрациях, превышающих фоновое содержание, и в рассеивании элементов, содержание которых естественно для данной территории. Изменение геохимических особенностей территории в результате добычи калийных солей, подверженной засолению, отмечаются в долине Верхнего Рейна и в целом характерны для стран Европы (*Daliakopoulova et.al., 2016*). Наибольший интерес, в данном случае, представляют потенциально токсичные элементы, загрязнение которыми в конечном итоге влияет на здоровье населения.

1.3.3. Влияние добычи каменного угля и ликвидации добычи на распределение макро- и микроэлементов

Для многих стран горнодобывающая промышленность и переработка полезных ископаемых имеют важное значение. Но в то же время эти отрасли хозяйственной деятельности связаны с огромными проблемами управления потенциально

разрушительными воздействиями на окружающую среду (*Ruppen et.al., 2021*). Горнодобывающая деятельность вносит серьезные изменения в ландшафты, следовательно, и в землепользование (*Redondo-Vega et.al., 2021*). Помимо негативного воздействия на окружающую среду, в ряде исследований отмечают серьезное влияние на здоровье населения (*Nassiri et.al., 2021; Hu et.al., 2021*).

Известно, что территории месторождений полезных ископаемых являются геохимическими аномалиями. Это относится и к месторождениям каменного угля. Проявление техногенеза свойственно и для угольных месторождений. В процессе добычи угля оказывается воздействие на поверхностные и подземные водные объекты, почвы, растительные сообщества (*Bian & Lu, 2013*), происходит изменение ландшафтов и экосистем (*Redondo-Vega et.al., 2021*), то есть происходит техногенная трансформация природной среды.

Воздействия на окружающую среду происходят, как во время эксплуатации месторождений, так и после их ликвидации (*Khayrulina et.al., 2016*). В период эксплуатации месторождений проводится контроль состояния окружающей среды, многие процессы зарегулированы. В результате данных действий оказываемое воздействие становится более предсказуемым. После ликвидации месторождения увеличивается риск возникновения неконтролируемых процессов, которые обуславливают посттехногенную трансформацию природной среды (*Redondo-Vega et.al., 2021*).

Проблема техногенеза на территориях функционирующих и заброшенных угольных шахт актуальна для многих регионов мира. Большая часть исследований в этой области акцентирована на негативное воздействие относительно поверхностных и подземных водных объектов. Именно этим проблемам посвящены исследования в Словакии (*Fazekášová et.al., 2021*), Зимбабве (*Ruppen et.al., 2021*), Испании (*Redondo-Vega et.al., 2021*), Марокко (*Nassiri et.al., 2021; Hu et.al., 2021*), Китае (*Zhang et.al., 2021*), России (*Хорошевская, 2012*).

Большой интерес для нас представляют исследования геохимических особенностей почв в районах воздействия заброшенных горнодобывающих районов. Для Донецкого угольного бассейна остро стоит проблема загрязнения почв металлами с терриконов (*Закруткин и др., 2017*). Это является результатом происходящей ветровой и водной эрозии. Но помимо воздействия функционирующих угольных шахт, в Донецком

угольном бассейне существует проблема последствий ликвидации части шахт (*Голик и др., 2014*). Основными факторами негативного воздействия на окружающую среду, в результате ликвидации ряда месторождения авторы считают (*Голик и др., 2014*): подтопление, обрушение земной поверхности, деградацию земель (засоление, заболачивание, загрязнение металлами). Но самое серьезное последствие – это наличие хранилищ отходов угледобычи. Проблема заключается в том, что они являются причиной газопылевого загрязнения окружающей среды.

По данным А.Ю. Опекунова и др. (2018) горнопромышленное производство приводит к существенному загрязнению окружающей среды рудными (Cu, Zn) и сопутствующими (Cd, Fe, Pb) металлами.

В некоторых регионах имеется опыт рекультивации территорий влияния посттехногенной трансформации природной среды в результате ликвидации угольных месторождений. В Бразилии имеется довольно успешный опыт рекультивации таких территорий (*Cardoso & Mainardi, 2021*). Но, по словам авторов, полное восстановление компонентов природной среды остается невозможным.

Проблема изучения последствий ликвидации угольных месторождения актуальна и для России. На территории Западного Урала расположен КУБ, который эксплуатировался с 1797 г. Сейчас наблюдается техногенная и посттехногенная трансформация природной среды, возникшая в последствие ликвидации угольных шахт (*Максимович и др., 2017*). Несмотря на то, что добыча угля прекращена, на территории КУБа сложилась ситуация, которую считают региональной экологической катастрофой (*Khayrulina et.al., 2016*).

В изучении данной территории сохранился мировой тренд, связанный с большей изученностью влияния на водные объекты. Имеется достаточное число исследований, связанных с оценкой влияния на подземные и поверхностные водные объекты (*Khayrulina et.al., 2016; Максимович, Пьянков, 2018; Pyankov et.al., 2021; Pyankov et.al., 2019*). А также работы, посвященные разработке путей решения проблем загрязнения вод (*Максимович, Пьянков, 2018*). Загрязнение подземных и поверхностных вод произошло по причине затопления шахт (*Максимович, Хайрулина, 2017*). Реки, подвергнутые загрязнению, имеют ярко оранжевый цвет, что можно увидеть на спутниковых снимках. В химическом составе рек присутствует разбавленная серная кислота. Ранее геохимические особенности ландшафтов на территории влияния КУБа

изучали Н.П. Солнцева и Е.М. Никифорова (*Никифорова, Солнцева, 1982; Солнцева, Никифорова, 1983; Никифорова, Солнцева, Сорокина, 1983; Солнцева, Никифорова, 1984*). В своих исследованиях они изучали техногенные потоки, формируемые в результате угледобычи.

Геохимическим особенностям почвенного покрова не уделялось такого внимания со стороны научного сообщества. Процессы, происходящие сейчас на территории КУБа, значительно влияют на все компоненты природной среды, и, это влияние отражается в изменении распределения элементов в почве. В данном случае, наибольшее значение будут иметь следующие виды негативного воздействия: атмосферный перенос поллютантов, создание терриконов, механогенез, перемещение грунтов.

Почвенная среда оказывает большое влияние на здоровье человека (*Hu et.al., 2021*), что в свою очередь определяет важность исследования загрязнения почв. Почва является буферной средой, принимая в себя потоки миграции из других компонентов природной среды: атмосферного воздуха, водных объектов, растительности и животного мира. Геохимический состав почв на конкретной территории отражает природные особенности и техногенную нагрузку (*Андреев, Бузмаков, 2021; Федоров и др., 2021*). Изучение валового содержания макро- и микроэлементов позволяет выявить особенности накопления и рассеивания элементов (*Дзюба, 2021*), которые были сформированы в результате техногенной и посттехногенной нагрузки, и, оценить степень загрязнения почв. При оценке рассеивания и накопления элементов необходимо учитывать кларки (*Касимов, Власов, 2015*) и региональное фоновое содержание химических элементов.

При изучении влияния техногенеза актуально использование ГИС-технологий (*Санников и др., 2018; Бузмаков и др., 2021*), в том числе для выявления пространственных последствий добычи угля. Так ученые из Китая провели оценку последствий экстенсивной добычи угля на природную среду города Цзяванг, в котором на протяжении многих десятилетий ведется добыча угля (*Bian & Lu, 2013*). Применение ГИС-технологий позволяет проводить анализ пространственного распределения химических элементов (*Hu et.al., 2021*), оценивать степень трансформации природной среды (*Санников и др., 2018*) и выявлять риски для здоровья населения (*Wang et.al., 2022; Rustamov, İsmaylova, 2022*). Например, для изучения загрязнения металлами в районе заброшенных угольных шахт в США исследователи применили методы кокринга

и крининга для пространственной интерполяции содержания металлов в почве (*Magno et.al., 2021*). Они пришли к выводу, что разработка моделей пространственной регрессии и учет физико-химических свойств почв повышает точность пространственной интерполяции металлов. Изучение пространственного распределения металлов в Китае сопровождалось применением ГИС (*Hu et.al., 2021*), которые использовали индекс Немерова, индекс геоаккумуляции и индекс оценки риска. Авторы пришли к выводу, что интерполяция в основе с индексом геоаккумуляции больше всего подходит для изучения источников загрязнения почв металлами.

Обобщая вышесказанное, можно говорить о недостаточной изученности геохимических особенностей почв на территории КУБа. Исследования этого вопроса в других странах показало, что изучение загрязнения почв металлами крайне важно и необходимо, в том числе для оценки влияния его на здоровье населения. Несомненно, важно в ходе проведения таких исследования применять современные методы обработки и представления данных, таких как ГИС.

1.4. Подходы по эколого-геохимическому районированию территорий

Элементный состав почв формируется под влиянием ряда факторов, из которых большую роль оказывает состав подстилающих горных пород (*Silva et.al., 2022*). Но часто высокие концентрации элементов связывают именно с влиянием антропогенной деятельности (*Rezaei et.al., 2021; Pashkevich et.al., 2020; Rezaei, et.al., 2019*). Особенно актуальна эта проблема для горнодобывающих районов, где, из-за высокого загрязнения, возможно рассеивание опасно потенциальных элементов на большие расстояния (*Martínez-López et.al., 2020*).

В рамках прикладных исследований важную роль занимает изучение геохимической специализации отдельных регионов (*Ayari et.al., 2022*). Значение фоновых содержаний на определенной территории позволяет изучать возможные экологические риски (*Yu et.al., 2021; Solgi, & Jalili, 2021; Long et.al., 2018*), причем в данном случае актуальнее всего после изучения фоновых территорий, выявлять территории, испытывающие высокую антропогенную нагрузку. Изучение геохимических особенностей территории возможно с целью ее рационального зонирования, как это было сделано в прибрежной зоне Южной Кореи (*Jung et.al., 2021*),

территории с высоким содержанием селена и кадмия в Китае (*Wang et.al., 2019*) или для геоэкологического районирования в целом (*Podlipskiy et.al., 2020; Ahmadi et.al., 2017*).

Основными причинами, определяющими изменчивость химического состава компонентов природной среды, служат литологический и химический составы почвообразующих пород и зонально-азональная ландшафтно-геохимическая дифференциация, выражающаяся в интенсивности торфонакопления (*Опекунова и др., 2019*).

В основе ландшафтно-геохимического районирования территорий по М.А. Глазовской (*2007*) лежат территориальные различия современных условий миграции элементов, сформированные в результате природных и техногенных процессов. В основу районирования закладываю литогеохимические особенности территории, и в соответствии с ними выделяются (*Глазовская, 2007*):

- Ландшафтно-геохимические пояса;
- Ландшафтно-геохимические области;
- Ландшафтно-геохимические зоны;
- Ландшафтно-геохимические провинции.

В основе эколого-геохимического районирования, чаще всего, лежат принципы системного анализа и положения о геосистемах, разработанные В.Б. Сочавой (*1978*). В основу ландшафтно-геохимического районирования по М.А. Глазовской (*1988*) положены следующие критерии (*Глазовская, 1988*):

- территориальные различия современных условий водной и биогенной миграции элементов, определяющих миграционную способность поступающих в ландшафты химических веществ;
- комплексы ландшафтно-геохимических процессов, в результате которых накопились те или иные органические и минеральные соединения;
- литогеохимические особенности территории.

В результате, можно сделать вывод, что при проведении районирования территории необходимо учитывать дифференциацию природной среды и техногенную нагрузку, в результате которой происходит влияние на процессе миграции элементов.

1.5. Геохимические исследования в Пермском крае

Во многом изучение геохимических особенностей территории Пермского края проводилось в аспекте поиска месторождений полезных ископаемых (*Копылов, 2021*), в рамках которого проводилось изучение почвенных горизонтов В и С, и сильно реже исследовалось содержание в горизонте А.

Геохимическим картированием занимались Г.А. Вострокнутов, Г.П. Гапонцев, В.И. Демидов, В.А. Чувиллин, И.С. Копылов, Л.В. Алексеева. Геологосъемочными и поисковыми работами занимались А.М. Кропачев, Б.М. Осовецкий, Р.Г. Ибламинов, А.М. Чумаков, И.А. Эсмонтович, Б.Д. Аблизин, И.Б. Попов, В.Я. Алексеев, Б.В. Клименко, В.М. Бабенышев, Т.В. Харитонов, В.В. Оборин, А.Г. Попов, С.Б. Суслов и др., различными специализированными исследованиями, особенно нефтепоисковыми А.А. Оборин, Б.А. Бачурин и экологическими С.М. Блинов, Е.А. Ворончихина, Н.Г. Максимович. В результате проведения данных исследований на территории региона были выделены различные геохимические аномалии (*Копылов, 2021*). По заключению И.С. Копылова (*2021*) общая геолого-геохимическая изученность территории довольно высока, но крайне неравномерна.

М.А. Глазовская территорию Пермского края относила к Верхнекамской ландшафтно-геохимической области (*1988*). А.М. Кропачев и Е.А. Белозерова (*1998*) позднее определили геохимические районы на территории региона, выделив следующие (*Кропачев, Белозерова, 1998*):

- элювиально-трансэлювиальный район Урала;
- элювиально-субэлювиальный район с подрайонами:
 - Верхнекамской водно-ледниковой равнины;
 - Предуральского прогиба;
- субэлювиально-трансэлювиальный район на приподнятом пенеппене Уфимского плато.

Изучая литогеохимические особенности территории Пермского Приуралья и Урала, И.С. Копыловым были предложены средние содержания некоторых элементов (*Копылов, 2012*), и создано ландшафтно-геохимическое районирование Пермского края (*Копылов, Даль, 2015*). В рамках проведенного исследования были выделены следующие элементарные ландшафты (*Копылов, Даль, 2015*): трансэлювиальные (верхние части склонов), элювиально-аккумулятивные (нижние части склонов) и аккумулятивно-

элювиальные (местные депрессии). В таблице 1.5.1 показаны средние содержания элементов, предложенные И.С. Копыловым (2012).

Таблица 1.5.1

Средние содержания элементов (мг/кг) по И.С. Копылову (2012)

Sr	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Mn	Cr	V	Ti
86	29	82	66	37	17	1280	290	99	3520
Mo	Sn	Cd	Ga	Hg	Zr	Be	Ba	P	
1,3	13	3	12	0,005	380	7	333	660	

Ранее, изучая геохимические особенности территории региона, А.М. Кропачевым и Е.А. Белозеровой (1998) были выделены следующие районы: элювиально-трансэлювиальный район Урала, элювиально-субэлювиальный район (с подрайонами Верхнекамской водно-ледниковой равнины и Предуральского прогиба) и субэлювиально-трансэлювиальный район на приподнятом пенеплене Уфимского плато.

Особое внимание в рамках геохимических особенностей территорий посвящено изучению заповедных территорий региона. Была проведена оценка влияния на загрязнение почв металлами территории заповедников «Басеги» и «Вишерский» в результате трансграничного переноса (Хайруллина и др., 2011; Бахарев и др., 2012). В результате исследования сделан вывод, что, несмотря на значительную удаленность от объектов хозяйственной деятельности на территориях заповедников фиксируется влияние антропогенной деятельности, выраженное в накопление техногенных элементов. Вследствие чего, можно говорить о том, что в целом в процессе антропогенной деятельности изменяется и общее фоновое содержание на территориях.

Полученные результаты по изучению заповедных территорий легки в основу изучения влияния антропогенной деятельности на территории крупных промышленных городов: Пермь, Березники, Красновишерск, Соликамск (Ворончихина и др., 2013). В результате, для данных городов как приоритетные загрязнители были выявлены Co, Zn, Pb, As, Ni, Cr, V, Mn.

Е.А. Ворончихина и В.И. Ждакаев (2019) изучали содержание As в естественных и техногенных ландшафтов Пермского края. В результате они выявили, что в почвенном покрове региона As накапливается на территориях техногенного влияния (в частности на территориях добычи нефти и калийных солей). Такое накопление As объясняется изначально ее свойствами к активной миграции благодаря высокой водорастворимости,

атмосферной летучести, химическое взаимодействие со многими металлами и серой, высокой сорбционной и биохимической активности.

На территории Верхнекамского месторождения солей проводилось отдельное изучение накопления микроэлементов в техногенных поверхностных образованиях и растениях (Еремченко и др., 2014). В техногенных поверхностных образованиях, в результате данного исследования, было выявлено высокое накопление Cu, Mn, Pb и Co. В растениях было отмечено повышенное содержание Ba, Cd, Ni, Cr, Cu, Zn и Li.

О.З. Еремченко и др. (2016) получили данные по средним содержаниям металлов в крупных городах Пермского края, разделяя городские территории на природно-рекреационные, промышленные, селитебные зоны и зоны жилой застройки. В результате чего, они пришли к выводу, что ведущими факторами, ведущими к накоплению элементов, являются химизм пород и техногенная нагрузка.

А.А. Васильев и А.Н. Чащин (2011) оценивали содержание тяжелых металлов в городе Чусовом, который в большой степени испытывает антропогенное воздействие в результате металлургического производства. В результате, они выявили, что геохимические особенности почв исследуемой территории определяются как естественными, так и техногенными факторами. Причем, они выявили, что техногенный фактор преобладает в техноземах, а антропогенный – в агроземах. Металлургическое производство, по их данным, является причиной накопления в почвах Fe_2O_3 , TiO_2 , SO_3 , CaO в поверхностных горизонтах почв.

В геохимическом смысле, территория Пермского края изучена фрагментарно, а имеющиеся геохимические районирования в большей степени являются литогеохимическими, и характеризуют геологическую среду.

Выводы по главе 1

1. Основной проблемой исследования в геохимии была и остается проблема миграции химических элементов, изучение закономерностей аккумуляции и рассеивания веществ. В ходе изучения факторов, которые оказывают влияние на геохимические процессы, высокую роль играет учет кларков элементов.

2. Выделяются элементы, содержание которых обусловлено нефтяным загрязнением. В данном случае достаточно универсальным для всех природных зон считается Sr, так же говорят о загрязнении почв V, Ni, Cr, As, Ti. При оценке распространения загрязнения вокруг месторождения актуальным является содержание

Zn и Pb. Ni и Cd относят к металлам, которые присутствуют в составе нефти, а значит, являются важными для мониторинга нефтезагрязненных территорий.

3. При добыче калийных солей происходит антропогенная трансформация природной среды, которая ведет к значительному ухудшению состояния окружающей среды, в том числе выражающемуся в загрязнение территории химическими элементами.

4. Можно говорить о недостаточной изученности геохимических особенностей почв на территории КУБа. Исследования этого вопроса в других странах показало, что изучение загрязнения почв металлами крайне важно и необходимо, в том числе для оценки влияния его на здоровье населения.

5. В процессе разработки геохимического районирования территории необходимо учитывать дифференциацию природной среды и техногенную нагрузку, в результате которой происходит влияние на процессе миграции элементов.

6. В геохимическом смысле, территория Пермского края изучена фрагментарно, а имеющиеся геохимические районирования в большей степени являются литогеохимическими, и характеризуют геологическую среду.

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

Для характеристики геоэкологической обстановки в Пермском крае в первую очередь важно определить природные региональные особенности (физико-географическая характеристика), а так же выделить основные виды антропогенного воздействия на территории края, оценить степень антропогенной трансформации территории. В данном случае под антропогенной трансформацией природной среды, по определению С.А. Бузмакова (2012), понимается «процесс изменения природных компонентов и комплексов под воздействием производственной и любой другой деятельности людей». В основном воздействие деятельности людей направлено на перемещение, извлечение из окружающей среды, концентрирование и перегруппировку минеральных и органических соединений, что сопровождается изменением компонентов природной среды.

2.1. Природные особенности Пермского края

Изучением природных особенностей Пермского края занимались многие ученые, исследуя отдельно тектонику и геологию региона (*Горбунова, 1992; Максимович, 1969; Назаров, 1993; Печеркин, 1969; Софроницкий, 1967, 1969*), геоморфологические особенности и рельеф (*Горбунова, 1992; Карандеева, 1957, 1959; Мазур, 1970; Максимович, 1969; Назаров, 1993; Печеркин, 1969; Копытов, 2016*), климат (*Шкляев, 1963; Шкляев и Шкляева, 2006; Калинин, 2015; Шихов, 2014; Пьянков и др., 2016*), гидрологию и гидрогеологию (*Комлев, 1984, 2011; Калинин, 2014; Коробков, 1959; Назаров, 2004; Соболева, 1981; Шимановский и Шимановская, 1973; Двинских, 2005*), почвы (*Вологжанина, 2000; Еремченко, 2009, 2010; Коротаев, 1961, 1962; Шестаков, 2012; Самофалова, 2017, 2018*), растительный мир (*Воронов и др., 2005; Генкель, 1974; Овеснов, 1997, 2000, 2009; Огуреева, 1974; Симкин, 1974; Ефимик, 2015; Гатина, 2009, 2016, 2020; Абдулманова, 2017, 2018; Баландин, 2019*), животный мир (*Воронов, 2010, 1993; Воронцов, 1949; Шураков и др., 1989; Зиновьев, 2004; Зиновьев, Костицин, 2001; Зиновьев, Бакланов, 2000; Рябинцев, 2001; Шепель и др., 2001; Шепель, 1992; Шепель, Матвеева, 2014; Шепель, 1992, 2012; Мишланова, 2019*), экосистемы и ландшафты (*Воронов, 1993; Генкель, 1974; Назаров, 1996, 1998; Симкин, 1974; Чазов, 1960; Андреев,*

2012, 2015; Санников и др., 2018; Санников, 2014, 2015, 2018; Овеснов и др., 2020; Сивков, Санников, 2018; Зайцев, 2012, 2015; Бузмаков, 2020; Копылов, 2010, 2011, 2012, 2014, 2021).

Разнообразие природных условий территории Пермского края обусловлено его географическим положением. Пермский край расположен на восточной окраине Русской равнины и в западных предгорьях и горах Урала, на стыке двух частей света – Европы и Азии, сочетая в себе равнинную и горную части. Площадь территории края 160 237 км². Максимальная протяженность с севера на юг 645 км, с запада на восток – почти 420 км. Границы края извилисты и имеют протяжённость более 2,2 тыс.км. Самой крупной рекой края является Кама (*Атлас Пермского края, 2012*).

Отдельные части региона различаются по своим природным особенностям, что находит свое отражение в комплексных и тематических районированиях края. Для учета пространственной неоднородности природной среды Пермского края А.А. Зайцев и С.А. Бузмаков выделяют природные районы (*Бузмаков, Зайцев, 2011; Бузмаков, 2020*):

- I. Северный Урал,
- II. Западный Урал,
- III. Средняя тайга,
- IV. Южная тайга,
- V. Хвойно-широколиственных лесов,
- VI. Кунгурская лесостепь.

Указанные природные районы выделены на основе биогеоценотической организации и географической соразмерности. Пространственные варианты биогеоценотического покрова учитывают зональные, подзональные характеристики и высотно-поясные спектры экосистем. И по выводам С.А. Бузмакова (2020) не противоречат краевым биогеографическим районированиям (*Овеснов, 2009*), разделению территории Урала и России на биомы (*Горчаковский, 1975; Огуреева и др., 2018; Чибилев, 2011*), а также соответствуют природоохранным экорегионам мира (*Bailey, 2014; Olson et.al., 2001*). Природное районирование региона представлено на рис. 2.1.1.

Изучение геохимических особенностей Пермского края наиболее корректно проводить исходя из данного природного районирования, так как оно наиболее комплексно учитывает природную дифференциацию региона.

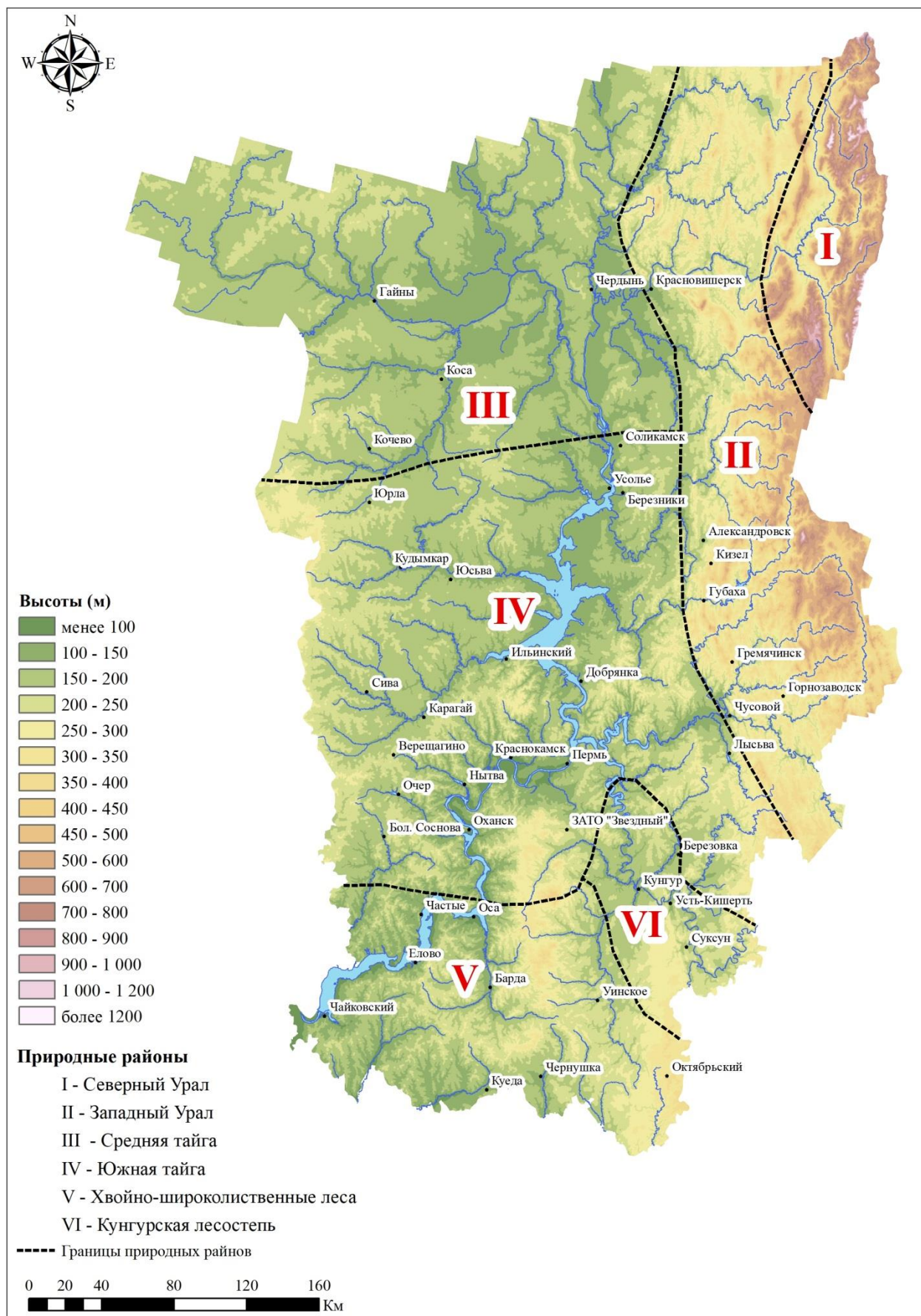


Рис.2.1.1. Природные районы Пермского края (Бузмаков, Зайцев, 2011; Бузмаков, 2020)

Природный район **Северный Урал** расположен на северо-востоке Пермского края, занимает 6% территории Прикамья. Здесь расположены самые высокие на территории региона хребты, отдельные вершины которых достигают высот 1100-1400 м. (*Атлас особо..., 2017*). Район Северного Урала представлен типичными экосистемами для центральной части Уральских гор. Хорошо выражена подгольцовая поясность. В биогеоценотическом покрове пояса североуральской горной тайги преобладают еловые, пихтово-еловые, елово-кедровые леса с разреженным древостоем. Подгольцовый пояс состоит из парковых криволесий, редколесий, кедровиков, пихтачей, лугов и пустошей (*Бузмаков, 2020; Горчаковский, 1975*). Горная тундра включает в себя лишайниковые, кустарничковые, моховые биогеоценозы. Каменистые россыпи, покрытые лишайниками, имеют интрапоясное распространение от вершин гор до тайги (*Бузмаков, 2020; Горчаковский, 1975*). Почвенный покров района представлен в основном горными лесо-луговыми почвами и подбурами таежными, фрагментарно встречаются дерново-карбонатные почвы (*Национальный атлас..., 2011*).

Природный район **Западный Урал** расположен в восточной части Пермского края и занимает 20% территории региона (*Атлас особо..., 2017*). Западный Урал представлен горными аналогами средней и южной тайги. По горам и предгорьям биогеоценозы средней тайги могут проникать на юг вплоть до р. Чусовой. В высоких горах, например Басегах, выражена подгольцовая поясность, включая не только подгольцовый, но и горнотундровый пояс. Верхняя граница развития леса часто обусловлена отсутствием плодородного почвенного слоя на россыпях (*Бузмаков, 2020; Горчаковский, 1975*). Почвенный покров представлен в основном подзолистыми почвами. На севере района распространены подзолистые, преимущественно сверхглубокоподзолистые почвы, а в центральной и южной части наблюдается переход к подзолистым преимущественно глубокоподзолистым и преимущественно неглубокоподзолистым. Также широко распространены на границе с Северный Уралом буро-таежные иллювиально-гумусовые почвы, а в южной части дерново-подзолистые неглубокоподзолистые (*Национальный атлас..., 2011*).

Природный район **Средняя тайга** приурочен к северной части края и занимает 25% территории региона. Для района характерны сравнительно однообразный рельеф и значительная заболоченность (*Атлас особо..., 2017*). Средняя тайга, вариант таежного

зонобиома, представлена темнохвойными и светлохвойными биогеоценозами. Преобладают ельники черничные, зеленомошные, травяно-черничные и разнотравные. Значительна доля сосняков вересковых, лишайниковых, брусничных, долгомошных и сфагновых (Бузмаков, 2020). В почвенном отношении район не однороден и отличается высокой пестротой почвенного покрова. На территории района распространены подзолистые глубокоподзолистые почвы, подзолы иллювиально-железистые, так же имеют высокое распространение торфяные болотные, в основном верховые, почвы (Национальный атлас..., 2011).

Природный район **Южная тайга** расположен в центральной части Пермского края и занимает 32% территории региона. Специфической особенностью экосистем южной тайги заключается в появлении широколиственных пород, в первую очередь липы (Атлас особо..., 2017). Природный район южной тайги состоит, прежде всего, из пихтово-еловых травяных, зеленомошных, кисличных, черничных лесов, а также зеленомошных, травяных, черничных и брусничных боров (Бузмаков, 2020). Почвенный покров в основном представлен дерново-подзолистыми преимущественно неглубокоподзолистыми и глубокоподзолистыми. Фрагментарно встречаются глубокоподзолистые почвы и подзолы иллювиально-железистые (Национальный атлас..., 2011).

Природный район **Хвойно-широколиственных лесов** расположен на юге Пермского края и занимает около 13% территории региона (Атлас особо..., 2017). Район хвойно-широколиственных лесов относится к подтаежной зоне. Преобладают сложные травяные леса со значительным участием липы. Хорошо развита ярусность в экосистемах. Биогеоценотический покров зонально изменяется от пихтово-еловых лесов на севере до липняков и дубрав на юге (Бузмаков, 2020). В районе распространены дерново-подзолистые почвы, представленные преимущественно неглубокоподзолистыми и глубокоподзолистыми. Так же встречаются пойменные и светло-серые лесные почвы (Национальный атлас..., 2011).

Природный район **Кунгурская лесостепь** расположен в юго-восточной части Пермского края, занимает около 4% территории региона. Для района характерно сильное развитие карстового процесса в известняках, гипсах и ангидридах перми (Атлас особо..., 2017). Кунгурская лесостепь представляет собой анклав реликтовых экосистем среди хвойношироколиственных лесов. Степные сообщества представлены

типчачковыми, ковыльными, полынными, каменистыми, кустарниковыми, луговыми и тимьяновыми вариантами. Особенностью биогеоценотического покрова лесостепи считаются парковые березняки, наличие яруса вишни, степного разнотравья, сосновые боры с участием степных и горных видов. Также здесь произрастают сложные и травяные леса (Бузмаков, 2020). Район представлен светло-серыми, светло-серыми лесными и пойменными почвами, так же на территории района находится ареал распространения черноземов оподзоленных. (Национальный атлас..., 2011)

Рассматриваемая территория по М.А. Глазовской (1988) находится в пределах Верхнекамской ландшафтно-геохимической области, в пределах которой А.М. Кропачевым и др. (1998) выделены элювиально-трансэлювиальный район Урала, элювиально-субэлювиальный район (с подрайонами: Верхнекамской водно-ледниковой равнины и Предуральского прогиба) и субэлювиально-трансэлювиальный район на приподнятом пенеппене Уфимского плато.

Далее более подробно охарактеризуем физико-географические условия на территории края: тектонику и геологию; геоморфологию и рельеф; климат; гидрологию и гидрогеологию; почвы; растительность; животный мир; экосистемы.

В тектоническом отношении Пермский край расположен в пределах восточной окраины Восточно-Европейской платформы, Предуральской и Предтимаанской впадин, западной части складчатого Урала и Тимаанского кряжа (Проворов, 2006). Для края характерно меридиональное развитие тектонических структур и ландшафтов – западная и центральная части территории находятся на восточной окраине платформы, которая к востоку сменяется Предуральской впадиной, переходящей в Западно-Уральскую зону складчатости и Центрально-Уральское поднятие. На поверхности обнажаются осадочные породы палеозойского и мезозойского возраста. На складчатом Урале и на Тимане обнажаются осадочные, метаморфические и магматические породы возраста от рифея до нижнего палеозоя (Атлас Пермского..., 2012).

Для всей территории Пермского края характерен умеренный континентальный климат. Климатические условия региона формируются под определяющим влиянием западного переноса воздушных масс. Значительное влияние на климатические условия Пермского края оказывают также особенности рельефа территории. За счет барьерного влияния Уральских гор на востоке и особенно на северо-востоке края среднегодовые

температуры воздуха несколько ниже, чем на той же широте на западе территории, и выпадает значительно больше осадков (*Атлас Пермского..., 2012*).

Гидрогеологические особенности Пермского края определяются разнообразием орографических и геологических условий. В четвертичных, мезозойских, палеозойских и протерозойских образованиях региона обнаружены порово-грунтовые, трещинно-грунтовые, трещинно-пластовые, трещинные, трещинно-карстовые, карстовые и пластовые воды, которые находятся в разных гидродинамических условиях. Равнинная часть края входит в состав восточной окраины Волго-Камского межпластового артезианского бассейна, а горная – в бассейн трещинных вод складчатого Урала. Тип подземных вод определяется литологией пород. Так, для рыхлых аллювиальных, элювиальных и делювиальных отложений наиболее характерны поровые грунтовые воды, которые расположены на небольшой глубине. Для коренных песчано-глинистых мезозойских и пермских отложений прогиба и платформы характерны уже трещинно-грунтовые воды. Они образуют первый повсеместно развитый на небольшой глубине водоносный горизонт. Ниже к пластам и линзам песчаников, конгломератов и мергелей приурочены трещинно-пластовые, а к прослоям известняков – трещинно-карстовые воды. Их глубина залегания различается, но обычно, больше, чем грунтовых вод. В карбонатных и сульфатных породах, а также в линзах солей, развиты карстовые воды (*Шимановский, Шимановская, 1973*).

Пермский край расположен в северо-восточной части Восточно-Европейской равнины (около 80 %) и на западных склонах Среднего и Северного Урала (около 20%). Современный рельеф региона является результатом взаимодействия экзогенных и эндогенных факторов. Основные характеристики рельефа в равнинной части имеют платформенный режим развития и предопределены тектоникой. Значительную роль здесь играют аккумулятивные и денудационные процессы. Большое влияние на рельефообразование оказывают неотектонические движения (*Атлас Пермского..., 2012*).

На территории края широкое развитие имеет карст карбонатных, сульфатных и соляных пород (*Максимович, Горбунова, 1967*).

Территория Пермского края практически полностью расположена в бассейне реки Кама и покрыта густой гидрографической сетью. Общее количество рек в крае – 29 179, общей протяженностью 90 014 км. Большинство рек края (29 157) – малые, длиной менее 10 км и общей протяженностью 84 147 км. Сорок рек превышают длину в 100 км

и относятся к разряду средних, из них девятнадцать рек превышают длину в 200 км, имея общую протяженность 4 759 км. Протяженность свыше 300 км имеют реки: Кама, Чусовая с Сылвой, Косьва, Яйва, Вишера с Колвой, Коса. Из них только две реки относятся к разряду больших, длиной свыше пятисот километров: Кама и Чусовая. Основная часть рек относится к бассейну р. Камы, которая по длине занимает 6 место в Европе. Река Кама обеспечивает связь г. Перми с 5 морями: Каспийским, Азовским, Черным, Балтийским и Белым. Лишь незначительная часть рек Гайнского района, прилегающего к Республике Коми, относится к бассейну р. Вычегды (Северный Ледовитый океан) (*Атлас Пермского..., 2012*).

На территории края представлены все типы внутренних водных объектов – реки, водохранилища, пруды, озера, болота. Гидрографическая сеть бассейна р. Камы отличается сложностью, что связано с разнообразием форм рельефа, наличием частых водоразделов (*Атлас Пермского..., 2012*).

В верховьях многие современные реки Урала меандрируют по днищам межгорных депрессий. Наличие продольных участков долин наряду с поперечными, по которым реки перерезают хребты, является одной из особенностей Западного Урала. Следствием этой особенности является коленчатый, зигзагообразный характер речной сети, при котором одна и та же река на различных участках течет в разных меридиональных долинах, переходя из одной в другую путем прорыва хребтов в широтном направлении (*Атлас Пермского..., 2012*).

Из-за хороших условий дренирования почвы на территории края площадь, занятая озерами, составляет менее 1 % (120 км²). Озера мелководные, со средней глубиной от 0,5 до м. Подавляющее их большинство имеет площадь менее 1 км². В Пермском крае насчитывается 750 озер. Наиболее крупные озера расположены на севере края (Чусовское (19,4 км²), Новожилово (7,1 км²), Нюхти (6,3 км²), Адово (3,7 км²). Подавляющее большинство озер имеют площадь менее одного квадратного километра. В связи с небольшими размерами котловин объемы воды невелики. Для озер характерны плавные очертания берегов и ровное дно (*Атлас Пермского..., 2012*).

На территории края насчитывается более 1 000 болот, которые вместе с заболоченными лесами занимают площадь около 25 000 км². Чаще болота встречаются в пределах Горного Урала и Приуралья. Болота северной части Приуралья входят в Камско-Ветлужскую провинцию евтрофных и олиготрофных сосново-сфагновых

торфяников. На самом юге края встречаются тростниковые и крупноосоковые типы болот. Заболоченность территории Предуралья невелика, лишь в бассейнах отдельных рек она составляет 3-5%. Болота из первой названной провинции приурочены большей частью к долинам рек Кама, Вишера, Яйва, Косьва, Чусовая и их притоков (*Атлас Пермского..., 2012*).

Характер питания поверхностных водных объектов преимущественно снегового типа, с четко выраженным весенним половодьем, летне-осенними дождевыми паводками и устойчивой зимней меженью. Доля талых вод в суммарном стоке рек достигает 80 % в южных районах и 60-65 % – в возвышенных частях бассейна. В среднем 25-35 % годового стока формируется грунтовым питанием (*Атлас Пермского..., 2012*).

На территории Пермского края в связи с рельефом, неоднородностью материнских почвообразующих пород и биоклиматических условий наблюдается большая пестрота почв (*Н.Я. Коротаев, 1962; Национальный атлас почв РФ, 2011*). На рисунке 2.1.2 представлена карта почв Пермского края. Всего в Пермском крае насчитывается 31 типов и подтипов почв (из числа основных, распространённых на территории края). Более распространёнными (табл. 2.1.1) являются дерново-подзолистые (преимущественно глубокоподзолистые и неглубокоподзолистые).

В северных районах под мохово-кустарничковыми среднетаежными пихтово-еловыми лесами на сравнительно бедных основаниях покровных суглинках и глинах развиты подзолистые почвы, на песчаных отложениях – подзолы, в условиях избыточного увлажнения – почвы болотно-подзолистого и болотного типов (*Н.Я. Коротаев, 1962; Национальный атлас почв РФ, 2011*).

В центральных и южных районах области на элювиально-делювиальных глинах и суглинках, которые сравнительно богаче основаниями, под пологом лиственно-хвойных травяных лесов сформировались почвы дерново-подзолистые. На склонах холмов при близком залегании известковых материнских пород представлены дерново-карбонатные глинистые почвы. В пониженных элементах рельефа под воздействием минерализованных почвенно-грунтовых вод образовались почвы дерново-глеевого типа (*Н.Я. Коротаев, 1962; Национальный атлас почв РФ, 2011*).

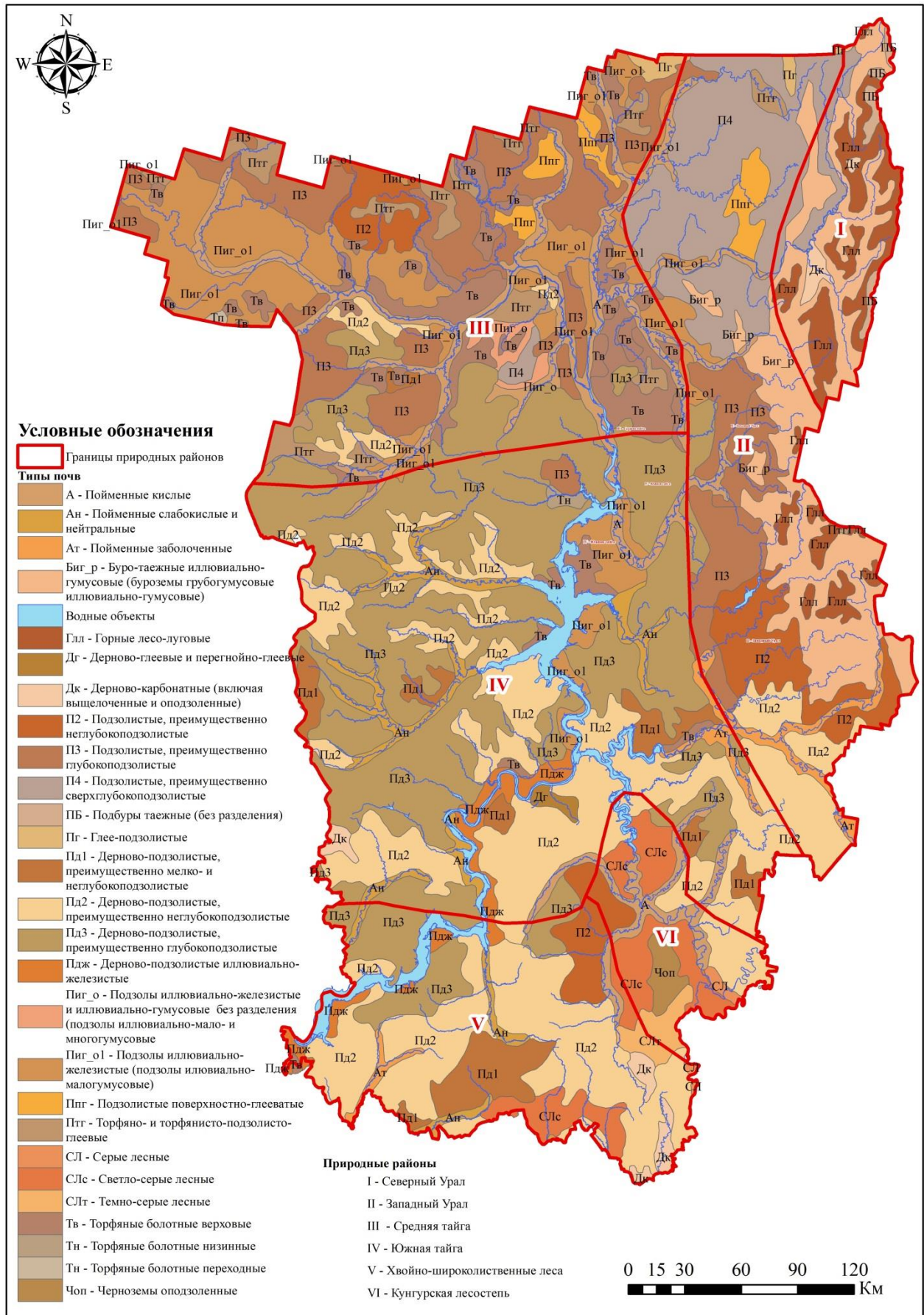


Рис. 2.1.2. Почвы Пермского края (Национальный атлас., 2011)

Перечень основных типов и подтипов почв региона

№	Почвы	Состав почвенного покрова, %
1	Дерново-подзолистые преимущественно глубокоподзолистые	20,8
2	Дерново-подзолистые преимущественно неглубокоподзолистые	18,3
3	Подзолистые, преимущественно глубокоподзолистые	8,4
4	Подзолы иллювиально-железистые (подзолы иллювиально-малогумусовые)	7,4
5	Буро-таежные иллювиально-гумусовые (буроземы грубогумусовые иллювиально-гумусовые)	6,5
6	Подзолистые, преимущественно сверхглубокоподзолистые	5,9
7	Подзолистые, преимущественно неглубокоподзолистые	4,7
8	Пойменные кислые	4,1
9	Торфяные болотные верховые	3,1
10	Пойменные слабокислые и нейтральные	2,9
11	Дерново-подзолистые преимущественно мелко-и неглубокоподзолистые	2,8
12	Светло-серые лесные	2,5
13	Горные лесо-луговые	2,2
14	Вода	1,9
15	Торфяно- и торфянисто-подзолисто-глеевые	1,7
16	Пойменные заболоченные	1,2
17	Подзолистые поверхностно-глееватые	1,1
18	Дерново-карбонатные (включая выщелоченные и оподзоленные)	0,9
19	Дерново-подзолистые иллювиально-железистые	0,8
20	Подзолы глеевые торфянистые и торфяные, преимущественно иллювиально гумусовые	0,6
21	Подзолы иллювиально-железистые и иллювиально-гумусовые без разделения (подзолы иллювиально- мало- и многогумусовые)	0,5
22	Темно-серые лесные	0,5
23	Черноземы оподзоленные	0,4
24	Глее-подзолистые	0,2
25	Торфяные болотные верховые и торфяные болотные переходные	0,2
26	Буроземы таежные (буроземы грубогумусовые)	0,1
27	Дерново-глеевые и перегнойно-глеевые	0,1
28	Серые лесные	0,1
29	Болотные переходные	0,1
30	Торфяные болотные низинные	0,1
31	Подбуры таежные (без разделения)	0,03
32	Подзолистые, преимущественно мелкоподзолистые	0,02

Особое место занимают почвы Кунгурской лесостепи - оподзоленные и, в небольшом количестве, выщелоченные черноземы, темно-серые, серые и светло-серые почвы. В горной полосе и западных предгорьях Урала, сформировались разнообразные типы буроземов и горных лесо-луговых почв (Н.Я. Коротаев, 1962; Национальный атлас почв РФ, 2011).

Почвы Пермского края заметно дифференцированы по гранулометрическому составу и содержанию органо-гумусового вещества, следовательно, отличаются по реакции на нефтезагрязнение (Н.Я. Коротаев, 1962; *Национальный атлас почв РФ, 2011*).

Подзолистые, дерново-подзолистые, дерново-карбонатные, серые лесные почвы и чернозёмы имеют преимущественно средне- и тяжелосуглинистый гранулометрический (механический) состав (Н.Я. Коротаев, 1962; *Национальный атлас почв РФ, 2011*).

Песчаными и супесчаными почвами являются подзолы иллювиально-железистые, иллювиально-гумусовые, глеевые торфянистые, сформировавшиеся в северной части края на водно-ледниковых и озерно-ледниковых легких породах (Н.Я. Коротаев, 1962; *Национальный атлас почв РФ, 2011*).

По содержанию гумуса преобладающие почвы края относятся к мало- и среднегумусированным. Многогумусовыми являются черноземы, темно-серые почвы и дерново-карбонатные почвы, их суммарная доля в почвенном покрове менее 2% (Н.Я. Коротаев, 1962; *Национальный атлас почв РФ, 2011*).

2.2. Источники антропогенного воздействия на геохимические свойства почв

Пермский край относится к группе регионов с высокоразвитой промышленностью, в которой доминирует тяжёлая (машиностроение, химическая и лесная промышленность), развита добывающая (лес, нефть, минеральное сырьё) и легкая промышленность. Развита сеть автомобильных и железных дорог, водный и трубопроводный транспорт. Сельское хозяйство животноводческо-зернового направления (*Доклад о состоянии..., 2018*).

На территории Пермского края по состоянию на 1 января 2018 г. выявлено и разведано более 1 500 месторождений по 53 видам полезных ископаемых (*Доклад о состоянии..., 2018*).

Насчитывается порядка 180 месторождений углеводородного сырья. В 2017 году открыты новые месторождения нефти: Орловское и Шуруборское. В этой отрасли осуществляет деятельность 38 компаний (*Доклад о состоянии..., 2018*).

Расположено уникальное Верхнекамское месторождение хлористых солей калия, магния и натрия, на котором сосредоточено 90% от общероссийских запасов калийных

солей. Вместе с калийными и магниевыми солями в месторождении сконцентрированы запасы каменной соли, оксида рубидия и брома (*Доклад о состоянии..., 2018*).

В структуре земельного фонда значительную площадь занимают земли лесного фонда – 10 172,8 тыс. га или 63,5% территории края, площадь земель сельскохозяйственного назначения составляет 4 309,1 тыс. га или 26,9% территории, земли запаса занимают 408,2 тыс. га или 2,5%, земли населенных пунктов – 446,6 тыс. га или 2,8%. Остальные категории земель составляют в совокупности 4,3% территории края.

В целом, можно говорить, что часть территории Пермского края испытывает напряженную экологическую нагрузку. Наиболее это характерно для населенных пунктов с развитой промышленностью и наибольшим числом населения (Пермь, Березники, Соликамск, Кизел и др.). Можно говорить, что значительную роль в формировании геоэкологической обстановки на территории Пермского края приносят следующие виды деятельности: нефтедобыча, добыча калийно-магниевых солей, добыча угля. Несмотря на то, что добыча угля на территории Кизеловского угольного бассейна прекращена, на данной территории наблюдается посттехногенная обстановка. Ликвидация шахт привела к значительному ухудшению экологической обстановки.

Наиболее важными видами промышленности на территории края на данный момент являются добыча нефти и калийных солей. Причем нефтяные месторождения имеют достаточно широкое распространение по территории региона с севера на юг (*Андреев, Шатрова, 2019*).

При добыче нефти (*Eremchenko et.al., 2021; Vuzmakov et.al., 2019*) и калийных солей (*Khayrulina et.al., 2021; Хайрулина и др., 2021*) происходит антропогенная трансформация природной среды, которая выражается в значительном изменении физико-химических свойств почв (*Самофалова, 2019*). Кизеловский угольный бассейн имеет серьезное значение, представляя собой объект региональной экологической катастрофы. Вследствие ликвидации шахт на данной территории сложилась неблагоприятная экологическая обстановка (*Khayrulina et.al., 2016*) территория подвержена высокому уровню загрязнения.

Отдельно рассмотрим размещение объектов нефтедобычи, месторождений калийно-магниевых солей и ликвидированных шахт по добыче каменного угля на территории Пермского края (рис. 2.2.1).

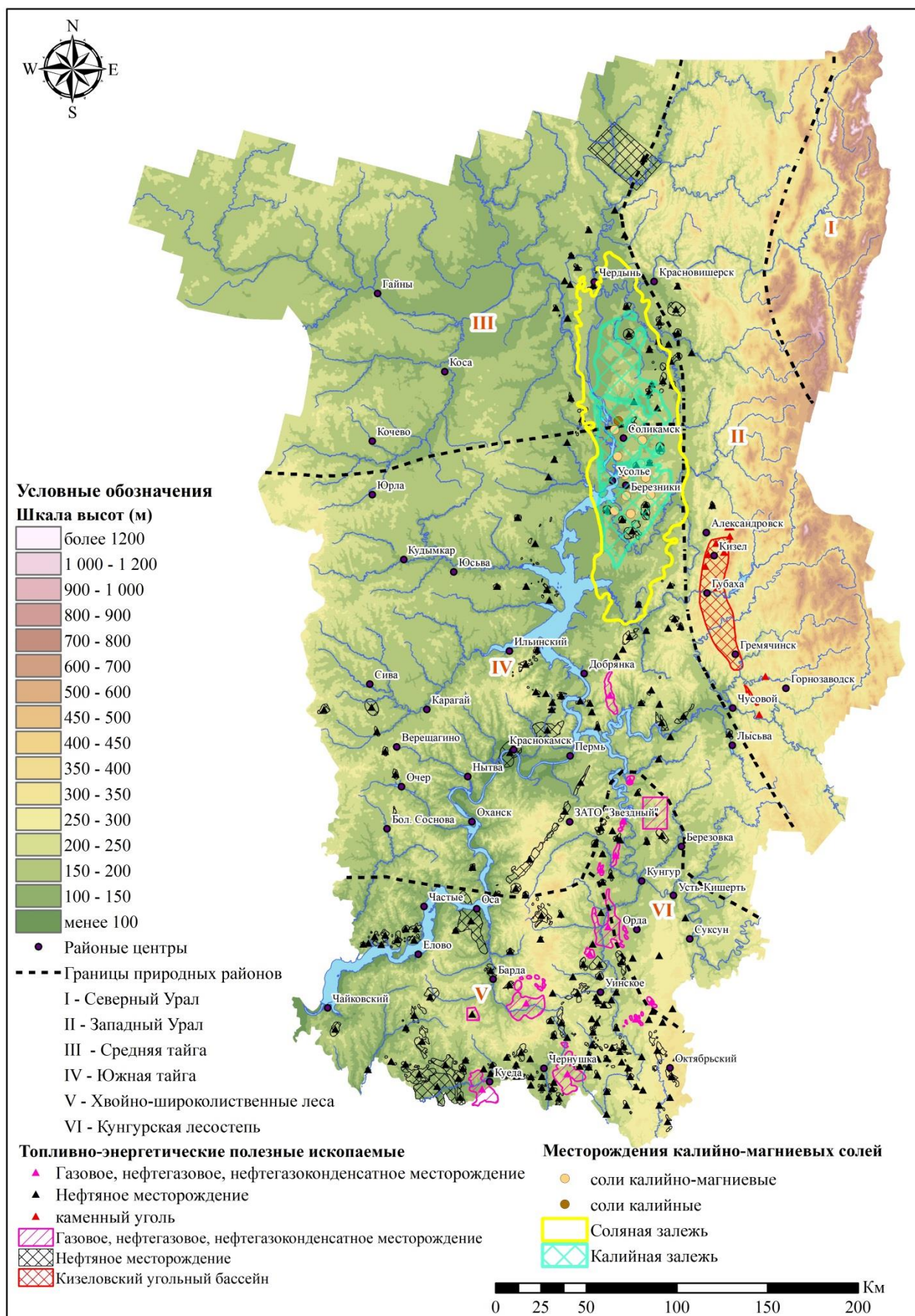


Рис. 2.2.1. Размещение месторождений некоторых полезных ископаемых на территории Пермского края (нефтяные месторождения, Кизеловский угольный бассейн, месторождения калийно-магниевых солей)

Месторождения нефти в Пермском крае относятся к Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, которая занимает огромную территорию, включающую Пермский край, Самарскую, Оренбургскую, Саратовскую и Волгоградскую области, Удмуртию, Татарстан и Башкортостан. Первые промышленные притоки нефти были получены в 1929 г. из пермских отложений на месторождении Верхне-Чусовские городки. С 1934 по 1938 гг. на территории области открыты Краснокамское, Северокамское и Полазненское месторождения, позднее – Лобановское и Яринское. В 50-х годах начались разработки в Чернушенском и Куединском районах области. Объекты нефтедобывающей промышленности в Пермском крае расположены практически по всей территории за исключением природного района Северный Урал (*Доклад о состоянии..., 2018*).

В настоящее время на территории Пермского края находятся в разработке около 200 месторождений нефти и газа. Основная добыча нефти ведется на юге края, где месторождения нефти эксплуатируются около семидесяти лет. Несмотря на высокую изученность недр, территория области обладает значительными неразведанными ресурсами нефти и газа. Перспективными для нефтедобычи считаются восточные и северо-восточные районы Пермского края. Новые крупные месторождения разрабатываются в северной части южной тайги – правый берег и в южной части средней тайги – на левом берегу реки Камы (*Доклад о состоянии..., 2018*).

Нефти по своим физико-химическим свойствам на месторождениях Пермского края изменяются от очень тяжелых, плотность которых приближается в 1 г/м^3 , сильно вязких, с большим содержанием серы (до 5%) до очень легких, плотностью $0,793 \text{ г/м}^3$, с небольшим содержанием серы (0-0,31 %) и с большим выходом легких фракций. Большое разнообразие свойств нефтей зависит как от тектонического строения территории, так и от глубины залегания продуктивных горизонтов. В целом в пределах края с северо-востока на юго-запад уменьшается газонасыщенность нефти, увеличиваются плотность, сернистость, содержание смол и асфальтенов (*Нефти, газы и битумоиды..., 1977*), более подробно отражено в таблице 2.2.1.

Разработка нефтяных месторождений и добыча нефти характеризуется определенными изменениями природной среды, к которым стоит отнести изменение рельефа местности, вырубку лесов и нарушение растительного покрова, нарушение

почвенного покрова, изменение условий поверхностного стока и инфильтрации, загрязнение подземных вод (Бузмаков, 2003).

Таблица 2.2.1

**Характеристика основных свойств нефти в пределах природных районов
Пермского края (Нефти, газы и битумоиды..., 1977)**

Природный район	Плотность нефти, г/см ³	Содержание серы, %	Газонасыщенность, м ³ /т
Средняя тайга	0,825-0,850	0,0-0,9	210-300
Южная тайга	0,830-0,865	0,5-1,5	150-200
Хвойно-широколиственные леса	0,900-0,920	2,0-3,4	10-50
Кунгурская лесостепь	0,850-0,900	1,5-2,5	50-200

Изучением экологических последствий нефтедобычи в Пермском крае занимались С.А. Бузмаков с соавторами (Vuzmakov *et.al*, 2018; Vuzmakov *et.al*, 2019; Vuzmakov & Khotyanovskaya, 2020; Бузмаков, Костарев, 2003; Бузмаков, Кулакова, 2007; Бузмаков, Кулакова, 2010), В.Н. Быков (2000), В.И. Галкин и др. (2012), С.М. Костарев (1989, 1990, 1998), Л.О. Лейбович и др. (2012), И.А. Самофалова (2019), С.А. Кулакова (2007), Е.Л. Гатина (Гатина, 2009; Гатина, 2014; Бузмаков, Егорова, Гатина, 2017; Vuzmakov, Egorova, Gatina, 2019), Ю.В. Хотяновская (2018).

На территории средней и южной тайги в Пермском крае находится ВКМС (месторождения калийных и калийно-магниевого солей). Площадь соленого бассейна составляет более 6 500 кв. км (Копнин, 1995).

Соленосные и калиеносные отложения приурочены к пермскому периоду, к иренскому горизонту кунгурского яруса и соликамскому горизонту уфимского яруса. На поверхность они нигде не выходят и повсюду прикрыты мощной толщей пустых пород: известняков, мергелей и глин (Копнин, 1995).

В Березниковско-Соликамском районе на Верхнекамском месторождении калийных солей при производстве калийных удобрений твердые отходы складировались в солеотвалы, а жидкие – в шламохранилища (Копылов, 2021), на рис. 2.2.2 представлен один из солеотвалов и шламохранилищ. В результате на территории добычи происходят определенные изменения природной среды: изменение рельефа местности (создание терриконов, образование провалов), вырубка лесов и нарушение растительного покрова, нарушение почвенного покрова, изменение условий поверхностного стока и инфильтрации, загрязнение подземных вод. Для данной территории отмечают

возникновение чрезвычайных ситуаций техногенного характера (провалы земной поверхности в 1986, который сопровождался сильным взрывом метана, 2006 и 2010 гг.).



Рис. 2.2.2. Солеотвал (террикон) и шламохранилище в г. Березники

Изучением экологических проблем, сформировавшихся на территории Верхнекамского месторождения солей занимались Е.А. Хайруллина (*Хайрулина, 2014; Хайрулина, 2015; Максимович, Хайрулина, 2016; Хайрулина и др., 2017; Хайрулина и др., 2018; Хайрулина, 2018; Хайрулина и др., 2021*), Н.В. Митракова и О.З. Еремченко (*Еремченко, Митракова, Шестаков, 2017; Еремченко и др., 2019; Митракова, Еремченко, 2017*).

На территории Западного Урала, протяженностью от Александровска до Чусового расположен Кизеловский угольный бассейн, который эксплуатировался с 1797 г. На данный момент на данной территории происходит техногенная и посттехногенная трансформация природной среды, которая возникла в результате ликвидации угольных шахт. Воздействия на природную среду выражаются в изменение рельефа территории (создание отвалов), нарушение растительного и почвенного покровов, загрязнение поверхностных и подземных вод. Наиболее серьезной является проблема, возникшая в результате затопления шах, вследствие чего происходит загрязнение поверхностных и подземных вод (основными загрязняющими химическими элементами являются Fe, Mn, Al, Li, Pb, Ni, Cd).

Изучением экологических проблем, возникших впоследствии ликвидации угольных шахт, занимались Н.Г. Максимович, Е.А. Хайрулина, С.В. Пьянков, О.А. Березина и другие (Блинов С.М., Максимович Н.Г., Меньшикова, 2003; Максимович, 2004; Максимович, Черемных, Хайрулина, 2006; Максимович, Мещерякова, 2009; Максимович, 2011; Максимович, Хайрулина, 2013; Максимович и др., 2017; Максимович, Пьянков, 2018; Абдуллин Р.К., Березина О.А., Максимович, 2018; Максимович, Березина, 2018; Пьянков и др., 2019; Сединин и др., 2019; Ryankov at.al., 2021).

Выводы по главе 2

1. Изучение геохимических особенностей Пермского края наиболее корректно проводить исходя из природного районирования, так как оно наиболее комплексно учитывает природную дифференциацию региона. Необходимо изучать территорию по выделенным природным районам: Северный Урал, Западный Урал, Средняя тайга, Южная тайга, Хвойно-широколиственных лесов, Кунгурская лесостепь.

2. Пермский край является регионом, испытывающим постоянную антропогенную нагрузку. Одними из основных источниками антропогенного воздействия являются объекты нефтедобычи, добычи калийных солей и территория КУБа, на которой сложилась неблагоприятная экологическая обстановка.

3. МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальная часть работы состояла из нескольких этапов: отбор, подготовка, анализ проб и обработка полученных результатов. Общая схема представлена на рисунке 3.1.

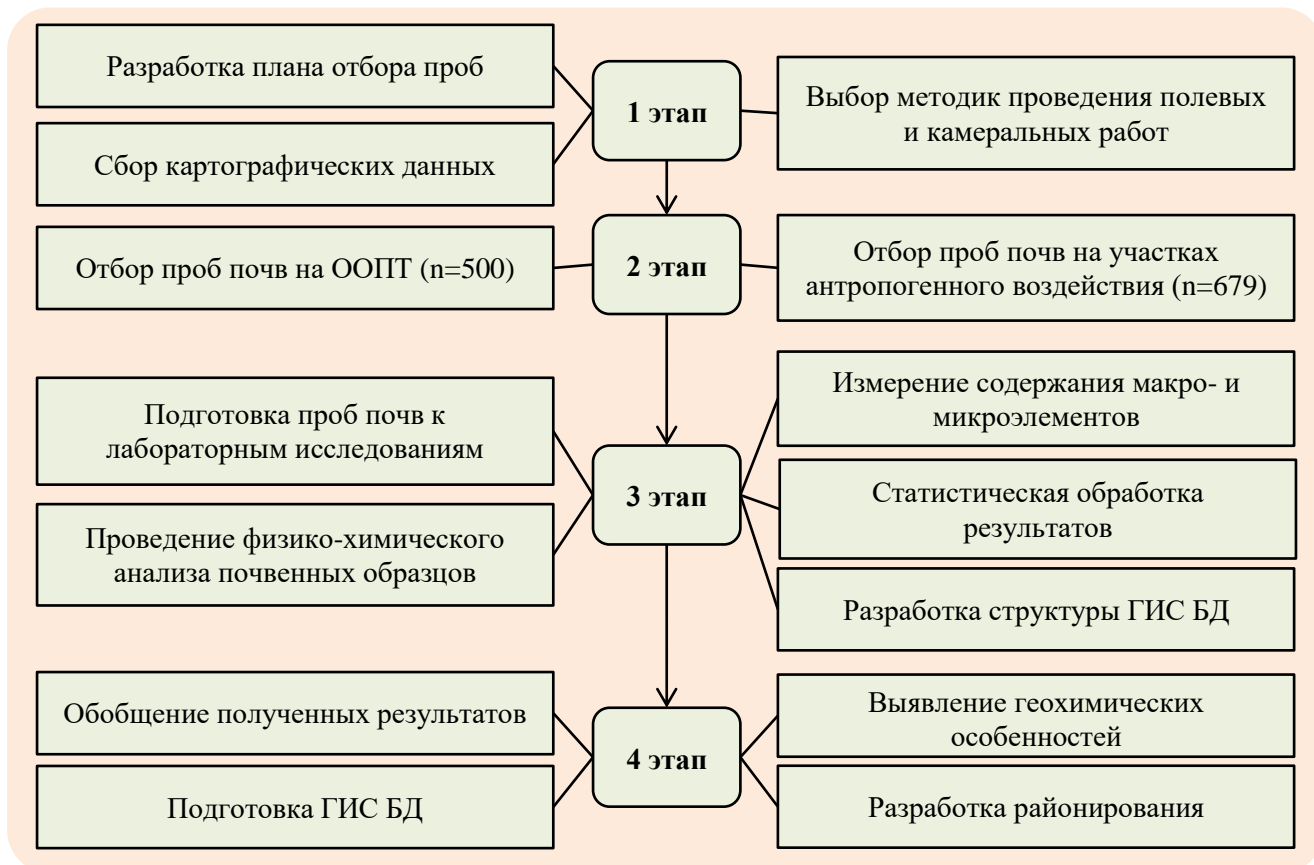


Рис. 3.1. Общая схема выполненных работ

3.1. Методика геохимического обследования почв

Исследования геохимических свойств почв (распределение в них химических элементов и соединений химических элементов) целесообразно разделять на три основных этапа:

1. Предполевые исследования.
2. Полевые работы.
3. Проведение анализов, их обработка и интерпретация результатов.

Предполевые исследования. К первому этапу отнесены изучение территории исследование и планирование отбора проб.

Полевые работы. Для установления закономерностей распределения металлов в почвах в полевой период необходимо провести геохимическое опробование. При этом

на каждой точке наблюдений почвы подвергаются опробованию (литохимическое опробование).

При изучении геохимических особенностей почв различных ландшафтов края основное внимание было уделено закономерностям распределения металлов в верхнем, гумусовом горизонте. По А.И. Перельману, именно для этого горизонта, так называемого «геохимического центра почв», характерно максимальное напряжение геохимических процессов в ландшафте. Масса литохимической пробы – 400 г. Дополнительный пробоотбор проводится после выделения геохимических аномалий и зон повышенного содержания элементов.

Отбор почв методом конверта. Метод представляет собой отбор смешанной пробы из расчета 1 проба на 10 га или 1 проба на 25 га. Смешанный образец состоит из пяти почвенных проб, взятых «конвертом» из пяти точек. Первую пробу брали из стенки разреза, а остальные крест-накрест от первой точки на расстоянии 10-20 м. Отбирался средний образец весом 300-400 грамм.

Отбор проб проводился из двух горизонтов: органогенного (в тексте может быть назван гумусовым, верхним) и подгумусового (в тексте может быть назван подзолистым). Под органогенным горизонтом понимается верхний почвенный горизонт темного цвета (чаще глубиною до 5-10 см), который сформировался в результате деятельности живых организмов, и в котором наиболее активно происходят биогеохимические процессы. Подгумусовым горизонтом мы считаем горизонт, глубиной до 20 см, который находится под органогенным горизонтом. Такая унификация названий необходима по причине высокого почвенного разнообразия на территории Пермского края (выделяют 3 равнинные провинции и 1 горный округ, более 20 типов почв).

Проведение анализов, их обработка и изображение результатов

Описание почвенного профиля проводилось по общепринятой схеме методом макро- и мезоморфологического анализа: погоризонтная характеристика окраски, влажности, структуры, механического состава почвы; информация о новообразованиях и включениях; характер границы и перехода к следующему горизонту и др. Диагностика горизонтов, почв и ТПО в соответствии с классификацией и диагностикой почв России (Шишов, Тонконогов и Лебедева, 2004), с использованием классификационных подходов, разработанных для антропогенно измененных почв и технозёмов.

При определении физико-химических свойств почв измерялись следующие показатели: рН водной и солевой суспензии – потенциометрическим методом (ГОСТ 26423-85); гидролитическая кислотность – по Каппену, титриметрическим методом в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-91); сумма обменных оснований – по Каппену-Гильковицу, ёмкость катионного обмена и степень насыщенности основаниями – расчётным методом; содержание нитратного азота ионоселективным методом; подвижные фосфор, калий, натрий: в кислотной вытяжке по Кирсанову в модификации ЦИНАО (ГОСТ Р 54650-2011); содержание углерода органических соединений по Тюрину (ГОСТ 26213-91); содержание карбонатов в кислой вытяжке титриметрическим методом.

Измерение содержания нефтепродуктов в почве проводилось методом ИК-спектроскопии в лаборатории гидрохимического анализа ПГНИУ по методике ПНД Ф 16.1:2:2.2.22-98 (Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органогенных, органоминеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии). Методика предназначена для измерения массовой доли нефтепродуктов в минеральных (пески, супеси, суглинки, глины), органогенных (торф, лесная подстилка), органоминеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии на анализаторах нефтепродуктов при их содержании от 50 до 100000 мг/кг. Метод заключается в экстракции нефтепродуктов из почв и донных отложений четыреххлористым углеродом, хроматографическом отделении нефтепродуктов от сопутствующих органических соединений других классов, и количественном определении нефтепродуктов (НП) по интенсивности поглощения в ИК-области спектра.

Для оценки загрязненности почвы нефтепродуктами принята классификация показателей уровня загрязнения (*Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами...*, 1993) по концентрации нефтепродуктов в почве:

- <1000 мг/кг - допустимый уровень загрязнения;
- 1000-2000 мг/кг - низкий уровень загрязнения;
- 2000-3000 мг/кг - средний уровень загрязнения;
- 3000-5000 мг/кг - высокий уровень загрязнения;
- >5000 мг/кг - очень высокий уровень загрязнения.

Был проведен количественный элементный анализ нефти (As, Cr, Mn, Pb, Sr, V, Co, Fe, Ni, S, Ti, Zn) методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой ICPE-9000 Shimadzu на базе Ресурсного центра СПбГУ «Рентгенодифракционные методы исследования».

Определение содержания макро- и микроэлементов проводилось методом рентгенофлуоресцентного анализа на волнодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре «СПЕКТРОСКАН МАКС-G» (г. Санкт-Петербург) в лаборатории экологии и охраны природы ПГНИУ лично автором. Метод основан на зависимости интенсивности рентгеновского флуоресцентного излучения от содержания элемента в подготовленной пробе. Флуоресцентное излучение возбуждается первичным излучением рентгеновской трубки. Массовую долю компонентов определяют с помощью предварительно построенных градуировочных характеристик, представляющих собой экспериментальную зависимость массовой доли определяемого компонента от аналитического сигнала.

Проводился количественный анализ по валовому содержанию в почвах Sr (мг/кг), Pb (мг/кг), As (мг/кг), Zn (мг/кг), Cu (мг/кг), Ni (мг/кг), Co (мг/кг), MnO (мг/кг), Cr (мг/кг), V (мг/кг), TiO₂ (%) на спектрометре «СПЕКТРОСКАН МАКС-G» согласно методике выполнения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв рентгенофлуоресцентным методом М-049-П/10 (ФР.1.31.2011.09286). Методика допущена для целей государственного экологического контроля и мониторинга (ПНД Ф 16.1.42-04). В таблице 3.1.1 представлены диапазоны измерения содержания элементов по данной методике.

Таблица 3.1.1

**Диапазоны измерения содержания элементов методом РФА на спектрометре
«СПЕКТРОСКАН МАКС-G»**

Определяемый компонент	Диапазон измерения массовой доли, единица измерения
TiO ₂	0,25 – 1,60 % 2500 – 16000 мг/кг
V	10 – 200 мг/кг
Cr	25 – 200 мг/кг
MnO	0,0100 – 0,500 % 100 – 5000 мг/кг
Fe ₂ O ₃	1,00 – 11,0 % 10000 – 110000 мг/кг

Определяемый компонент	Диапазон измерения массовой доли, единица измерения
Co	5 – 150 мг/кг
Ni	10 – 400 мг/кг
Zn	10 – 610 мг/кг
As	5 – 70 мг/кг
Sr	50 – 1200 мг/кг
Pb	10 – 300 мг/кг

По полученным результатам измерений выполнены расчеты коэффициента концентрации химического вещества (KK) который рассчитывается по формуле: $KK = \frac{C_i}{C_{\phi i}}$, где, C_i – содержание определяемого вещества в почве, мг/кг; C_{ϕ} – кларк/региональный фон. При KK меньше 1 проводился расчет коэффициента рассеивания (KP) по формуле: $KP = \frac{C_{\phi i}}{C_i}$. На основании расчета построены геохимические ряды накопления и рассеивания относительно кларка (KK_K, KP_K), регионального фона Пермского края ($KK_{P.Ф.}, KP_{P.Ф.}$) и фона природных районов ($KK_{M.Ф.}, KP_{M.Ф.}$).

Превышение нормативов содержания элементов в почве было определено согласно СанПиН 1.2.3685-21 (2021). При оценке были взяты нормативы по валовому содержанию (ПДК по содержанию Mn и V; ОДК для Pb, As, Zn, Ni). Для остальных элементов, которые вошли в исследование, нет принятых нормативов по валовому содержанию в почве.

Далее рассчитывался комплексный показатель суммарного загрязнения ($Z_{cm(z)}$), учитывающий среднее геометрическое Kc и токсичность тяжелых элементов (Водяницкий, 2011) рассчитывающийся по формуле:

$$Z_{ct(r)} = n \times [(Kc_1 \times Kt_1)(Kc_2 \times Kt_2) \times \dots \times (Kc_n \times Kt_n)]^{\frac{1}{n}} - (n - 1)$$

где, Kc – это отношение содержания элемента к эталонному значению (кларк, региональный фон Пермского края, фон природного района, n – число элементов, для которых полученное $Kc > 1$. Значения Kc взяты как равные KK (так как в обоих случаях это отношение фактического содержания к эталонному содержанию), Kti – коэффициент токсичности i -ого элемента.

Для того, чтобы для этого показателя оставалась актуальной шкала критических суммарных показателей М.Е. Саета, следует для элементов второго класса опасности применять $Kt=1,0$, для элементов третьего класса опасности $Kt=0,5$, а для элементов первого класса опасности $Kt=1,5$. Тяжелые металлы, которые исследовались в данной

работе, по опасности делятся на три класса: первый (высокий) класс включает As, Pb, Zn, Cr; второй (средний) класс включает Co, Ni, Cu Ti; третий (низкий) класс включает V, Mn, Sr (Водяницкий, 2011).

В таблице 3.1.2 представлены значения средних содержаний химических элементов в земной коре, которые были взяты для построения геохимических рядов накопления и рассеивания, расчета показателя суммарного загрязнения. Для выявления геохимических особенностей территории Пермского края проводилось сопоставления с кларками. Для этого были взяты значения кларка по А.П. Виноградову (1962) и значения кларков, рекомендованные Н.С. Касимовым и Д.В. Власовым (2015). Кларк по Н.А. Григорьеву (2009) взят для Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Zn, As, Sr, Pb. Для V и Co взяты значения кларка по *Hu & Gao* (2008).

Таблица 3.1.2

Средние содержания химических элементов в земной коре

Показатели	Sr	Pb	As	Zn	Cu	Ni	Co	Mn	Cr	V	Ti	Fe
Кларк по Виноградову (1962)	340	16	1,7	83	47	58	18	1000	300	90	4500	46500
Кларк по Григорьеву (2009)	270	17	5,6	75	-	50	-	770	92	-	3900	40600
Кларк по <i>Hu & Gao</i> (2008)	-	-	-	-	-	-	15	-	-	106	-	-
Среднее содержание по Копылову (2012)	86	29	-	82	-	37	17	1280	290	99	3520	-

Для статистической обработки полученных результатов использовались программы Microsoft Excel 2010 и Statistika. Были рассчитаны следующие статистические показатели: среднее (\bar{x} , мг/кг), медиана (Me , мг/кг), стандартное отклонение (σ , мг/кг), стандартная ошибка (SEn , мг/кг), доверительный интервал (P , мг/кг), коэффициент вариации (CV , %), распределение по критерию Колмогорова-Смирнова, распределение по критерию Шапиро-Уилка, корреляционный анализ.

Региональное фоновое содержание принималось с учетом доверительного интервала, и представлено в формате: $\bar{x} \pm P$, мг/кг (при 95% значимости по критерию Стьюдента). При анализе выборки применялось правило трех сигм. Равномерность полученного среднего содержания проверялась относительно CV , при значении которого выборка принималась как однородная (до 33%) или неоднородная (более 33%). Средние значения для природных районов взяты при обязательном условии, что CV

менее 33%. Значимость различий между содержанием элементов в почвах определялась согласно t-критерию Стьюдента (при 95% значимости). Для выявления закономерностей была составлена корреляционная матрица и проведен корреляционный анализ между содержаниями элементов.

По данным определения фоновых показателей Пермского края и природных районов, средних содержаний на территориях подверженных техногенному воздействию был проведен кластерный анализ в программе Statistica. Кластеризация это один из наиболее актуальных методов при анализе данных, характеризующих свойства почв (Gao, 2021). Для объединения был применен метод невзвешенного попарного среднего, в качестве меры расстояния было применено Евклидово расстояние. Были получены природный и природно-техногенный кластеры.

На основании статистической обработки полученных данных и результатов кластерного анализа было сделано природно-техногенное геохимическое районирование края с использованием программы ArcGIS 10.4. Районы выделялись относительно геохимической специализации и сформировавшейся ассоциации элементов (элементы, которые относительно геохимического фона Пермского края накапливаются). Геохимическая специализация определялась в соответствии с классификацией В.М. Гольдшмидта (Овчинников, 1990).

Ассоциации элементов, которые аккумулируются в почвах на территории природных районов, определялись относительно фона Пермского края. Рассчитывался коэффициент концентрации (KK) и коэффициент рассеивания (KP).

В ассоциацию включались элементы с $KK \geq 1,1$. Для названия ассоциации на первое место ставились элементы с большим KK . Если в ассоциации отмечено 5 и более элементов, то к названию добавлялось, что она является полиметаллической.

На основе полученных данных для территорий ландшафтного заказника «Предуралье», Кизеловского угольного бассейна, Верхнекамского месторождения калийных солей были составлены карты по пространственному распределению макро- и микроэлементов. Это было сделано с помощью аналитического модуля Spatial Analyst. При составлении карт был использован метод IDW-интерполяции (метод обратных взвешенных расстояний). Данный метод предполагает, что влияние значения измеренной переменной убывает по мере увеличения расстояния от точки замера

(Осипов, 2011). В результате применения данного метода были получены интерполированные поверхности и слои изолиний, используемые для составления карт.

3.2. Описание фоновых территорий исследования

Для исследования проводился отбор проб на участках (рис.3.2.1), не испытывающих прямого воздействия хозяйственной деятельности (особо охраняемых природных территориях (ООПТ)).

В ходе исследования было проведено геохимическое опробование на 92 участках, относящихся к ООПТ. Негативное воздействие на них имеет ограниченный и учитываемый характер (Бузмаков и др., 2019; Санников, Бузмаков, 2015), т.к. ведется мониторинг природной среды ООПТ (Сивков, Санников, 2018). В результате можно считать, что в почвах на территории ООПТ формируется геохимический фон территории. ООПТ имеют существенное распространение в Пермском крае, располагаясь на наиболее типичных природных участках (Овеснов и др., 2020), они являются наиболее репрезентативными для определения геохимических фоновых показателей.

В Пермском крае выделяют шесть природных районов, в ООПТ которых были заложены пробные площадки (Бузмаков, 2020):

- I – Северный Урал;
- II – Западный Урал;
- III – Средняя тайга;
- IV – Южная тайга;
- V – Хвойно-широколиственных лесов;
- VI – Кунгурская лесостепь.

Наиболее подробно были исследованы ландшафтный заказник Предуралье и заповедник «Вишерский».

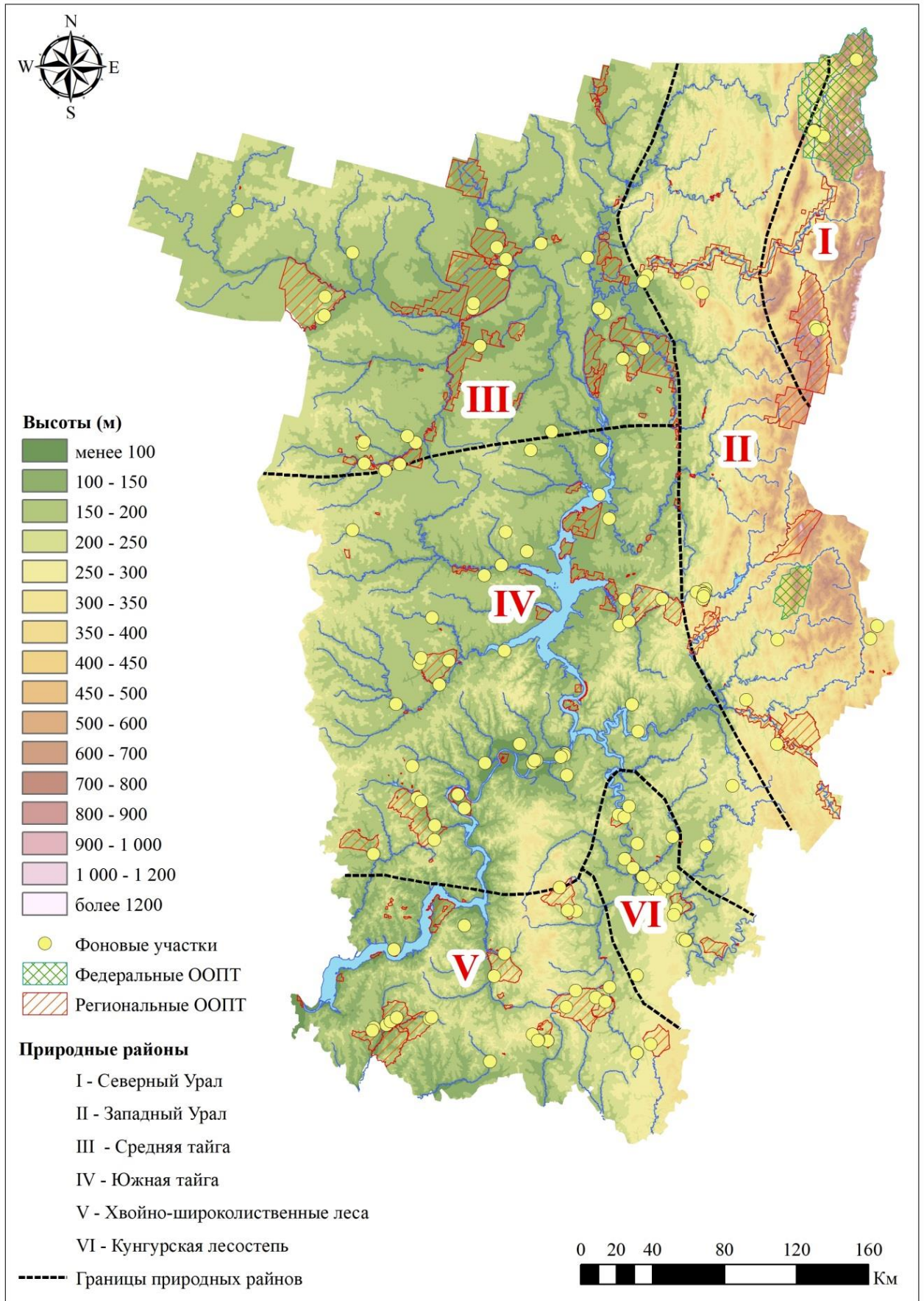


Рис. 3.2.1. Точки отбора проб для изучения фоновое содержание

3.2.1. Описание исследуемой территории заповедника «Вишерский»

Особо охраняемая природная территория федерального значения – государственный природный заповедник «**Вишерский**» расположен на крайнем северо-востоке Пермского края, в верховьях реки Вишера. В геологическом строении территория относится к району развитого карста. Для всей площади заповедника характерна густая речная сеть и обилие мелких верховых болот, расположенных на слабо дренированных склонах речных долин. В почвенном отношении по районированию Н.Я. Коротаева (1962) территория относится к зоне горноуральского почвенного округа, в западной части представлена районом западных предгорных тяжелосуглинистых подзолистых, дерново-подзолистых и заболоченных почв, а в восточной – Горным Уральским районом горно-лесных и горно-луговых скелетных почв. Относительно Национального Атласа почв на территории Вишерского заповедника распространены буро-таежные иллювиально-гумусовые почвы, горные лесо-луговые и подзолистые преимущественно сверхглубокоподзолистые. Фрагментарно встречаются подбуры таежные и дерново-карбонатные почвы.

Исследуемые почвы относятся к горно-подзолистым, кислым, по гранулометрическому составу являются средне- и тяжелосуглинистыми. Средняя кислотность почв равна 4,3. Всего было исследовано 7 фитоценозов горно-таежного и подгольцового поясов, которые распределены с юга на север и с запада на восток и находятся на территории Вишерского заповедника. Так же исследуемые площадки распределены по высоте: от 284 до 618 м. над уровнем моря. На рис. 3.2.2 представлена схема отбора проб на территории Заповедника.

В Приложении 1 представлено описание пробных площадок по фитоценозам:

– **Горнотаежный пояс:**

- Елово-пихтовый лес кислично-мелкопапоротниковый (284 м.н.у.м.);
- Смешанный лес (310 м.н.у.м.);
- Пихтово-еловый лес чернично-мелкопапоротниковый (333 м.н.у.м.);
- Пихтово-еловый лес черничник (341 м.н.у.м.);
- Ельник черничник (374 м.н.у.м.);

– **Подгольцовый пояс:**

- Разреженный смешанный лес черничник (545 м.н.у.м.);
- Березово-пихтовое горное редколесье (618 м.н.у.м.).

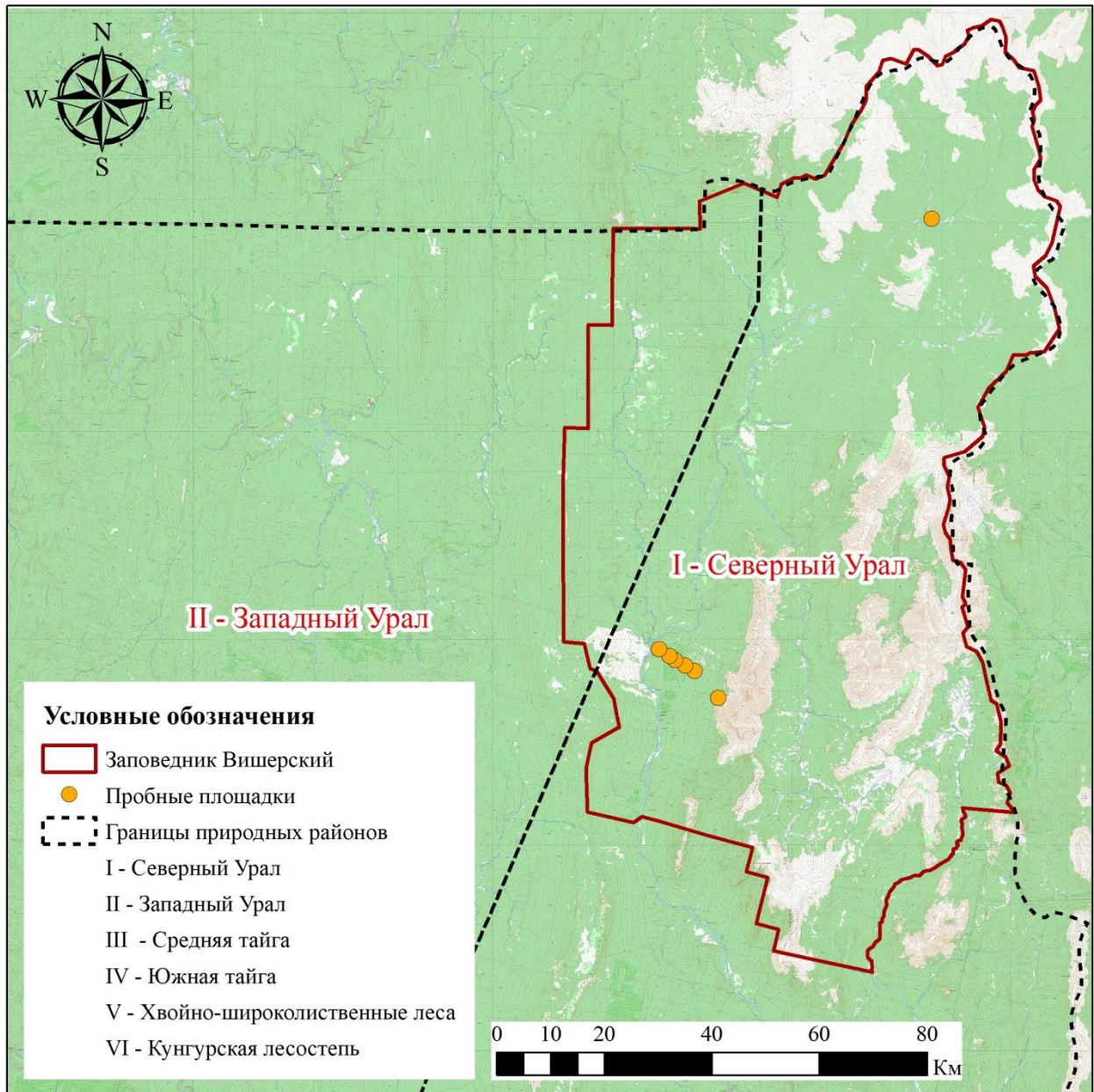


Рис.3.2.2. Схема отбора проб на территории заповедника «Вишерский»

3.2.2. Описание исследуемой территории ландшафтного заказника «Предуралье»

В тектоническом отношении особо охраняемая природная территория регионального значения – ландшафтный заказник «Предуралье» расположен в пределах Уфимского вала на Восточно-Европейской платформе, на ее контакте с Сылвинской впадиной Предуральского краевого прогиба. Особый интерес представляют нижнепермские отложения артинского и кунгурского ярусов в верхней части осадочного чехла. Первые из них представлены карбонатными породами с

органогенными постройками, вторые – карбонатно-сульфатными с «классическим» типом геологического разреза (*Атлас особо охраняемых..., 2017*).

Основными геоморфологическими элементами заказника являются глубоко врезанная (более 100 м) эрозионная каньонообразная асимметричная долина р. Сылвы и приподнятая холмисто-увалистая равнина с абсолютными высотами поверхности до 240-250 м. Коренные берега долины Сылвы прорезаны эрозионно-карстовыми логами, на поверхности высокой равнины обычны карстовые воронки. Главная и единственная река заказника – Сылва (*Атлас особо охраняемых..., 2017*).

Благодаря широкому распространению пород, богатых известью, подзолистый почвообразовательный процесс в значительной мере ослаблен. Часто известняки и доломиты выклиниваются непосредственно на поверхность, в этом случае на них формируются карбонатные почвы (*Атлас особо охраняемых..., 2017*).

Растительность относится к подзоне широколиственно-пихтово-еловых лесов и непосредственно соседствует с Кунгурской лесостепью. Здесь наблюдается сочетание бореально-таежных, неморальных элементов широколиственных лесов, степных, лугово-степных, горностепных, водных и прибрежно-водных комплексов. Всего на территории заказника выделено 16 формаций растительности (*Атлас особо охраняемых..., 2017; Селиванов, 1954*). Растительность их носит по преимуществу степной характер. На вершине, карнизах и уступах встречаются растения, которые свойственны северным равнинным и горным степям Сибири, являющиеся реликтами; также характерны горно-скальные папоротники. Скалы покрыты накипными лишайниками (*Атлас особо охраняемых..., 2017*).

В ландшафтно-типологическом отношении территория заказника «Предуралье» объединяет несколько типов местности: пойменный, надпойменно-террасовый, приречный, долинно-балочный и плакорный (*Атлас особо охраняемых..., 2017*).

В Приложение 2 описаны результаты физико-химического анализа почв. Значения актуальной кислотности поверхностных слоев почв варьировали от кислой (рН=4,5) до нейтральной (рН=7,3). Потенциальная кислотность отражает подлинную реакцию среды кислых почв. В большинстве проб почв территории исследования выявили содержание карбонатов, эти почвы характеризуются как мало карбонатные. Поверхностные слои исследуемых почв показали высокие значения гидролитической кислотности. Значения суммы обменных оснований варьировали находятся на низком

уровне. Величина ЕКО варьировала от значений выше средней до очень высокой, что указывает на благополучное состояние этих почв. Высокие значения ЕКО свидетельствуют о наличии буферных свойств, способствующих сохранению устойчивости почв к деградации. Содержание органического вещества в поверхностных слоях почв на обследованной территории варьирует от низкого (0,5%) до высокого (7,8%). Для нескольких почв характерно повышение содержания органического вещества в подповерхностном слое, в несколько раз превышающее этого значения показателя в органогенном горизонте, что объясняется наличием водорастворимых углеводов, мигрирующих или захороненных в глубине профиля.

На рис. 3.2.3 представлена схема отбора проб на территории заказника.

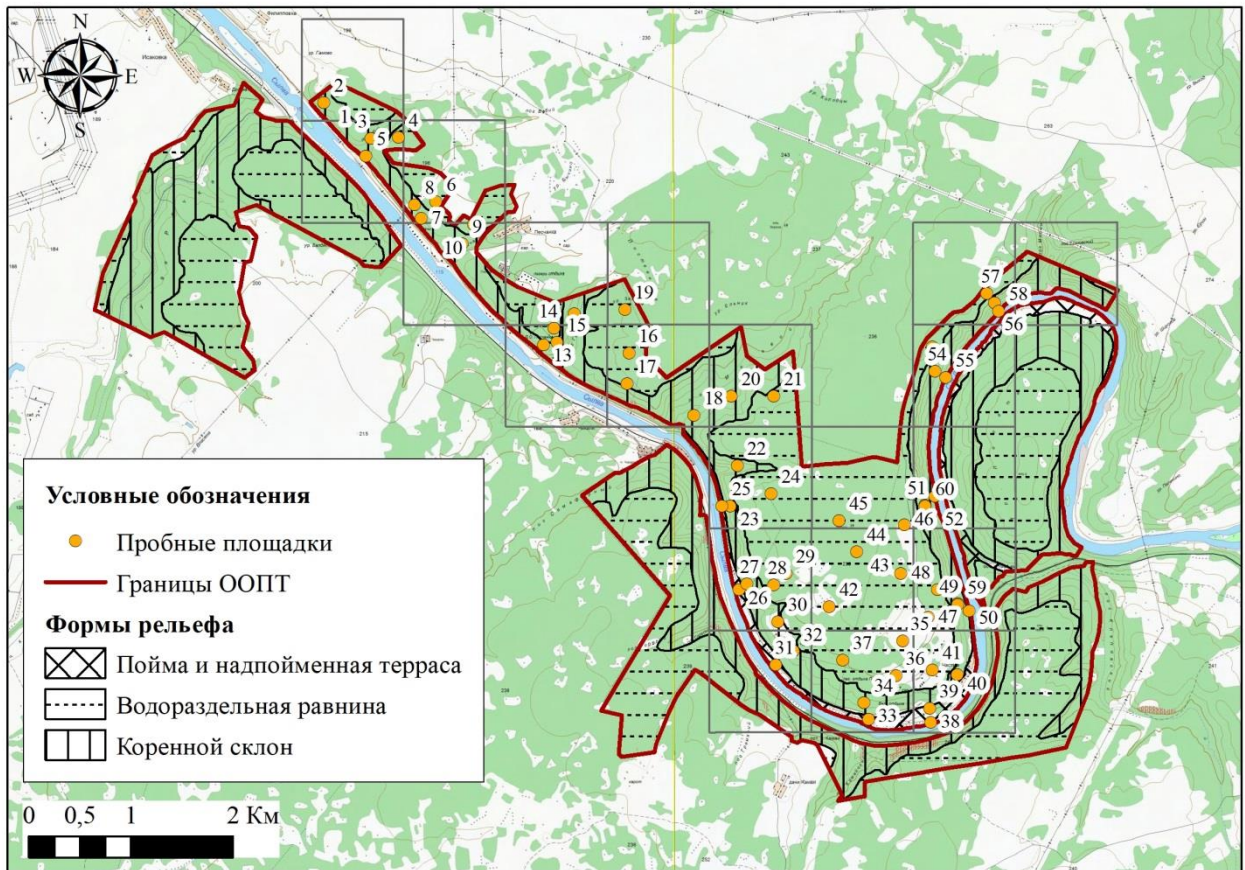


Рис. 3.2.3. Схема отбора проб на территории ландшафтного заказника «Предуралье»

Для проведения полевых исследований территория заказника была поделена на квадраты (1×1 км), в каждом из которых были отобраны точечные пробы почв. В результате пробы были отобраны в 60 точках. Все точки исследования располагаются на 10 различных биотопах, приурочены к различным формам рельефа и различаются по

типам почв. В Приложении 3 представлено распределение исследуемых точек по перечисленным признакам.

3.3. Описание территорий исследования, подверженных антропогенному воздействию

Для изучения геохимических особенностей, формирующихся под воздействием антропогенного воздействия, были изучены следующие территории:

1. Территории нефтяных месторождений (всего 22 месторождения в 4 природных районах), в том числе территория в районе лога «Арапов ключ», на которой отмечено прямое загрязнение почв нефтью.
2. Территория ВКМС.
3. Территория КУБа.

3.3.1. Описание территорий, находящихся под воздействием нефтедобычи

На рис.3.3.1 представлены нефтяные месторождения, на территории которых проводился отбор проб почв. Месторождения распределены по 4 природным районам, описание которых было приведено ранее: Средняя тайга, Южная тайга, Хвойно-широколиственных лесов, Кунгурская лесостепь. Отдельно приведены точки отбора проб почв, на территории месторождения нефти, где было ранее зафиксировано загрязнение нефтью (Кокуйское месторождение, территория в долине реки Ясыл в районе лога Арапов ключ).

В почвенном отношении территории исследуемых месторождений, где проводился отбор проб характеризуются следующим образом: на территории района Средняя тайга распространены подзолистые глубокоподзолистые почвы, подзолы иллювиально-железистые, так же имеют высокое распространение торфяные болотные, в основном верховые, почвы (*Национальный Атлас почв*). Почвенный покров на территории Южной тайги в основном представлен дерново-подзолистыми преимущественно неглубокоподзолистыми и глубокоподзолистыми. Фрагментарно встречаются глубокоподзолистые почвы и подзолы иллювиально-железистые (*Национальный Атлас почв*). В районе Хвойно-широколиственных лесов распространены дерново-подзолистые почвы, представленные преимущественно

неглубокоподзолистыми и глубокоподзолистыми. Так же встречаются пойменные и светло-серые лесные почвы (*Национальный Атлас почв*).

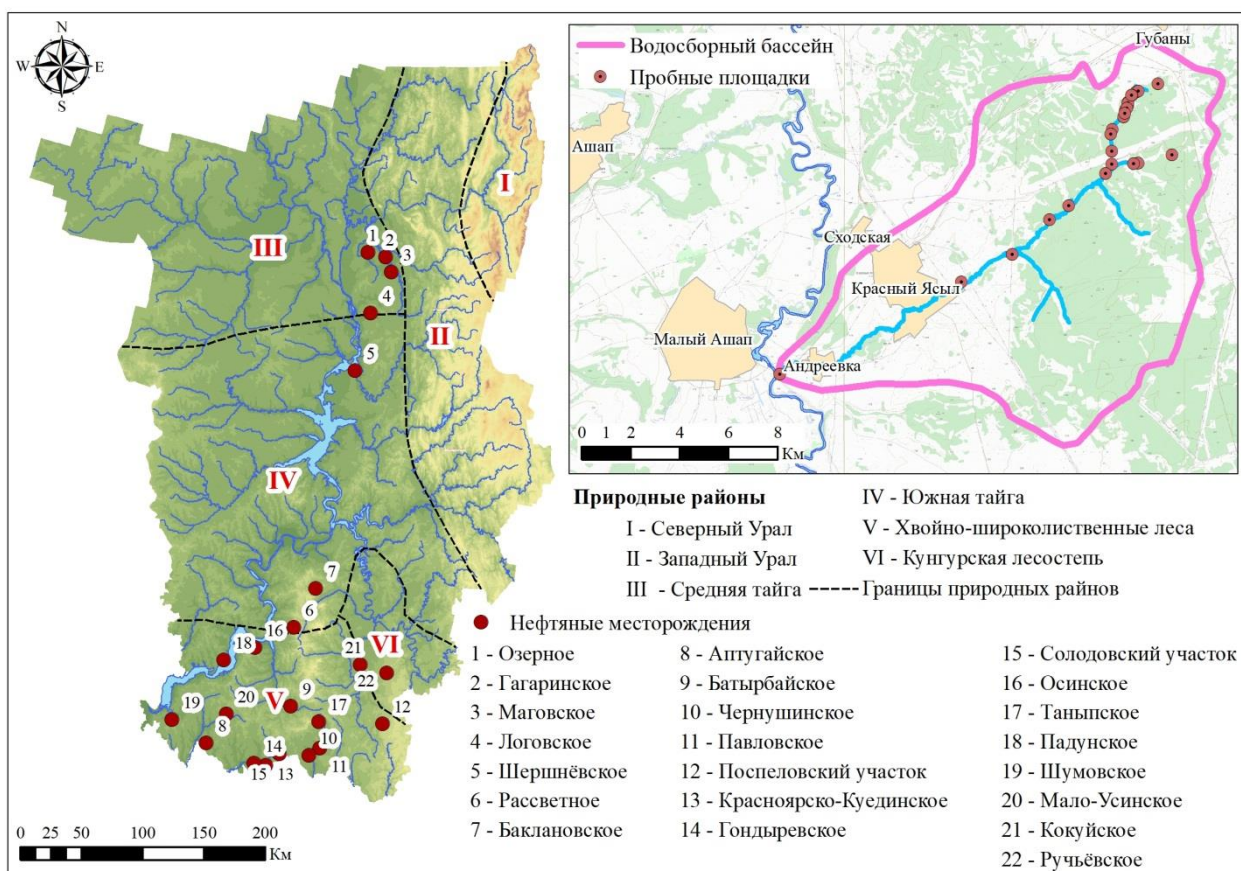


Рис. 3.3.1. Расположение нефтяных месторождений на территории Пермского края, на которых проводился отбор почв и схема отбора проб почв на территории месторождения в долине р. Ясыл

Район Кунгурской лесостепи представлен светло-серыми, светло-серыми лесными и пойменными почвами, так же на территории района находится ареал распространения черноземов оподзоленных (*Национальный Атлас почв*). В Приложении 4 представлены данные по содержанию нефтепродуктов и хлоридов в почвах. В процессе исследования существенное загрязнение почв нефтепродуктами было выявлено на территории месторождений в районе Хвойно-широколиственных лесов (Аптугайское, Батырбайское, Красноярско-Куединское, Гондыревское, Солодовский участок, Осинское, Падунское), Кунгурской лесостепи (Кокуйское). На всех указанных месторождениях загрязнение нефтью и продуктами ее трансформации было обнаружено точно, но обнаруженные концентрации были до 1000 мг/кг, исключение является только Кокуйское месторождение, на территории которого были обнаружены более высокие концентрации.

В почвенном отношении территория исследования в долине реки Ясыл располагается в Сергинско-Кунгурско-Уинский подрайоне серых и светло-серых лесостепных тяжелосуглинистых почв. Соподчиненное положение в нем занимают темно-серые лесостепные почвы. Изредка встречаются оподзоленные тяжелосуглинистые черноземы. В приречных частях на склонах много дерново-карбонатных почв (*Коротаев, 1962*).

Почвообразующие породы в границах исследуемой территории сформированы делювиальными суглинками и аллювиальными отложениями. На фоне геолого-геоморфологического своеобразия природных условий морфологический профиль серых почв формируется под влиянием разной степени выраженности увлажнения, способствующего вертикальному перераспределению физико-химических ингредиентов, поэтому профиль почвы дифференцирован на генетические горизонты, различающиеся как в физико-химическом отношении, так и визуально (рисунок 3.3.2).

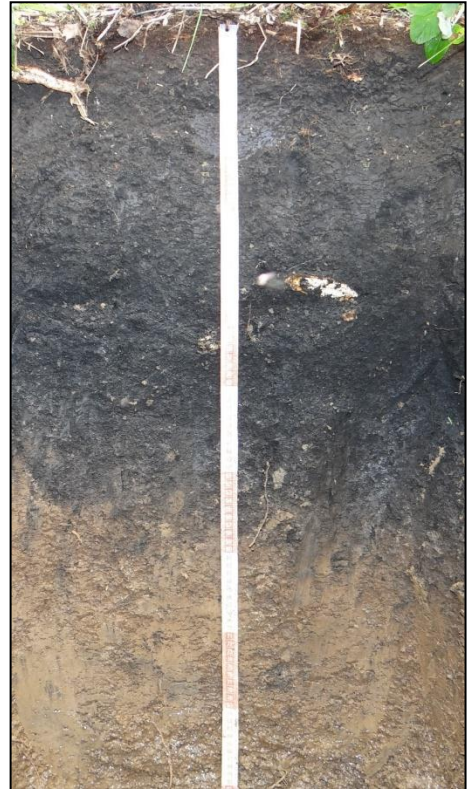
Помимо собственно тёмно-серых и серых почв на территории исследования представлены аллювиальные тёмногумусовые почвы, формирующиеся в пойменных местоположениях долины реки Ясыл. Строение почвенного слоя у них несколько отличается от серых и тёмносерых почв, поскольку в профиле прослеживается слоистость отложений и на общем фоне разреза не выделяются гумусово-элювиальный и субэлювиальный горизонты, мощный горизонт AU с высоким содержанием органического вещества переходит в оструктуренную материнскую тяжелосуглинистую породу Cm (рис. 3.3.2., б).

Рассмотренные серые и аллювиальные почвы являются естественным почвенным фоном территории. Наряду с ними фрагментарно представлены в различной степени нарушенные участки почв, находящиеся в разных стадиях восстановления. Наиболее нарушенные, практически полностью утратившие как генетические признаки, так и первичное плодородие, относятся к ТПО (технозёмам), подгруппе токсилитостратов.

Их доленое участие в современной структуре почвенного покрова всей рассматриваемой территории невелико. Вскрытый на третьей пробной площадке токсилитострат (рис. 3.3.2., г) представлял собой пропитанный нефтепродуктами минеральный слой с резким специфическим запахом залегающий на глубине 75 см, с поверхности перекрытый наносом минеральных горизонтов вперемешку с гумусовыми.



а) условно естественная тёмносерая почва (пробная площадка 5)



б) аллювиальная тёмногумусовая почва в долине р.Ясыл (пробная площадка 13)



в) условно естественная серая почва (пробная площадка 8)



г) токсилитострат (пробная площадка 3)

Рис. 3.3.2. Условно естественные и нарушенные почвы на пробных площадках территории исследований

Наибольшая площадь в структуре почвенного покрова представлена зональными серыми и аллювиальными почвами.

Климатические факторы, особенности рельефа и почвообразующие породы определяют высокий экологический потенциал почв. Наиболее характерными чертами почв, являются: мощный плодородный слой, высокое содержание гумуса (относительно регионального фона) и повышенная ёмкость катионного обмена, что свидетельствует об их устойчивости к загрязнению.

На пробных площадках выполнен комплекс наблюдений за состоянием почв, включавший отбор проб с последующей аналитической проработкой. Контролируемые показатели представлены в Приложение 5.

Значения актуальной кислотности поверхностных слоев 61% почв варьировали от кислой ($pH=5,52$) до нейтральной ($pH=7,45$). Кислотность остальных почв имела реакцию от слабощелочной до щелочной. Потенциальная кислотность отражает подлинную реакцию среды кислых почв. В 50% проб почв территории изыскания выявили содержание карбонатов, эти почвы характеризуются как мало карбонатные. С глубиной профиля содержание карбонатов возрастает незначительно.

Поверхностные слои исследуемых почв показали высокие значения гидролитической кислотности (8,3–19,5 мг–экв/100 г). Значения суммы обменных оснований варьировали от средних (26 мг–экв/100 г) до высоких (47,5 мг–экв/100 г).

Величина ЕКО варьировала от значений выше средней (по критериям Валькова и др., 2004) до очень высокой, что указывает на благополучное состояние этих почв. Высокие значения ЕКО свидетельствуют о наличии буферных свойств, способствующих сохранению устойчивости почв к деградации.

Содержание органического вещества в поверхностных слоях почв на обследованной территории варьирует от низкого (1,4%) до высокого (10,4%). Для нескольких почв характерно повышение содержания органического вещества в подповерхностном слое, в несколько раз превышающее этого значения показателя в гумусовом горизонте, что объясняется наличием водорастворимых углеводов, мигрирующих или захороненных в глубине профиля.

Исследуемые почвы обеднены фосфором и калием, содержание натрия варьирует от низкого до высокого, что возможно объяснить наличием подсолонения, связанного с воздействием нефтепродуктов.

Изучение содержания нефтепродуктов в почвах на исследуемой территории проводилось с 2016 по 2018 года. Результаты по содержанию нефтепродуктов в почвах представлены в таблице 3.3.1.

Таблица 3.3.1

Содержание нефтепродуктов в почвах, мг/кг (ПНД Ф 16.1:2:2.2.22-98)

Наименование площадки	Период исследования		
	2016	2017	2018
ПП 0, Родник 4 (выход загрязненных вод)	<50	-	-
ПП 01, Родник 1	<50	62	63
ПП 02, Родник 2 (выход загрязненных вод)	58	2566	573
ПП 03, Родник 3 (выход загрязненных вод)	8886	2272	3388
ПП 04_1, Дамба, ручей 1	<50	154	287
ПП 05, Восходящие грифоны, родник 5 (выход загрязненных вод)	<50	<50	69
ПП 06, Озеро	<50	<50	<50
ПП 07, Новый понос	<50	52	<50
ПП 08, Фон	<50	-	-
ПП 09, Трубопровод	<50	-	-
ПП 10, Вход в пещеру	<50	<50	-
ПП 11, Родник 7, Арапов ключ (ручей 1)	<50	429	<50
ПП 12, Родник 8, Скальный лог	<50	447	<50
ПП 13, Выход р. Ясыл, родник 9	<50	97	<50
ПП 14, Верховье оврага	<50	-	-
ПП 15, Загрязненная карстовая воронка	181	<50	58
ПП 16, р. Каменка (выход загрязненных вод)	5782	-	-
ПП 18, Родник 6, верховье ясылского лога (выход загрязненных вод)	-	748	8380
ПП 19, Ручей 2, ниже нефтеловушки	-	156	1414
ПП 20, Ручей 3, ниже слияния ручья 1 и ручья 2	-	-	<50
ПП 24, Река Ясыл, выше впадения ручья 5	-	-	92
ПП 26, Река Ясыл, ниже прудов	-	-	<50
ПП 27, Устье реки Ясыл	-	-	<50
ПП 28, В 60 м выше ПП 15	-	-	<50
ПП 31, Озеро рядом с вырубкой	-	-	64
ПП 36_1, В 40 м ниже ПП 3	-	-	200
ПП 39_1, В 50 м ниже дамбы	-	-	109
ПП 41, Куст скважин №9	-	-	≥100000

По результатам исследований в 2016 году, исходя из вышеупомянутых нормативов, в ходе анализа на двух пробных площадках (ПП 16 и ПП 03) обнаружен очень высокий уровень загрязнения с содержанием нефтепродуктов более 5782 мг/кг и 8886 мг/кг соответственно. Во всех остальных пробах содержание нефтепродуктов находится в пределах допустимого уровня.

По результатам исследований в 2017 году практически во всех пробах, отобранных для анализа, обнаружено содержание нефтепродуктов. Средний уровень загрязнения обнаружен на пробных площадках 2 и 3. На остальных исследуемых площадках зафиксирован допустимый уровень содержания нефтепродуктов в почвах.

По результатам исследований в 2018 году практически во всех пробах обнаружено содержание нефтепродуктов. Низкий уровень загрязнения отмечен на пробной площадке 19, высокий уровень загрязнения отмечен на пробной площадке 03, очень высокий уровень загрязнения отмечен на пробной площадке 18 и пробной площадке 41. Уровень загрязнения на пробной площадке предельно высокий, содержание превышает 100000 мг/кг, что является аномальным. В целом было зафиксировано превышение содержания нефтепродуктов в почвах на четырех пробных площадках. На остальных исследуемых территориях зафиксирован допустимый уровень содержания нефтепродуктов в почвах.

Во все три периода исследований превышение зафиксировано только на пробной площадке 3, причем содержание уменьшилось почти в 4 раза к 2017 году и увеличилось на 30% к 2018 году. Отмечено снижение среднего содержания нефтепродуктов до допустимого уровня на пробной площадке 02. На двух пробных площадках зафиксировано увеличение содержания нефтепродуктов. На пробной площадке 18 от допустимого уровня до очень высокого, на пробной площадке 19 от допустимого уровня до низкого уровня загрязнения.

В 2018 году количество пробных площадок с обнаруженным загрязнением почв нефтепродуктами превышает значения 2016 и 2017 годов.

3.3.2. Описание территории Верхнекамского месторождения калийных солей

Территория ВКМС находится в южной части природного района Средняя тайга и в северной части Южной тайги. Изучаемая в данной работе территория находится полностью на территории Южной тайги, для которой характерно появление в биоценоотическом покрове широколиственных пород, в первую очередь липы, но преимущественно растительность представлена елово-пихтовыми лесами. По районированию Н.Я. Коротаева (1962) данная территория относится к зоне дерново-подзолистых почв. По данным Национального Атласа почв на территории распространены в большей степени дерново-подзолистые, преимущественно

глубокоподзолистые почвы, в южной части в большей мере почвенный покров представлен подзолами иллювиально-железистыми и пойменными кислыми почвами, что представлено на рис. 3.3.1.

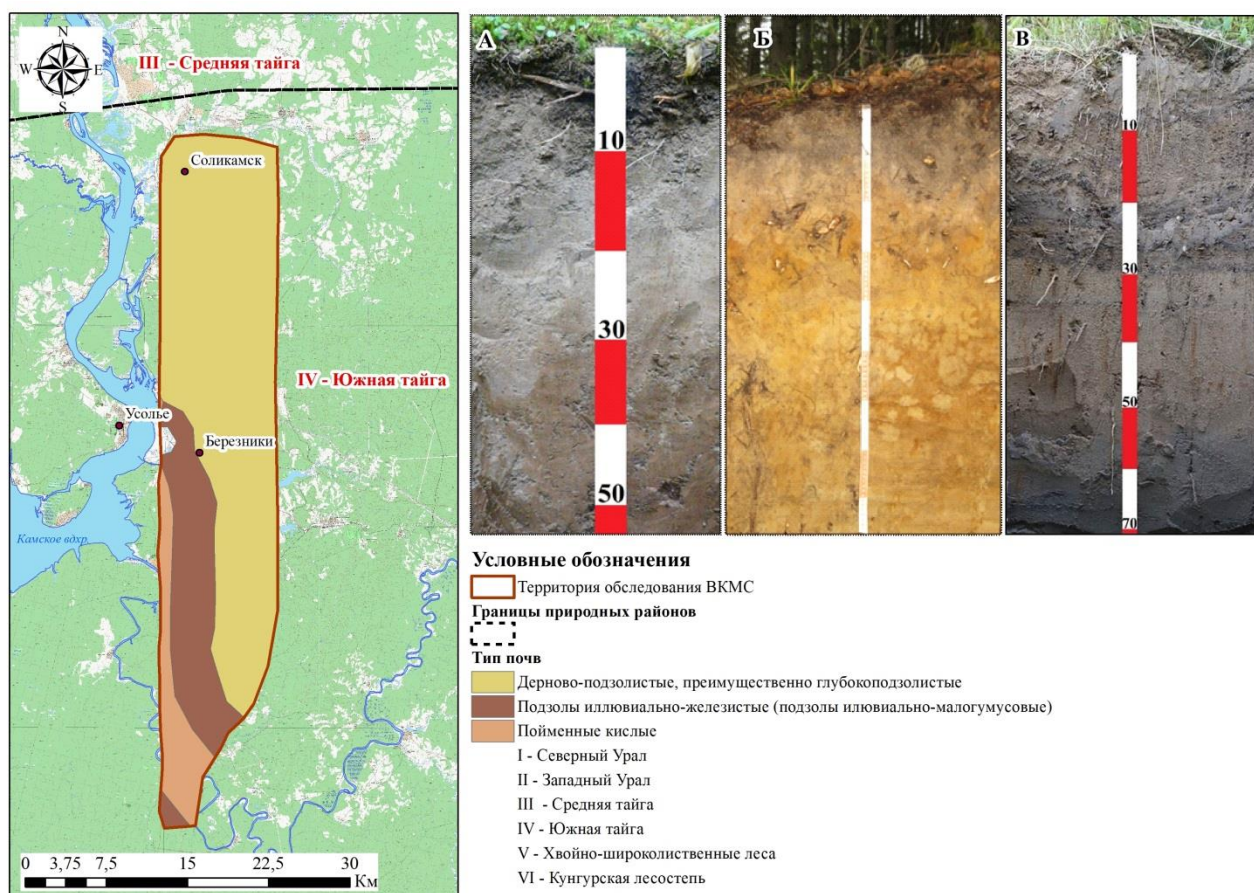


Рис. 3.3.1. Почвенный покров территории исследования ВКМС (Национальный Атлас почв)

А – дерново-подзолистые, преимущественно глубокоподзолистые; Б – подзолы иллювиально-железистые; В – Пойменные кислые

На рис. 3.3.2 представлена территория исследования и схема отбора проб. Отбор проб почв проводился методом конверта. Пробы отбирались в органогенном (примерно 3 – 10 см) и подгумусовом горизонтах (примерно 5 – 20 см). Всего было заложено 129 пробных площадок и отобрано 258 проб почв. В таблице 3.3.2 представлены физико-химические свойства почв, распространенных на исследуемом участке.

Дерново-подзолистые почвы характеризуются кислой реакцией (pH_{KCl} 4,47), ненасыщенностью основаниями, низкой емкостью поглощения. Содержание гумуса от 4,9 %. Для подзола иллювиально-железистого характерны кислая и очень кислая реакция, низкая степень насыщенности поглощающего комплекса, малая емкость поглощения. Содержание гумуса в подгумусовом горизонте около 0,5-1%, состав фульватный с резким преобладанием агрессивных фракций. Содержание илистой

фракции в почвах низкое, ее внутрипрофильное перераспределение обычно имеет элювиально-иллювиальный характер. Пойменная почва (пойменные слабокислые и нейтральные) имеет нейтральную реакцию среды, среднее содержание гумуса и низкую обеспеченность элементами питания, насыщена основаниями, показатели ЕКО средние.

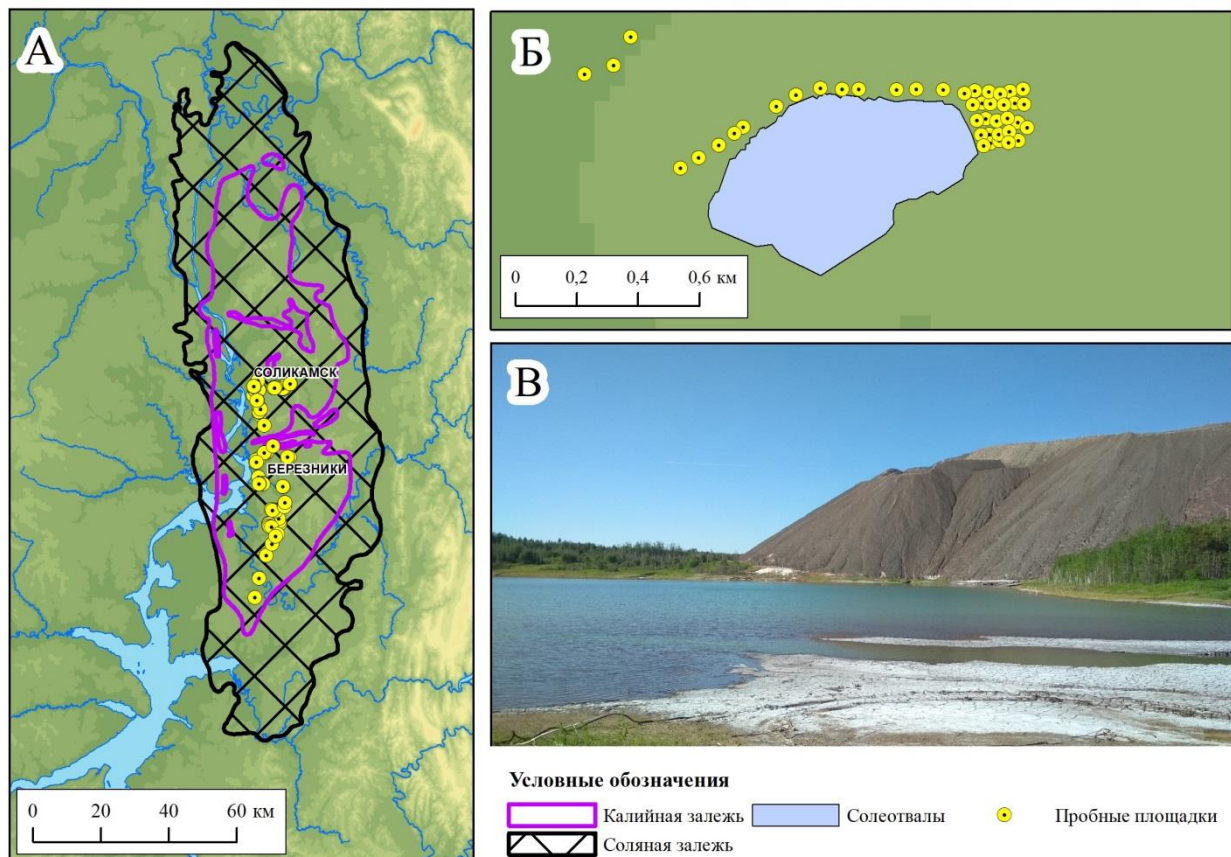


Рис.3.3.2. Территория обследования

А – точки отбора проб; Б – точки отбора проб в районе солеотвала; и – солеотвал и шламохранилище

Таблица 3.3.2

Физико-химические показатели поверхностных горизонтов почв, типичных для исследуемой территории в зоне ВКМС

$C_{\text{орг.}}$, %	Гумус, %	$pH_{\text{вод}}$	$pH_{\text{сол}}$	$P_2O_{5\text{подв.}}$, мг/100 г	$K_2O_{\text{подв.}}$, мг/100 г	Н, мг-экв/100 г	ЕКО, мг-экв/100 г	V, %
Дерново-подзолистая, преимущественного глубокоподзолистая								
2,9	4,9	5,54	4,47	2,1	6,4	4,8	-	72
Подзол иллювиально-железистый								
3,08	5,32	5,98	4,48	1,7	10,4	3,9	-	68
Пойменная нейтральная почва (пойменные слабокислые и нейтральные)								
2,4	4,1	6,96	5,89	2,4	5,1	5,1	22,3	82

Н – гидролитическая кислотность, V – степень насыщенности основаниями.

3.3.3. Описание территории Кизеловского угольного бассейна

КУБ находится на территории России, в восточной части Пермского края в предгорье Уральских гор. Территория КУБа, площадью около 1500 км², имеет вытянутую форму вдоль западного склона Уральских гор на 150 км, с запада на юг ширина территории достигает не больше 25 км.

КУБ расположен на отложениях пермского периода палеозойской эры, четвертичные образования представлены делювиальными отложениями (глины и суглинки с дресвой, щебнем и глыбами) (*Атлас Пермского..., 2012*). Особенностью КУБа является широкая закарстованность его территории. Карстующиеся породы занимают более 75% площади района (*Максимович, 2011*). Территория исследования относится к биому зоны хвойных лесов с бореальной Приуральской растительностью (*Национальный Атлас...*). Для территории характерно разнообразие травяных типов леса с участием сибирских видов с примесью лиственницы и кедра. В целом, рассматриваемая территория – это лесной район, но вследствие интенсивных рубок значительные площади покрыты вторичными березняками и смешанными лесами (*Овеснов, 2009*). По природному районированию внутри территории Пермского края, КУБ находится в районе Западного Урала (*Бузмаков, 2020*).

В почвенном отношении территория КУБа по районированию Н.Я. Коротаева (*1962*) относится к зоне горноуральского почвенного округа, западному предгорному району тяжелосуглинистых подзолистых, дерново-подзолистых и заболоченных почв. По Национальному Атласу почв большая часть покрыта подзолистыми почвами, которые представлены преимущественно глубокоподзолистыми и преимущественного неглубокоподзолистыми. На севере изучаемой территории встречаются дерново-подзолистые преимущественно глубокоподзолистые, а на юге – дерново-подзолистые преимущественного неглубокоподзолистые (рис. 3.3.3). В таблице 3.3.3 представлены результаты физико-химического анализа почв. На рис. 3.3.4 представлена схема отбора проб на территории КУБа.

Дерново-подзолистые почвы характеризуются кислой и сильнокислой реакцией (pH_{KCl} 4,02 – 4,67), ненасыщенностью основаниями, низкой емкостью поглощения. Содержание гумуса колеблется от 0,8 до 5,3%, с максимальными значениями в гумусовом горизонте. Подзолистые почвы характеризуются кислой и сильнокислой реакцией (pH_{KCl} 3,84 – 4,78), низкой насыщенностью основаниями и малой емкостью

катионного обмена. Содержание гумуса варьируется от 0,1 до 2,12%, с максимальными значениями в гумусовом горизонте.

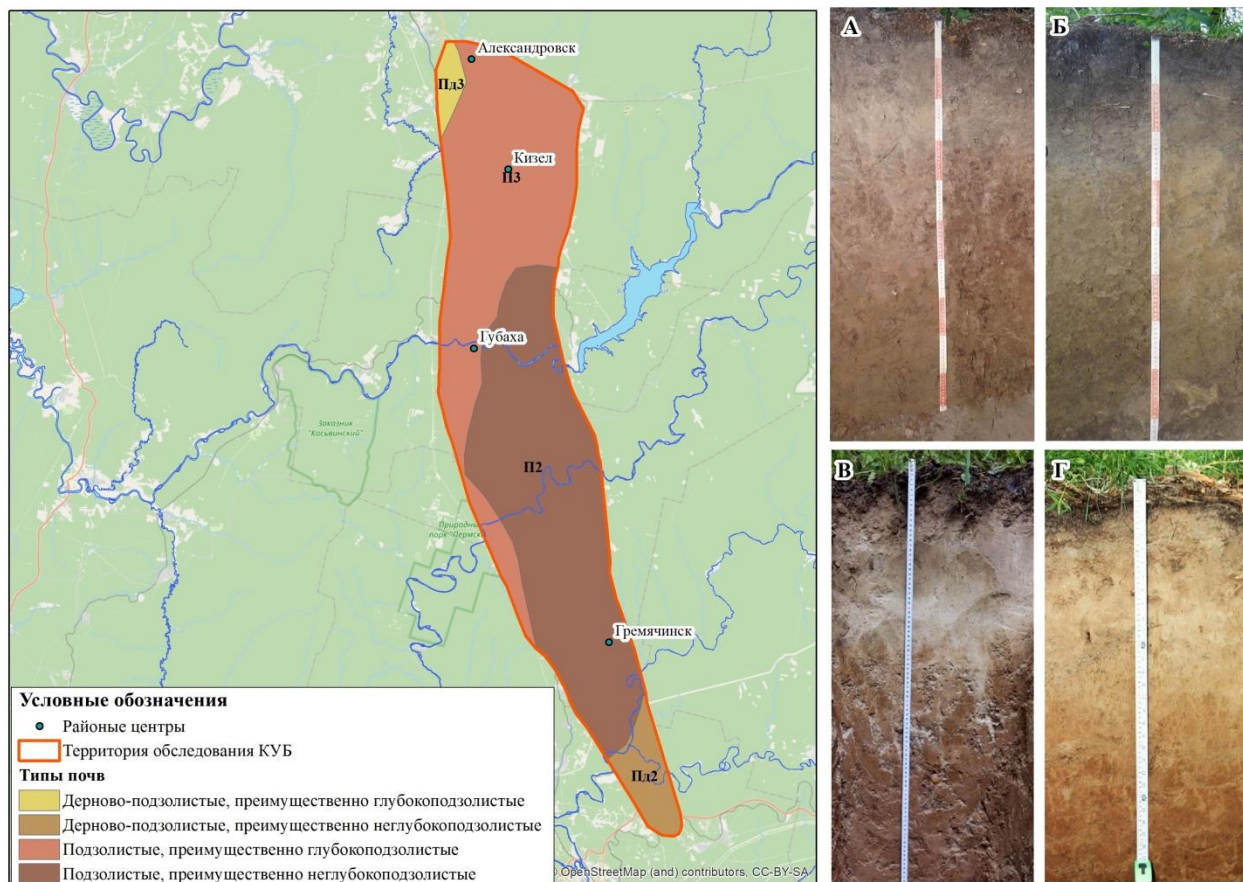


Рис.3.3.3. Типы почв территории КУБа (Национальный Атлас почв)

А – дерново-подзолистая преимущественно глубокоподзолистая; Б – дерново-подзолистая преимущественно неглубокоподзолистая; В – подзолистая преимущественно глубокоподзолистая; Г – подзолистая преимущественно неглубокоподзолистая

Таблица 3.3.3

Физико-химические свойства почв, типичных для территории исследования

Горизонт	Глубина, см	рН		Н	S	Ca+	Mg+	Сумма Ca+Mg	V, %	C, %
		H ₂ O	KCl							
Дерново-подзолистая преимущественно глубокоподзолистая										
AY	0-20	5,58	4,52	4,8	12,6	0,8	-	0,8	72,4	4,9
EL	20-33	5,98	4,67	3,2	9,7	0,9	-	0,9	75,2	0,8
BEL	33-57	6,21	4,02	5,6	14,8	1,3	-	1,3	72,5	-
BT	57-95	6,14	4,31	3,7	28,3	1,2	0,2	1,4	88,4	-
C	с 95	6,33	4,24	3,7	25	1,1	-	1,1	87,1	-
Дерново-подзолистая преимущественно неглубокоподзолистая										
AY	0-7	5,53	4,53	13,1	15,1	1,1	1,6	2,7	53,5	5,3
EL	7-23	5,97	4,03	8,6	14,2	1,2	1,1	2,3	62,3	2,4

Горизонт	Глубина, см	pH		Н	S	Ca+	Mg+	Сумма Ca+Mg	V, %	С, %
		H ₂ O	KCl							
BEL	23-39	5,96	4,12	13,9	26	1,0	1,0	2,0	65,2	-
BT	39-70	6,26	4,25	5,5	28,9	1,1	0,8	1,9	84,0	-
Сса	с 70	7,29	5,14	2,5	43,2	1,8	1,4	3,2	94,5	-
Подзолистая преимущественно глубокоподзолистая										
О	0-5	5,89	4,78	4,5	3,6	0,8	0,9	1,7	36	2,12
EL	5-30	4,62	3,84	15,9	4,4	3,0	1,2	4,2	34	0,93
BEL	30-50	5,32	4,31	7,1	3,6	0,6	0,7	1,3	64	0,12
BT	50-70	5,46	4,41	1,4	4,0	4,3	2,5	6,8	68	0,10
С	70-107	5,60	4,32	2,4	3,7	3,8	1,2	5,0	67	-
Подзолистая преимущественно неглубокоподзолистая										
AY	0-10	5,91	4,50	5,71	4,2	4,8	0,3	5,1	22	1,59
EL	12-36	5,12	4,41	3,09	4,7	3,9	0,9	4,8	19	0,50
BEL	36-50	6,13	4,47	1,67	4,0	3,7	0,5	4,2	66	0,27
BT	50-81	6,47	4,70	0,95	3,6	13,2	2,6	15,8	87	0,12

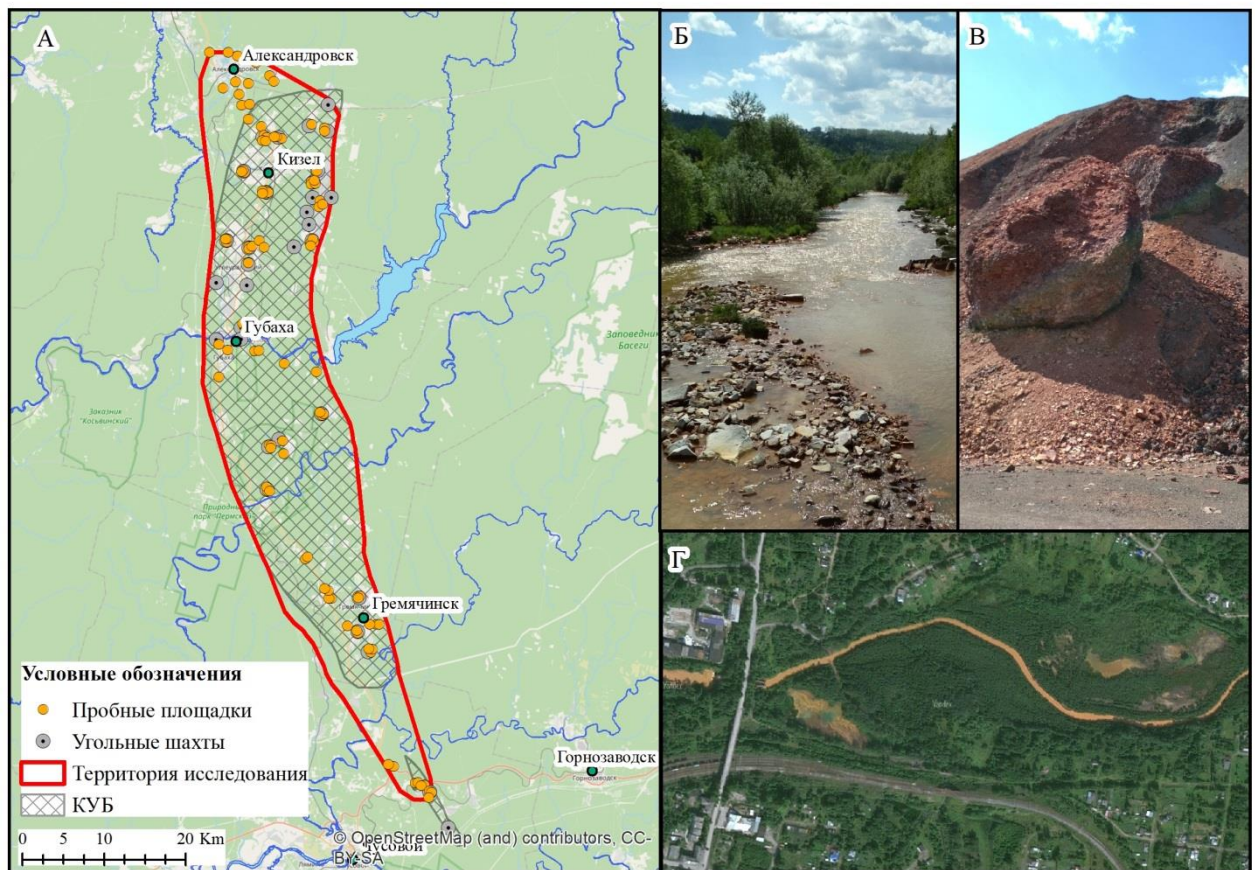


Рис. 3.3.4. Территория влияния техногенного и посттехногенного воздействия
(а – схема отбора проб; б – р. Бол. Кизел; в – отвал; г – спутниковый снимок, г. Кизел)

3.4. Объем собранного материала

В рамках данного исследования были изучены ООПТ, и территории находящиеся под воздействием антропогенной нагрузки. В таблице 3.4.1 представлен объем собранного материала с результатами лабораторных исследований.

Таблица 3.4.1

Объем собранного материала в ходе исследования

Исследованная территория	Число проб		Измерение содержания элементов методом РФА	Изучение физико-химических свойств почв
	Органогенный горизонт	Подгумусовый горизонт		
Территории ООПТ	440	60	+	+
Северный Урал	35	–	+	–
Заповедник Вишерский	80	–	+	+
Западный Урал	40	–	+	–
Средняя тайга	44	–	+	–
Южная тайга	50	–	+	–
Хвойно-широколиственных лесов	45	–	+	–
Кунгурская лесостепь	86	–	+	–
Охраняемый ландшафт «Предуралье»	60	60	+	+
Территории влияния нефтедобычи	198	17	+	+
1.Озерное	20	–	+	+
2.Гагаринское	10	–	+	+
3.Маговское	8	–	+	+
4.Логовское	8	–	+	+
5.Шершневленное	16	–	+	+
6.Рассветное	2	–	+	+
7.Баклановское	4	–	+	+
8.Аптугайское	13	–	+	+
9.Батырбайское	8	–	+	+
10.Чернушинское	2	–	+	+
11.Павловское	2	–	+	+
12.Поспеловский участок	6	–	+	+
13.Красноярско-Куединское	2	–	+	+
14.Гондыревское	2	–	+	+
15.Солодовский участок	4	–	+	+
16.Осинское	2	–	+	+
17.Танышское	2	–	+	+
18.Падунское	2	–	+	+
19.Шумовское	2	–	+	+
20.Мало-Усинское	2	–	+	+
21.Кокуйское	25	–	+	+

Исследованная территория	Число проб		Измерение содержания элементов методом РФА	Изучение физико-химических свойств почв
	Органогенный горизонт	Подгумусовый горизонт		
Долина реки Ясыл	52	17		
22.Ручьевское	4	–	+	+
Территория КУБ	103	103	+	+
Территория ВКМС	129	129	+	+
ИТОГО	870	309	+	+

Базы данных с результатами исследований были зарегистрированы, и на них получены свидетельства о регистрации:

- Геоинформационная база данных геохимических свойств почв на территории Пермского края (Свидетельство № 2020622894);
- Геоинформационная база данных геохимических свойств почв ландшафтного заказника Предуралья (Свидетельство № 2020622893);
- Техногенная трансформация природной среды в карстовом районе (Свидетельство № 2021620770).

Выводы по главе 3

1. Исследование проводилось в три этапа: предполевой, полевой и камеральный с обработкой и интерпретацией результатов. На предполевым этапе проводилось планирование отбора проб и изучение территории исследования, сбора имеющихся материалов. На полевом этапе проводился отбор проб на ООПТ, территориях месторождений нефти, КУБа и ВКМС. Основной частью лабораторных исследований было измерение валового содержания химических элементов в почве методом рентгенофлуоресцентного анализа.

2. В качестве территорий для определения фонового содержания были взяты ООПТ (всего 92), которые находятся в разных природных районах региона. Отдельно более детально было проведено изучение заповедника «Вишерский» (природный район Северный Урал) и ландшафтного заказника «Предуралье» (природный район Кунгурская лесостепь).

3. В качестве территорий, испытывающих антропогенную нагрузку, были взяты территории 22 месторождений нефти (находящихся в 4 природных районах края,

исключая те, которые относятся к горной части). В том числе более детально было проведено исследование в долине реки Ясыл (отмечено высокое загрязнение нефтью), которая находится в районе Кунгурской лесостепи, территория КУБа (природный район Западного Урала) и территория ВКМС (природный район Южной тайги).

4. Всего в рамках исследования было отобрано 1179 проб, из которых 870 отобраны из органогенного горизонта и 309 из подгумусового горизонта. В расчет фонового содержания на территории крашка вошли результаты ихмерения 300 проб. При оценке влияния нефтедобычи были учтены результаты измерения 215 проб. С территории КУБа проанализировано в общей сумме 206 проб, а ВКМС – 258 проб почв.

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

На территориях, относимых к ООПТ, формируется геохимический фон региона, т.к. на выбранных территориях ограничена хозяйственная деятельность и они представляют собой наиболее типичные природные комплексы. Полученный фон важно учитывать при оценке загрязнения на территориях, испытывающих постоянную антропогенную нагрузку. Он является точкой отчета для определения последствий антропогенной нагрузки на территории. Установление местного фона для территории важная теоретическая и прикладная задача в области экологической геохимии. Учитывая, что ООПТ имеют повсеместное распространение на территории края, располагаясь в наиболее типичных природных участках, то они являются наиболее репрезентативными территориями для изучения геохимического фона.

В результате проведенных исследований получено региональное фоновое содержание исследуемого ряда макро- и микроэлементов для Пермского края и природных районов Пермского края (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Региональное фоновое содержание исследованных макро- и микроэлементов для природных районов Пермского края и среднее региональное содержание для Пермского края

Элементы	Показатели, мг/кг	Пермский край	I – Северный Урал	II – Западный Урал	III – Средняя тайга	IV – Южная тайга	V – Хвойно-широколиственных лесов	VI – Кунгурская лесостепь
	<i>n</i>	300	35	40	44	50	45	86
Sr	$\bar{x} \pm P$	238±10	85±14	186±25	229±23	290±22	229±23	239±12,3
	<i>Me</i>	240	81	164	230	293	242	240
	σ	86	28	62	73	92	76	68
	<i>SEn</i>	6	8	15	14	13	14	7
	<i>CV</i>	36 %	33 %	33 %	32 %	32 %	33 %	29 %
Pb	$\bar{x} \pm P$	15±1	18±3	17±2	16±2	15±1	12±1	15±1
	<i>Me</i>	15	18	16	15	15	13	15
	σ	5	5	5	5	5	4	5
	<i>SEn</i>	0,3	1,4	1	1	0,7	0,7	0,5
	<i>CV</i>	33 %	27 %	31 %	33 %	33 %	33 %	33 %

Элементы	Показатели, мг/кг	Пермский край	I – Северный Урал	II – Западный Урал	III – Средняя тайга	IV – Южная тайга	V – Хвойно-широколиственных лесов	VI – Кунгурская лесостепь
As	$\bar{x} \pm P$	7,5±1	6,9±1	7±1	5,8±1	7,8±1	8,4 ±1	7,7±1
	Me	7,6	7,1	7,0	5	7,2	7,6	8
	σ	2,3	2	2,3	2	2,6	2,8	2
	SE _n	0,2	0,6	0,5	0,4	0,4	0,5	0,2
	CV	30 %	29 %	32 %	33 %	33 %	33 %	25 %
Zn	$\bar{x} \pm P$	59±2	55±8	67±9	47±5	65±5	62±5	56±3
	Me	59	50	61	42	61	64	53
	σ	18	15	21	15	21	17	15
	SE _n	1	4	5	3	3	3	2
	CV	30 %	28 %	32 %	32	32 %	26 %	27 %
Ni	$\bar{x} \pm P$	41±2	31±3	40±5	16±2	35±3	52±5	46±2
	Me	36	33	35	14	33	50	45
	σ	15	6	13	6	12	15	12
	SE _n	1	2	3	1	2	3	1
	CV	37 %	20 %	32 %	33 %	33 %	29 %	25 %
Co	$\bar{x} \pm P$	14±1	11±1	8 ±1	6±1	9±1	8±1	24±1
	Me	10	11	8	6	8	7	24
	σ	9	2	2	2	3	2	7
	SE _n	0,6	0,5	0,6	0,3	0,4	0,4	0,7
	CV	64 %	17 %	28 %	31 %	31 %	26 %	27 %
Fe	$\bar{x} \pm P$	24500±700	29200±3400	29800±3600	22300±1800	23600±1400	25200±2300	23400±1000
	Me	23200	27800	28400	21400	22800	23500	22400
	σ	6600	6700	8700	5700	6000	7500	5500
	SE _n	400	1900	2100	1100	700	1300	600
	CV	27 %	23 %	29 %	26 %	26 %	30 %	23 %
Mn	$\bar{x} \pm P$	762±27	376±35	517±61	828±52	768±61	866±68	796±41
	Me	755	381	512	765	781	886	765
	σ	248	68	150	163	253	224	227
	SE _n	17	20	35	31	36	40	24
	CV	33 %	18 %	29 %	20 %	33 %	26 %	28 %
Cr	$\bar{x} \pm P$	127±3	141±7	135±6	105±8	124±6	148±10	126±4
	Me	126	140	136	104	119	150	125
	σ	27	14	14	25	26	34	21
	SE _n	2	4	3	5	4	6	2
	CV	21 %	10 %	10 %	24 %	21 %	23 %	17 %
V	$\bar{x} \pm P$	65±3	87±14	100±13	60±6	60±4	57±5	63±4
	Me	63	92	90	61	60	61	60
	σ	23	27	33	20	17	17	21
	SE _n	2	8	8	4	2	3	2
	CV	36 %	32 %	33 %	33 %	29 %	30 %	33
Ti	$\bar{x} \pm P$	4200±100	5200±600	4900±500	4100±300	4000±200	4000±300	4200±200
	Me	4300	5400	5200	4100	4200	4200	4500

Элементы	Показатели, мг/кг	Пермский край	I – Северный Урал	II – Западный Урал	III – Средняя тайга	IV – Южная тайга	V – Хвойно-широколиственных лесов	VI – Кунгурская лесостепь
	σ	900	1200	1200	900	800	800	800
	SE_n	100	400	300	200	100	200	100
	CV	22 %	23 %	24 %	22 %	21 %	21 %	19 %

Для Пермского края и природных районов Пермского края по полученным данным были построены геохимические ряды относительно абсолютного содержания макро- и микроэлементов в почвах, отображенные в таблице 4.2.

Условно принимаем равномерным геохимический ряд в целом для Пермского края, что является целесообразным для понимания геохимической специфики региона. И говоря о среднем содержании, формирующимся на всей площади края, мы считаем это важным. В результате полученных данных, геохимический ряд для Пермского края выглядит следующим образом: Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>V>Zn>Ni>Pb>Co>As. В данном случае мы можем говорить о преобладающей сидерофильной геохимической специализации, и в меньшей степени лито- и халькофильной.

Таблица 4.2

**Геохимические ряды природных районов Пермского края
(относительно содержания, мг/кг)**

Природный район	Геохимический ряд по абсолютным значениям
Пермский край	Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>V>Zn>Ni>Pb>Co>As
I – Северный Урал	Fe>Ti>Mn>Cr>V>Sr>Zn>Ni>Pb>Co>As
II – Западный Урал	Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>V>Zn>Ni>Pb>Co>As
III – Средняя тайга	Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>V>Zn>Ni>Pb>As>Co
IV – Южная тайга	Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>Zn>V>Ni>Pb>Co>As
V – Хвойно-широколиственные леса	Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>Zn>V>Ni>Pb>As>Co
VI – Кунгурская лесостепь	Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>V>Zn>Ni>Co>Pb>As

При анализе полученных абсолютных геохимических рядов можно выделить некоторые особенности, проявляющиеся в сопоставимости и различие геохимических рядов для природных районов Пермского края. Для всех природных районов характерно наибольшее содержание Fe>Ti>Mn. Такое содержание обусловлено тем, что данные

элементы относятся к макроэлементам, и в среднем их содержание в почвах больше $n \times 10^{-2}\%$. Положение Mn неоднозначно, потому что его содержание может быть как меньше, так и больше данного значения. Но если исходить из значений кларка по А.П. Виноградову (1962), то мы можем относить Mn к макроэлементам. Помимо этого, данные элементы относятся к группе сидерофильных, так называемых мигрантов, проявляя свою подвижность в зависимости от окислительно-восстановительных свойств исследуемых ландшафтов.

Проводя дальнейший анализ схожести данных геохимических рядов, но, уже говоря о микроэлементах, выделяется ряд Северного Урала, так как он схож с остальными только содержанием макроэлементов. Но в отличие от других районов, на территории Северного Урала отмечено более высокое содержание Cr и V, и меньшее содержание Sr. Таким образом, можно говорить о том, что геохимический ряд Северного Урала имеет более выраженную сидерофильную геохимическую специализацию, формируясь под воздействием природных факторов.

Для всех природных районов, кроме Северного Урала, мы отмечаем дальнейшую схожесть по содержанию $Sr > Cr$. В данном случае большее количество Sr, относящегося к группе литофильных элементов, говорит о смене характера поступления элементов в ландшафты, отличающихся от горной местности.

Далее выделяются по схожему содержанию группы $V > Zn > Ni > Pb$ Западный Урал и Средняя тайга. Между ними отмечены различия только по содержанию Co и As, что объясняется различными природными условиями (биоклиматическими, подстилающими породами), повлиявшими на формирование геохимического фона территории.

По содержанию группы $Zn > V > Ni > Pb$ выделяются район Хвойно-широколиственных лесов и Южная тайга. В них так же различным между собой остается содержание Co и As, что так же природными условиями.

Кунгурская лесостепь выделяется среди других природных районов по содержанию элементов группы $V > Zn > Ni > Co > Pb > As$. В целом отличие геохимических особенностей на территории Кунгурской лесостепи обуславливается сформировавшимися уникальными природными условиями (биоклиматическими, подстилающими породами), которые не являются типичными для Пермского края, и в целом для умеренных широт и таежной природной зоны.

Полностью совпадает со средним геохимическим рядом Пермского края геохимический ряд для Западного Урала, частично (в большей своей части) Средняя тайга.

По результатам кластерного анализа (рис 4.1) было получено, что различия геохимических особенностей территории края происходят относительно природных районов. В результате можно говорить об основных факторах, влияющих на формирование геохимических особенностей территории региона.

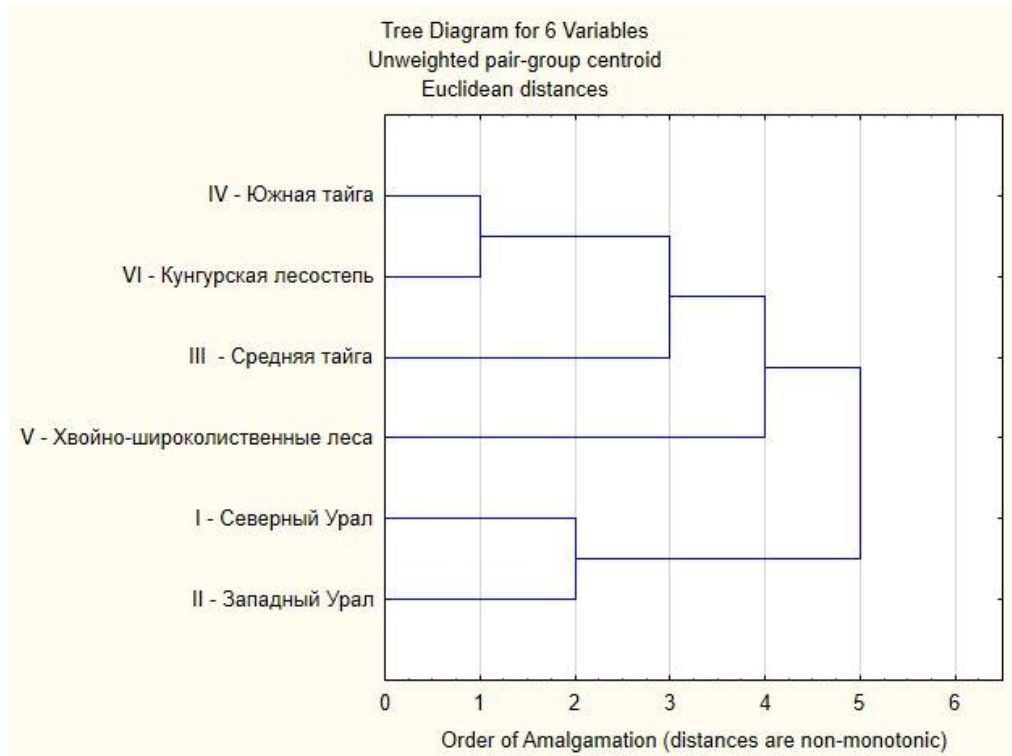


Рис.4.1. Результаты кластерного анализа (природные кластеры)

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

Фактором первого ранга является изменение макрорельефа. Пространственная дифференциация происходит 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 разделились на две группы, где отдельно выделяется район Хвойно-

широколиственных лесов (наиболее южный район края, зона подтайги) и объединяются в одну группу Средняя и Южная тайга, Кунгурская лесостепь. Несомненно, представляет интерес феномен Кунгурской реликтовой лесостепи, который по геохимическому спектру более тяготеет к таежной зоне, чем к хвойно-широколиственным лесам.

Для сравнения полученных фоновых содержаний был применен t-критерий Стьюдента (табл. 4.3).

Таблица 4.3

Элементы, разница по содержанию которых в природных районах имеет достоверную значимость относительно t-критерия Стьюдента

Природные районы	II - Западный Урал	III - Средняя тайга	IV - Южная тайга	V - Хвойно-широколиственные леса	VI - Кунгурская лесостепь
I - Северный Урал	Sr, Ni, Co, Mn	Sr, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti	Sr, Pb, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti	Sr, Pb, As, Ni, Co, Mn, V, Ti	Sr, Pb, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti
II - Западный Урал		Sr, As, Zn, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti	Sr, Fe, Mn, Cr, V, Ti	Pb, Ni, Mn, V, Ti	Zn, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti
III - Средняя тайга			Sr, As, Zn, Ni, Co, Cr	Pb, As, Zn, Ni, Co, Cr	As, Zn, Ni, Co, Cr
IV - Южная тайга				Sr, Pb, Ni, Co, Mn, Cr	Sr, Zn, Ni, Co
V - Хвойно-широколиственные леса					Pb, Co, Cr

В результате оценки значимости различий средних была получена следующая картина: район Северного Урала, территория которого представлена среднегорными ландшафтами, наиболее отлична от других по геохимическим особенностям. Причем степень различия возрастает к югу. Более близок Северный Урал к Западному Уралу, что объясняется территориальной близостью, а так же большей схожестью природных условий. Максимальные же отличия отмечаются с Кунгурской лесостепью – самым южным районом края. В целом, по разному числу элементов, все районы отличны между собой. Интересно, что Кунгурская лесостепь сильно выделяется среди других районов содержанием Co. Максимально близки друг к другу Кунгурская лесостепь и

район Хвойно-широколиственных лесов – оба района находятся в южной части региона, и имеют схожие черты по биогеоценотической структуре.

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.

Составление абсолютных геохимических рядов позволило нам сопоставить между собой природные районы и в целом оценить содержание элементов в почвах. Но важным также остается выявить концентрирующиеся и рассеивающиеся элементы. В таблицах 4.4 – 4.6 представлены геохимические ряды накопления и рассеивания относительно кларка и регионального фона Пермского края.

В результате сопоставления с кларком по А.П. Виноградову можно говорить, что региональный геохимический фон для Пермского края отличается от мирового кларка для земной коры. Для Пермского края выявлено аккумулятивное поведение As, и рассеивание остальных элементов.

Таблица 4.4

Геохимические ряды накопления макро- и микроэлементов в Пермском крае относительно кларка

Относительно кларка А.П. Виноградова (1962)	Относительно кларка по Н.А. Григорьеву (2009) и Hu & Gao (2008)
НАКОПЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ	
Пермский край	
$\frac{As}{4,4}$	$\frac{Cr}{1,4} > \frac{As}{1,3} > \frac{Ti}{1,1}$
I – Северный Урал	
$\frac{As}{4,1} > \frac{Ti}{1,2} > \frac{Pb}{1,1}$	$\frac{Cr}{1,5} > \frac{Ti}{1,3} > \frac{As}{1,2} > \frac{Pb}{1,1}$
II – Западный Урал	
$\frac{As}{4,1} > \frac{V}{1,1} = \frac{Ti}{1,1} = \frac{Pb}{1,1}$	$\frac{Cr}{1,5} > \frac{As}{1,3} = \frac{Ti}{1,3}$
III – Средняя тайга	
$\frac{As}{3,4}$	$\frac{Cr}{1,1} = \frac{Mn}{1,1} = \frac{Ti}{1,1}$
IV – Южная тайга	
$\frac{As}{4,6}$	$\frac{As}{1,4} = \frac{Cr}{1,4} > \frac{Sr}{1,1}$

Относительно кларка А.П. Виноградова (1962)	Относительно кларка по Н.А. Григорьеву (2009) и Hu & Gao (2008)
V – Хвойно-широколиственных лесов	
$\frac{As}{4,9}$	$\frac{Cr}{1,6} > \frac{As}{1,5} > \frac{Mn}{1,1}$
VI – Кунгурская лесостепь	
$\frac{As}{4,5} > \frac{Co}{1,3}$	$\frac{Co}{1,6} > \frac{As}{1,4} = \frac{Cr}{1,4} > \frac{Ti}{1,1}$

Таблица 4.5

**Геохимические ряды рассеивания макро- и микроэлементов в Пермском крае
относительно кларков**

Относительно кларка А.П. Виноградова (1962)	Относительно кларка по Н.А. Григорьеву (2009) и Hu & Gao (2008)
РАСSEИВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ	
Пермский край	
$\frac{Pb}{1,1} > \frac{Ti}{1,1} > \frac{Co}{1,3} > \frac{Mn}{1,3} > \frac{V}{1,4} > \frac{Zn}{1,4} > \frac{Ni}{1,4} > \frac{Sr}{1,4} > \frac{Fe}{1,9} > \frac{Cr}{2,4}$	$\frac{Co}{1,1} > \frac{Pb}{1,1} > \frac{Sr}{1,1} > \frac{Ni}{1,2} > \frac{Zn}{1,3} > \frac{V}{1,6} > \frac{Fe}{1,7}$
I – Северный Урал	
$\frac{Zn}{1,5} > \frac{Fe}{1,6} > \frac{Co}{1,6} > \frac{Ni}{1,9} > \frac{Cr}{2,1} > \frac{Mn}{2,7} > \frac{Sr}{4,0}$	$\frac{V}{1,2} > \frac{Zn}{1,4} > \frac{Co}{1,4} > \frac{Fe}{1,4} > \frac{Ni}{1,6} > \frac{Mn}{2,1} > \frac{Sr}{3,2}$
II – Западный Урал	
$\frac{Zn}{1,2} > \frac{Ni}{1,5} > \frac{Fe}{1,6} > \frac{Sr}{1,8} > \frac{Mn}{1,9} > \frac{Cr}{2,2} > \frac{Co}{2,3}$	$\frac{V}{1,1} > \frac{Zn}{1,1} > \frac{Ni}{1,3} > \frac{Fe}{1,4} > \frac{Sr}{1,5} > \frac{Mn}{1,5} > \frac{Co}{1,9}$
III – Средняя тайга	
$\frac{Ti}{1,1} > \frac{Mn}{1,2} > \frac{Sr}{1,5} > \frac{V}{1,5} > \frac{Zn}{1,8} > \frac{Fe}{2,1} > \frac{Cr}{2,9} > \frac{Co}{3,0} > \frac{Ni}{3,6}$	$\frac{Pb}{1,1} > \frac{Sr}{1,2} > \frac{Zn}{1,6} > \frac{V}{1,8} > \frac{Fe}{1,8} > \frac{Co}{2,5} > \frac{Ni}{3,1}$
IV – Южная тайга	
$\frac{Pb}{1,1} > \frac{Ti}{1,1} > \frac{Sr}{1,2} > \frac{Zn}{1,3} > \frac{Mn}{1,3} > \frac{V}{1,5} > \frac{Ni}{1,7} > \frac{Fe}{2,0} > \frac{Co}{2,0} > \frac{Cr}{2,4}$	$\frac{Pb}{1,1} > \frac{Zn}{1,2} > \frac{Ni}{1,4} > \frac{Co}{1,7} > \frac{Fe}{1,7} > \frac{V}{1,8}$
V – Хвойно-широколиственных лесов	
$\frac{Ni}{1,1} > \frac{Ti}{1,1} > \frac{Mn}{1,2} > \frac{Pb}{1,3} > \frac{Zn}{1,3} > \frac{Sr}{1,5} > \frac{V}{1,6} > \frac{Fe}{1,9} > \frac{Cr}{2,0} > \frac{Co}{2,3}$	$\frac{Sr}{1,2} > \frac{Zn}{1,2} > \frac{Pb}{1,4} > \frac{Fe}{1,6} > \frac{V}{1,9} > \frac{Co}{1,9}$
VI – Кунгурская лесостепь	
$\frac{Pb}{1,1} > \frac{Ti}{1,1} > \frac{Mn}{1,3} > \frac{Ni}{1,3} > \frac{Sr}{1,4} > \frac{V}{1,4} > \frac{Zn}{1,5} > \frac{Fe}{2,0} > \frac{Cr}{2,4}$	$\frac{Ni}{1,1} > \frac{Sr}{1,1} > \frac{Pb}{1,1} > \frac{Zn}{1,3} > \frac{V}{1,7} > \frac{Fe}{1,7}$

Таблица 4.6

**Геохимические ряды рассеивания и накопления макро- и микроэлементов в
природных районах относительно фона Пермского края**

НАКОПЛЕНИЕ	РАСSEИВАНИЕ
I – Северный Урал	
$\frac{V}{1,3} > \frac{Fe}{1,2} = \frac{Ti}{1,2} = \frac{Pb}{1,2} > \frac{Cr}{1,1}$	$\frac{As}{1,1} = \frac{Zn}{1,1} > \frac{Ni}{1,3} = \frac{Co}{1,3} > \frac{Mn}{2} > \frac{Sr}{2,8}$
II – Западный Урал	
$\frac{V}{1,5} > \frac{Fe}{1,2} = \frac{Ti}{1,2} > \frac{Pb}{1,1} = \frac{Zn}{1,1} = \frac{Cr}{1,1}$	$\frac{As}{1,1} > \frac{Sr}{1,3} > \frac{Mn}{1,5} > \frac{Co}{1,8}$
III – Средняя тайга	
$\frac{Mn}{1,1} = \frac{Pb}{1,1}$	$\frac{Fe}{1,1} = \frac{V}{1,1} = \frac{Cr}{1,2} > \frac{As}{1,3} = \frac{Zn}{1,3} > \frac{Co}{2,3} > \frac{Ni}{2,6}$

НАКОПЛЕНИЕ	РАСSEИВАНИЕ
IV – Южная тайга	
$\frac{Sr}{1,2} > \frac{Zn}{1,1}$	$\frac{V}{1,1} = \frac{Ti}{1,1} > \frac{Ni}{1,2} > \frac{Co}{1,6}$
V – Хвойно-широколиственных лесов	
$\frac{Ni}{1,3} > \frac{Cr}{1,2} > \frac{Mn}{1,1} = \frac{As}{1,1} = \frac{Zn}{1,1}$	$\frac{Ti}{1,1} = \frac{V}{1,1} > \frac{Pb}{1,3} > \frac{Co}{1,8}$
VI – Кунгурская лесостепь	
$\frac{Co}{1,7} > \frac{Ni}{1,1}$	$\frac{Fe}{1,1} = \frac{Zn}{1,1}$

Сопоставляя среднее содержание в Пермском крае с кларком по Н.А. Григорьеву (2009) и Hu & Gao (2008), картина получается несколько иная. Не наблюдается такой высокой степени накопления As, но сохраняется накопление Ti, а наибольшее накопление отмечено для Cr. В целом можно говорить о том, что **по сравнению с верхней частью континентальной земной коры в Пермском крае накапливаются Ti, Cr и As, что соответствует лито-халькофильной специализации.**

Относительно кларка по А.П. Виноградову особенно стоит отметить As, который аккумулируется на территории всех природных районов, причем в большей степени в районе Хвойно-широколиственных лесов. Содержание Ti и Pb характеризуется накоплением, относительно кларка, в предгорной и среднегорной части края (Северный Урал и Западный Урал). Co аккумулируется на территории Кунгурской лесостепи, V на территории Западного Урала.

Большая часть элементов, относительно кларка по А.П. Виноградову, находится в рассеянном состоянии, что в целом обосновано, так как приведенный кларк характеризует среднее содержание для литосферы, а не только почвы. Здесь можно отметить, что наиболее быстро рассеивается Sr на территории Северного Урала, Zn, Ni, Co, Fe в районе Хвойно-широколиственных лесов, Ni и Co в Средней тайге. Характер накопления и рассеивания Sr, As, Cr и Ti схож на территории всех природных районов.

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.

Говоря о специфичных чертах природных районов, которые проявляются при сопоставлении с кларком по Н.А. Григорьеву (2009) и Hu & Gao (2008), то стоит отметить следующие особенности:

- На территории Северного Урала накапливаются Cr, Ti, As и Pb, рассеиваются остальные.
- в Западном Урале накапливаются Cr, As и Ti, рассеиваются остальные, кроме Pb, который находится на уровне кларка.
- Средняя тайга характеризуется накоплением Cr, Mn и Ti, содержание As на уровне кларка, а остальные рассеиваются.
- в Южной тайге накапливаются As, Cr, Sr, на уровне кларка находится содержание Ti и Pb, остальные рассеиваются.
- на территории района Хвойно-широколиственных лесов накапливается Cr, As, Mn, на уровне кларка Ni и Ti, остальные рассеиваются.
- в районе Кунгурской лесостепи накапливаются Co, As, Cr и Ti, на уровне кларка Mn, остальные рассеиваются.

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.

Анализируя геохимические относительно регионального фона Пермского края, стоит отметить то, что данные по природным районам значительно отличаются, в отличие от рядов, составленных относительно кларка, в котором характер примерно схож.

Геохимические ряды Северного и Западного Урала схожи по распределению всех элементов, кроме Zn. В почвах Северного Урала он рассеивается, а в почвах Западного Урала аккумулируется. Но такое сходство прослеживается только при делении на группы, относительно характера распределения: рассеивается или аккумулируется. Если же сравнивать степень рассеивания и аккумулирования, то в почвах Северного Урала

все рассеивающиеся элементы, кроме Co, рассеиваются в большей степени. Характер распределения элементов в почвах Западного Урала близок к региональному фону.

Геохимический ряд для почв района Средней тайги выделяется тем, что относительно регионального фона происходят накопление Pb и Mn, остальные же элементы рассеиваются или находятся на уровне фона. Распределение элементов в почвах Южной тайги так же уникально (практически все элементы находятся в рассеянном состоянии, накапливаются Sr, Zn), по сравнению с другими районами, но в целом приближено к региональному фону.

Распределение элементов в районе Хвойно-широколиственных лесов и Кунгурской лесостепи характеризуется тем, что большее число элементов аккумулируются. Но между собой районы схожи лишь характером накопления Ni. В Кунгурской лесостепи отмечается высокое накопление Co, а в районе Хвойно-широколиственных лесов Ni и Cr.

В результате, относительно фона Пермского края природные районы в геохимическом плане характеризуются следующим образом:

- Северный Урал лито-сидеро-халькофильной специализации с ванадий-цинково-полиметаллической ассоциацией
- Западный Урал лито-сидеро-халькофильной специализации с ванадий-полиметаллической ассоциацией
- Средняя тайга сидеро-халькофильной специализации с марганцево-свинцовой ассоциацией
- Южная тайга лито-халькофильной специализации со стронций-цинковой ассоциацией
- Хвойно-широколиственных лесов сидеро-лито-халькофильной специализации с никелево-полиметаллической ассоциацией
- Кунгурская лесостепь сидерофильной специализации с кобальт-никелевой ассоциацией

Далее рассмотрим более подробно распределение всех исследуемых макро- и микроэлементов на территории природных районов Пермского края (табл. 4.1).

На рис. 4.2 представлено распределение рассматриваемых макроэлементов (Fe, Ti и Mn). Распределение исследуемых макроэлементов на территории Пермского края

носит равномерный характер, несмотря на некоторые отличия по содержанию между природными районами.

Распределение Ti на территории края в целом равномерное ($CV=22\%$), со средним содержанием 4200 ± 100 мг/кг. Наибольшее содержание отмечено в горной части региона. На территории Кунгурской лесостепи содержание Ti приближено к среднему по краю (4200 ± 200 мг/кг). Данные значения выше на 20% относительно данных И.С. Копылова (2012).

Ранее приведенных данных для Пермского края по Fe не было. Распределение Fe со средним содержанием на территории края 24500 ± 700 мг/кг. Наибольшее содержание отмечено в горных природных районах. Для равнинных природных районов среднее содержание приближено к среднему по Пермскому краю. В регионе содержание меньше кларка по А.П. Виноградову примерно на 20 – 25%, а по сравнению с кларком по Н.А. Григорьеву (2009) и Hu & Gao (2008) полученное значение меньше на 16%.

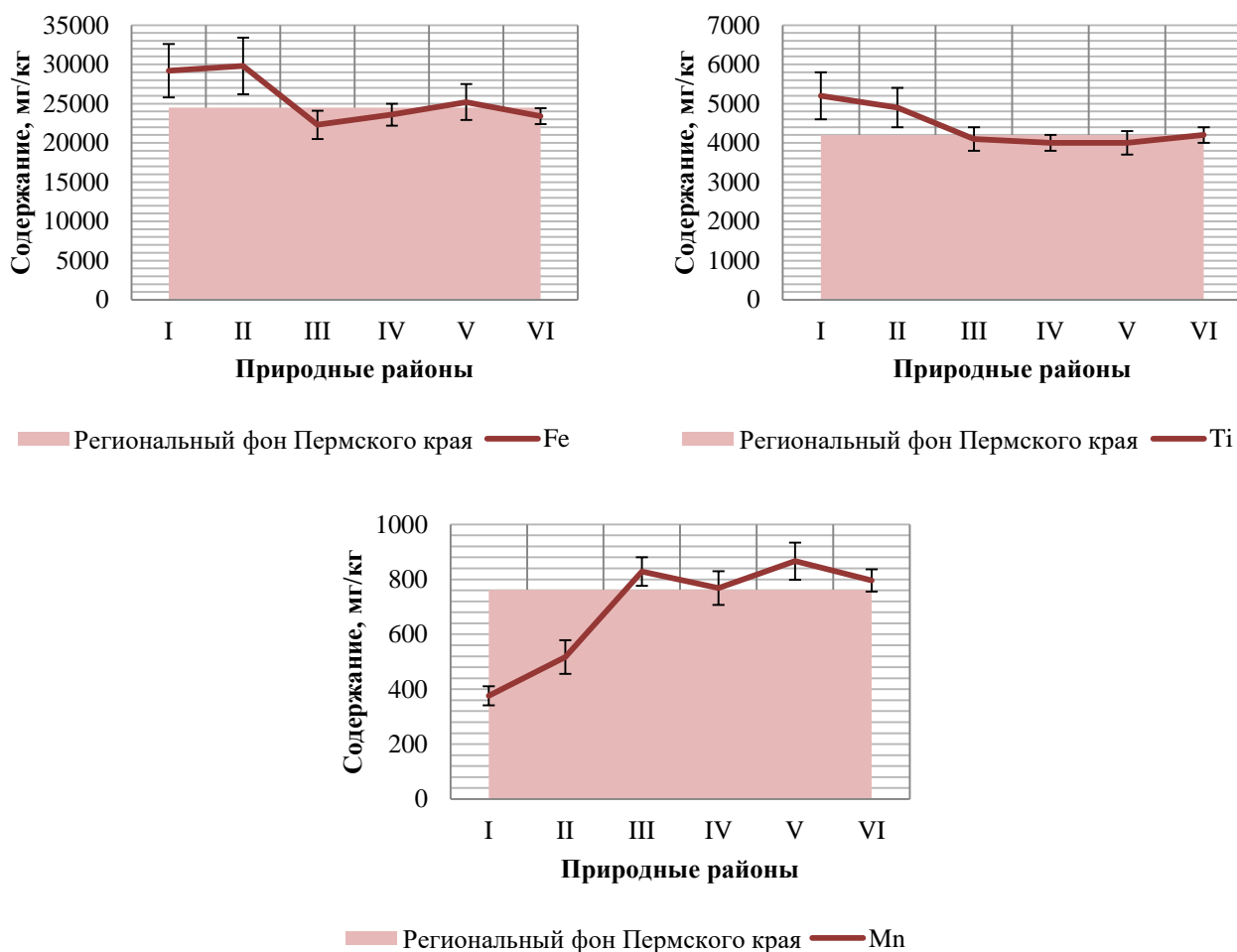


Рис. 4.2. Распределение Fe, Ti и Mn на территории Пермского края
(I – Северный Урал; II – Западный Урал; III – Средняя тайга; IV – Южная тайга; V – Хвойно-широколиственных лесов; VI – Кунгурская лесостепь)

Распределение Mn со средним содержанием на территории края 762 ± 27 мг/кг. По распределению Mn характерно увеличение с севера на юг, причем стоит отметить, что на Северном и Западном Урале значения по содержанию меньше, чем среднее по краю на 30 – 50%. Наибольшее содержание отмечено в районе Хвойно-широколиственных лесов (866 ± 68 мг/кг). Данные значения ниже в 2 раза, чем содержание по данным И.С. Копылова (2012). На рис. 4.3 и 4.4 представлено распределение рассматриваемых микроэлементов (Sr, Cr, V, Zn, Ni, Pb, Co и As).

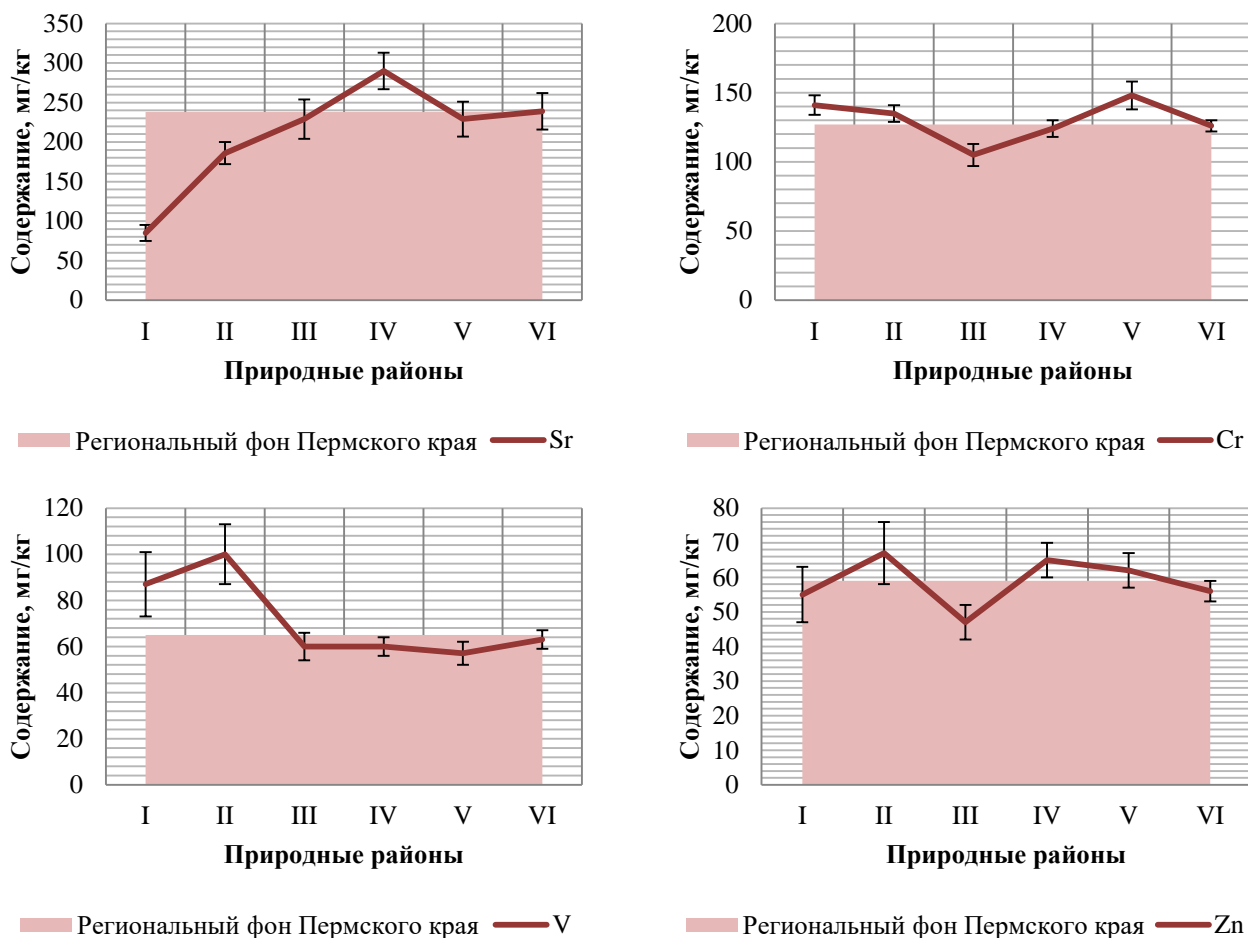


Рис. 4.3. Распределение Sr, Cr, V и Zn в Пермском крае

(I – Северный Урал; II – Западный Урал; III – Средняя тайга; IV – Южная тайга; V – Хвойно-широколиственных лесов; VI – Кунгурская лесостепь)

Распределение Sr на территории Пермского края со средним содержанием 238 ± 10 мг/кг. Наименьшее содержание отмечено для территории Северного Урала (85 ± 14 мг/кг), а наибольшее для Южной тайги (290 ± 22 мг/кг). Распределение на оставшихся районах более однородное между собой и близко к среднему по краю. Полученные значения в 4 раза выше данных И.С. Копылова (2012). Распределение согласуется с

представлениями о том, что Sr в почвах в большей степени контролируется составом материнских пород и климатом.

Распределение Sr на территории Пермского края со средним содержанием 127 ± 3 мг/кг. Наименьшее содержание отмечено для Средней тайги (105 ± 8 мг/кг), наибольшее для района Хвойно-широколиственных лесов (148 ± 10 мг/кг). Распределение на территории оставшихся природных районов близко к среднему содержанию для края. Полученные значения ниже данных по И.С. Копылову (2012) в 2 раза.

Распределение V на территории Пермского края со средним содержанием 65 ± 3 мг/кг. Наибольшее содержание отмечено для территории Западного Урала (100 ± 13 мг/кг) и Северного Урала (87 ± 14 мг/кг). Содержание на территории остальных природных районов более однородно, и близко к среднему по краю. Полученное среднее значение ниже в 1,5 раза данных по И.С. Копылову (2012).

Распределение Zn на территории Пермского края со средним содержанием 59 ± 2 мг/кг. Наибольшее содержание отмечено для Западного Урала (69 ± 9 мг/кг), наименьшее для Средней тайги (47 ± 5 мг/кг). Содержание на территории остальных природных районов более однородно, и близко к среднему по краю. Полученное среднее значение меньше данных по И.С. Копылову (2012) в 1,4 раза.

Распределение Ni на территории Пермского края со средним содержанием 41 ± 2 мг/кг. Наибольшее содержание отмечено на юге края в районе Хвойно-широколиственных лесов (52 ± 5 мг/кг) и Кунгурской лесостепи (46 ± 2 мг/кг), наименьшее в районе Средней тайги (16 ± 2 мг/кг). Полученное среднее значение совпадает с данными И.С. Копылова (2012).

Распределение Pb на территории Пермского края со средним содержанием 15 ± 1 мг/кг. Между природными районами наблюдается уменьшение содержания с севера на юг, где максимальное отмечено для Северного Урала (18 ± 3 мг/кг), а минимальное для района Хвойно-широколиственных лесов (12 ± 1 мг/кг). Полученное среднее значение меньше в 2 раза данных по И.С. Копылова (2012).

Распределение Co на территории Пермского края со средним содержанием 14 ± 1 мг/кг. Причем, стоит отметить, что неоднородность распределения на территории региона обусловлена тем, что на территории Кунгурской лесостепи (24 ± 1 мг/кг) отмечено содержание, которое в 2 и более раз выше, чем на территории оставшихся районов. Если из выборки исключить Кунгурскую лесостепь, то на территории

оставшихся природных районах формируется однородное распределение Co ($CV=33\%$). Минимальное содержание характерно для территории Средней тайги (6 ± 1 мг/кг). Полученное среднее значение меньше данных по И.С. Копылову (2012) в 1,3 раза.

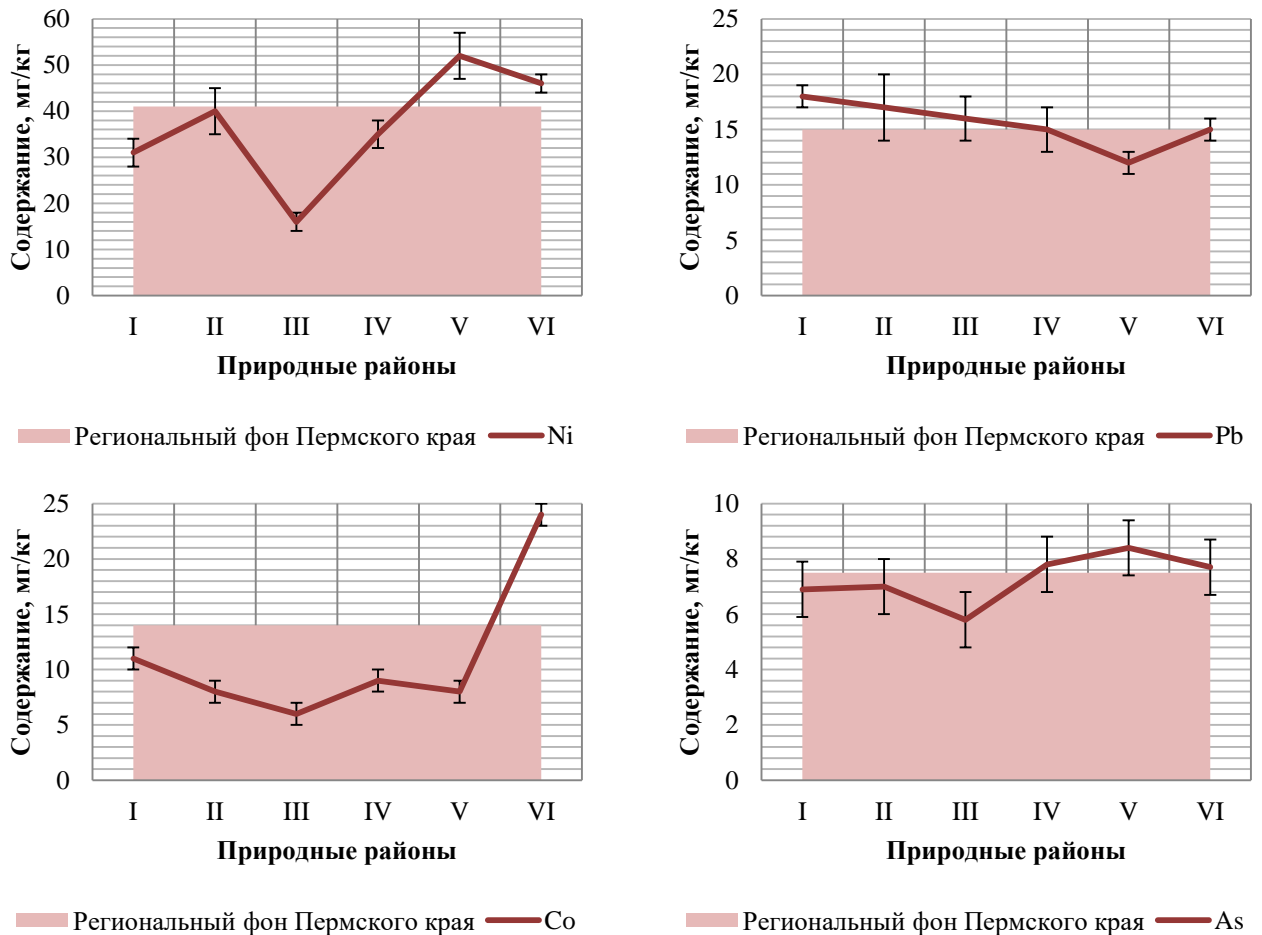


Рис. 4.3. Распределение Ni, Pb, Co и As в Пермском крае

(I – Северный Урал; II – Западный Урал; III – Средняя тайга; IV – Южная тайга; V – Хвойно-широколиственных лесов; VI – Кунгурская лесостепь)

Ранее приведенных данных для Пермского края по содержанию As не было. Распределение As на территории Пермского края со средним содержанием $7,5\pm 1$ мг/кг. Наибольшее среднее содержанием отмечено в районе Хвойно-широколиственных лесов ($8,4\pm 1$ мг/кг), а наименьшее в районе Средней тайги ($5,8\pm 1$ мг/кг). Полученное среднее содержание выше кларка по А.П. Виноградову в 4 раза, а по сравнению с кларком по Н.А. Григорьеву (2009) и Hu & Gao (2008) полученное значение выше в 1,5 раза.

В ходе проведенного исследования были определены региональные фоновые содержания для Sr, Pb, As, Zn, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti для территории Пермского края, а так же для отдельных природных районов. Определен геохимический ряд для

территории Пермского края $Fe > Ti > Mn > Sr > Cr > V > Zn > Ni > Pb > Co > As$, по сравнению с верхней частью континентальной земной коры в Пермском крае накапливаются **Ti, Cr и As**, что соответствует лито-халькофильной специализации.

Полученные фоновые содержания были сопоставлены с кларком А.П. Виноградова (1962), кларком по Н.А. Григорьеву (2009) и Hu & Gao (2008), данными по литогеохимическим особенностям Приуралья И.С. Копылова (2012). Наиболее объективно региональные особенности определяются при сопоставлении с данными по Н.А. Григорьеву (2009) и Hu & Gao (2008), поскольку приведенная совокупность кларков разных авторов наиболее репрезентативно отражает геохимические особенности континентальной земной коры, как утверждают в своей статье Касимов и Власов (2015). Данные А.П. Виноградова несмотря на свое широкое применение часто намного ниже полученных содержаний, в результате чего есть риск получения ложных геохимических аномалий.

Для **Fe и As** фоновые содержания получены впервые. Полученные данные по фоновому содержанию **Ni** подтвердились с ранее предложенными данными И.С. Копыловым (2012). Фоновые содержания для **Ti, Mn, Sr, Pb, Co, Cr, V и Zn** уточнены. Полученные фоновые содержания для Пермского края для **Ti и Sr** выше, чем данные И.С. Копылова [14], для остальных – ниже. Выявлено, что по сравнению с верхней частью континентальной земной коры в Пермском крае накапливаются **Ti, Cr и As**, что соответствует лито-халькофильной специализации.

4.1. Геохимические особенности, сформировавшиеся на Северном Урале в результате смены высотных поясов

Результаты по содержанию макро- и микроэлементов в почвах на исследуемых фитоценозах представлены в таблице 4.1.1.

Таблица 4.1.1

Содержание микро- и макроэлементов в почвах заповедника «Вишерский»

	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Mn	Cr	V	Ti
<i>Елово-пихтовый лес кислично-мелкопапоротниковый (284 м.н.у.м.)</i>										
\bar{x} , мг/кг	70	14	7,8	85	35	13	399	137	110	6471
σ , мг/кг	3,1	3,1	1,7	7,9	0,9	1,0	34	5,5	5,9	1636
SE, мг/кг	1,3	1,3	1,3	0,7	0,7	0,4	0,3	18	2,2	668
CI, мг/кг	3,2	3,2	3,2	1,8	1,8	1,0	0,8	45	5,7	1722
CV, %	4	22	22	9	3	7	8	4	5	25

	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Mn	Cr	V	Ti
<i>Смешанный лес (310 м.н.у.м.)</i>										
\bar{x} , мг/кг	106	22	8,0	68	34	13	486	131	80	4169
σ , мг/кг	3,5	0,5	0,3	1,7	1,6	0,7	5,1	2,3	4,6	105
SE, мг/кг	2,0	0,3	0,2	1,0	0,9	0,4	3,0	1,3	2,6	61
CI, мг/кг	8,8	1,2	0,7	4,2	4,0	1,6	12,8	5,7	11,4	262
CV, %	3	2	4	2	5	5	1	2	6	3
<i>Пихтово-еловый лес чернично-мелкопапоротниковый (333 м.н.у.м.)</i>										
\bar{x} , мг/кг	106	18	6,8	59	30	12	422	143	89	5617
σ , мг/кг	0,9	0,8	0,3	0,7	0,4	0,6	1,0	0,6	1,1	122
SE, мг/кг	0,5	0,5	0,2	0,4	0,3	0,3	0,6	0,4	0,6	71
CI, мг/кг	2,2	2,0	0,7	1,8	1,1	1,4	2,4	1,6	2,8	304
CV, %	1	4	4	1	1	5	0	0	1	2
<i>Пихтово-еловый лес черничник (341 м.н.у.м.)</i>										
\bar{x} , мг/кг	122	21	9,6	50	29	9	298	129	96	5467
σ , мг/кг	6,9	1,0	0,5	1,5	1,4	0,3	1,0	0,8	0,3	223
SE, мг/кг	4,0	0,6	0,3	0,9	0,8	0,2	0,6	0,5	0,1	129
CI, мг/кг	17,0	2,4	1,2	3,7	3,5	0,7	2,4	2,0	0,6	555
CV, %	6	5	5	3	5	3	0	1	0	4
<i>Ельник черничник (374 м.н.у.м.)</i>										
\bar{x} , мг/кг	89	13	7,4	50	29	12	405	128	102	5621
σ , мг/кг	0,2	0,2	0,4	0,1	0,1	0,4	0,4	1,2	0,6	231
SE, мг/кг	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,7	0,3	133
CI, мг/кг	0,6	0,5	1,0	0,3	0,3	1,0	1,0	2,9	1,4	574
CV, %	0	2	5	0	0	3	0	1	1	4
<i>Березово-пихтовое горное редколесье (618 м.н.у.м.)</i>										
\bar{x} , мг/кг	50	16	3,2	25	32	33	90	165	51	4509
σ , мг/кг	1,2	0,5	0,4	0,2	0,6	1,4	0,7	1,0	0,9	365
SE, мг/кг	0,7	0,3	0,2	0,1	0,4	0,8	0,4	0,6	0,5	211
CI, мг/кг	2,9	1,4	1,0	0,5	1,5	3,5	1,8	2,5	2,3	907
CV, %	2	3	12	1	2	4	1	1	2	8
<i>Разреженный смешанный лес черничник (545 м.н.у.м.)</i>										
\bar{x} , мг/кг	46	12	5,8	23	16	1	110	118	71	5304
σ , мг/кг	0,6	0,5	0,3	0,2	0,2	0,1	0,6	1,8	1,1	142
SE, мг/кг	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,0	0,4	1,1	0,6	82
CI, мг/кг	1,5	1,3	0,9	0,4	0,6	0,2	1,6	4,6	2,6	353
CV, %	1	4	6	1	2	6	1	2	1	3

Исходя из полученных данных, выделяется 5 различных геохимических рядов по группам, которые представлены в табл. 4.1.2.

Распределение Ti, Mn и Sr имеет однородный характер, кроме березово-пихтового горного редколесья, где содержания Mn меньше, чем содержание Sr. Далее наблюдаются различные вариации по распределению V и Sr. Для разреженного леса черничника меньшее содержание отмечено для Co.

По сравнению с геохимическим рядом Северного Урала полностью совпадает ряд, на территории ельника-черничника, сформировавшийся на высоте 374 м. Распределением As и Co отличается от фонового для природного района ряд, сформировавшийся на высоте 545 м., разреженных смешанный лес черничник. На территории других биотопов выявлены более существенные различия. Например, в березово-пихтовом редколесье на высоте 618 м. наблюдается значительное уменьшение содержания Mn, и увеличение содержания Cr.

Таблица 4.1.2

Геохимические ряды, выделяемые в различных фитоценозах на территории заповедника Вишерский в районе Северный Урал

Высотный пояс	Территория	Высота над уровнем моря, м.	Геохимический ряд
Горно-таежный	Елово-пихтовый лес кислочно-мелкопапоротниковый	284	Fe>Ti>Mn>Cr>V>Zn>Sr >Ni>Pb>Co>As
	Смешанный лес	310	Fe>Ti>Mn>Cr>Sr>V>Zn >Ni>Pb>Co>As
	Пихтово-еловый лес чернично-мелкопапоротниковый	333	
	Пихтово-еловый лес черничник	341	
	Ельник-черничник	374	Fe>Ti>Mn>Cr>V>Sr>Zn >Ni>Pb>Co>As
Подольцовый	Березово-пихтовое горное редколесье	618	Fe>Ti>Cr>Mn>V>Sr> Co>Ni>Zn>Pb>As
	Разреженный смешанный лес черничник	545	Fe>Ti>Mn>Cr>V>Sr> Zn>Ni>Pb>As>Co
I – Северный Урал		–	Fe>Ti>Mn>Cr>V>Sr>Zn>Ni>Pb>Co>As

Проведена корреляция (рис.4.1.1), относительно высоты над уровнем моря и содержанием элементов в почвах.

Высокая обратная зависимость характерна для As, Zn и Mn (рис. 4.1.2). Sr, Ni и V проявляют среднюю обратную зависимость между их концентрацией в почве и высотой над уровнем моря (рис. 4.1.3). Несущественно (рис. 4.1.4) выражены тренды на понижение концентрации у Pb и Cu (слабая отрицательная корреляция), на повышение содержания Co и Cr (слабая положительная корреляция). Распределение Ti (рис. 4.1.5) не зависит от высоты над уровнем моря (корреляция отсутствует).

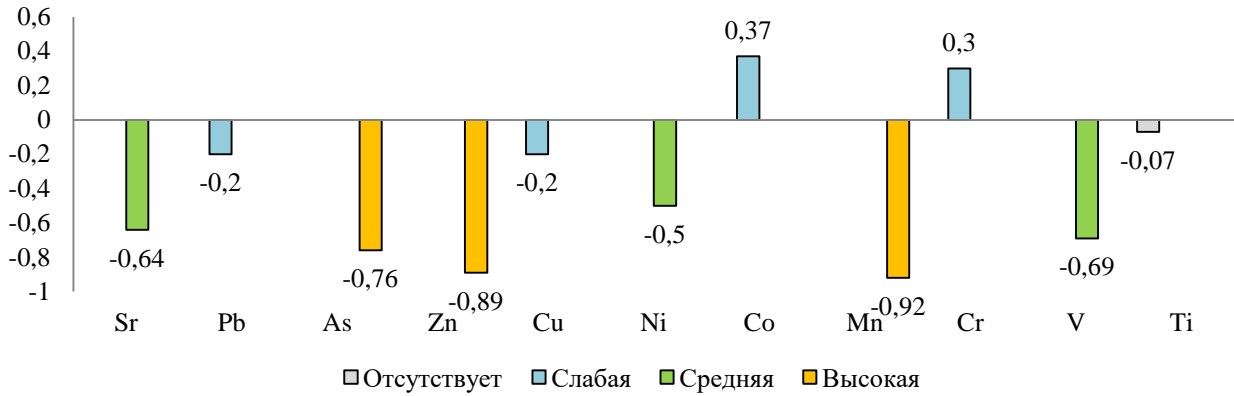


Рис.4.1.1. Влияние изменения высоты над уровнем море на распределение элементов в почвах

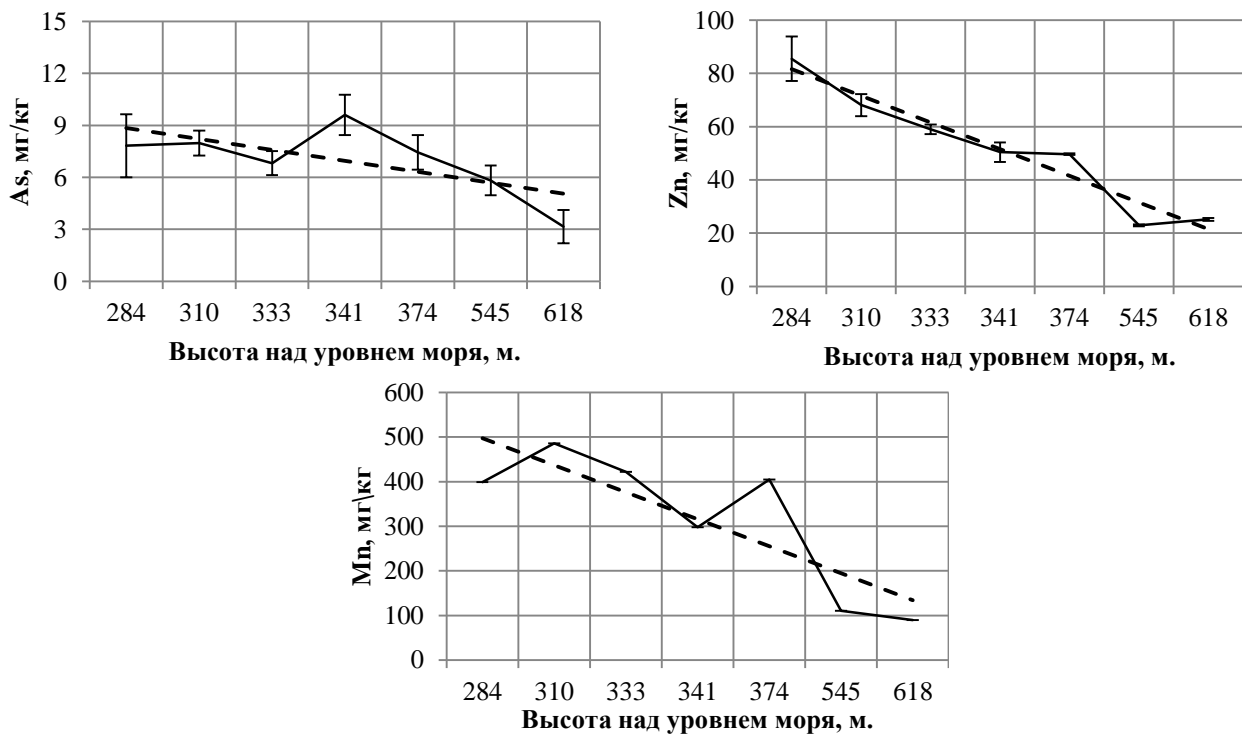


Рис. 4.1.2. Распределение As, Zn и Mn относительно высоты над уровнем моря

Исходя из проведенной статистической обработки, можно говорить о том, что прослеживаются ряды закономерностей при достаточной выборке. Необходимо отметить относительно небольшой разброс и выравненность исследуемых значений в отобранных пробах почв. Исключением являются результаты по кислотно-мелкопапоротниковому елово-пихтовому лесу. Здесь наблюдается значительная степень вариации (20-33%) для значений по содержанию Pb, As и Ti. Полученное среднее значение позволяет говорить, что оно наиболее точно показывает содержание этих элементов на исследуемой территории.

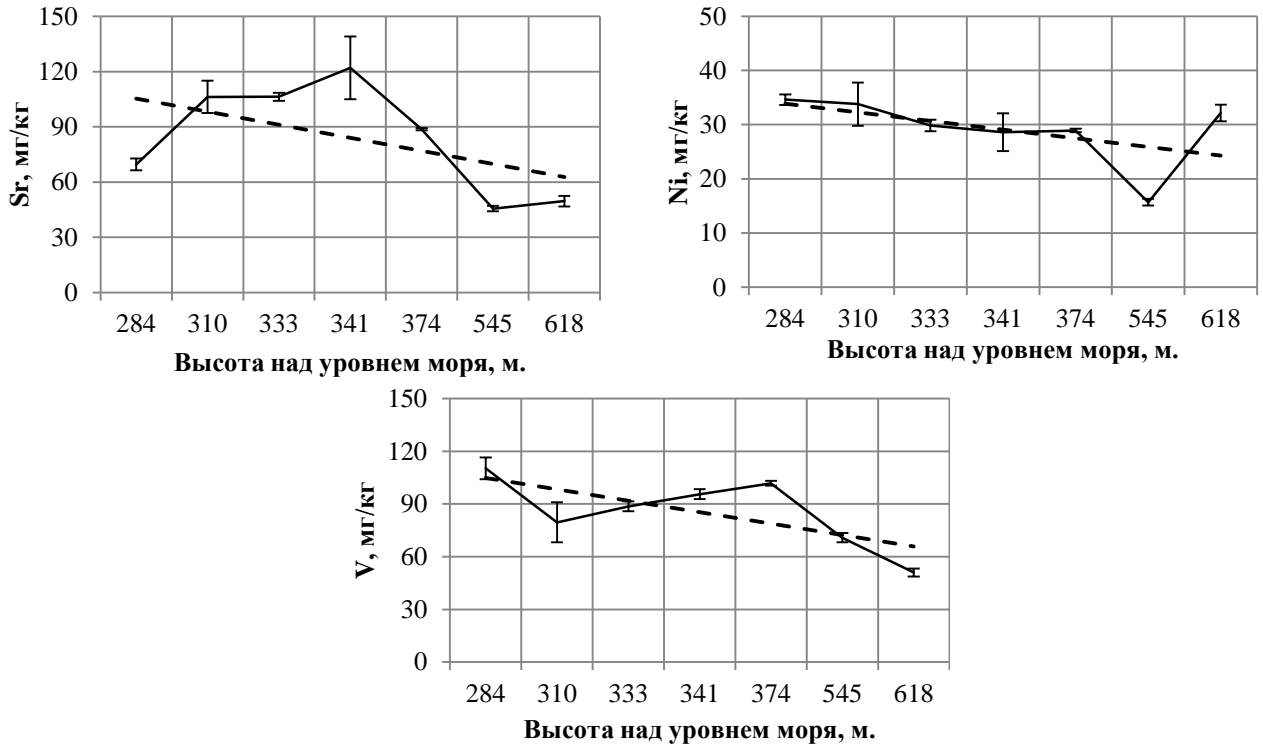


Рис. 4.1.3. Распределение Sr, Ni и V относительно высоты над уровнем моря

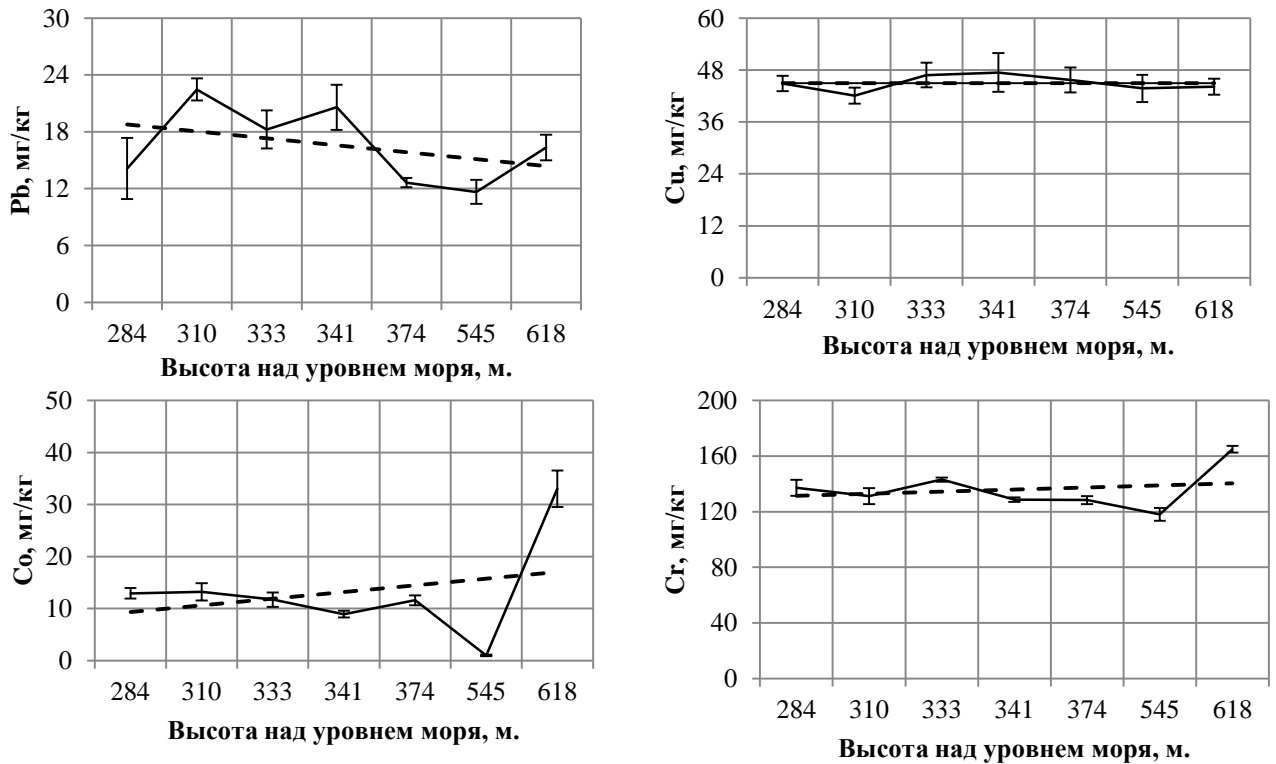


Рис. 4.1.4. Распределение Pb, Cu, Co, Cr относительно высоты над уровнем моря



Рис. 4.1.5. Распределение Ti относительно высоты над уровнем моря

Изменение содержаний элементов относительно высоты над уровнем моря может иметь ряд причин. Во-первых, с изменением высоты происходит изменение метеорологических условий. Элементы переносятся с воздушными массами из западных и южных районов Европейской части России. С севера и востока проникают воздушные массы, содержащие меньше металлов.

На высотах около 600 м, по-видимому, превалирует атмосферный перенос воздушных масс с запада и востока. Косвенно на это указывает то, что обратные связи с высотой местности имеют содержания таких элементов как Pb, Zn, As, Cu, Ni, т.е., входящие в список так называемых приоритетных тяжелых металлов. Несколько особняком стоят такие следовые элементы как V, Mn и Sr. Их распределение может контролироваться исключительно природными факторами и процессами. Во-вторых, при изменении высоты (в данном случае на 334 м) происходит изменение подстилающих пород и почвенного покрова. В-третьих, происходит смена фитоценозов, с характерным уменьшением разнообразия и проективного покрытия растительного покрова. Обратное распределение металлов с высотой местности вероятно обусловлено вертикальной дифференциацией следовых элементов, обусловленной выветриванием горных пород, выщелачиванием микроэлементов и их переносом вниз по склону. Имеющие место флуктуации и зависимости определяются природными факторами и процессами.

В таблице 4.1.3 представлены значения по местным фоновым содержаниям для Тулымского камня и отдельно для горнотаежного и подгольцового поясов. Для всех значений были рассчитаны стандартные статистические показатели (\bar{x} , σ , SE, P, CV), которые показали, как наличие незначительной, так и значительной степени вариации внутри пояса или в целом Тулымского камня, что обусловлено изменениями природных

условий и зональных поясов относительно высоты над уровнем моря по законам высотной поясности.

Таблица 4.1.3

**Местное фоновое содержание микро- и макроэлементов в почвах
горнотаежного и подгольцового поясов, и Тулымского камня**

	Горнотаежный пояс			Подгольцовый пояс			Тулымский камень		
	\bar{x} , мг/кг	$P (\pm)$	$CV (\%)$	\bar{x} , мг/кг	$P (\pm)$	$CV (\%)$	\bar{x} , мг/кг	$P (\pm)$	$CV (\%)$
Sr	94	22	22	48	5	6	83	24	30
Pb	19	4,9	25	14	6,0	24	18	4,5	28
As	7,4	1,6	21	4,5	3,4	42	6,7	1,4	21
Zn	63	14	21	24	3	6	53	17	34
Ni	32	3,0	9	24	21,2	49	30	5,9	22
Co	11	1,8	15	17	41,2	133	13	3,8	43
Mn	498	97	19	129	34	14	406	142	36
Cr	138	13	9	141	60	23	139	12	10
V	101	18	17	61	26	23	91	17	20
Ti	9668	1816	19	8195	1702	11	9300	1421	17

Статистическая достоверность полученных данных позволяет говорить о том, что в ходе данного исследования были получены местные фоновые содержания элементов для Тулымского камня и могут использоваться как эталонные показатели. Учитывая данный факт при проведении экологического мониторинга на территориях, которые подвергаются значительной антропогенной нагрузке, можно делать более реалистичные выводы о загрязнении, потому что имеющиеся на данный момент фоновые содержания становятся все менее актуальными при условии постоянной нарастающей антропогенной нагрузки, и только территории, извлеченные из хозяйственного использования, могут быть эталонными.

По результатам исследования геохимических особенностей почв территории Северного Урала, которые были исследованы на примере Вишерского заповедника, можно сделать вывод о местных фоновых содержаниях микро- и макроэлементов (Sr, Pb, As, Zn, Ni, Co, Mn, Cr, V, Ti) в почвах Тулымского камня внутри типичных фитоценозов. В ходе исследования было рассмотрено 7 фитоценозов: елово-пихтовый лес кислично-мелкопапоротниковый, смешанный лес, пихтово-еловый лес чернично-мелкопапоротниковый, пихтово-еловый лес черничник, ельник черничник, березово-пихтовое горное редколесье, разреженный смешанный лес черничник. Сводные данные

по местному фоновому содержанию исследуемых циклических элементов могут быть использованы при экологических исследованиях территорий в качестве фоновой. Заповедные экосистемы должны учитываться как эталонные показатели, и исследования на таких территориях должны быть положены в основу разработок местных фоновых содержаний.

Для горнотаежного, подгольцового поясов и Тулымского камня в целом характерны следующие ряды элементов:

1. Горнотаежный пояс: **Ti>Mn>Cr>V>Sr>Zn >Ni>Pb>Co>As**
2. Подгольцовый пояс: **Ti>Cr>Mn>V>Sr >Zn>Ni>Co>Pb>As**
3. Тулымский камень: **Ti> Mn>Cr>V>Sr>Zn >Ni>Pb>Co>As**

Выявлена высокая обратная зависимость между концентрацией элементов и высотой над уровнем моря. Ее проявляют As, Zn и Mn. Среднюю обратную зависимость проявляют Sr, Ni и V. Практически отсутствует зависимость у Co, Cr, Pb и Ti. Выявленные флуктуации и зависимости в основном определяются природными факторами и процессами и, прежде всего, изменением почвообразовательного процесса в зависимости от высотной поясности.

4.2. Формирование геохимических особенностей на территории ландшафтного заказника «Предуралье»

По распределению макро- и микроэлементов в почвах ландшафтного заказника «Предуралье» выделено шесть групп биотопов, схожих и отличных по рядам элементов, которые представлены в таблице 4.2.1.

Таблица 4.2.1

Среднее содержание макро- и микроэлементов в органогенном горизонте по биотопам охраняемого ландшафта Предуралье, мг/кг

Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe	Mn	Cr	V	Ti
<i>Березовый лес</i>										
222	15	7	44	37	21	21100	1036	125	68	5300
<i>Еловый лес</i>										
246	16	8	49	41	21	30200	1058	121	58	4400
<i>Зарастающий луг</i>										
184	21	8	55	47	26	25400	848	118	76	4500
<i>Липовый лес</i>										
242	16	8	61	41	19	20600	733	120	54	5000

Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe	Mn	Cr	V	Ti
<i>Мелколиственный лес</i>										
237	18	8	60	52	27	26100	736	144	77	4400
<i>Осиново-ольховый лес</i>										
199	14	9	55	54	29	27200	1431	129	80	4500
<i>Пойменный луг</i>										
296	13	8	74	64	31	30700	802	166	98	4600
<i>Синантропный луг</i>										
206	15	8	104	54	24	25900	907	137	105	4100
<i>Сосновый лес</i>										
234	16	8	52	39	21	20000	873	118	58	4000
<i>Суходольный луг</i>										
137	15	9	60	61	34	30900	935	139	101	4700

Таблица 4.2.1

Геохимические ряды, сформировавшиеся в различных биотопах охраняемого ландшафта Предуралья и в районе Кунгурская лесостепь

Биотоп	Геохимический ряд
Березовый лес	Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>V>Zn>Ni>Co>Pb>As
Мелколиственный лес	
Еловый лес	Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>V>Zn>Ni>Co>Pb>As
Зарастающий лог	
Синантропный луг	
Сосновый лес	
Липовый лес	Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>Zn>V>Ni>Co>Pb>As
Осиново-ольховый лес	Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>V>Zn>Ni>Co>Pb>As
Пойменный луг	Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>V>Zn>Ni>Co>Pb>As
Суходольный луг	Fe>Ti>Mn>Cr>Sr>V>Ni>Zn>Co>Pb>As
VI – Кунгурская лесостепь	Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>V>Zn>Ni>Co>Pb>As

Наиболее типичным, включившей в себя четыре биотопа оказался ряд: **Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>V>Zn>Ni>Co>Pb>As.**

Сравнивая полученные данные по отдельным биотопам с геохимическим рядом для всего района Кунгурской лесостепи можно отметить, что большинство типичных биотопов по своей геохимической специфике совпадают с фоном. Отличия отмечены для липового леса, которые заключаются в меньшем содержании V, и для суходольного луга, где отмечено повышенное содержание Cr.

В Приложении 6 представлены карты по распределению исследуемых элементов на территории заказника.

Содержание Sr относительно исследуемых пробных площадок в верхнем горизонте характеризуется как однородное, со значительной степенью изменчивости

вариационного ряда ($CV=25\%$), среднее значение по содержанию 226 ± 12 мг/кг. На глубине 10-20 см так же выявлено однородное распределение, но с большей степенью вариации ($CV=29\%$). От верхнего горизонта происходит уменьшение по содержанию Sr, на глубине 10-20 см оно равно 202 ± 13 мг/кг. Выборка является нормальной по критерию Колмогорова-Смирнова (0,068). По критерию Шапиро-Уилка (0,9577) нормальность отклонена, что говорит о достаточном разбросе значений по содержанию Sr среди исследуемых пробных площадок. Между содержанием Sr на первой и второй глубинах выявлена средняя степень корреляции (0,68). Максимальное содержание Sr отмечено в еловом лесу на коренном склоне (точка 54).

Содержание Pb относительно исследуемых пробных площадок в верхнем горизонте характеризуется как однородное, со значительной степенью изменчивости вариационного ряда ($CV=31\%$), среднее значение по содержанию 16 ± 1 мг/кг. На глубине 10-20 см выявлено неоднородное распределение ($CV=38\%$). От верхнего горизонта происходит уменьшение по содержанию Pb, на глубине 10-20 см оно равно 13 ± 1 мг/кг. Выборка является нормальной по критерию Колмогорова-Смирнова (0,03). По критерию Шапиро-Уилка (0,9932) так же принимается нормальность. Между содержанием Pb на первой и второй глубинах выявлена слабая степень корреляции (0,22). Наибольшее содержание Pb отмечено на зарастающем лугу.

Содержание As относительно исследуемых пробных площадок в верхнем горизонте характеризуется как однородное ($CV=12\%$), среднее значение по содержанию $8\pm 0,2$ мг/кг. На глубине 10-20 см так же выявлено однородное распределение ($CV=14\%$). От верхнего горизонта происходит уменьшение по содержанию As, на глубине 10-20 см оно равно $7,5\pm 1$ мг/кг. Выборка является нормальной по критерию Колмогорова-Смирнова. По критерию Шапиро-Уилка (0,9638) так же принимается нормальность. Между содержанием As на первой и второй глубинах выявлена слабая степень корреляции (0,34). Наибольшее содержание As отмечено на синантропном лугу (рис. 4.2.1).

Содержание Zn относительно исследуемых пробных площадок в верхнем горизонте характеризуется как однородное, со значительной степенью изменчивости вариационного ряда ($CV=27\%$), среднее значение по содержанию $56\pm 3,2$ мг/кг. На глубине 10-20 см так же выявлено однородное распределение со значительной степенью изменчивости вариационного ряда ($CV=29\%$). От верхнего горизонта происходит

уменьшение по содержанию Zn, на глубине 10-20 см оно равно $52 \pm 3,3$ мг/кг. Выборка не является нормальной по критерию Колмогорова-Смирнова (0,1044). По критерию Шапиро-Уилка (0,955) так же нормальность не принята. Между содержанием Zn на первой и второй глубинах выявлена высокая степень корреляции (0,83). Наибольшее содержание цинка отмечено на синантропном лугу.

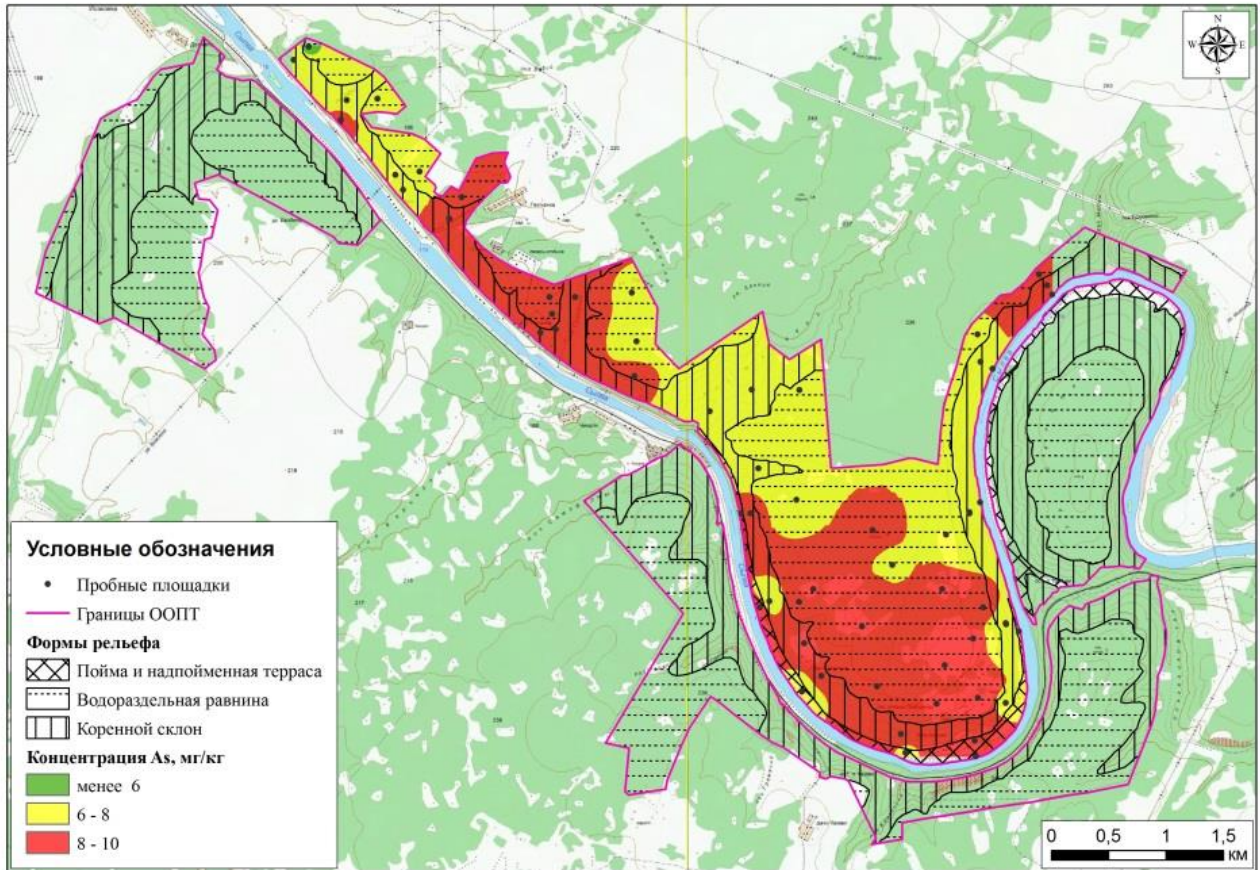


Рис. 4.2.1. Распределение As в органогенном горизонте на территории заказника «Предуралье»

Содержание Ni относительно исследуемых пробных площадок в верхнем горизонте характеризуется как однородное, со значительной степенью изменчивости вариационного ряда ($CV=27\%$), среднее значение по содержанию $47,2 \pm 2,7$ мг/кг. На глубине 10-20 см так же выявлено однородное распределение со значительной степенью изменчивости вариационного ряда ($CV=26\%$). От верхнего горизонта происходит незначительное увеличение по содержанию Ni, на глубине 10-20 см оно равно $47,6 \pm 2,7$ мг/кг. Можно сказать, что среднее содержание на двух глубинах примерно равно. Выборка является нормальной по критерию Колмогорова-Смирнова (0,085). По критерию Шапиро-Уилка (0,972) так же принимается нормальность. Между

содержанием Ni на первой и второй глубинах выявлена высокая степень корреляции (0,86). Наибольшее содержание Ni отмечено на пойменном лугу.

Содержание Co относительно исследуемых пробных площадок в верхнем горизонте характеризуется как однородное, со значительной степенью изменчивости вариационного ряда ($CV=30\%$), среднее значение по содержанию $22,8 \pm 1,5$ мг/кг. На глубине 10-20 см так же выявлено однородное распределение со значительной степенью изменчивости вариационного ряда ($CV=29\%$). От верхнего горизонта происходит увеличение по содержанию Co, на глубине 10-20 см оно равно $23,3 \pm 1,8$ мг/кг. Можно сказать, что среднее содержание на двух глубинах примерно равно. Выборка является нормальной по критерию Колмогорова-Смирнова (0,0621). По критерию Шапиро-Уилка (0,9688) так же принимается нормальность. Между содержанием Co на первой и второй глубинах выявлена высокая степень корреляции (0,78). Наибольшее значение отмечено на зарастающем лугу на водораздельной равнине (рис. 4.2.2).

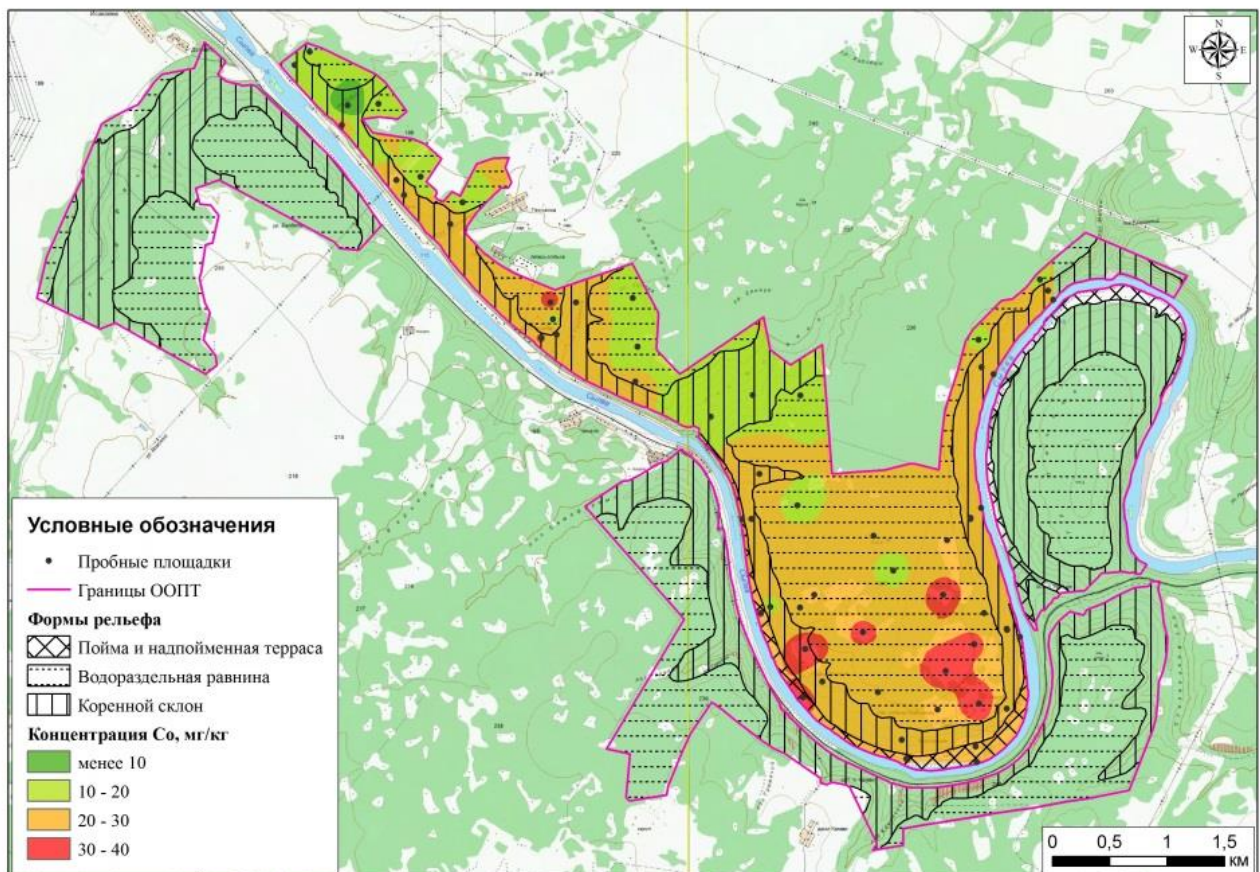


Рис. 4.2.2. Распределение Co в органогенном горизонте на территории заказника «Предуралье»

Содержание Fe относительно исследуемых пробных площадок в верхнем горизонте характеризуется как однородное, со значительной степенью изменчивости вариационного ряда ($CV=23\%$), среднее значение по содержанию 23300 ± 1700 мг/кг. На глубине 10-20 см так же выявлено однородное распределение со значительной степенью изменчивости вариационного ряда ($CV=23\%$). От верхнего горизонта происходит увеличение по содержанию Fe, на глубине 10-20 см оно равно 24600 ± 900 мг/кг. Выборка является нормальной по критерию Колмогорова-Смирнова (0,0863). По критерию Шапиро-Уилка (0,962) так же принимается нормальность. Между содержанием Fe на первой и второй глубинах выявлена высокая степень корреляции (0,87).

Содержание Mn относительно исследуемых пробных площадок в верхнем горизонте характеризуется как однородное, со значительной степенью изменчивости вариационного ряда ($CV=22\%$), среднее значение по содержанию 856 ± 72 мг/кг. На глубине 10-20 см так же выявлено однородное распределение со значительной степенью изменчивости вариационного ряда ($CV=32\%$). От верхнего горизонта происходит увеличение по содержанию Mn, на глубине 10-20 см оно равно 801 ± 86 мг/кг. Выборка не является нормальной по критерию Колмогорова-Смирнова (0,1391). По критерию Шапиро-Уилка (0,9203) так же нормальность отклоняется. Между содержанием MnO на первой и второй глубинах выявлена высокая степень корреляции (0,81). Максимальное содержание MnO отмечено в осиново-ольховом лесу.

Содержание Cr относительно исследуемых пробных площадок в верхнем горизонте характеризуется как однородное, с незначительной степенью изменчивости вариационного ряда ($CV=15\%$), среднее значение по содержанию 138 ± 5 мг/кг. На глубине 10-20 см так же выявлено однородное распределение ($CV=15\%$). От верхнего горизонта происходит уменьшение по содержанию Cr, на глубине 10-20 см оно равно 132 ± 4 мг/кг. Выборка является нормальной по критерию Колмогорова-Смирнова (0,0765). По критерию Шапиро-Уилка (0,9615) так же принимается нормальность. Между содержанием Cr на первой и второй глубинах выявлена высокая степень корреляции (0,79). Максимальное содержание Cr приурочено к району поймы и надпойменной террасы в мелколиственном лесу и на пойменном лугу.

Содержание V относительно исследуемых пробных площадок в верхнем горизонте характеризуется как неоднородное ($CV=34\%$), среднее значение по содержанию 72 ± 5 мг/кг. На глубине 10-20 см выявлено однородное распределение со

значительной степенью изменения вариационного ряда ($CV=28\%$). От верхнего горизонта происходит незначительное уменьшение по содержанию V, на глубине 10-20 см оно равно 71 ± 4 мг/кг. Выборка является нормальной по критерию Колмогорова-Смирнова (0,0762). По критерию Шапиро-Уилка (0,9649) так же принимается нормальность. Между содержанием V на первой и второй глубинах выявлена высокая степень корреляции (0,71). Наибольшее содержание отмечено в осиново-ольховом лесу.

Содержание Ti относительно исследуемых пробных площадок в верхнем горизонте характеризуется как однородное, с незначительной степенью изменчивости вариационного ряда ($CV=9\%$), среднее значение по содержанию 4400 ± 200 мг/кг. На глубине 10-20 см так же выявлено однородное распределение ($CV=8\%$). От верхнего горизонта происходит увеличение по содержанию Ti, на глубине 10-20 см оно равно 4600 ± 300 мг/кг. Выборка не является нормальной по критерию Колмогорова-Смирнова (0,1506). По критерию Шапиро-Уилка (0,8836) так же нормальность отклоняется. Между содержанием TiO_2 на первой и второй глубинах выявлена высокая степень корреляции (0,9).

В почвах ландшафтного заказника «Предуралье» выделен наиболее типичный для территории геохимический ряд: $Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>V>Zn>Ni>Co>Pb>As>Cu$. На распределение элементов на исследуемой территории в большей степени влияет латеральная миграция веществ, а так же смена фитоценозов.

Выводы по главе 4

1. На основе репрезентативной выборки, методом рентгенофлуоресцентного анализа определено фоновое содержание 11 макро- и микроэлементов в валовой форме для почв Пермского края в целом и природных районов в отдельности, представленные в общем виде в таблице 4.7.

Региональное фоновое содержание исследованных макро- и микроэлементов для природных районов Пермского края и региональное содержание для Пермского края

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

2. Определен геохимический ряд для территории Пермского края $Fe > Ti > Mn > Sr > Cr > V > Zn > Ni > Pb > Co > As$, по сравнению с верхней частью континентальной земной коры в Пермском крае накапливаются Ti, Cr и As, что соответствует лито-халькофильной специализации.

3. 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 этого можно утверждать, что изучение геохимических особенностей целесообразно проводить в их границах.

4. Геохимический ряд для территории природного района Северный Урал наиболее отличается от других природных районов более высоким накоплением Cr и V, и наибольшим рассеиванием Sr, что свидетельствует о минимальном влиянии литофильных процессов. В результате на территории района формируется уникальный для Пермского края геохимический ряд с лито-сидеро-халькофильной специализацией: $Fe > Ti > Mn > Cr > V > Sr > Zn > Ni > Pb > Co > As$.

5. На территории Западного Урала формируется геохимический ряд: Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>V>Zn>Ni>Pb>Co>As. Его отличает большее накопление Cr, As и Ti, рассеиваются остальные, кроме Pb, который находится на уровне кларка. Геохимическая специализация характеризуется как лито-сидеро-халькофильная.

6. Характер распределения элементов в природном районе Средняя тайга обладает сидеро-халькофильной геохимической специализацией. Формируется следующий геохимический фон: Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>V>Zn>Ni>Pb>As>Co. Характерными чертами в данном случае выступает накопление Cr, Mn и Ti, содержание As на уровне кларка, а остальные рассеиваются.

7. Геохимический ряд на территории Южной тайги сформирован следующим образом: Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>Zn>V>Ni>Pb>Co>As. Благодаря высокому накоплению Sr для него лито-халькофильная специализация. Накапливаются As, Cr, Sr, на уровне кларка находится содержание Ti и Pb, остальные рассеиваются.

8. На территории природного района Хвойно-широколиственных лесов формируется геохимический ряд, для которого характерно накопление Cr, As, Mn, на уровне кларка Ni и Ti, остальные рассеиваются: Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>Zn>V>Ni>Pb>As>Co. Специализация характеризуется как сидеро-лито-халькофильная.

9. В природном районе Кунгурская лесостепь сформирован геохимический ряд с сидерофильной специализацией: Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>V>Zn>Ni>Co>Pb>As. Специфичной чертой является аккумуляция Co, As, Cr и Ti, на уровне кларка содержится Mn, остальные рассеиваются.

10. Для горнотаежного, подгольцового поясов и Тулымского камня в целом характерны следующие ряды элементов:

- Горнотаежный пояс: Ti>Mn>Cr>V>Sr>Zn >Ni>Pb>Co>As
- Подгольцовый пояс: Ti>Cr>Mn>V>Sr >Zn>Ni>Co>Pb>As
- Тулымский камень: Ti> Mn>Cr>V>Sr>Zn >Ni>Pb>Co>As

11. Выявлена высокая обратная зависимость между концентрацией элементов и высотой над уровнем моря. Ее проявляют As, Zn и Mn.

12. В почвах ландшафтного заказника «Предуралье» выделен наиболее типичный для территории геохимический ряд: Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>V>Zn>Ni>Co>Pb>As>Cu. На распределение элементов в большей степени влияет латеральная миграция веществ, а также смена фитоценозов.

5. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВ ТЕРРИТОРИЙ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ТЕХНОГЕННОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

Значительную роль в формировании геоэкологической обстановки на территории Пермского края приносят следующие виды деятельности: нефтедобыча, добыча калийно-магниевых солей, добыча угля. Несмотря на то, что добыча угля на территории КУБа прекращена, на данной территории наблюдается посттехногенная обстановка. Ликвидация шахт привела к значительному ухудшению экологической обстановки. Данные виды техногенного воздействия влияют на формирование геохимических особенностей территории воздействия.

5.1. Формирование геохимических особенностей почв, подверженных воздействию нефтедобычи

Для исследования влияния нефтедобычи на трансформацию геохимических свойств почв пробы отбирались в районах месторождений по всей территории Пермского края (в Приложении 7 представлены результаты измерений).

В процессе исследования загрязнение почв нефтепродуктами было выявлено на месторождениях: Аптугайское, Батырбайское, Красноярско-Куединское, Гондыревское, Осинское, Падунское, Кокуйское и Солодовский участок. На всех указанных месторождениях загрязнение нефтью и продуктами ее трансформации было обнаружено точно, и обнаруженные концентрации не превышают 1000 мг/кг. Исключением является территория Кокуйского месторождения в районе лога Арапов ключ, где было обнаружено загрязнение нефтью и продуктами ее трансформации в концентрации до 10000 мг/кг. В Приложении 4 представлены результаты измерения нефтепродуктов и хлоридов в почвах. На территории Кокуйского месторождения была исследована территория, подвергшаяся прямому нефтяному загрязнению в районе лога Арапов ключ. Рассмотрение данной территории мы считаем актуальным как в совокупности с другими, так и отдельно.

В таблице 5.1.1 представлены результаты по содержанию элементов в нефти, которые изучались в рамках исследования в почвах и дополнительно результаты по содержанию S, как важного элемента входящего в состав нефти.

В результате получены элементы, которые содержатся в нефти в содержании, возможном для определения химико-аналитическими методами, к которым относятся V, Fe, Ni, S и Zn. Геохимический ряд нефти будет следующим:



Таблица 5.1.1

Среднее содержание элементов в нефти

	As	Cr	Mn	Pb	Sr	V
C±Δ, мг/кг	<2	<0,1	<0,02	<0,5	<0,07	74,4±9,6
C±Δ, %	<0,0002	<0,00001	<0,000002	<0,00005	<0,00001	0,007±0,001
	Co	Fe	Ni	S	Ti	Zn
C±Δ, мг/кг	<0,05	0,597± 0,077	15,0±1,9	18914±2442	<0,02	0,534±0,069
C±Δ, %	<0,000005	0,00006±0,00001	0,0015±0,0002	1,89±0,24	<0,000002	0,00005±0,00001

Можно предположить, что наиболее существенно будут накапливаться при техногенных процессах V, Ni, Fe и Zn.

В таблице 5.1.2 представлены усредненные показатели по содержанию макро- и микроэлементов на территории изученных месторождений, разделенных между собой по природным районам. Данные получены в результате изучения территорий 22 месторождений, распределенных по всему региону (всего 146 пробных площадок). Месторождения распределены относительно природных районов. Внутри каждого природного района получено среднее содержание по включенным в него месторождениям. В данном случае важно проводить оценку трансформации геохимических особенностей, учитывая именно местный фон природных районов.

Таблица 5.1.2

Среднее содержание микро- и макроэлементов в почвах на территории исследованных месторождений нефти

Место-рождение	n	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe	Mn	Cr	V	Ti
III – Средняя тайга												
1.Озерное	20	255	21	5,1	79	66	7,3	18800	1155	127	59	3900
2.Гагаринское	10	191	19	6,4	86	41	6,9	24600	740	136	75	4700
3.Маговское	8	298	22	5,7	80	54	7,4	22200	1032	129	72	4000
4.Логовское	8	284	24	5,1	84	54	5,7	17200	1218	114	72	4400
\bar{x}, мг/кг	46	254	21	5,5	81	56	6,9	20400	1054	127	67	4200
σ, мг/кг		74	3,6	1,3	7,8	17	1,5	4950	278	15	14	650
$SE_{\text{нв}}$, мг/кг		9,2	0,4	0,2	1,0	2,2	0,2	620	35	1,8	1,8	80
P, мг/кг		15,7	0,8	0,3	1,7	3,7	0,3	1050	60	3,1	3	140
CV, %		29	17	23	10	31	22	24	26	12	21	16

<i>Место-рождение</i>	n	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe	Mn	Cr	V	Ti
<i>КК_к</i>		–	1,3	–	1,1	1,1	–	–	1,4	1,4	–	1,1
<i>КР_к</i>		1,1	–	1,02	–	–	2,2	2,0	–	–	1,6	–
<i>КК_{р.ф.}</i>		1,1	1,4	–	1,4	1,4	–	–	1,4	1,0	1,0	1,0
<i>КР_{р.ф.}</i>		–	–	1,4	–	–	2,0	1,2	–	–	–	–
<i>КК_{м.ф.}</i>		1,1	1,3	–	1,7	3,5	1,2	–	1,4	1,2	1,1	1,02
<i>КР_{м.ф.}</i>		–	–	1,1	–	–	–	1,1	–	–	–	–
IV – Южная тайга												
5.Шершневецкое	16	278	16	6,0	79	63	5,6	17300	1136	117	82	4500
6.Рассветное	2	246	18	13,4	46	35	7,0	21400	686	128	72	4500
7.Баклановское	4	314	12	5,2	92	47	9,5	24500	1371	140	63	3900
\bar{x} , мг/кг	22	282	15	6,5	78	57	6,4	19000	1138	122	77	4400
σ , мг/кг		35	3,3	3,0	15	12	1,8	3230	256	11	10	370
<i>SE_{нв}</i> , мг/кг		7,4	0,7	0,6	3,1	2,5	0,4	690	55	2,3	2,2	80
<i>P</i> , мг/кг		13	1,2	1,1	5,3	4,2	0,7	1170	93	3,9	3,7	130
<i>CV</i> , %		12	22	45	19	20	28	17	23	9	13	8
<i>КК_к</i>		1,04	–	1,2	1,04	1,1	–	–	1,5	1,3	–	1,1
<i>КР_к</i>		–	1,1	–	–	–	2,3	2,1	–	–	1,4	–
<i>КК_{р.ф.}</i>		1,2	1,01	–	1,3	1,4	–	–	1,5	–	1,2	1,1
<i>КР_{р.ф.}</i>		–	–	1,1	–	–	2,2	1,3	–	1,04	–	–
<i>КК_{м.ф.}</i>		–	1,01	–	1,2	1,6	–	–	1,5	–	1,3	1,1
<i>КР_{м.ф.}</i>	1,03	–	1,2	–	–	1,4	1,3	–	1,02	–	–	
V – Хвойно-широколиственных лесов												
8.Аптугайское	13	439	19	10,1	71	36	6,7	22300	792	138	55	3900
9.Батырбайское	8	228	17	10,0	59	61	8,6	30000	951	152	53	4000
10.Чернушинское	2	226	16	5,6	46	43	7,0	23200	1082	136	67	4700
11.Павловское	2	232	14	6,0	63	55	5,5	25900	1147	158	56	4100
12.Поспеловский участок	6	169	20	10,9	61	52	7,4	26900	1058	144	73	4800
13.Красноярско-Куединское	2	147	19	11,5	65	60	7,8	28500	1090	173	67	4800
14.Гондыревское	2	226	18	4,2	67	64	8,0	29600	892	151	65	2400
15.Солодовский участок	4	262	11	5,7	47	54	7,8	27700	809	123	37	2900
16.Осинское	2	267	19	11,8	69	77	10	37000	1233	182	59	4400
17.Таныпское	2	221	24	14,3	56	48	7,3	24300	1024	135	62	4400
18.Падунское	2	251	19	5,9	61	56	7,7	24500	1153	150	52	4000
19.Шумовское	2	142	15	7,1	62	33	8,1	26200	1077	147	59	3600
20.Мало-Усинское	2	198	18	8,0	59	42	6,6	23800	1216	118	62	4200
\bar{x} , мг/кг	49	264	19	9,0	64	50	7,5	26400	978	147	60,3	4100
σ , мг/кг		110	5,8	3,2	14	17	1,3	5400	459	24	11,6	790
<i>SE_{нв}</i> , мг/кг		16	0,7	0,4	1,7	2,0	0,2	630	53	2,8	1,4	92
<i>P</i> , мг/кг		27	1,2	0,6	2,9	3,4	0,3	1100	91	4,8	2,3	160
<i>CV</i> , %		32	31	30	23	32	17	20	47	16	19	19
<i>КК_к</i>		–	1,1	1,6	–	1,01	–	–	1,3	1,6	–	1,1
<i>КР_к</i>		1,02	–	–	1,2	–	2,0	1,5	–	–	1,8	–
<i>КК_{р.ф.}</i>		1,1	1,3	1,2	1,1	1,2	–	1,1	1,3	1,2	–	–
<i>КР_{р.ф.}</i>		–	–	–	–	–	1,9	–	–	–	1,1	1,02
<i>КК_{м.ф.}</i>		1,2	1,6	1,1	1,0	–	–	1,05	1,1	–	1,1	1,03
<i>КР_{м.ф.}</i>	–	–	–	–	1,03	1,1	–	–	1,01	–	–	

<i>Место-рождение</i>	<i>n</i>	<i>Sr</i>	<i>Pb</i>	<i>As</i>	<i>Zn</i>	<i>Ni</i>	<i>Co</i>	<i>Fe</i>	<i>Mn</i>	<i>Cr</i>	<i>V</i>	<i>Ti</i>
VI – Кунгурская лесостепь												
21.Кокуйское	25	306	12	6,5	49	52	7,9	25800	710	122	39	3100
22.Ручьевское	4	210	15	5,5	53	47	18,8	25400	1185	133	55	4500
\bar{x} , мг/кг	29	286	12	6,3	50	51	8,6	25700	783	123	41	3300
σ , мг/кг		99	3,9	1,8	11	14	2,7	7700	279	25	13	960
$SE_{\text{пр}}$, мг/кг		18	0,7	0,3	2,1	2,5	0,5	1400	52	4,7	2,4	180
<i>P</i> , мг/кг		31	1,2	0,6	3,5	4,3	0,9	2400	88	7,9	4,0	300
<i>CV</i> , %		32	32	29	22	26	31	30	36	20	31	29
<i>KK_к</i>		1,1	–	1,1	–	1,03	–	–	1,02	1,3	–	–
<i>KP_к</i>		–	1,4	–	1,5	–	1,7	1,6	–	–	2,6	1,2
<i>KK_{р.ф.}</i>		1,2	–	–	–	1,3	–	1,1	1,03	–	–	–
<i>KP_{р.ф.}</i>		–	1,2	1,2	1,2	–	1,6	–	–	1,03	1,6	1,3
<i>KK_{м.ф.}</i>		1,2	–	–	–	1,1	–	1,1	1,02	–	–	–
<i>KP_{м.ф.}</i>	–	1,2	1,2	1,1	–	2,8	–	–	1,02	1,5	1,3	
Пермский край												
\bar{x} , мг/кг	146	289	18	7,2	69	54	7,6	23300	1051	132	62	4000
σ , мг/кг		141	6,1	3,7	17	16	2,9	6300	376	23	18	890
$SE_{\text{пр}}$, мг/кг		11,7	0,5	0,3	1,4	1,3	0,2	530	31	1,9	1,5	73
<i>P</i> , мг/кг		20	0,9	0,5	2,4	2,2	0,4	900	53	3,2	2,5	130
<i>CV</i> , %		49	34	52	25	30	38	27	36	17	29	22
<i>KK_к</i>	1,1	1,0	1,3	–	1,1	–	–	1,4	1,4	–	1,0	
<i>KP_к</i>	–	–	–	1,1	–	2,0	1,7	–	–	1,7	–	
<i>KK_{р.ф.}</i>	1,2	1,2	–	1,2	1,3	–	–	1,4	1,0	–	–	
<i>KP_{р.ф.}</i>	–	–	1,0	–	–	1,8	1,1	–	–	1,1	1,0	

Месторождения распределены в таблице 5.1.2 относительно природных районов. Важно проводить оценку трансформации геохимических особенностей сравнивая с местным фоном (по природным районам).

В процессе исследования существенное загрязнение почв нефтепродуктами было выявлено на территории месторождений в районе Хвойно-широколиственных лесов (8, 9, 13, 14, 15, 16, 18), Кунгурской лесостепи (21). На всех указанных месторождениях загрязнение нефтью и продуктами ее трансформации было обнаружено точно, но обнаруженные концентрации были до 1000 мг/кг. Наиболее существенно загрязнение нефтью и продуктами ее трансформации на территории месторождения в районе Кунгурской лесостепи (21) в долине реки Ясыл (рис.5.1.1).

По результатам исследований в 2016 году в районе выхода загрязненных вод (ПП 03) обнаружен очень высокий уровень загрязнения с содержанием нефтепродуктов 8886 мг/кг. Во всех остальных пробах содержание нефтепродуктов было менее 200 мг/кг. По результатам исследований в 2017 году практически во всех пробах, отобранных для анализа, обнаружено содержание нефтепродуктов. Высокое содержание было

зафиксировано так же в районе выхода загрязненных вод (ПП 2 и ПП 03). На остальных исследуемых площадках содержание нефтепродуктов было менее 1000 мг/кг. В 2018 году содержание нефтепродуктов выше 1000 мг/кг было зафиксировано так же в районе выхода загрязненных вод и на участке ниже нефтеловушки (ПП 03, ПП 18, ПП 19). Во все три периода исследований высокое содержание углеводородов фиксировалось в районе выхода загрязненных вод (ПП 03).

В таблице 5.1.3 представлены результаты по усредненным показателям содержания металлов в органогенном горизонте почв в районе лога Арапов ключ.

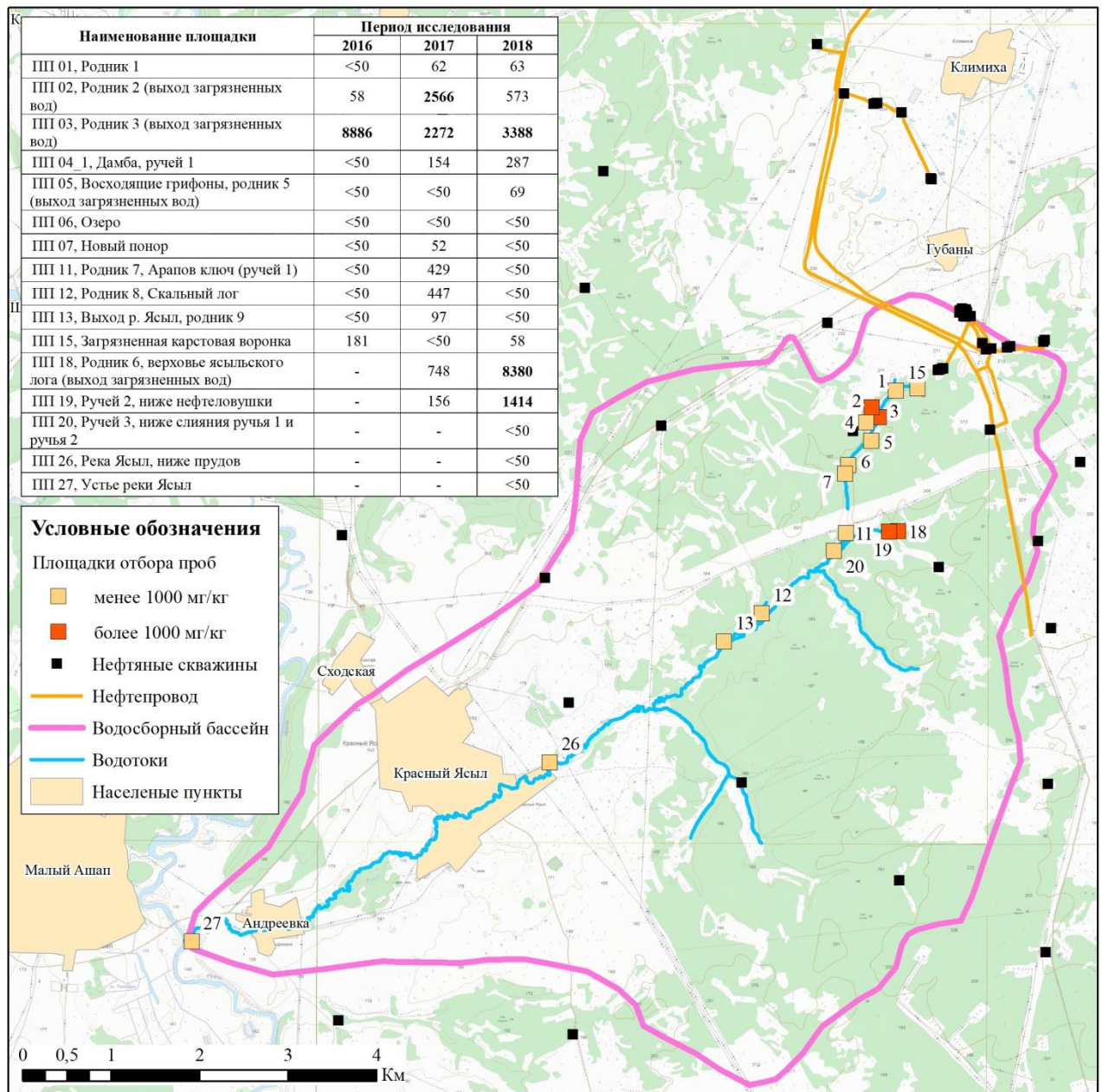


Рис. 5.1.1. Отбор проб в долине реки Ясыл на содержание нефтепродуктов

Среднее содержание в почвах на территории месторождения в районе реки Ясыл

Показатели (n=52)	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe	Mn	Cr	V	Ti
\bar{x} , мг/кг	296	10,4	7,7	55	59	15	28800	762	125	70	3500
σ , мг/кг	183	5,9	3,18	13,5	15,0	10,4	8200	348	23	35,7	940
SE_n , мг/кг	25	0,8	0,44	1,9	2,1	1,4	1100	50	3	5,0	130
P , мг/кг	42	1,4	0,74	3,1	3,5	2,4	1900	80	5	8,3	200
CV , %	62	57	41	24	26	70	28	46	19	51	26

На рис. 5.1.2 представлено распределение металлов в органогенном горизонте (представлены элементы, распределение которые неравномерное, и во многом может зависеть от загрязнения почв нефтью).

Такая высокая степень вариации для Sr обусловлена высокими значениями по содержанию на двух пробных площадках, такие значения можно в целом считать аномальными для данной территории, и объясняются они тем, что в этих пробах присутствует загрязнению нефтью и продуктами ее трансформации. Для того, чтобы вывести средние показатели на территории техногенеза, мы исключили данные точки из расчета. Такие же пики можно отметить для Mn и Pb. Распределение Co напротив носит неоднородный характер по причине точек с аномально низкими содержаниями, по сравнению со всей совокупностью. Для As и V высокая степень вариации обусловлена тем, что не на всех пробных площадках обнаружено достаточное их содержание для определения.

Однородное распределение отмечено для Zn, Ni, Fe, Cr и Ti. Можно говорить, что распределение данных элементов по территории исследования носит равномерный характер.

Оценивая накопление и рассеивание элементов, в среднем для всей исследованной территории (по данным представленным в таблице 5.1.2), подверженной воздействию нефтедобычи, мы получаем следующие геохимические ряды относительно кларка Н.А. Григорьеву (2009) и Hu & Gao (2008) и регионального фона Пермского края:

$$KK_K = \frac{Mn}{1,4} = \frac{Cr}{1,4} > \frac{As}{1,3} > \frac{Ni}{1,1} = \frac{Sr}{1,1}; KP_K = \frac{Zn}{1,1} > \frac{Fe}{1,7} > \frac{V}{1,7} > \frac{Co}{2,0}$$

$$KK_{p.ф.} = \frac{Mn}{1,4} > \frac{Ni}{1,3} > \frac{Sr}{1,2} = \frac{Pb}{1,2} = \frac{Zn}{1,2}; KP_{p.ф.} = \frac{Fe}{1,1} > \frac{V}{1,1} > \frac{Co}{1,8}$$

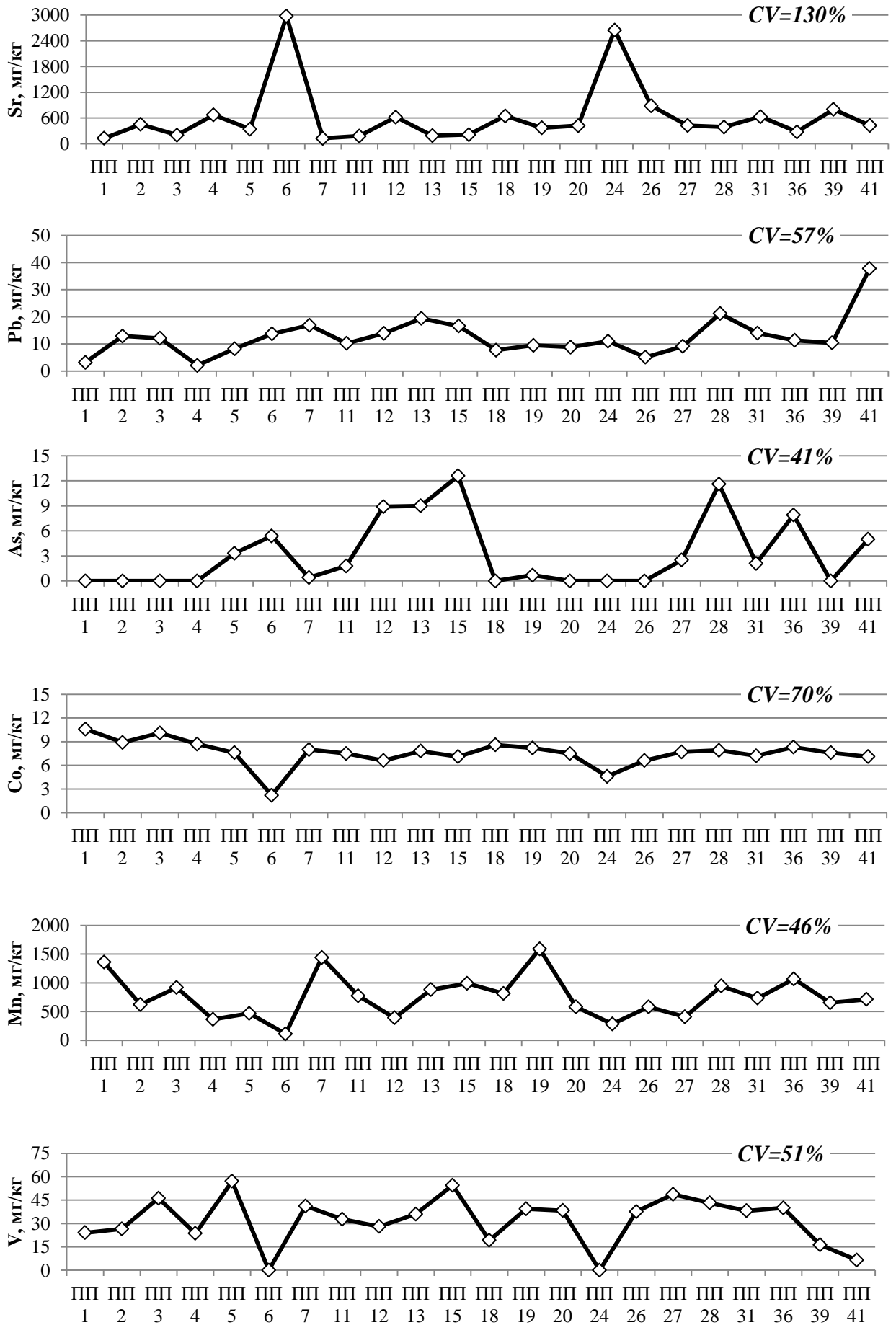


Рис. 5.1.2. Распределение Sr, Pb, As, Co, Mn и V в поверхностном слое почв (2018 год)

В результате, геохимические ряды, полученные относительно кларка и регионального фона Пермского края, отличаются. Ряд, построенный относительно регионального фона в данном случае точнее отражает влияние антропогенного фактора на формирование геохимических особенностей, так как изначально учитывает природные особенности территории. Кларк, несмотря на то, что обычно именно с ним сопоставляются полученные данные в геохимии, не отражает антропогенной специфики, так как показывает геохимические различия изучаемой территории в сравнение с земной корой. Далее при оценке антропогенного воздействия используется региональный фон Пермского края и местный, который определен как средняя концентрация химических элементов для природных районов края.

В таблице 5.1.4 и 5.1.5 представлены ряды накопления и рассеивания элементов для месторождений относительно регионального фона и фона природных районов.

Относительно регионального фона Пермского края на территориях, находящихся под воздействием нефтедобычи, выявлено аккумулятивное накопление различных элементов. Из них для большей части территорий характерно накопление Ni, Sr и Mn. В данном случае, выявленные особенности сформировались в результате природных и антропогенных факторов. В почвах средней тайги произошло накопление Zn и Pb.

Таблица 5.1.4

Геохимические ряды накопления металлов на территории нефтяных месторождений в Пермском крае относительно фона Пермского края и отдельных природных районов

Относительно фона Пермского края	Относительно фона природного района
НАКОПЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ	
Территория месторождений в районе Средней тайги	
$\frac{Pb}{1,4} > \frac{Zn}{1,4} > \frac{Ni}{1,4} > \frac{Mn}{1,4} > \frac{Sr}{1,1}$	$\frac{Ni}{3,5} > \frac{Zn}{1,7} > \frac{Mn}{1,4} > \frac{Pb}{1,3} > \frac{Co}{1,2} > \frac{Cr}{1,2} > \frac{Sr}{1,1} > \frac{V}{1,1}$
Территория месторождений в районе Южной тайги	
$\frac{Mn}{1,5} > \frac{Ni}{1,4} > \frac{Zn}{1,3} > \frac{Sr}{1,2} > \frac{V}{1,2} > \frac{Ti}{1,1}$	$\frac{Ni}{1,6} > \frac{Mn}{1,5} > \frac{V}{1,3} > \frac{Zn}{1,2} > \frac{Ti}{1,1}$
Территория месторождений в районе Хвойно-широколиственных лесов	
$\frac{Pb}{1,3} > \frac{Mn}{1,3} > \frac{As}{1,2} > \frac{Ni}{1,2} > \frac{Cr}{1,2} > \frac{Sr}{1,1} > \frac{Zn}{1,1} > \frac{Fe}{1,1}$	$\frac{Pb}{1,6} > \frac{Sr}{1,2} > \frac{As}{1,1} > \frac{Mn}{1,1} > \frac{V}{1,1}$
Территория месторождений в районе Кунгурской лесостепи	
$\frac{Ni}{1,3} > \frac{Sr}{1,2} > \frac{Fe}{1,1}$	$\frac{Sr}{1,2} > \frac{Ni}{1,1} > \frac{Fe}{1,1}$

Геохимические ряды рассеивания металлов на территории нефтяных месторождений в Пермском крае относительно фона Пермского края и отдельных природных районов

Относительно фона Пермского края	Относительно фона природного района
РАСSEИВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ	
Территория месторождений в районе Средней тайги	
$\frac{Fe}{1,2} > \frac{As}{1,4} > \frac{Co}{2,0}$	$\frac{As}{1,1} > \frac{Fe}{1,1}$
Территория месторождений в районе Южной тайги	
$\frac{As}{1,1} > \frac{Fe}{1,3} > \frac{Co}{2,2}$	$\frac{As}{1,2} > \frac{Fe}{1,3} > \frac{Co}{1,4}$
Территория месторождений в районе Хвойно-широколиственных лесов	
$\frac{V}{1,1} > \frac{Co}{1,9}$	$\frac{Co}{1,1}$
Территория месторождений в районе Кунгурской лесостепи	
$\frac{Pb}{1,2} > \frac{As}{1,2} > \frac{Zn}{1,2} > \frac{Ti}{1,3} > \frac{Co}{1,6} > \frac{V}{1,6}$	$\frac{Zn}{1,1} > \frac{Pb}{1,2} > \frac{As}{1,2} > \frac{Ti}{1,3} > \frac{V}{1,5} > \frac{Co}{2,8}$

Накопление Zn и Ti на территории Южной тайги обусловлено природными факторами, а на территории района Хвойно-широколиственных лесов природные факторы объясняют распределение Pb и As.

В средней тайге на изучаемой территории накапливаются многие элементы, кроме Fe, As и Ti. Для территории месторождений Южной тайги отмечено накопление Ni, Mn, V, Zn и Ti, содержание Pb на уровне фонового содержания. В районе Хвойно-широколиственных лесов аккумулируются Sr, Pb, As, Mn и V, остальные элементы находятся на уровне фона природного района. На территории месторождений Кунгурской лесостепи накапливаются Sr, Ni и Fe, а рассеиваются Zn, As, Pb, Ti, V и Co.

Представление о накоплении в почвах Sr при нефтяном техногенезе (*Opekunov A. et al, 2022*), по нашим данным, часто получает свое подтверждение.

Разнообразие химических элементов по накоплению увеличивается в ряду природных районов: Кунгурская лесостепь - Хвойно-широколиственные леса - Южная тайга - Средняя тайга.

V, Ni, Fe и Zn – это элементы с высокой концентрацией в нефти (таблица 5.1.1). Во всех почвах месторождений отмечается накопление Ni, V; а Zn часто склонен к аккумуляции. Fe, как правило, находится в ряду рассеивания. Можно предположить техногенный характер накопления этих нефтяных микроэлементов в почвах.

Суммарный показатель загрязнения почв химическими элементами находится на допустимом уровне (рис. 5.1.3). Максимальные значения отмечены на территории

месторождений Средней тайги, минимальные на территории месторождений Кунгурской лесостепи.

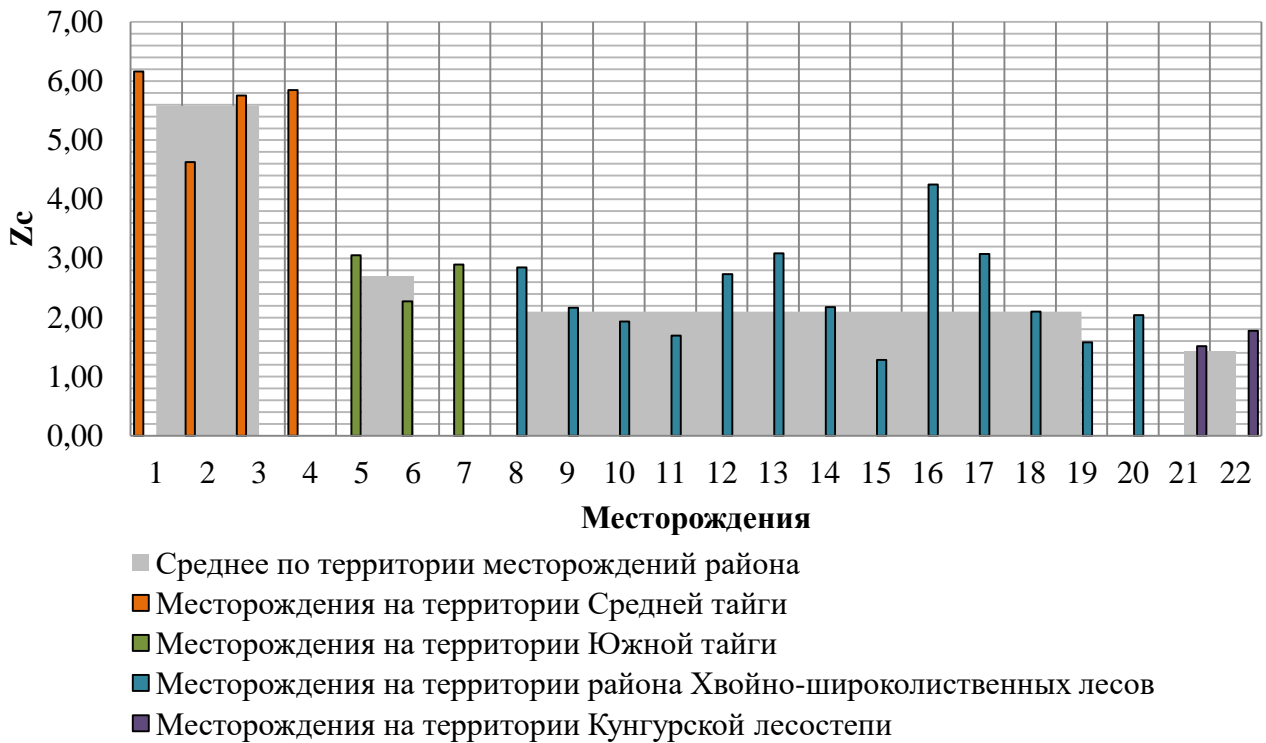


Рис. 5.1.3. Суммарное загрязнение почв металлами на территориях месторождений

На территориях эксплуатируемых месторождений нефти накапливаются Ni, Mn, V и Sr. Накопление тех или иных элементов в данном случае зависит не только от факта добычи нефти на территории, но и от сформировавшегося геохимического фона района.

Отдельно стоит рассмотреть накопление и рассеивание элементов при непосредственном загрязнении почв нефтью. Как было выявлено ранее, то в целом нефтедобыча влияет на геохимический спектр тем, что происходит накопление Ni, Mn, V и Sr.

На основании полученных данных получили геохимические ряды, отражающие техногенез на данной территории:

$$\begin{aligned}
 \text{KK}_{\text{р.ф.}} &= \frac{Ni}{1,4} > \frac{Sr}{1,2} = \frac{Fe}{1,2} > \frac{Co}{1,1} = \frac{V}{1,1}; \text{KP}_{\text{р.ф.}} = \frac{Ti}{1,2} > \frac{Pb}{1,4} \\
 \text{KK}_{\text{м.ф.}} &= \frac{Ni}{1,3} > \frac{Sr}{1,2} > \frac{Fe}{1,2} > \frac{V}{1,1}; \text{KP}_{\text{м.ф.}} = \frac{Zn}{1,1} > \frac{Ti}{1,2} > \frac{Pb}{1,4}
 \end{aligned}$$

Относительно регионального фона Пермского края, на территории накапливаются Ni, Sr, Fe, Co и V, что объясняется совокупностью природных и антропогенных факторов. Накопление Co в данном случае происходит в результате влияния природных

факторов (так как для района Кунгурской лесостепи в целом характеризуется накопление Co по сравнению со всей территорией края).

В результате нефтяного загрязнения на данной территории происходит аккумуляцию Ni, Sr, Fe и V. По сравнению с территориями, рассмотренными ранее, на которых нет высокого загрязнения нефтью и продуктами ее трансформации отмечены общие черты, которые выражены в накоплении Sr, V и Ni.

По результатам элементного состава нефти (табл. 5.1.1), было получено, что в нефти содержатся S, Fe, V, Ni и Zn, что соотносится с другими аналогичными исследованиями (*Гребнева-Балук и др., 2021*). Это подтверждает выявленные особенности по аккумуляции V и Ni на территории влияния нефтедобычи. Аккумуляция Zn так же была выявлена на территориях месторождения Средней и Южной тайги, а накопление Fe на территориях месторождений выявлено не было (но здесь стоит учитывать то, что фоновое содержание железа в почве выше, чем его содержание в нефти). Но на территории подверженной нефтяному загрязнению было зафиксировано накопление Fe.

Для установления закономерностей по распределению в почвах микро- и макроэлементов, а также выявления зависимости содержания от загрязнения почв нефтепродуктами была составлена корреляционная матрица (таблица 5.1.6).

Высокая прямая зависимость отмечена для Fe, V и Ni. Выявленная зависимость, видимо, обусловлена поступлением нефти в почвы и последующей аккумуляцией в органическом горизонте этих потенциально опасных элементов при разрушении и после разрушения углеводов. Прямая корреляция отсутствует между нефтепродуктами и Fe, V и Ni. В тоже время в распределении Zn отсутствуют корреляция с этими элементами и нефтепродуктами. Накопление Ni и V в результате загрязнения нефтепродуктами подтверждается аналогичными исследованиями (*Турковская и др., 2020*).

Высокая прямая зависимость с содержанием в почвах нефтепродуктов отмечена для Pb. И на некоторых месторождениях наблюдается также аккумуляция Pb именно в результате загрязнения нефтепродуктами. На наш взгляд, это вероятно связано с активизацией из-за техногенных причин природных карстовых процессов и галогенеза, что в целом имеет подтверждение и в предыдущих исследованиях (*Гамм и Гамм, 2015*).

Зависимость содержания в почвах элементов и нефтепродуктов

	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe	Mn	Cr	V	Ti	НП
Sr	0,1	-0,1	0,01	-0,2	-0,2	-0,3	0,003	-0,3	-0,4	-0,4	-0,01
Pb		0,1	0,2	-0,2	-0,1	-0,1	0,2	-0,1	-0,1	-0,04	0,8
As			0,0	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,4	0,1	-0,2
Zn				0,2	0,0	0,3	0,4	0,1	0,1	0,02	0,1
Ni					0,6	0,8	0,2	0,6	0,6	0,1	-0,04
Co						0,5	0,1	0,4	0,6	0,2	-0,2
Fe							0,1	0,6	0,7	0,3	-0,1
Mn								-0,01	-0,05	-0,1	0,00
Cr									0,5	0,5	-0,04
V										0,4	-0,3
Ti											-0,2
0,01 – 0,19		Отсутствует									
0,2 – 0,49		Слабая									
0,5 – 0,69		Средняя									
0,7 – 0,99		Высокая									

Средняя прямая зависимость отмечена для следующих пар элементов: Ni и Co; Ni и Cr; Ni и V; Co и Fe; Co и V; Fe и Cr; Cr и V; Cr и Ti. В данном случае можно даже говорить об ассоциативных рядах элементов, связанных друг с другом: Fe – Ni – V – Cr – Co.

Для многих элементов отмечена слабая прямая и обратная зависимости, но в данном случае ее степень недостаточна, чтобы говорить о закономерностях.

Высокая прямая зависимость с содержанием в почвах нефтепродуктов отмечена для Pb, это означает, что при повышении содержания нефтепродуктов в почве, увеличивается содержание Pb. Так же для таких элементов как As, Co, V, Ti обнаружена слабая обратная зависимость, но в данном случае рассматривать это как закономерность не стоит.

5.1.1. Накопление макро- и микроэлементов в почве при экспериментальном загрязнении нефтью

Для установления норматива допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах после рекультивации необходимой частью является исследование влияния загрязнения почв нефти и продуктов ее трансформации на изменение геохимических свойств почв, в частности изменение содержания микроэлементов в почвах. Для этого было исследовано валовое содержание 12 химических элементов (Li, Be, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr) методом спектрометрии

с индуктивно-связанной плазмой (ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98). Содержание микроэлементов измерялось в контрольных образцах почв, которые не были загрязнены, а также в образцах с содержанием нефти в следующих концентрациях: 1 г/кг, 2 г/кг, 3 г/кг, 5 г/кг (таблица 5.1.7).

Таблица 5.1.7

Содержание элементов в исследуемых почвах с различной концентрацией нефти

Микро- элементы	Концентрация нефти									
	контроль		1 г/кг		2 г/кг		3 г/кг		5 г/кг	
	\bar{x} , мг/кг	Δx	\bar{x} , мг/кг	Δx	\bar{x} , мг/кг	Δx	\bar{x} , мг/кг	Δx	\bar{x} , мг/кг	Δx
Дерново-подзолистая										
Li	46	19	65	26	49	20	43	17	73	29
Be	1,67	0,67	1,62	0,65	2	0,8	1,66	0,66	1,83	0,73
V	720	180	678	169	811	203	678	169	740	185
Cr	69	14	69	14	81	16	63	13	70	14
Mn	281	84	258	77	295	89	250	75	445	134
Co	27	11	27	11	31	12	25	10	28	11
Ni	72	25	69	24	108	38	68	24	76	26
Cu	59	12	55	11	67	13	54	11	62	12
Zn	21	4,2	19,2	3,8	24,3	4,9	18,9	3,8	25,6	5,1
As	1,1	0,55	1	0,5	1,12	0,56	0,97	0,48	1,11	0,55
Sr	263	79	244	73	277	83	242	73	675	202
Дерново-карбонатная										
Li	50	20	101	40	48	19	45	18	255	102
Be	2,27	0,91	1,86	0,74	2,33	0,93	1,99	0,8	2,03	0,81
V	753	188	1002	251	1179	295	819	205	689	172
Cr	89	18	59	12	73	15	59	12	56	11
Mn	320	96	275	82	305	92	312	93	290	87
Co	34	14	30	12	32	13	28	11	40	16
Ni	70	25	51	18	58	20	41	14	46	16
Cu	63	13	66	13	89	18	69	14	87	17
Zn	23,4	4,7	19,6	3,9	32,5	6,5	25,8	5,2	31,1	6,2
As	1,27	0,63	1,12	0,56	1,25	0,63	1,17	0,59	1,38	0,69
Sr	716	215	629	189	672	202	573	172	671	201
Светло-серая										
Li	50	21	101	22	48	15	45	19	255	18
Be	2,27	1	1,86	1,1	2,33	0,7	1,99	0,94	2,03	0,88
V	753	271	1002	306	1179	274	819	294	689	297
Cr	89	13	59	20	73	11	59	20	56	20
Mn	320	92	275	119	305	78	312	107	290	98
Co	34	13	30	17	32	14	28	15	40	20
Ni	70	17	51	29	58	19	41	27	46	26
Cu	63	19	66	11	89	6,3	69	13	87	10

Микро-элементы	Концентрация нефти									
	контроль		1 г/кг		2 г/кг		3 г/кг		5 г/кг	
	\bar{x} , мг/кг	Δx	\bar{x} , мг/кг	Δx	\bar{x} , мг/кг	Δx	\bar{x} , мг/кг	Δx	\bar{x} , мг/кг	Δx
Zn	23,4	8	19,6	5,1	32,5	3	25,8	4,6	31,1	4,4
As	1,27	0,66	1,12	0,99	1,25	0,5	1,17	0,65	1,38	0,6
Sr	716	191	629	297	13884	4165	573	244	671	245
	Темно-серая									
Li	42	17	31	12	60	24	39	15	58	23
Be	1,78	0,71	1,8	0,72	3,1	1,2	2,18	0,87	1,97	0,79
V	835	209	889	222	1213	303	923	231	783	196
Cr	68	14	68	14	132	26	78	16	69	14
Mn	274	82	267	80	457	137	305	91	293	88
Co	24	10	22,4	9	40	16	22,1	8,8	21,8	8,7
Ni	72	25	71	25	123	43	74	26	71	25
Cu	52	10	53	11	101	20	71	14	65	13
Zn	16	3,2	16,6	3,3	33,9	6,8	22,4	4,5	18,3	3,7
As	1,01	0,51	0,96	0,48	1,63	0,81	1,17	0,59	1,13	0,57
Sr	430	129	476	143	758	227	492	147	413	124
	Пойменная									
Li	39	15	73	29	38	15	66	26	50	20
Be	1,51	0,61	1,49	0,6	1,57	0,63	2,6	1	2	0,78
V	1015	254	944	236	992	248	1258	314	1020	255
Cr	47,3	9,5	42,3	8,5	45,4	9,1	82	16	56	11
Mn	183	55	191	57	192	58	322	96	262	79
Co	21	8,4	28	11	21,4	8,6	36	14	33	13
Ni	34	12	32	11	34	12	57	20	37	13
Cu	39,1	7,8	40,3	8,1	44,7	8,9	86	17	66	13
Zn	16,5	3,3	16,4	3,3	18,2	3,6	38,4	7,7	26,8	5,4
As	0,75	0,38	0,82	0,41	0,82	0,41	1,24	0,62	1,02	0,51
Sr	565	170	497	170	571	171	938	281	624	187

При анализе полученных результатов было выявлено, что внесение нефти в концентрации до 5 г/кг не происходит значительного увеличения содержания исследованных микроэлементов относительно контроля.

Отмечено повышение содержания Li в 1-4 раза при повышении концентрации нефти (рисунок 5.1.4), но по литературным данным (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989) Li может фиксироваться в органическом веществе, и в целом содержание Li для исследованных почв в различных концентрациях остается в рамках типичного содержания в почвах.

Для таких элементов как Be, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As и Sr (рисунки 5.1.5-5.1.14) выявлено достаточно однородное содержание (коэффициент вариации ниже 30%), вне зависимости от концентрации нефти в почвах. По содержанию V (рисунок 5.1.6) так же отмечено однородное содержание (есть небольшое повышение содержания при концентрации нефти 2 г/кг, но это превышение находится в пределах допустимой погрешности).

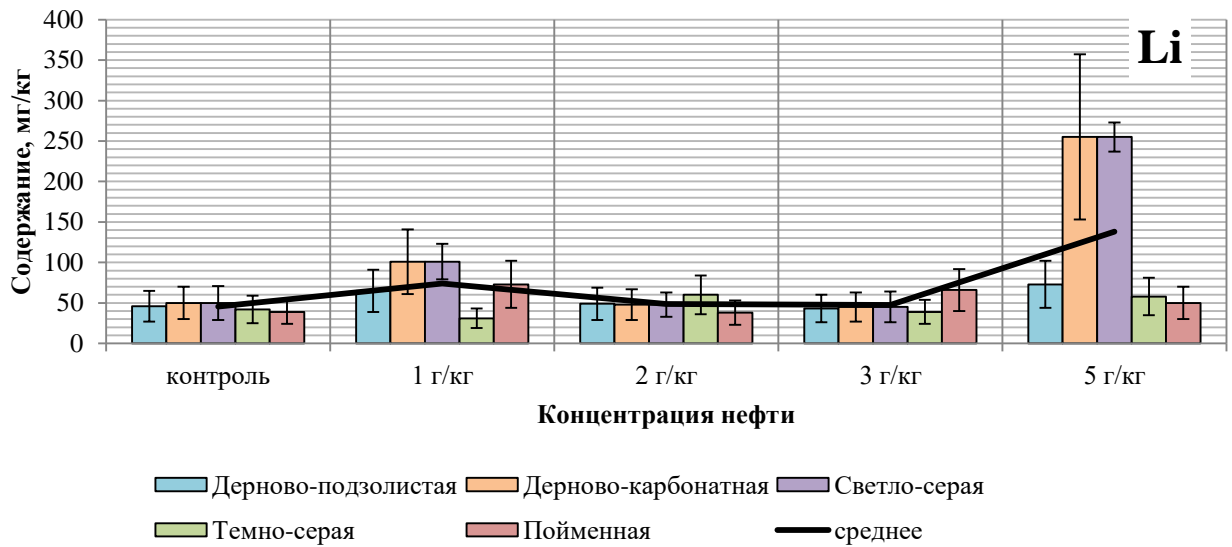


Рисунок 5.1.4. Содержание Li в почвах, загрязненных нефтью в различных концентрациях и контроле

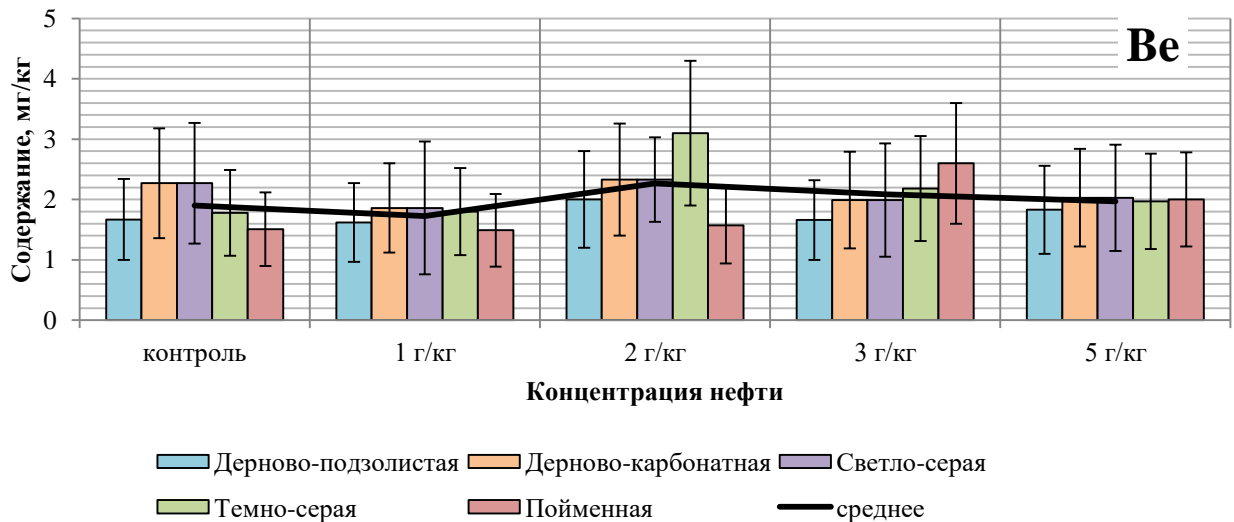


Рисунок 5.1.5. Содержание Be в почвах, загрязненных нефтью в различных концентрациях и контроле

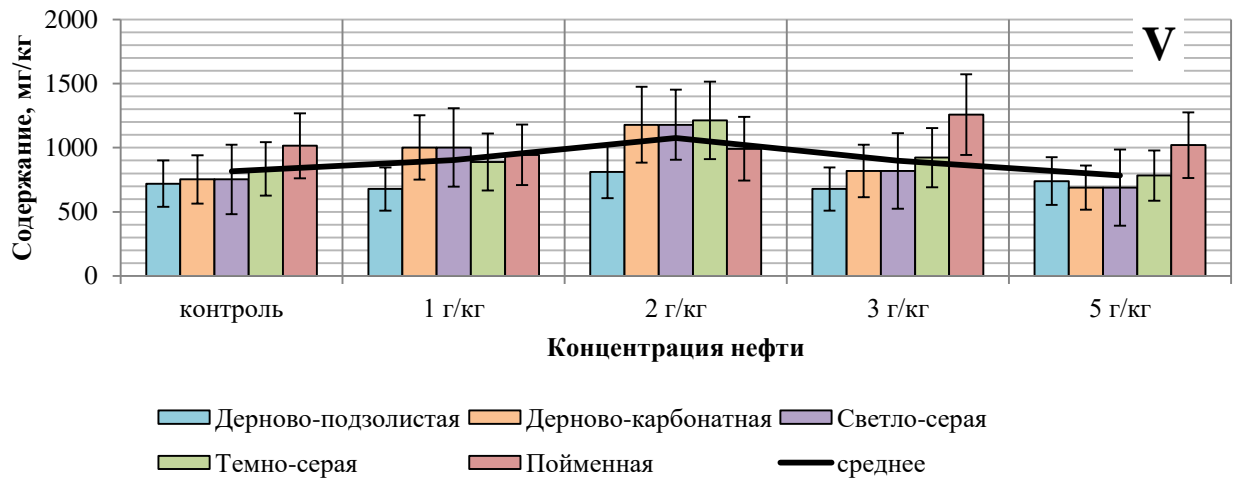


Рисунок 5.1.6. Содержание V в почвах, загрязненных нефтью в различных концентрациях и контроле

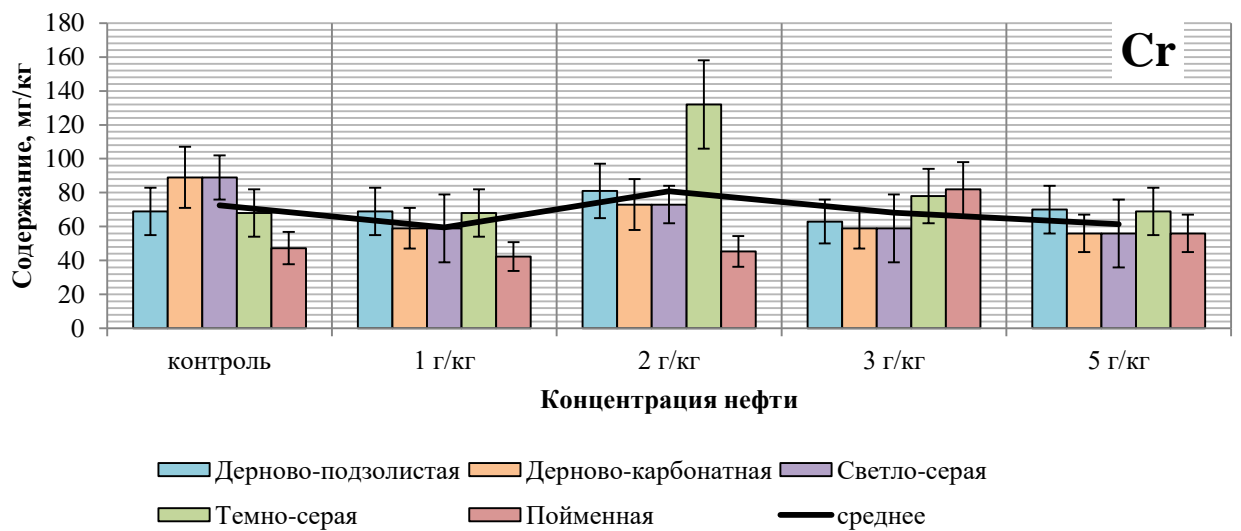


Рисунок 5.1.7. Содержание Cr в почвах, загрязненных нефтью в различных концентрациях и контроле

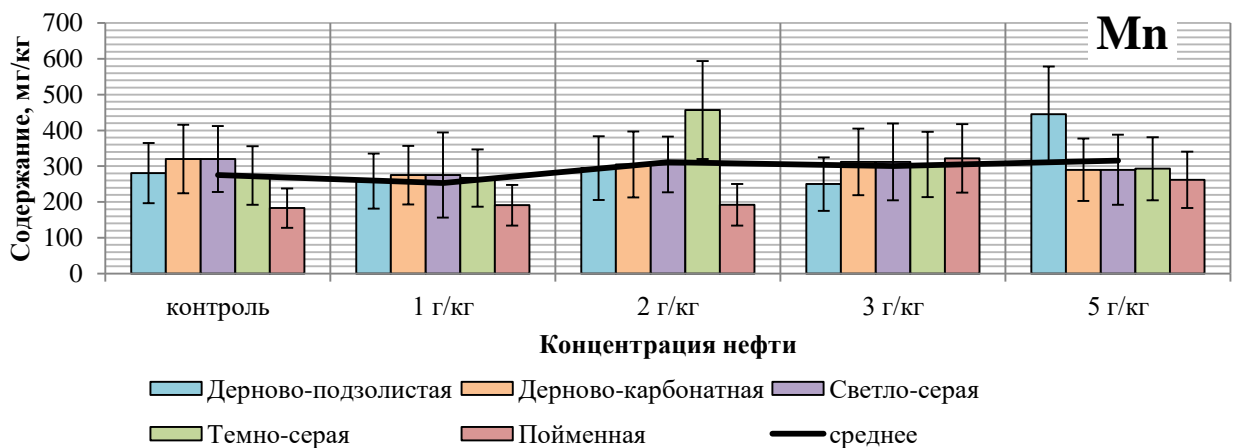


Рисунок 5.1.8. Содержание Mn в почвах, загрязненных нефтью в различных концентрациях и контроле

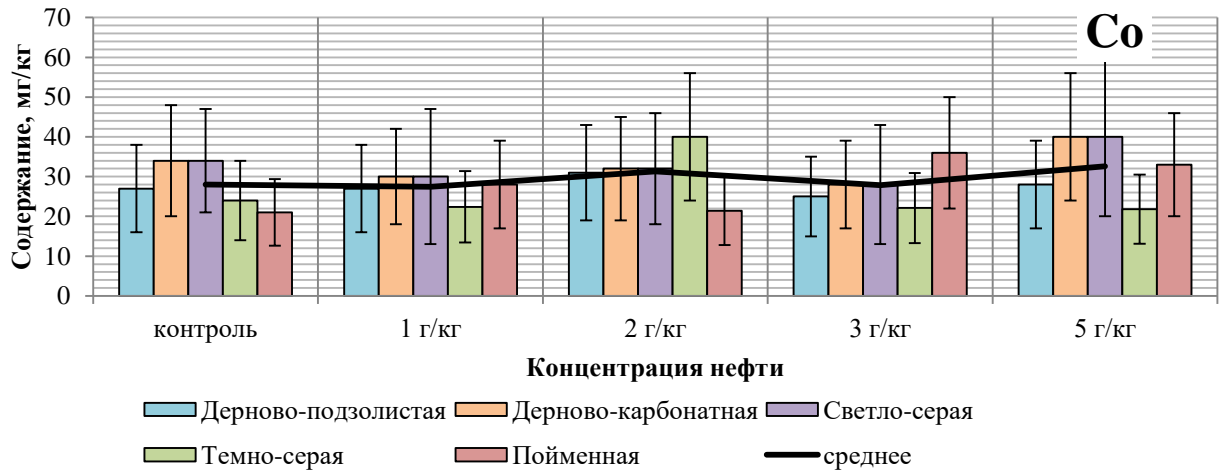


Рисунок 5.1.9. Содержание Co в почвах, загрязненных нефтью в различных концентрациях и контроле

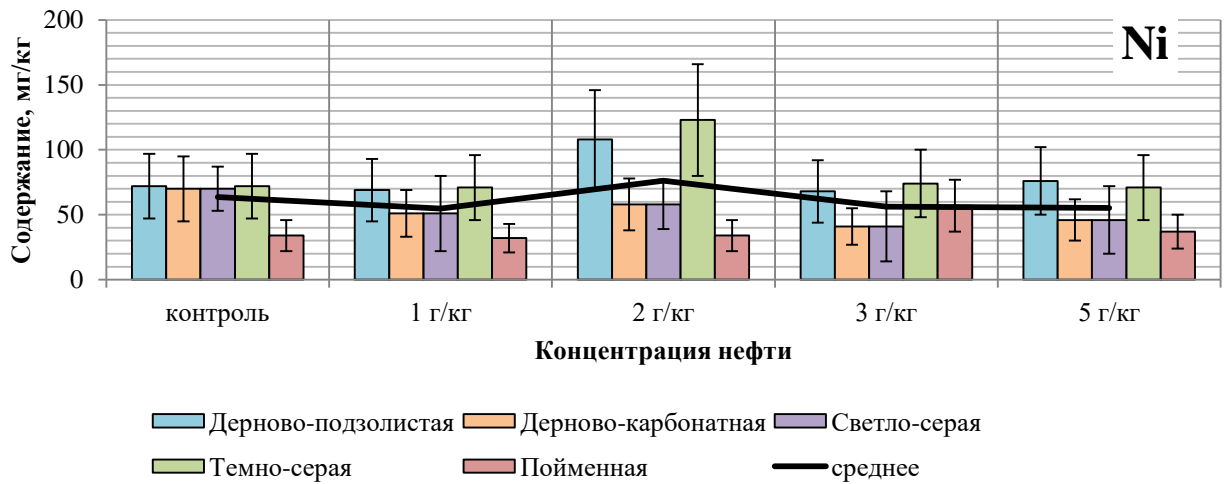


Рисунок 5.1.10. Содержание Ni в почвах, загрязненных нефтью в различных концентрациях и контроле

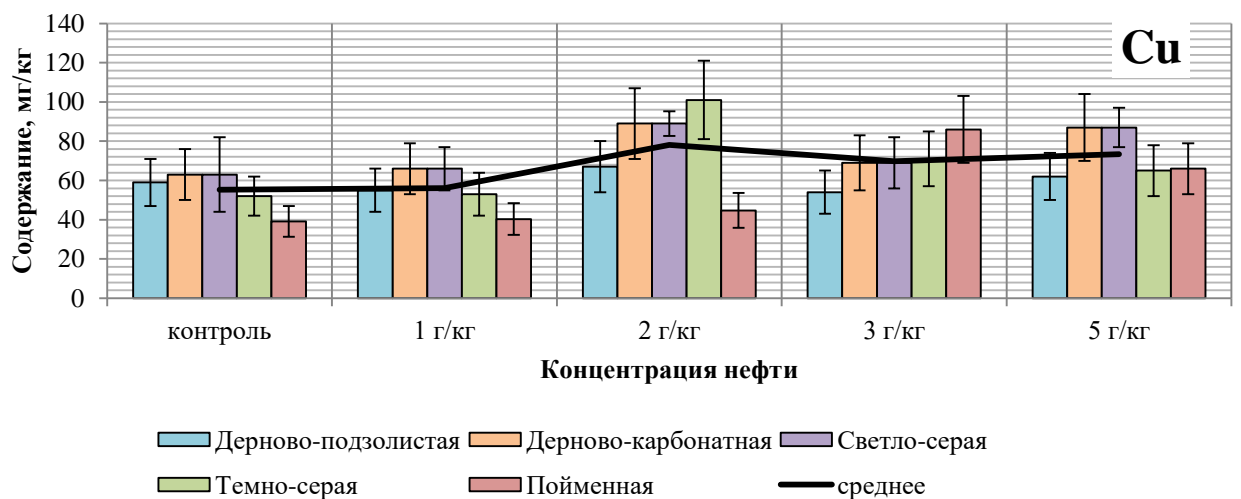


Рисунок 5.1.11. Содержание Cu в почвах, загрязненных нефтью в различных концентрациях и контроле

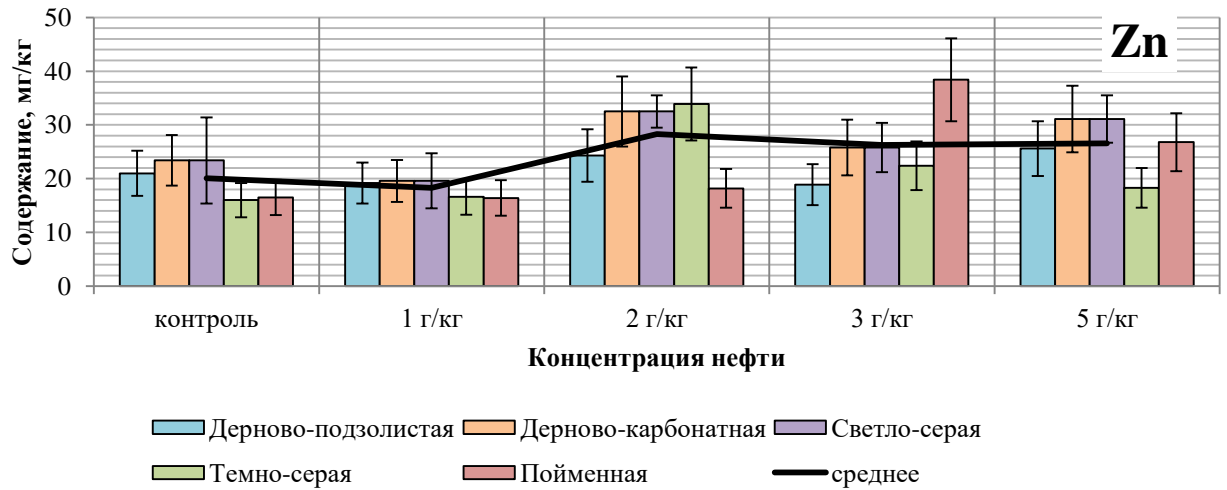


Рисунок 5.1.12. Содержание Zn в почвах, загрязненных нефтью в различных концентрациях и контроле

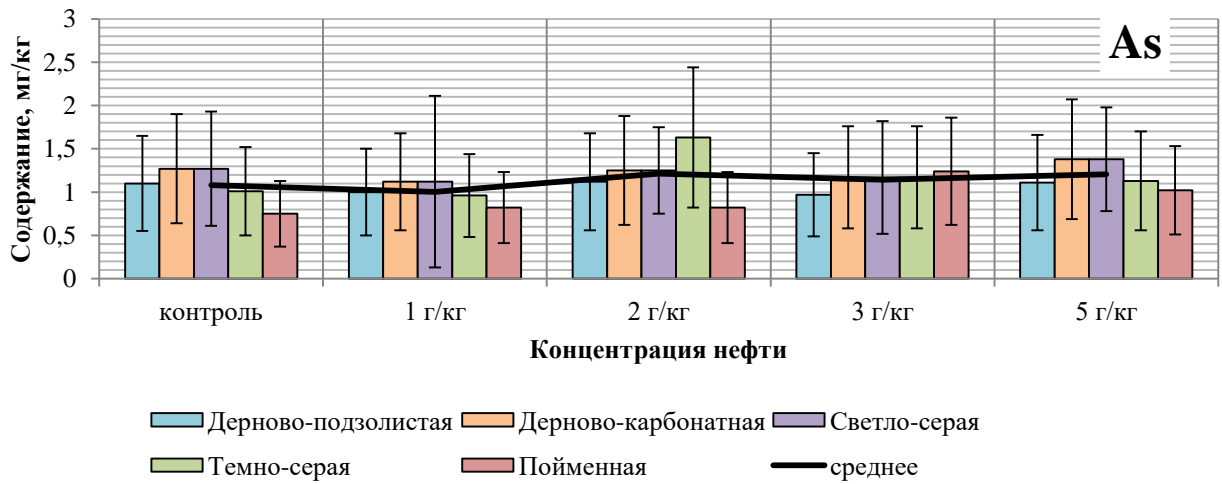


Рисунок 5.1.13. Содержание As в почвах, загрязненных нефтью в различных концентрациях и контроле

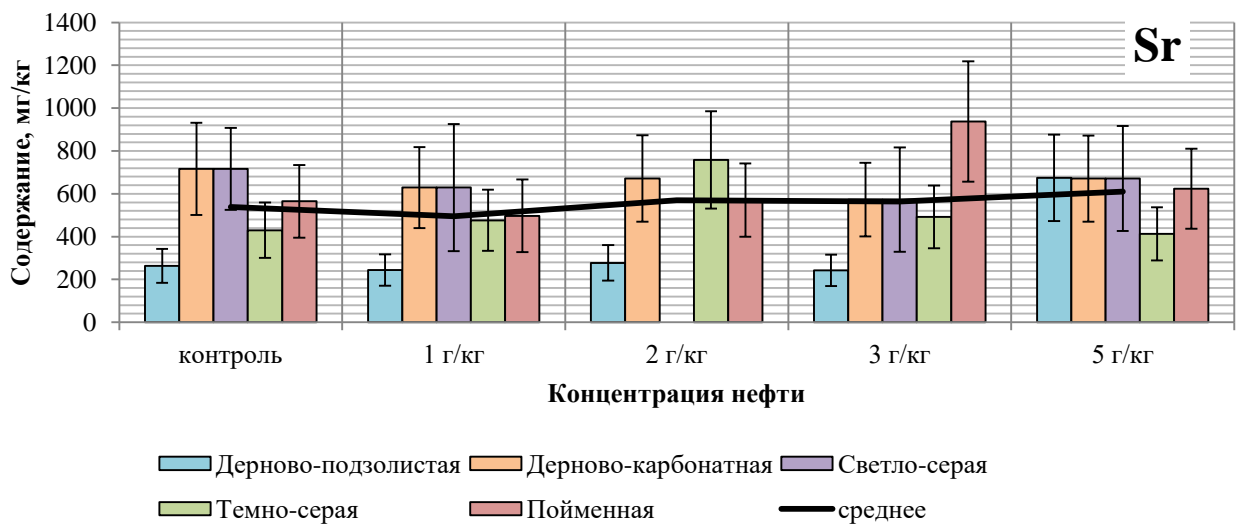


Рисунок 5.1.14. Содержание Sr в почвах, загрязненных нефтью в различных концентрациях и контроле

В заключение стоит отметить, что проведенные исследования по содержанию микроэлементов в почвах, загрязненных нефтью в концентрациях до 5 г/кг, не показали вторичного загрязнения почв микроэлементами. Данное привнесение нефти в почву не приводит к загрязнению почв микроэлементами по сравнению с контролем.

В результате можно сделать следующие выводы:

1. Определено значительное количественное содержание в нефти V, Ni, Fe, Zn и получен ее геохимический ряд: S>V>Ni>Fe>Zn>As>Pb>Cr>Sr>Co>Mn>Ti.
2. При трансформации нефти после поступления в окружающую среду происходит аккумуляция в почве Ni и V.
3. Разнообразие аккумулирующихся химических элементов на территории эксплуатируемых нефтяных месторождений возрастает с юга на север в ряду: Кунгурская лесостепь - Хвойно-широколиственные леса - Южная тайга - Средняя тайга.
4. Суммарный показатель загрязнения почв потенциально токсичными элементами находится на допустимом уровне в почвах на территории месторождений Пермского края.
5. Приоритетными для ведения геоэкологического мониторинга на территории нефтяных месторождениях для региона считаем Ni, V, Fe, Pb, Sr, Zn.

5.2. Формирование геохимических свойств почв в районе ликвидации шахт Кизеловского угольного бассейна

В таблице 5.2.1 представлены данные по среднему содержанию макро- и микроэлементов в районе ликвидации шахт КУБа (в Приложении 8 представлены все результаты измерений). В таблице 5.2.2 приведены геохимические ряды накопления и рассеивания относительно кларка, регионального фона для Пермского края и фона природного района Западный Урал.

Исходя из полученных данных по среднему содержанию, для всей территории исследования формируется однородный геохимический фон. В большей степени однородность распределения характерна для подгумусового горизонта. Это объясняется тем, что в органогенном горизонте геохимические процессы более активны, а в подгумусовом наоборот, содержание элементов более стабильно. Для территории характерно накопление элементов в органогенном горизонте.

**Среднее содержание макро- и микроэлементов в почвах в районе ликвидации шахт
Кизеловского угольного бассейна**

Показатели (n=103)	Содержание, мг/кг										
	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe	Mn	Cr	V	Ti
Органогенный горизонт											
\bar{x} , мг/кг	221	16	10	80	69	24	24600	1100	178	80	4700
σ , мг/кг	26	3,1	3,5	7,8	9,3	2,8	2000	155	20	12	230
SE_m , мг/кг	2,6	0,3	0,3	0,8	0,9	0,3	200	16	2	1,2	23
P , мг/кг	4,3	0,5	0,6	1,3	1,6	0,5	400	26	3,3	2	40
CV , %	12	19	33	10	13	11	8	14	11	15	5
KK_k	–	–	1,8	1,1	1,4	1,6	–	1,4	1,9	–	1,2
KP_k	1,2	1,1	–	–	–	–	1,7	–	–	1,3	–
$KK_{p.ф.}$	–	1,1	1,4	1,4	1,7	1,7	1,0	1,4	1,4	1,2	1,1
$KP_{p.ф.}$	1,1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
$KK_{m.ф.}$	1,2	–	1,5	1,2	1,7	2,9	–	2,1	1,3	–	1,0
$KP_{m.ф.}$	–	1,0	–	–	–	–	1,2	–	–	1,2	–
Подзолистый горизонт											
\bar{x} , мг/кг	176	13	6	62	60	24	22400	1000	153	68	4500
σ , мг/кг	35	2,7	1,4	7,1	6,4	1,8	1100	103	15,2	4,8	180
SE_m , мг/кг	3,5	0,3	0,1	0,7	0,6	0,2	100	10	1,5	0,5	20
P , мг/кг	5,9	0,4	0,2	1,2	1,1	0,3	200	17	2,6	0,8	30
CV , %	20	21	23	11	11	7	5	10	10	7	4
KK_k	–	–	1,1	–	1,2	1,6	–	1,3	1,7	–	1,2
KP_k	1,5	1,4	–	1,2	–	–	1,8	–	–	1,6	–
$KK_{p.ф.}$	–	–	–	1,1	1,5	1,7		1,3	1,2	1,1	1,1
$KP_{p.ф.}$	1,4	1,2	1,2	–	–	–	1,1		–	–	
$KK_{m.ф.}$	–	–	–	–	1,5	2,9		1,9	1,1	–	
$KP_{m.ф.}$	1,1	1,3	1,2	1,1	–	–	1,3		–	1,5	1,1
Отношение органогенного горизонта к подгумусовому											
$K_{мизр}$	1,3	1,2	1,7	1,3	1,2	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,0

Составленные геохимические ряды отражают влияние природных и антропогенных факторов на состав элементов. При сравнении с кларком мы получаем отличие от среднего содержания в земной коре. В этом случае мы не выделяем влияние природных и антропогенных факторов, потому что состав почв всегда отличается от

состава земной коры, вне зависимости от других факторов. При сравнении с региональным фоном Пермского края мы получаем результат суммарного действия природных и антропогенных факторов. Влияние техногенеза наглядно показывает сравнение с фоном природного района Западного Урала, так как геохимические особенности, сформированные под влиянием природных факторов на территории исследования и данного природного района идентичны. Поэтому мы можем выявить влияние антропогенной нагрузки.

Таблица 5.2.2

Геохимические ряды накопления и рассеивания макро- и микроэлементов на территории исследования

Накопление	Рассеивание
Органогенный горизонт	
Относительно кларка	
$\frac{Cr}{1,9} > \frac{As}{1,8} > \frac{Co}{1,6} > \frac{Mn}{1,4} = \frac{Ni}{1,4} > \frac{Ti}{1,2} > \frac{Zn}{1,1}$	$\frac{Pb}{1,1} > \frac{Sr}{1,2} > \frac{V}{1,3} > \frac{Fe}{1,7}$
Относительно регионального фона Пермского края	
$\frac{Co}{1,7} = \frac{Ni}{1,7} > \frac{Mn}{1,4} = \frac{Cr}{1,4} = \frac{As}{1,4} = \frac{Zn}{1,4} > \frac{V}{1,2} > \frac{Ti}{1,1} = \frac{Pb}{1,1} > \frac{Fe}{1,0}$	$\frac{Sr}{1,1}$
Относительно фона Западного Урала	
$\frac{Co}{2,9} > \frac{Mn}{2,1} > \frac{Ni}{1,7} > \frac{As}{1,5} > \frac{Cr}{1,3} > \frac{Zn}{1,2} = \frac{Sr}{1,2} > \frac{Ti}{1,0}$	$\frac{Pb}{1,0} > \frac{Fe}{1,2} = \frac{V}{1,2}$
Подгумусовый горизонт	
Относительно кларка	
$\frac{Cr}{1,7} > \frac{Co}{1,6} > \frac{Mn}{1,3} > \frac{Ti}{1,2} = \frac{Ni}{1,2} > \frac{As}{1,1}$	$\frac{Zn}{1,2} > \frac{Pb}{1,4} > \frac{Sr}{1,5} > \frac{V}{1,6} > \frac{Fe}{1,8}$
Относительно регионального фона Пермского края	
$\frac{Co}{1,7} > \frac{Ni}{1,5} > \frac{Mn}{1,3} > \frac{Cr}{1,2} > \frac{Ti}{1,1} = \frac{Zn}{1,1} = \frac{V}{1,1}$	$\frac{Fe}{1,1} > \frac{Pb}{1,2} = \frac{As}{1,2} > \frac{Sr}{1,4}$
Относительно фона Западного Урала	
$\frac{Co}{2,9} > \frac{Mn}{1,9} > \frac{Ni}{1,5} > \frac{Cr}{1,1}$	$\frac{Sr}{1,1} = \frac{Zn}{1,1} > \frac{As}{1,2} > \frac{Pb}{1,3} = \frac{Fe}{1,3} > \frac{V}{1,5}$

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 Кизеловского угольного бассейна ($Fe > Ti > Mn > Sr > Cr > V > Zn > Ni > Co > Pb > As$) 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 так же накапливаются Cr, Co и Mn, рассеивается Sr и V. На рис.5.2.1 и 5.2.2 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 же 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.

Сопоставление с региональным фоном и кларком, несомненно, важно и обосновано в экологической геохимии, но этого 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.

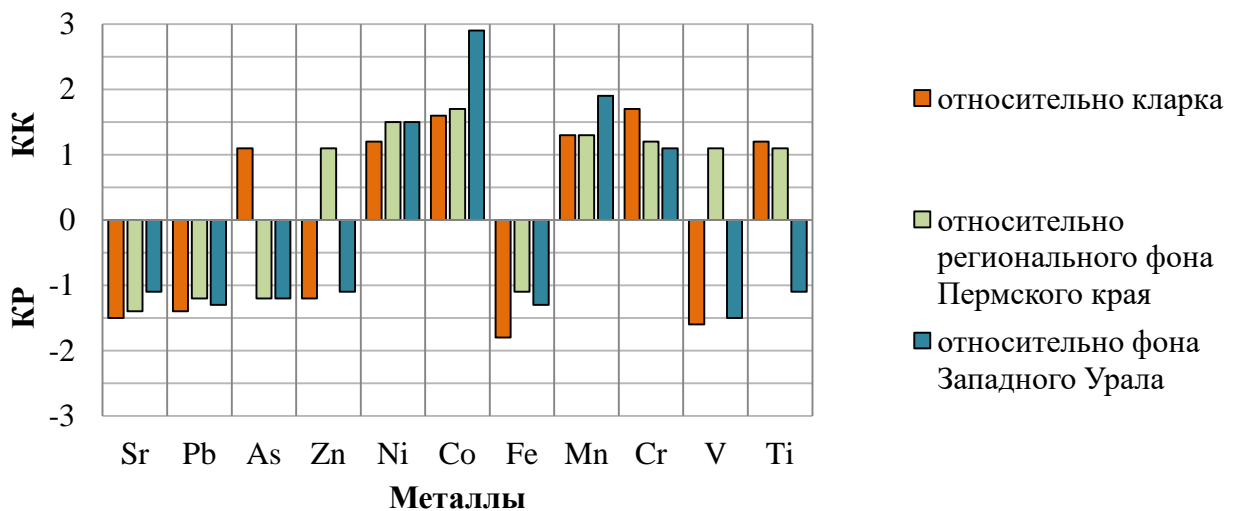


Рис.5.2.1. Аккумуляция и рассеивание металлов на исследуемой территории в органогенном горизонте, относительно кларка, регионального фона Пермского края и фона природного района Западный Урал

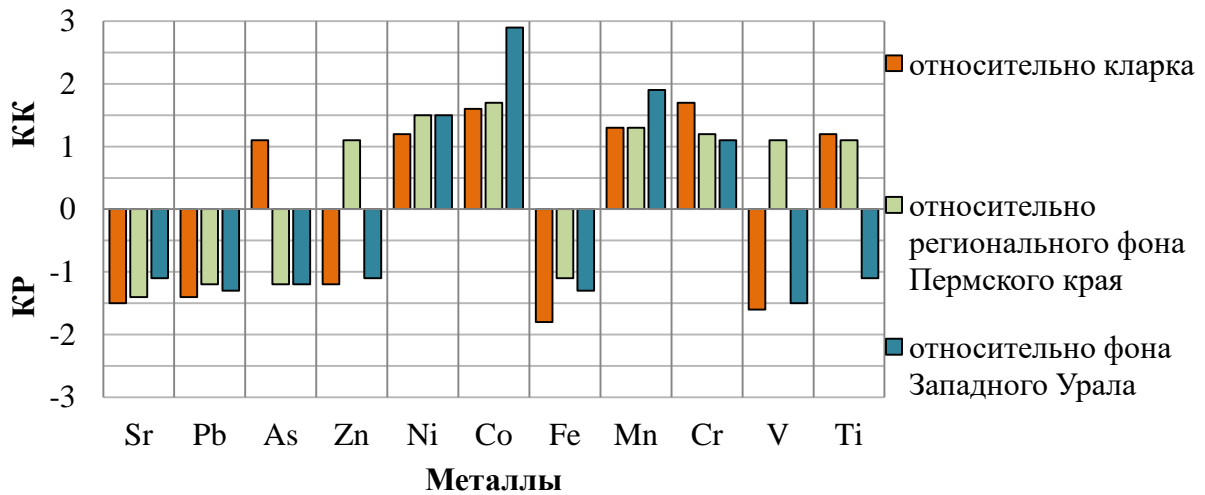


Рис.5.2.2. Аккумуляция и рассеивание металлов на исследуемой территории в подгумусовом горизонте, относительно кларка, регионального фона Пермского края и фона природного района Западный Урал

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.

Далее более подробно рассмотрим распределение элементов, характеризующих геохимическую специфику исследуемой территории, используя полученные данные по интерполяции и фактические значения содержания металлов.

Распределение **Co** на территории КУБа однородно ($CV=11\%$ в органогенном горизонте и $CV=7\%$ в подгумусовом горизонте). Максимальное содержание отмечено в районе г. Кизела (рис.5.2.3) для органогенного и подгумусового горизонтов.

Среднее содержание **Co** в органогенном горизонте составляет $24 \pm 2,8$ мг/кг, при минимальном значении $18 \pm 2,8$ мг/кг и максимальном $30 \pm 2,8$ мг/кг. В подгумусовом горизонте среднее содержание **Co** составляет $24 \pm 1,8$ мг/кг, при минимальном значении $20 \pm 1,8$ мг/кг и максимальном $29 \pm 1,8$ мг/кг. В подгумусовом горизонте распределение **Co** носит более равномерный характер. Учитывая, что по сравнению с фоном природного района на исследуемой территории происходит накопление можно сделать вывод, что **Co** является характерным элементом для данной территории, характеризующим геохимическую специфику территории КУБа. Содержание **Co** на территории КУБа

обусловлено техногенным и посттехногенным воздействием. Интересный момент возникает, когда мы анализируем соотношение содержания Co между горизонтами. 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. Но направлению от центральной части к югу мы видим участки, где происходит накопление в подгумусовом горизонте. А 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 прямо сейчас. В южной же части мы наблюдаем результат прошедшего техногенеза.

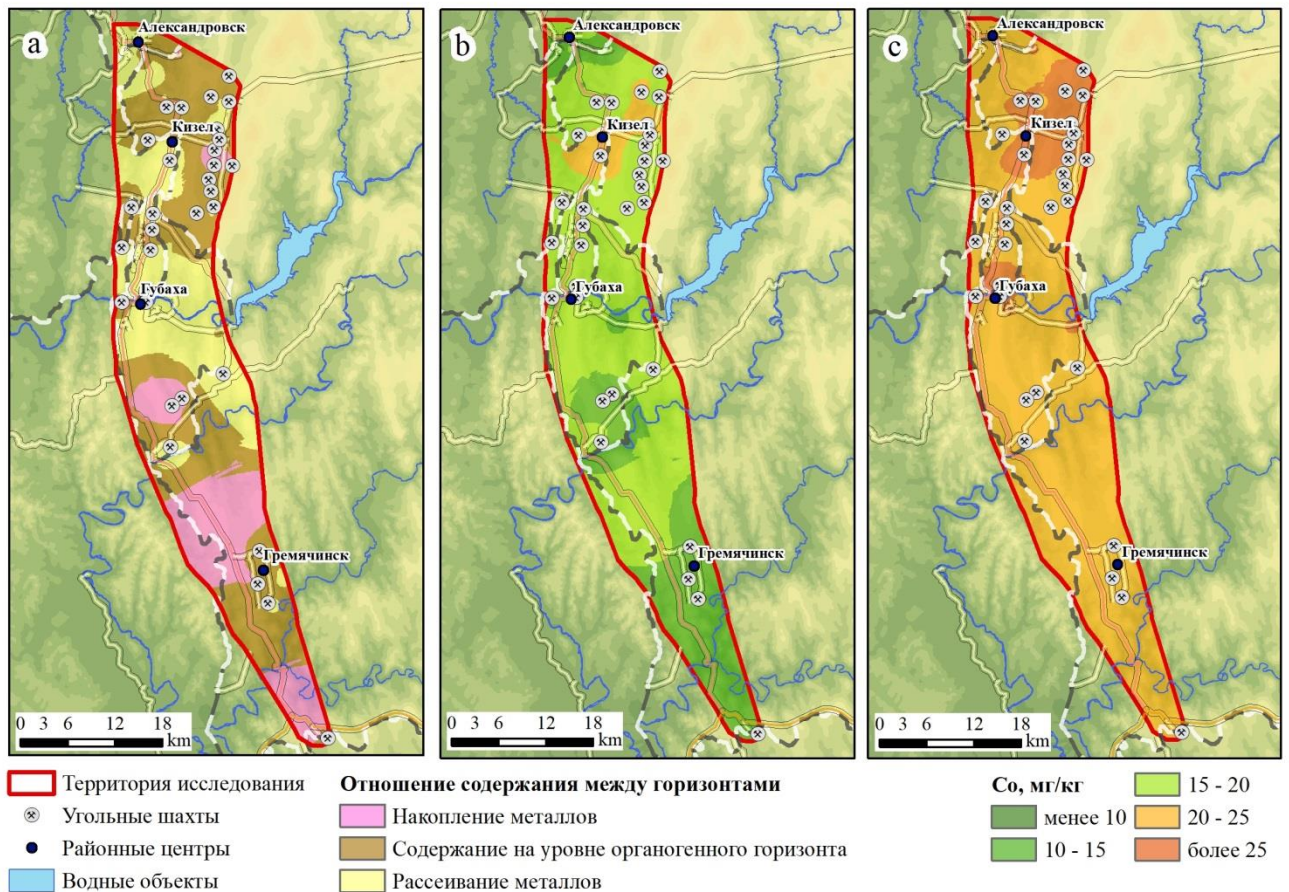


Рис. 5.2.3. Распределение Co на территории исследования Кизеловского угольного бассейна в органогенном и подгумусовом горизонтах

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

Накопление Mn так же отражает геохимическую специфику территории КУБа. Распределение Mn характеризуется как однородное ($CV=14\%$ в органогенном горизонте

и $CV=10\%$ в подгумусовом горизонте). На исследуемой территории отмечается несколько участков с повышенным содержанием Mn (рис.5.2.4), в основном приуроченных к угольным шахтам.

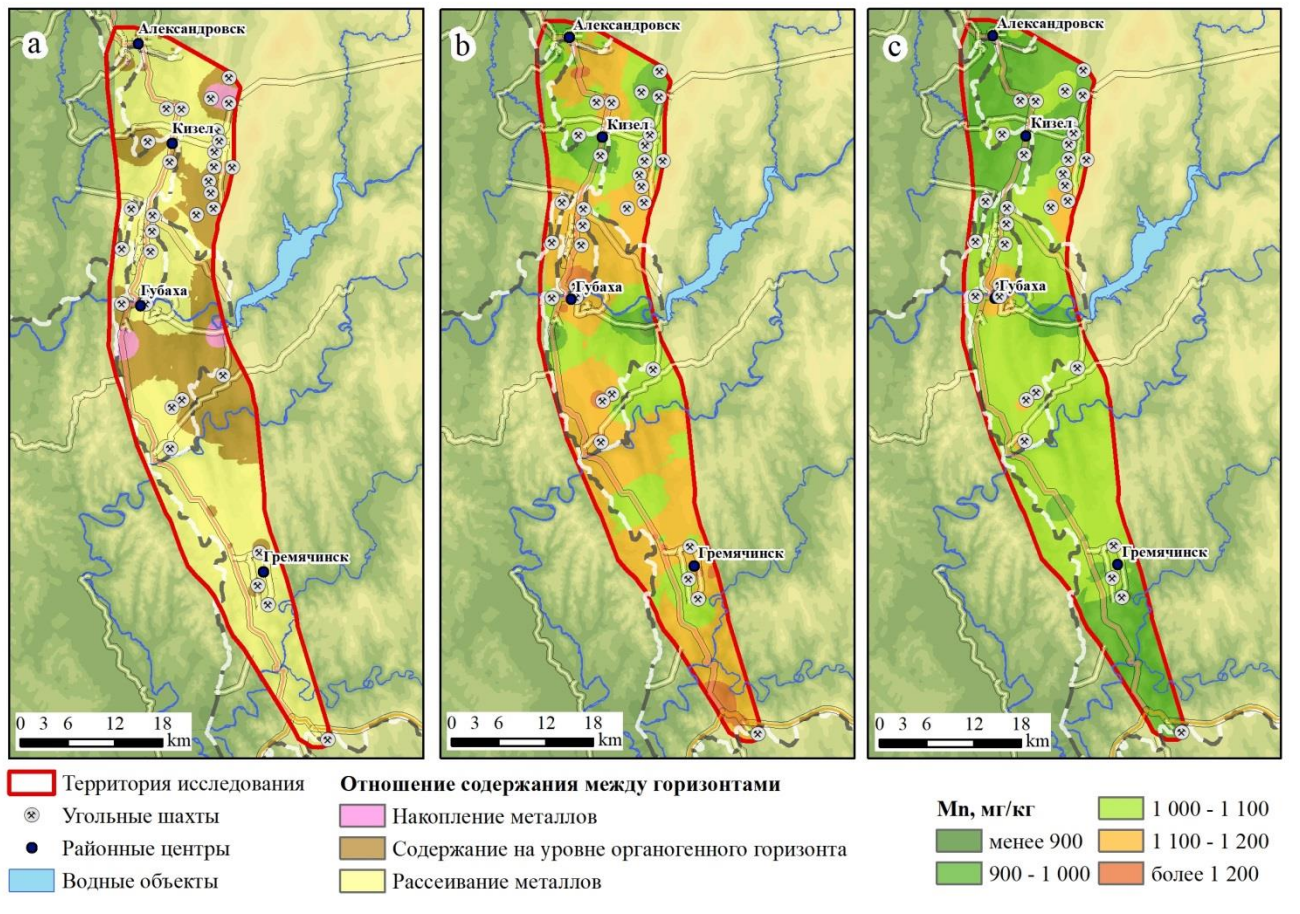


Рис.5.2.4. Распределение Mn на территории исследования Кизеловского угольного бассейна в органогенном и подгумусовом горизонтах

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

В подгумусовом горизонте отмечено меньшее накопление Mn со средним значением 1000 ± 103 мг/кг (минимальное значение 900 ± 103 мг/кг и максимальное 1600 ± 103 мг/кг). В органогенном горизонте отмечено большее количество участков с повышенным содержанием Mn. В среднем на исследуемой территории содержанием Mn находится в интервале 1100 ± 155 мг/кг (минимальное значение 1069 ± 155 мг/кг и максимальное 1719 ± 155 мг/кг). На отдельных участках наблюдается большее содержание в подгумусовом горизонте. Эти участки в основном локализованы в районе ликвидированных шахт. По сравнению с природным районом Западный Урал, на исследуемой территории наблюдается накопление Mn.

Иную картину можно наблюдать, оценивая распределение Ni на территории влияния КУБа (рис.5.2.5). Максимальная концентрация Ni приурочена непосредственно к шахтам, находящимся южнее г. Кизел.

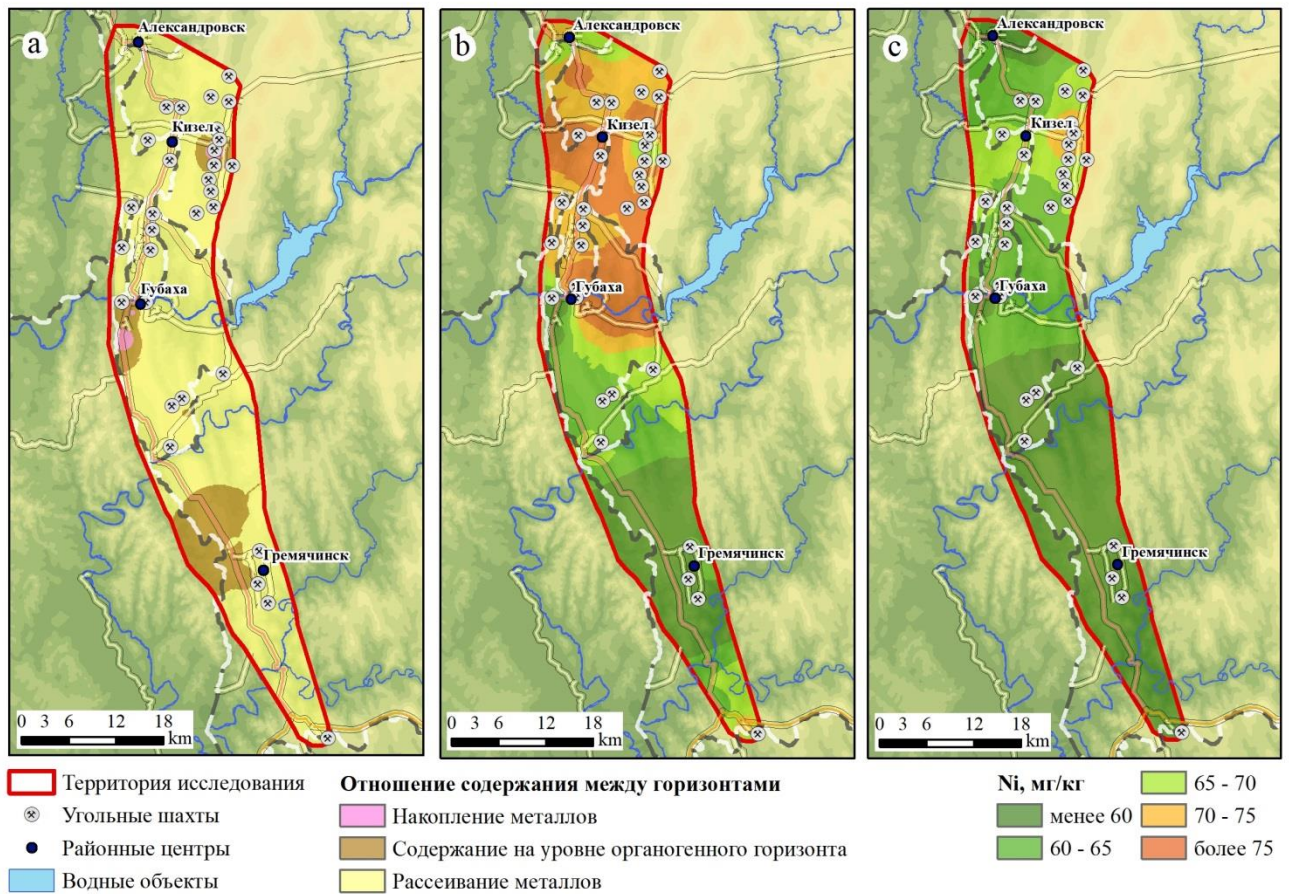


Рис. 5.2.5. Распределение Ni на территории исследования Кизеловского угольного бассейна в органогенном и подгумусовом горизонтах

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

Распределение Ni на исследуемой территории характеризуется как равномерное ($CV=13\%$ в гумусовом горизонте и $CV=11\%$ в подгумусовом горизонте). Загрязнение почв Ni отмечается как в гумусовом, так и в подгумусовом горизонтах. Среднее содержание Ni в органогенном горизонте на всей территории $69 \pm 9,3$ мг/кг (минимальное $50 \pm 9,3$ мг/кг и максимальное $90 \pm 9,3$ мг/кг). В подгумусовом горизонте среднее содержание для всей территории несколько меньше и составляет $60 \pm 6,4$ мг/кг (минимальное $50 \pm 6,4$ мг/кг и максимальное $74 \pm 6,4$ мг/кг). Вклад Ni в геохимическую специфику исследуемой территории обусловлен тем, что по сравнению с содержанием природного района Западный Урал, на исследуемой территории происходит накопление.

На рис.5.2.6 представлено распределение Cr территории влияния КУБа. В целом распределение характеризуется как равномерное ($CV=11\%$ в органическом горизонте и $CV=10\%$ в подгумусовом горизонте).

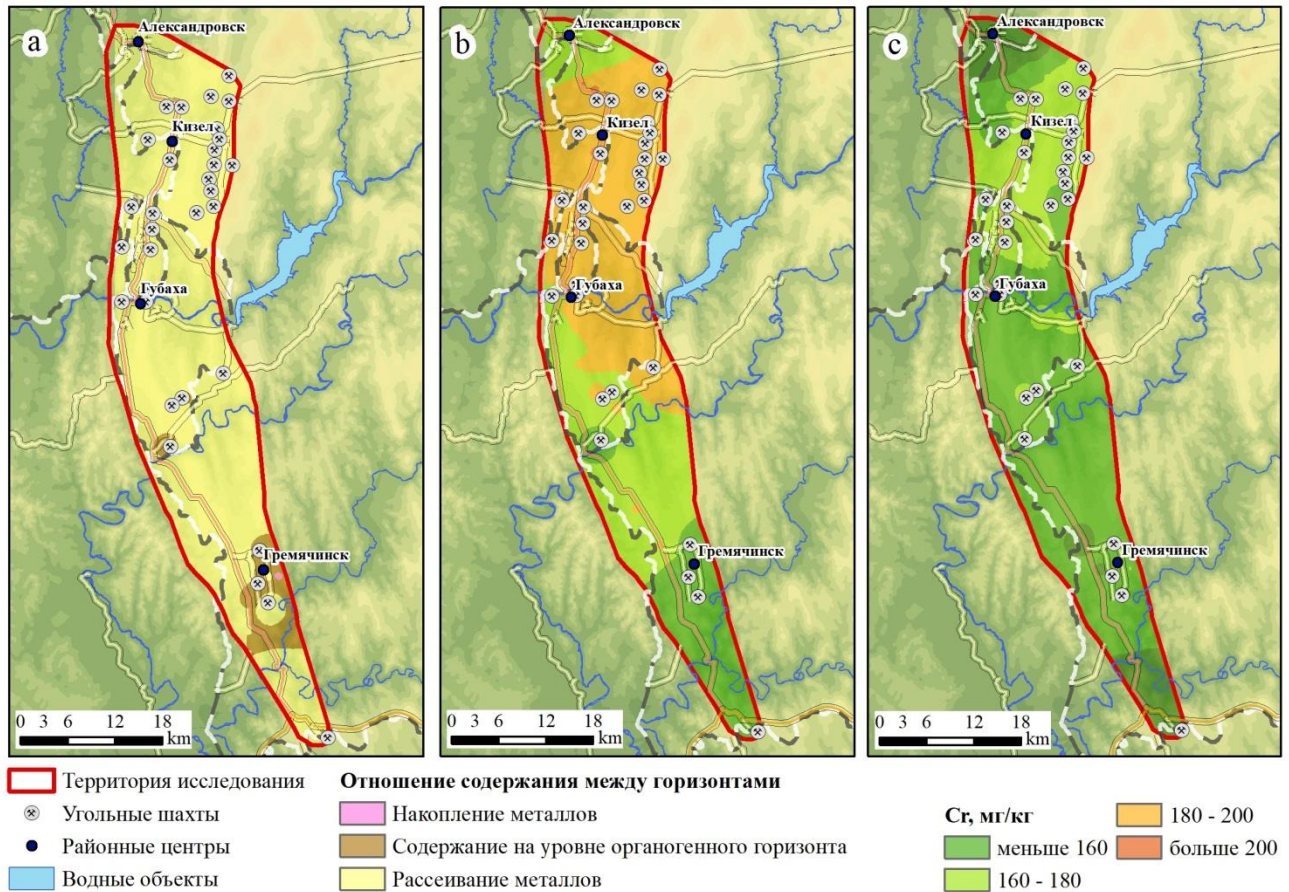


Рис. 5.2.6. Распределение Cr на территории исследования Кизеловского угольного бассейна в органическом и подгумусовом горизонтах

А – отношение содержания Cr в органическом горизонте к подгумусовому; В – содержание Cr в органическом горизонте; С – содержание Cr в подгумусовом горизонте

Максимальное накопление в органическом горизонте отмечено в северной части территории исследования, в районе г. Кизела. Среднее содержание для всей территории 178 ± 20 мг/кг (минимальное 140 ± 20 мг/кг, максимальное 209 ± 20 мг/кг) в органическом горизонте и 153 ± 15 мг/кг (минимальное 121 ± 15 мг/кг, максимальное 181 ± 15 мг/кг) в подгумусовом горизонте. По сравнению с концентрацией на территории природного района Западного Урала на исследуемой территории происходит накопление Cr. В результате, можно сделать вывод, что накопление Cr на исследуемой территории является результатом влияния КУБа и отражает геохимическую специфику территории.

Распределение As (рис. 5.2.7) более однородно в подгумусовом горизонте ($CV=23\%$), чем в органическом ($CV=33\%$). Наибольшие концентрации отмечены в

районе города Кизел и города Губаха. Среднее содержание для всей территории $10 \pm 3,5$ мг/кг (минимальное $4 \pm 3,5$ мг/кг, максимальное $20 \pm 3,5$ мг/кг) в органогенном горизонте и $6 \pm 1,4$ мг/кг (минимальное $3,7 \pm 1,4$ мг/кг, максимальное $9 \pm 1,4$ мг/кг) в подгумусовом горизонте. По сравнению с фоном Западного Урала наблюдается накопление As в органогенном горизонте и рассеивание в подгумусовом. Полученное соотношение между органогенным горизонтом и подгумусовым горизонтом показывает преобладающее накопление As именно в органогенном горизонте. Это говорит о продолжающемся внесении As в почву.

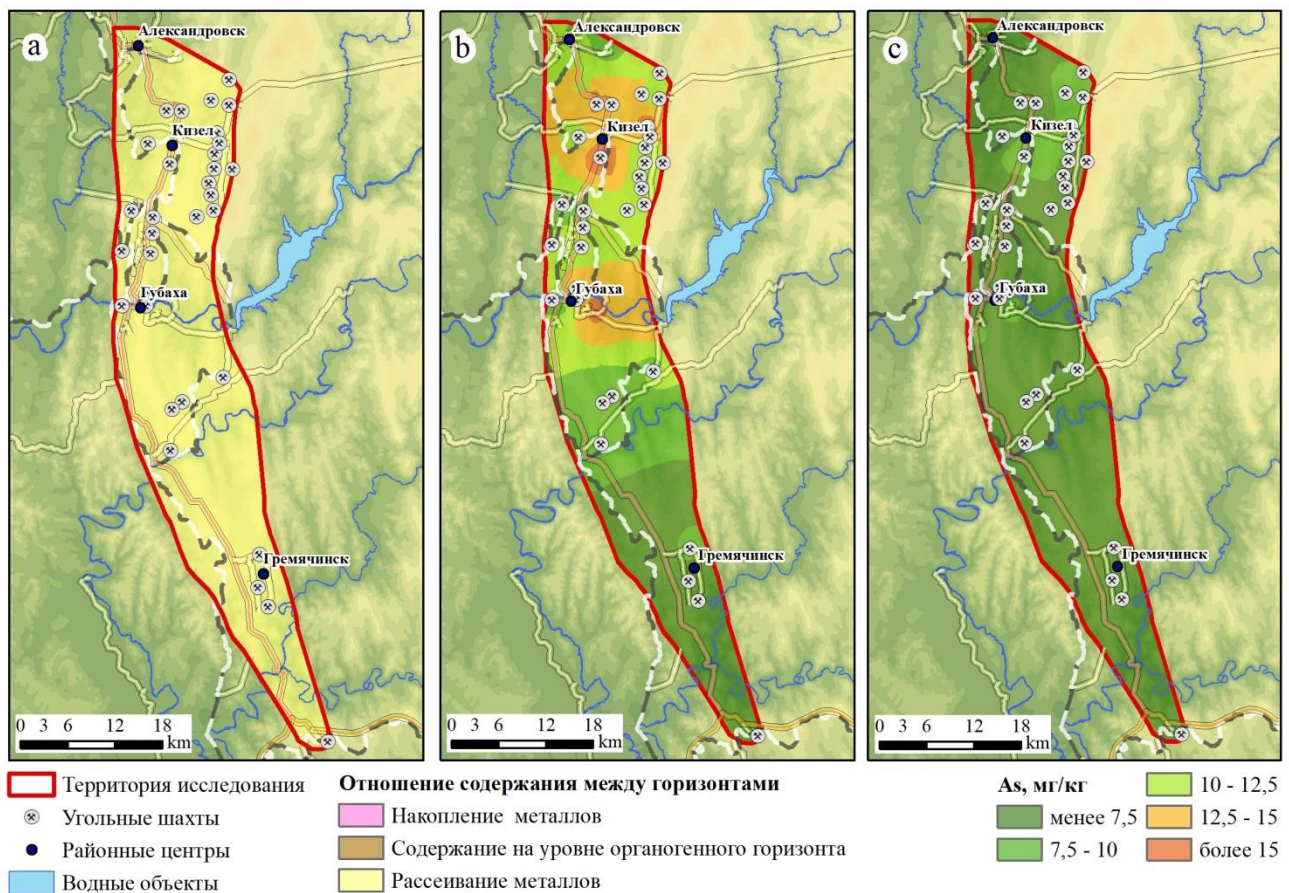


Рис. 5.2.7. Распределение As на территории исследования Кизеловского угольного бассейна в органогенном и подгумусовом горизонтах

А – отношение содержания As в органогенном горизонте к подгумусовому; В – содержание As в органогенном горизонте; С – содержание As в подзолистом горизонте

Меньшее накопление на исследуемой территории, по сравнению с фоном природного района Западного Урала получено для Zn (рис. 5.2.8) и Sr (рис. 5.2.9). Причем, для данных элементов показатель, отражающий их накопление, находится на одном уровне. Накопление для Zn и Sr отмечено только в органогенном горизонте, в подгумусовом горизонте данные элементы находятся на уровне кларка. Распределение

характеризуется как равномерное ($CV=10\%$ для Zn, $CV=12\%$ для Sr). Среднее содержание для территории в органогенном горизонте $80\pm 7,8$ мг/кг (минимальное $62\pm 7,8$ мг/кг, максимальное $92\pm 7,8$ мг/кг). Больше накопление Zn получено в северной части исследуемой территории, а максимальные пики приурочены к городам – Александровск, Кизел, Губаха. Максимальные содержания Sr отмечены в Александровске и Кизеле. Среднее содержание для территории находится на уровне 221 ± 26 мг/кг (минимальное 165 ± 26 мг/кг, максимальное 287 ± 26 мг/кг). Несмотря на то, что степень накопления Zn и Sr меньше, чем других накапливающихся элементов и отмечена только в органогенном горизонте, их концентрация приурочена к основным техногенным объектам территории, их накопление является результатом влияния КУБа. Причем для Sr найден участок (центральная часть территории), где содержание выше в подгумусовом горизонте.

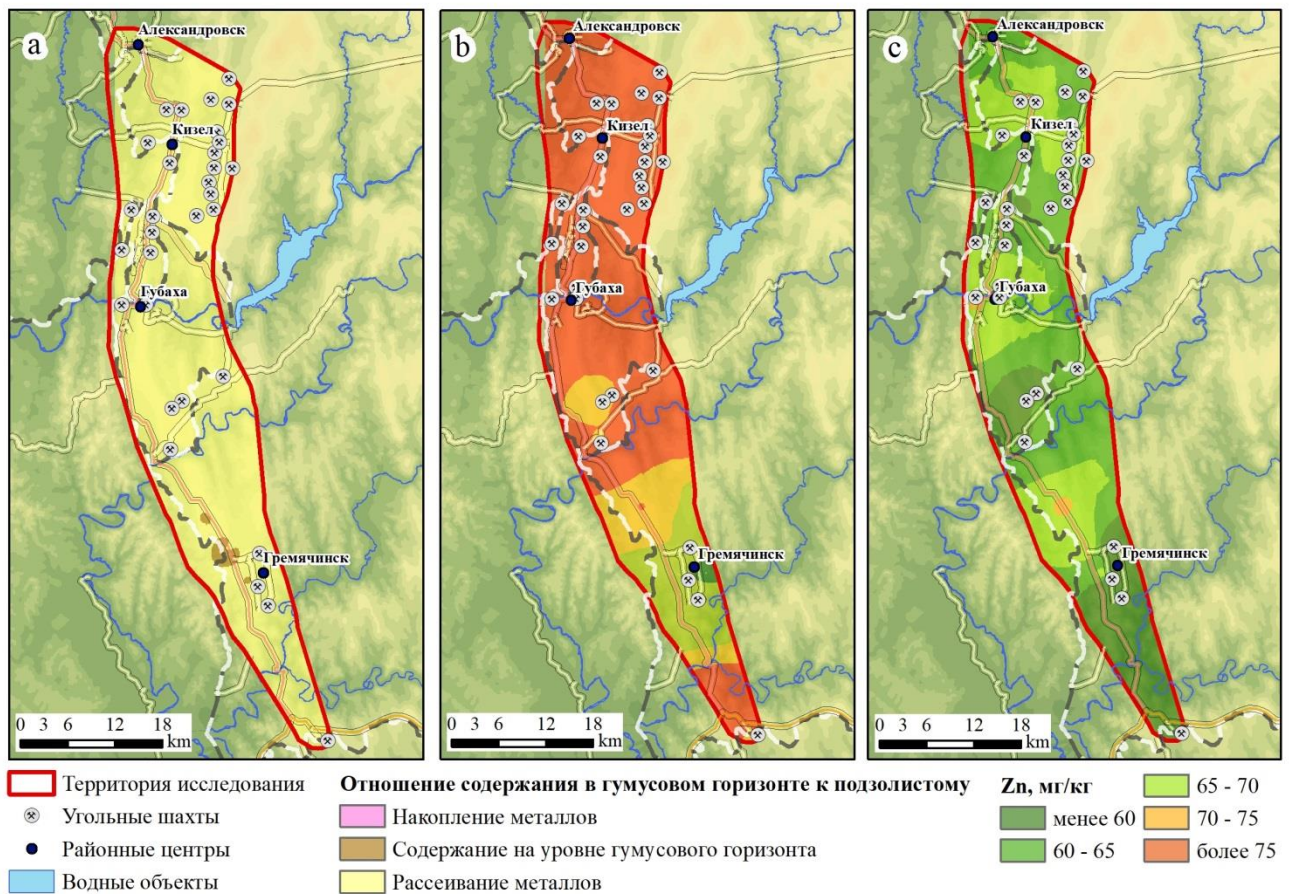


Рис. 5.2.8. Распределение Zn на территории исследования Кизеловского угольного бассейна в органогенном и подгумусовом горизонтах

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

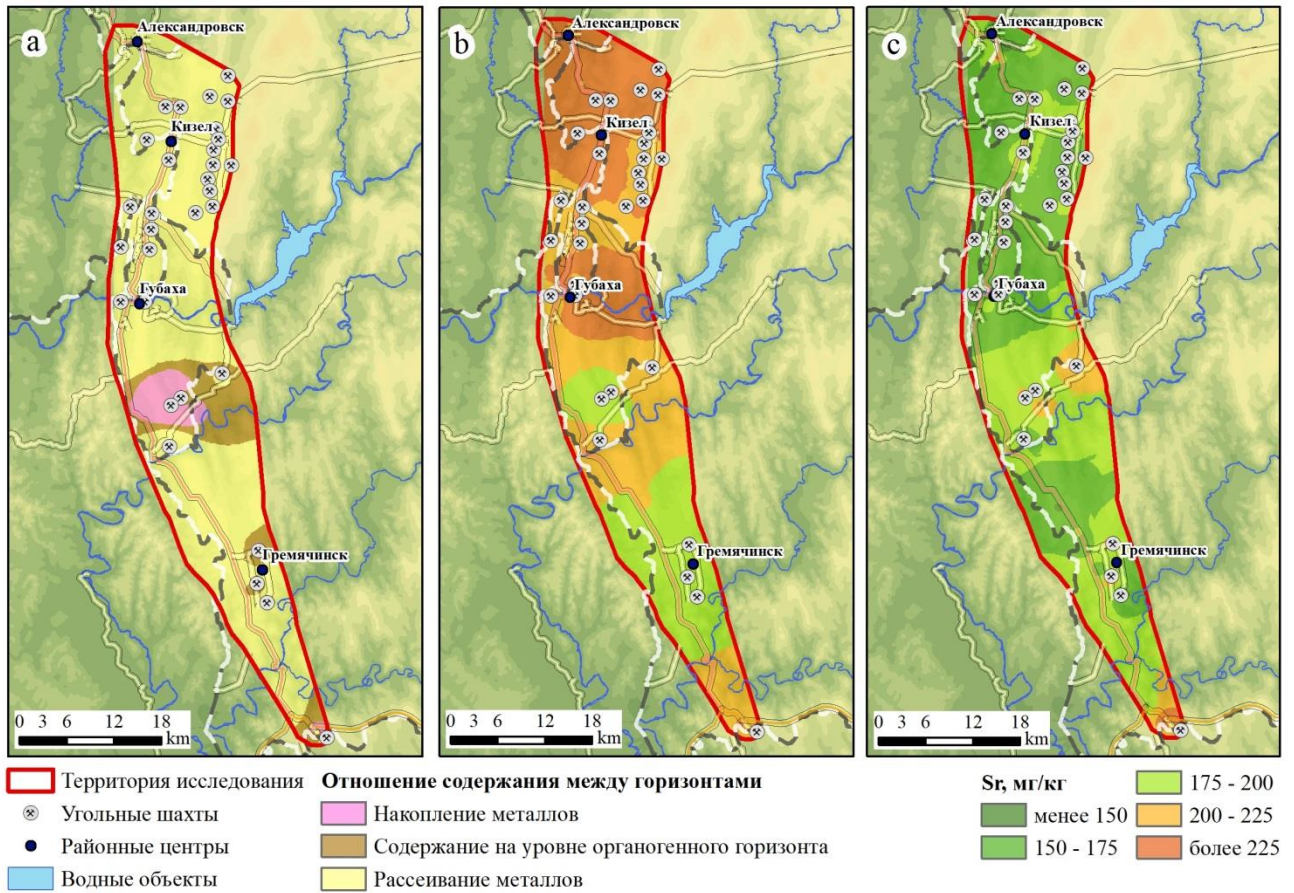


Рис. 5.2.9. Распределение Sr на территории исследования Кизеловского угольного бассейна в органогенном и подгумусовом горизонтах

А – отношение содержания Sr в органогенном горизонте к подгумусовому; В – содержание Sr в органогенном горизонте; с – содержание Sr в подгумусовом горизонте

Проанализировав распределение элементов, которые накапливаются на исследуемой территории влияния КУБа можно сделать вывод о том, что они отражают геохимическую специфику данной территории. **Техногенная трансформация природной среды в районе КУБа выражается в накоплении Co, Mn, Ni, As, Cr, Zn, Sr в органогенном горизонте и Co, Mn, Ni, Cr в подгумусовом горизонте.** Ассоциация элементов, формируемая в органогенном горизонте, позволяет нам оценить активно происходящие процессы преобразования геохимических свойств почв. А геохимический спектр, формируемый в подгумусовом горизонте, отражает накопившийся эффект, и является более точной характеристикой для оценки влияния техногенеза. В результате можно говорить о том, что последствия эксплуатации и ликвидации угольных шахт выражаются в накоплении Co, Mn, Ni и Cr.

По данным исследователей почв Донецкого угольного бассейна (Голик и др., 2014) в радиусе 5 км вокруг ликвидируемых шахт обнаружены повышенные

концентрации металлов в почвах (Mn до 12,5 ПДК; V до 16 ПДК; Cr до 20 ПДК; Ni, Pb и Zn до 8 ПДК). Похожая ситуация сложилась в районе заброшенных шахт Бампус-Коув штата Теннесси, США (*Magno et.al., 2021*). Там ученые отметили повышенное содержание в почвах Zn, Mn, Cu, Pb и Cd.

В Марокко проводили исследования загрязнения почв вокруг рудника Зейда (*Nassiri et.al., 2021*). В данном исследовании проводился анализ содержания 20 элементов, из которых отдельно были отмечены Mn, As, Co и Pb. Ученые пришли к выводу, что именно эти элементы представляют опасность для здоровья населения и отражают специфичность загрязнения районов угольных шахт.

В Испании (месторождение Подероса) провели исследования качества почв спустя 15 лет после рекультивации (*Fernández-Caliania et.al., 2021*). Авторы пришли к выводам, что проведенная рекультивация была результативной, но о полном восстановлении природной среды говорить нельзя, в растениях до сих пор обнаружены повышенные содержания металлов (Cd, Cu, Zn).

Полученные нами результаты согласуются с подобными исследованиями, проводимыми на территории других месторождений угля. Эти элементы стали проявлением техногенеза в почвах Донецкого угольного бассейна (*Голук и др., 2014*), за исключением Co. В почвах угольных шахт в США было выделено повышенное содержание Mn (*Magno et.al., 2021*), а в Марокко Mn и Co (*Nassiri et.al., 2021*). Загрязнение почв микроэлементами на территории угольных месторождений обусловлены в том числе геохимическими особенностями вскрышных пород и добываемого угля. При этом на всех территориях, добывающих уголь наблюдается увеличение концентрации марганца.

В результате можно сделать следующие выводы:

1. На территории КУБа сформировался единый геохимический ряд для органогенного и подгумусового горизонтов: Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>V>Zn>Ni>Co>Pb>As.
2. Сравнения с местными фоновыми концентрациями показывает, что техногенная и посттехногенная трансформация на территории КУБа выражается в накоплении органогенным горизонтом почв более разнообразного состава микроэлементов Co, Mn, Ni, As, Cr, Zn и Sr, чем в подгумусовом. В последнем аккумулируются только Co, Mn, Ni и Cr.

3. Созданные на основе ГИС карты позволяют проводить пространственный анализ распределения металлов на исследуемой территории, выявлять локальные аномалии накопления микроэлементов.

4. Характерной особенностью территории угледобывающих месторождений, заброшенных территории добычи угля нужно признать выраженную аккумуляцию Mn.

5.3. Формирование геохимических свойств почв в районе добычи калийно-магниевого солей

В таблице 5.3.1 представлены результаты определения концентрации элементов в почве (в Приложении 9 представлены все результаты измерений).

Таблица 5.3.1

Среднее содержание макро- и микроэлементов в почвах в районе добычи калийно-магниевого солей

Показатели (n=129)	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe	Mn	Cr	V	Ti	Zc
Органогенный горизонт												
\bar{x} , мг/кг	300	15	6	78	31	19	28300	1000	152	78	4000	
σ , мг/кг	15	1,1	0,7	7,2	3,9	4,3	2500	110	15,64	8,8	80	
SE_m , мг/кг	1,40	0,1	0,1	0,6	0,3	0,4	220	10	1,38	0,8	10	
P , мг/кг	2,3	0,2	0,1	1,1	0,6	0,6	380	20	2,34	1,3	20	
CV , %	5	7	11	9	13	22	9	11	10	11	2	
KK_K	1,1	–	1,1	1,04	–	1,3	–	1,3	1,7	–	1,03	2,5
KP_K	–	1,1	–	–	1,6	–	1,4	–	–	1,4	–	
$KK_{p.f.}$	1,3	1,0	–	1,3	–	1,4	1,2	1,3	1,2	1,2	–	1,8
$KP_{p.f.}$	–	–	1,3	–	1,3	–	–	–	–	–	1,1	
$KK_{m.f.}$	1,03	–	–	1,2	–	2,1	1,2	1,3	1,2	1,3	–	3,4
$KP_{m.f.}$	–	1,0	1,3	–	1,1	–	–	–	–	–	1,00	
Доли ПДК (ОДК)	–	0,2	1,2	0,7	0,8	–	–	1,0	–	0,8	–	1,2
Подгумусовый горизонт												
\bar{x} , мг/кг	250	12	6	65	30	12	25300	710	124	61	3900	
σ , мг/кг	19	1,3	1	3,9	3,7	1,9	990	40	6,7	4,3	80	
SE_m , мг/кг	1,7	0,1	0,1	0,3	0,3	0,2	100	5	0,6	0,4	10	
P , мг/кг	2,9	0,2	0,2	0,6	0,6	0,3	150	10	1	0,6	20	
CV , %	8	11	17	6	13	17	4	5	5	7	2	

Показатели (n=129)	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe	Mn	Cr	V	Ti	Zc
<i>КК_к</i>	–	–	1,1	–	–	–	–	–	1,3	–	1,0	1,4
<i>КР_к</i>	1,1	1,4	–	1,2	1,7	1,3	1,6	1,1	–	1,7	–	–
<i>КК_{р.ф.}</i>	1,1	–	–	1,1	–	–	1,03	–	–	–	–	1,2
<i>КР_{р.ф.}</i>	–	1,3	1,3	–	1,4	1,2	–	1,1	1,02	1,1	1,1	–
<i>КК_{м.ф.}</i>	–	–	–	1,0	–	1,3	1,1	–	1,0	1,02	–	1,4
<i>КР_{м.ф.}</i>	1,2	1,3	1,3	–	1,2	–	–	1,1	–	–	1,03	–
<i>Доли ПДК (ОДК)</i>	–	0,2	1,2	0,6	0,8	–	–	0,7	–	0,6	–	–

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, формируется отличная 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.

Далее более подробно рассмотрим накопление и рассеивание элементов по сравнению с кларком, региональным фоном для Пермского края и местным фоновым содержанием для природного района Южная тайга (таблица 5.3.2).

Таблица 5.3.2

Геохимические ряды накопления и рассеивания макро- и микроэлементов в районе добычи калийно-магниевых солей (относительно кларка и регионального фона)

Накопление	Рассеивание
Органогенный горизонт	
Относительно кларка	
$\frac{Cr}{1,7} > \frac{Mn}{1,3} = \frac{Co}{1,3} > \frac{Sr}{1,1} = \frac{As}{1,1}$	$\frac{Pb}{1,1} > \frac{V}{1,4} = \frac{Fe}{1,4} > \frac{Ni}{1,6}$
Относительно регионального фона Пермского края	
$\frac{Co}{1,4} > \frac{Zn}{1,3} = \frac{Mn}{1,3} = \frac{Sr}{1,3} > \frac{V}{1,2} = \frac{Cr}{1,2} = \frac{Fe}{1,2}$	$\frac{Ti}{1,1} > \frac{As}{1,3} = \frac{Ni}{1,3}$
Относительно фона Южной тайги	
$\frac{Co}{2,1} > \frac{Mn}{1,3} = \frac{V}{1,3} > \frac{Cr}{1,2} = \frac{Zn}{1,2} = \frac{Fe}{1,2}$	$\frac{Ni}{1,1} > \frac{As}{1,3}$
Подгумусовый горизонт	
Относительно кларка	
$\frac{Cr}{1,3} > \frac{As}{1,1}$	$\frac{Sr}{1,1} = \frac{Mn}{1,1} > \frac{Zn}{1,2} > \frac{Co}{1,3} > \frac{Pb}{1,4} > \frac{Fe}{1,6} > \frac{Ni}{1,7} = \frac{V}{1,7}$
Относительно регионального фона Пермского края	
$\frac{Sr}{1,1} = \frac{Zn}{1,1}$	$\frac{V}{1,1} = \frac{Mn}{1,1} = \frac{Ti}{1,1} > \frac{Co}{1,2} > \frac{Pb}{1,3} = \frac{As}{1,3} > \frac{Ni}{1,4}$
Относительно фона Южной тайги	
$\frac{Co}{1,3} > \frac{Fe}{1,1}$	$\frac{Mn}{1,1} > \frac{Sr}{1,2} = \frac{Ni}{1,2} > \frac{Pb}{1,3} = \frac{As}{1,3}$

Относительно кларка в органогенном горизонте накапливается Cr, Mn и Co, а рассеивается Ni и Fe. Для подгумусового горизонта характерно накопление Cr и As, рассеивание Ni и V. Относительно регионального фона Пермского края, наоборот, в органогенном горизонте отмечается накопление большинства элементов, особенно Co, Zn, Mn и Sr, и рассеивание Ni и As. Для подгумусового горизонта характерно рассеивание элементов, в том числе As и Ni.

Сопоставление с региональным фоном и кларком имеют большое значения для выяснения геохимической специфики исследуемой территории, позволяет определить основные естественные факторы, которые повлияли на геохимические свойства территории.

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.

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.

Далее рассмотрим распределение элементов, характеризующих геохимическую специфику исследуемой территории. На обоих горизонтах накопление отмечается только для Co (рис. 5.3.1) и Fe (рис. 5.3.2). Накопление Mn (рис.5.3.3), V (рис. 5.3.4), Zn (рис. 5.3.5) и Cr (рис.5.3.6) отмечается только в органогенном горизонте. В подгумусовом горизонте они содержатся на уровне среднего содержания для территории Южной тайги.

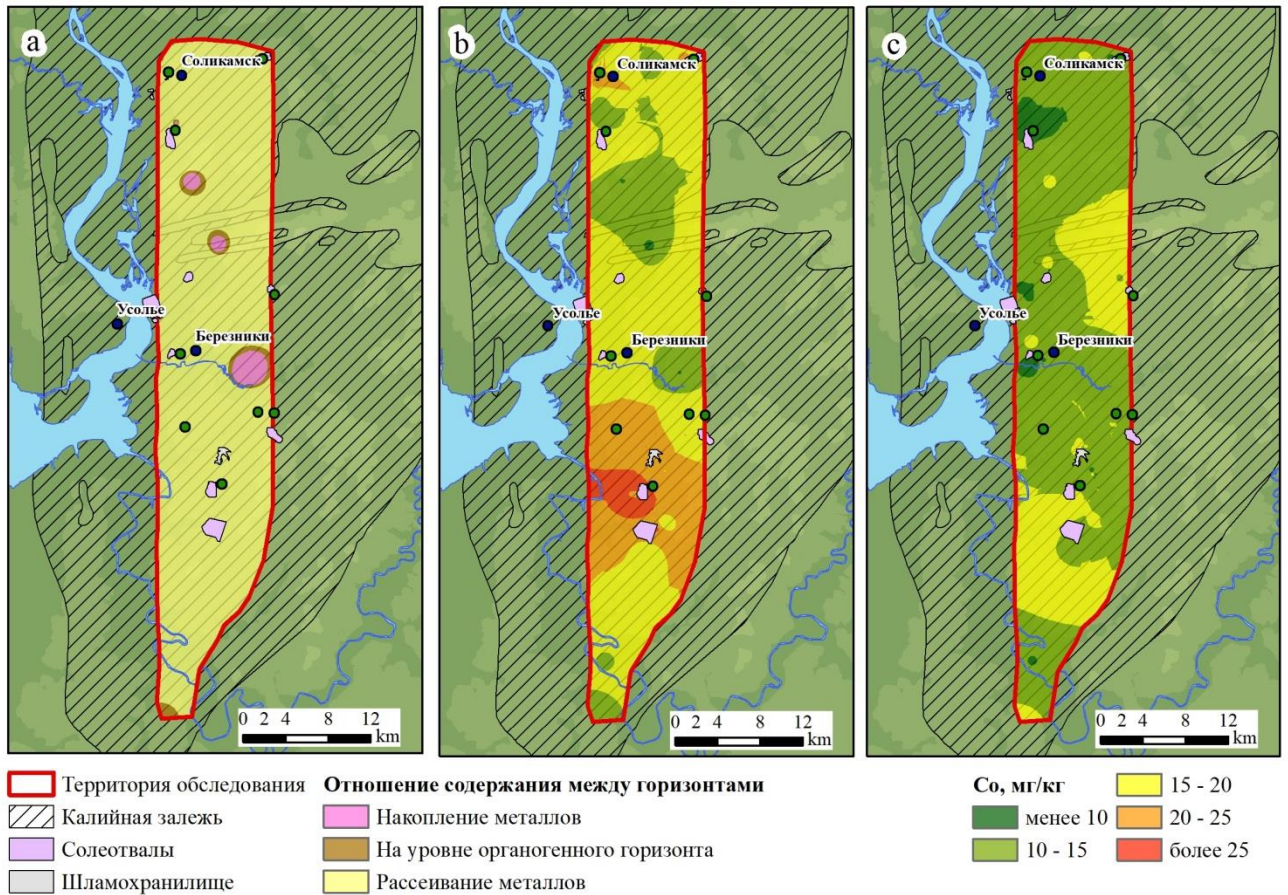


Рис. 5.3.1 Распределение Co на территории исследования Верхнекамского месторождения калийных солей в органогенном и подгумусовом горизонтах
 а – отношение содержания Co в органогенном горизонте к подгумусовому; б – содержание Co в органогенном горизонте; с – содержание Co в подгумусовом горизонте

Распределение Co (рис. 5.3.2) на данной территории характеризуется как однородное ($CV=22\%$ в органогенном горизонте, $CV=17\%$ в подгумусовом горизонте). Среднее содержание Co в органогенном горизонте находится на уровне $19\pm 0,6$ мг/кг (минимальное $9\pm 0,6$ мг/кг, максимальное $29\pm 0,6$ мг/кг). В подгумусовом горизонте распределение Co по территории более однородное, с меньшей разницей между минимальным и максимальным значением. Среднее содержание Co в подгумусовом горизонте – $12\pm 0,3$ мг/кг (минимальное $9\pm 0,3$ мг/кг, максимальное $15\pm 0,3$ мг/кг). По сравнению с концентрацией на территории Южной тайги на исследуемой территории происходит накопление Co ($KK_{м.ф.}(Co)=2,1$). В результате, можно сделать вывод, что накопление Co на исследуемой территории является результатом влияния добычи калийно-магниевых солей и отражает геохимическую специфику территории.

Fe (рис. 5.3.2) накапливается, по сравнению с фоновым содержанием природного района, и в органогенном и в подгумусовом горизонтах (при KK равным 1,2 и 1,1

соответственно). Распределение характеризуется как равномерное ($CV=9\%$ в органическом горизонте, $CV=4\%$ в подгумусовом горизонте).

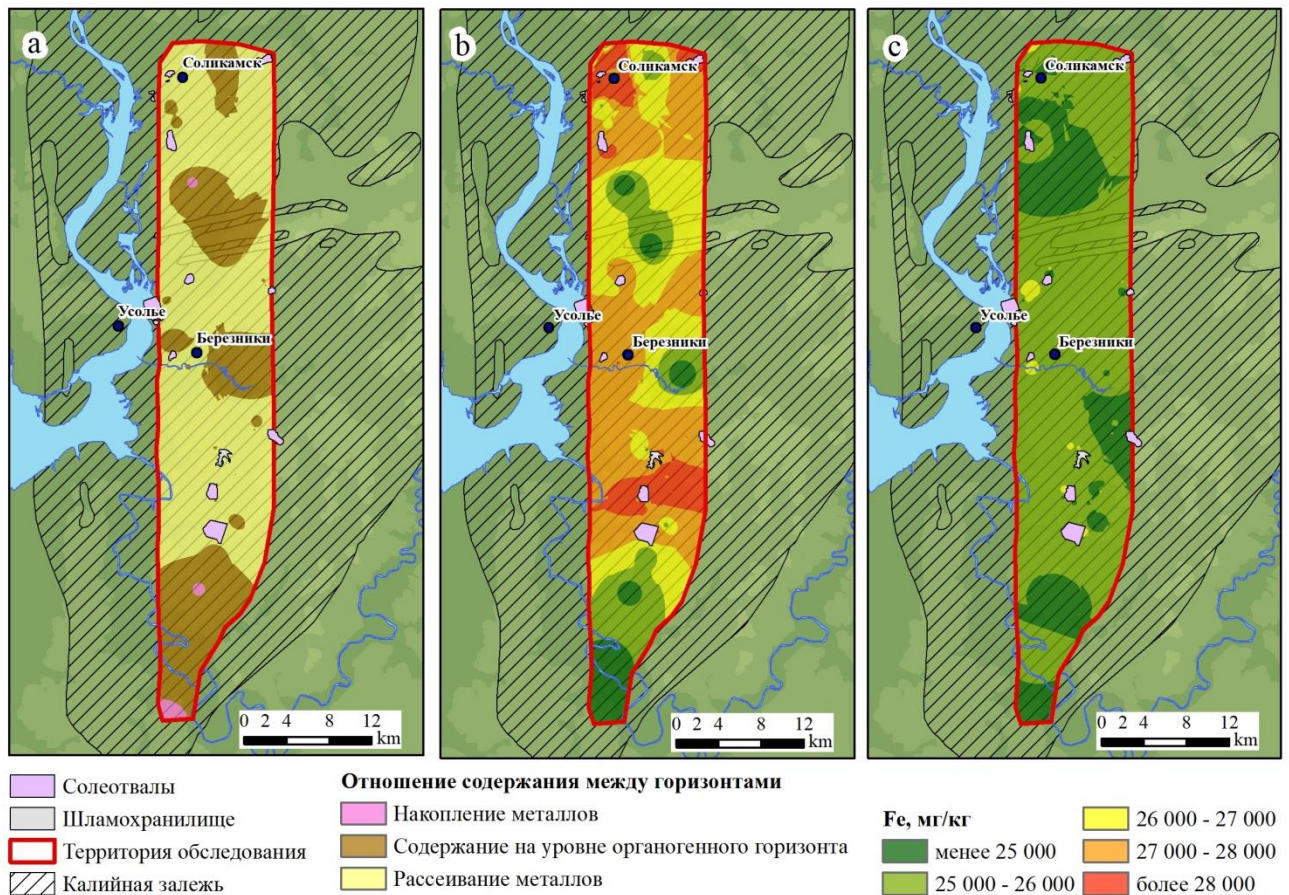


Рис. 5.3.2. Распределение Fe на территории исследования Верхнекамского месторождения калийных солей в органическом и подгумусовом горизонтах
 а – отношение содержания Co в органическом горизонте к подгумусовому; б – содержание Co в органическом горизонте; в – содержание Co в подгумусовом горизонте

Среднее содержание Fe в органическом горизонте – 28300 ± 380 мг/кг (минимальное 21200 ± 380 мг/кг, максимальное 34200 ± 380 мг/кг), в подгумусовом горизонте – 25300 ± 150 мг/кг (минимальное 23500 ± 150 мг/кг, максимальное 26900 ± 150 мг/кг). В результате, можно сделать вывод, что накопление Fe отражает геохимическую специфику территории.

Распределение Mn (рис. 5.3.3) в органическом горизонте на исследуемой территории характеризуется как равномерное ($CV=11\%$). Большая концентрация отмечена в районе Соликамска, в районе солеотвала. Среднее содержание для территории находится на уровне 1000 ± 20 мг/кг (минимальное 687 ± 20 мг/кг, максимальное 1240 ± 20 мг/кг). По сравнению со средним содержание в почвах Южной

тайги происходит накопление Mn ($KK_{м.ф.}(Mn)=1,31$), что позволяет сделать вывод о том, что содержание Mn на данной территории отражает ее геохимическую специфику, сформировавшуюся в результате добычи калийно-магниевых солей на данной территории.

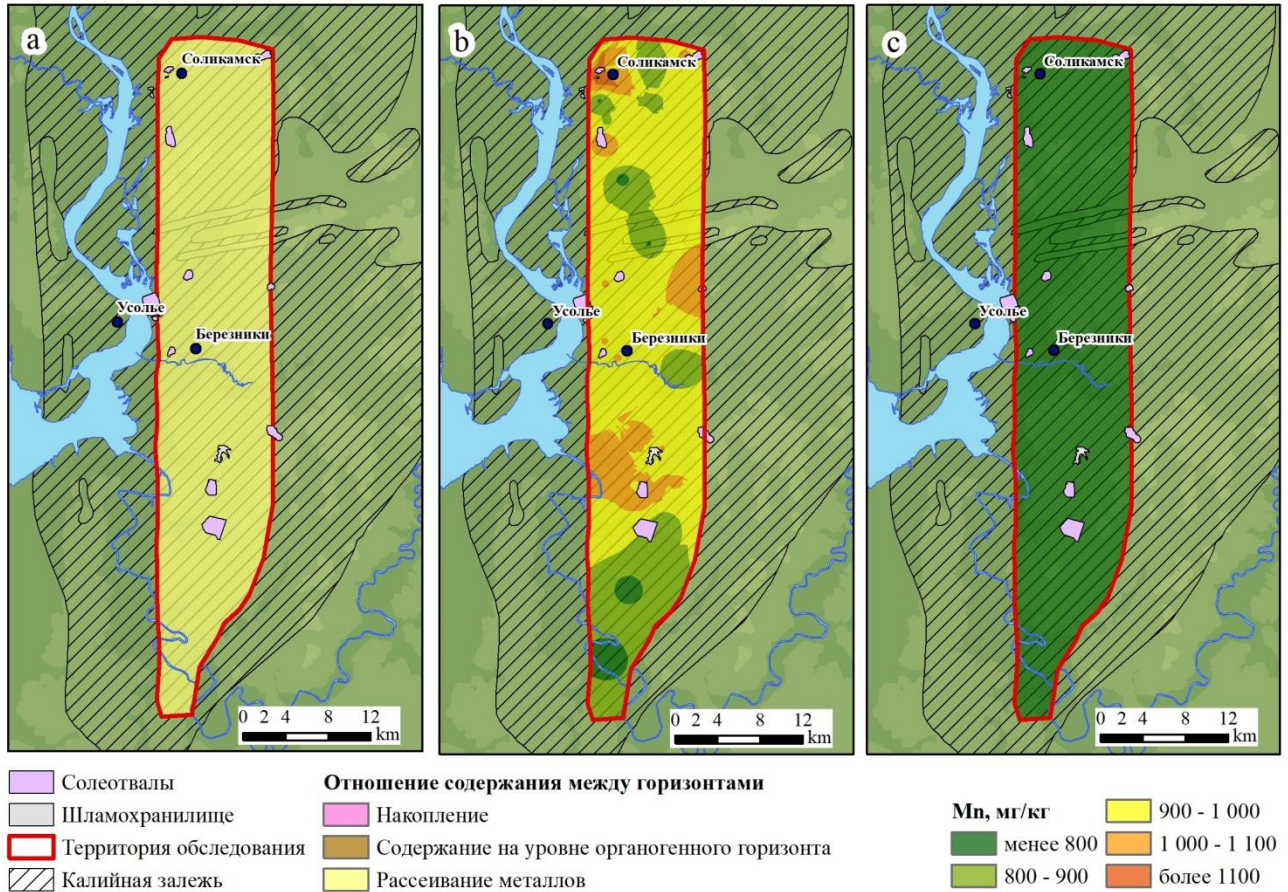


Рис. 5.3.3. Распределение Mn на территории исследования Верхнекамского месторождения калийных солей в органогенном и подгумусовом горизонтах
 а – отношение содержания Со в органогенном горизонте к подгумусовому; б – содержание Со в органогенном горизонте; с – содержание Со в подгумусовом горизонте

Равномерное распределение отмечено для V (рис. 5.3.4) со средним содержанием на территории на уровне $78 \pm 1,3$ мг/кг (минимальное $55 \pm 1,3$ мг/кг, максимальное $93 \pm 1,3$ мг/кг). Больше содержание отмечено в районе солеотвалов. По сравнению со средним содержанием в почвах Южной тайги V на исследуемой территории накапливается ($KK_{м.ф.}(V)=1,31$), отражая геохимическую специфику территории.

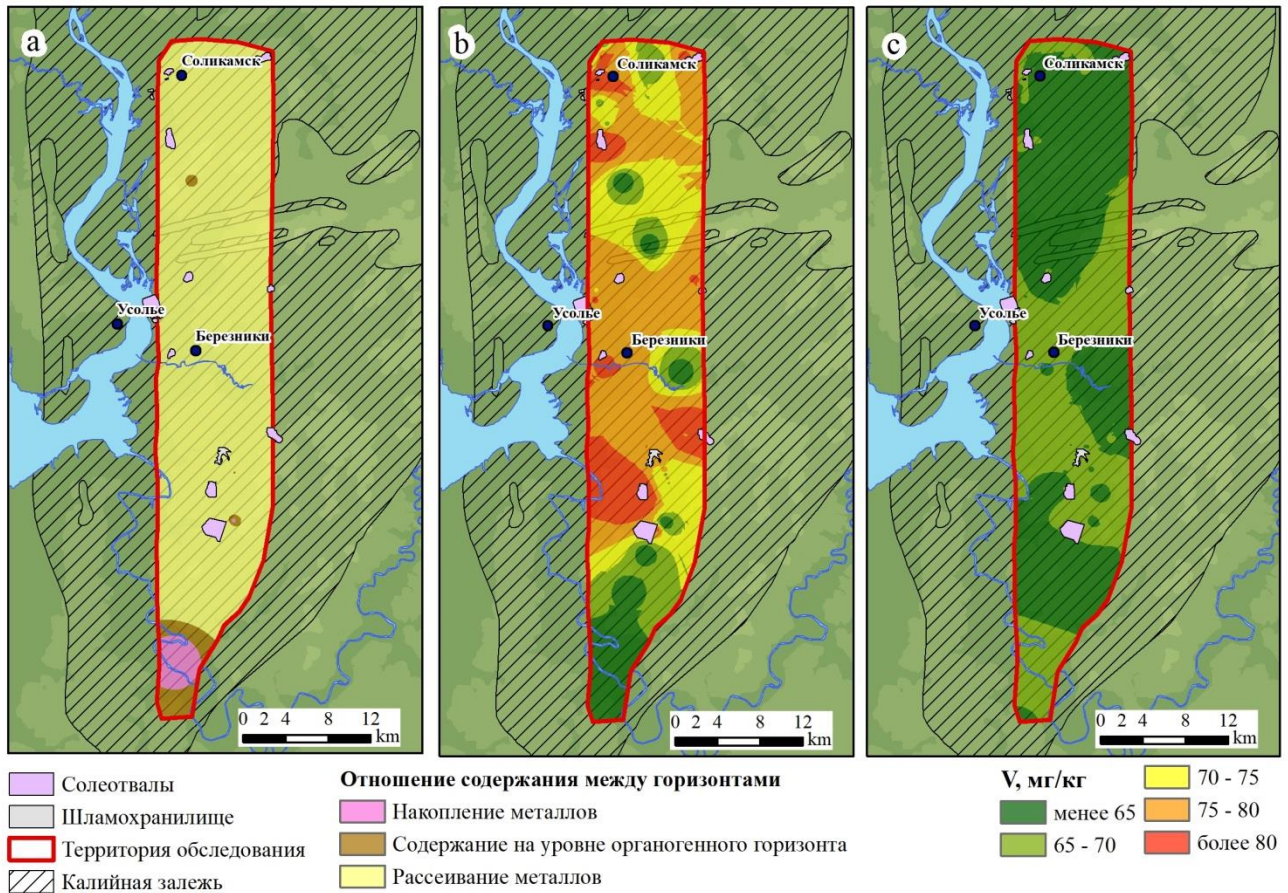


Рис. 5.3.4. Распределение V на территории исследования Верхнекамского месторождения калийных солей в органогенном и подгумусовом горизонтах
 а – отношение содержания Со в органогенном горизонте к подгумусовому; б – содержание Со в органогенном горизонте; с – содержание Со в подгумусовом горизонте

Cr (рис. 5.3.5) на исследуемой территории распределен так же равномерно ($CV=10\%$), имея среднее содержание на уровне $152\pm 2,3$ мг/кг (минимальное $119\pm 2,3$ мг/кг, максимальное $198\pm 2,3$ мг/кг). Максимальная концентрация отмечена вблизи солеотвала в районе Березников. По сравнению с природным районом Южной тайги на исследуемой территории происходит накопление Cr ($KK_{м.ф.}(Cr)=1,22$), что позволяет делать вывод о том, что содержание Cr на данной территории отражает ее геохимическую специфику.

Распределение Zn (рис. 5.3.6) на исследуемой территории однородное ($CV=9\%$) со средним содержанием $78\pm 1,1$ мг/кг (минимальное $55\pm 1,1$ мг/кг, максимальное $92\pm 1,1$ мг/кг). Максимальное содержание отмечено в районах размещения солеотвалов. Zn накапливается по сравнению со средним содержанием на территории природного района Южная тайга ($KK_{м.ф.}(Zn)=1,2$), отражая геохимическую специфику территории.

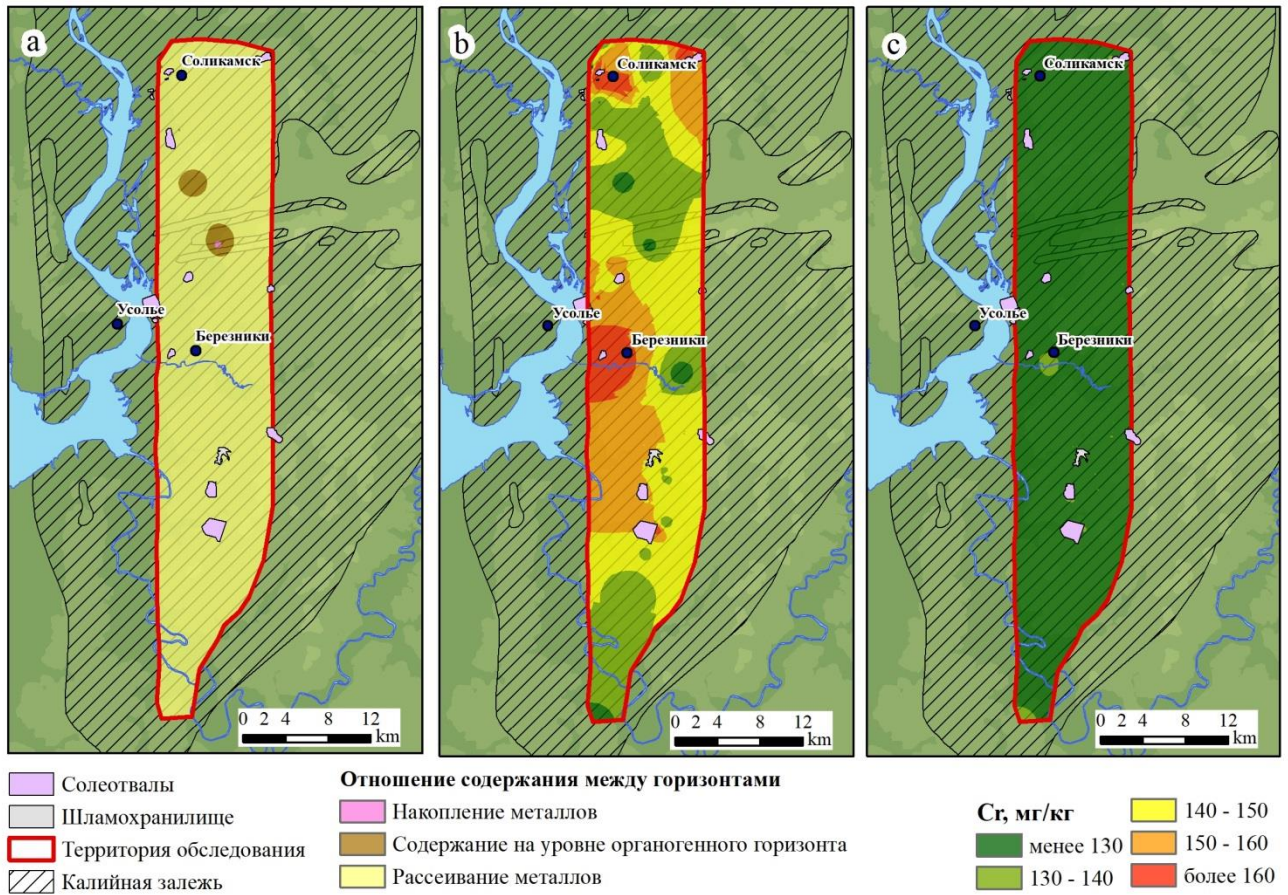


Рис. 5.3.5. Распределение Cr на территории исследования Верхнекамского месторождения калийных солей в органогенном и подгумусовом горизонтах
 а – отношение содержания Cr в органогенном горизонте к подгумусовому; б – содержание Cr в органогенном горизонте; с – содержание Cr в подгумусовом горизонте

Исходя из анализа оценки отношения содержания элементов в органогенном горизонте к подгумусовому, можно отметить следующее. Содержание ряда элементов на определенных участках выше в подгумусовом горизонте, что говорит о накопившемся результате техногенеза на данных территориях. Участки накопления металлов отмечены для Cr, Fe, V и Zn. Но в целом содержание металлов в подгумусовом горизонте более равномерно. Геохимический фон в нем формировался с течением времени, и характеризуется как более стабильный. Органогенный горизонт же является в этом плане более динамичным, изменчивым. Элементный состав органогенного горизонта более репрезентативно характеризует процессы, которые происходят сейчас. А состав подхлостого горизонта является результатом накопившегося эффекта.

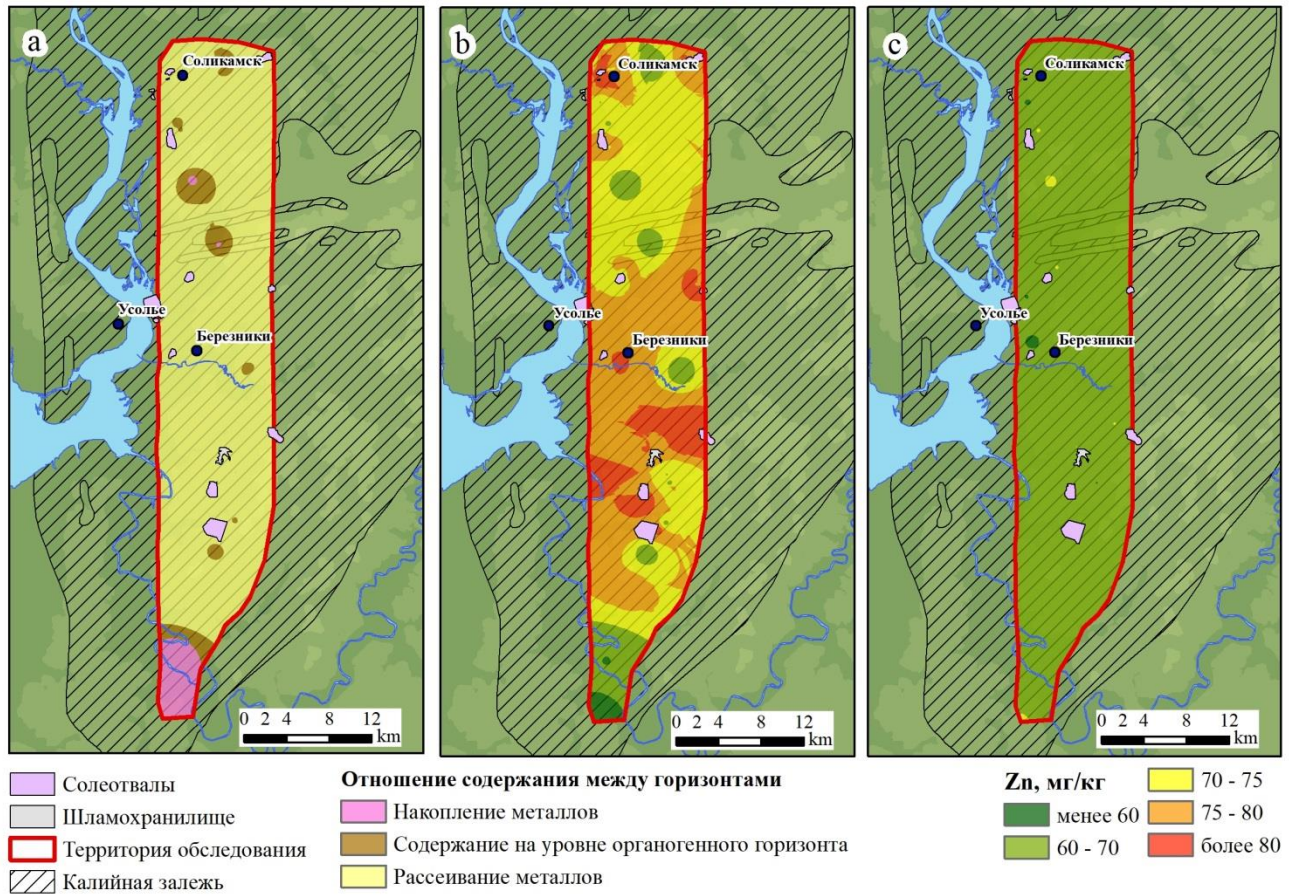


Рис. 5.3.6. Распределение Zn на территории исследования Верхнекамского месторождения калийных солей в органогенном и подгумусовом горизонтах
 а – отношение содержания Co в органогенном горизонте к подгумусовому; б – содержание Co в органогенном горизонте; с – содержание Co в подгумусовом горизонте

В результате можно сделать следующие выводы:

1. Под влиянием добычи калийно-магниевых солей на территории ВКМС сформировались геохимические ряды для органогенного горизонта ($Fe > Ti > Mn > Sr > Cr > Zn > V > Ni > Co > As > Pb$) и подгумусового ($Fe > Ti > Mn > Sr > Cr > Zn > V > Ni > Pb > Co > As$), которые отличаются распределением Pb, Co и As.

2. Сравнение с местными фоновыми концентрациями показывает, что техногенная трансформация природной среды на территории ВКМС выражается в накоплении органогенным горизонтом почв разнообразного состава элементов: Co, Mn, V, Cr, Zn, Fe. В подгумусовом горизонте аккумулируются Co, Fe.

3. В зоне добычи калийных солей отмечено загрязнение почв Mn и As. Техногенными процессами обусловлено накопление Mn. Аномальная концентрация As обусловлена природными процессами.

4. Уровень суммарного загрязнения почв химическими элементами находится в допустимых пределах.

5. Изучение зоны влияния добычи калийных солей показало накопление Co, Mn, V, Cr, Zn, Fe. Необходима организация эколого –геохимического мониторинга за данными элементами.

Выводы по главе 5

1. Определено значительное количественное содержание в нефти V, Ni, Fe, Zn и получен ее геохимический ряд: S>V>Ni>Fe>Zn>As>Pb>Cr>Sr>Co>Mn>Ti. Геохимический фон нефти обуславливает, что при трансформации нефти после поступления в окружающую среду происходит аккумуляция в почве Ni и V. Разнообразие аккумулирующихся химических элементов на территории эксплуатируемых нефтяных месторождений возрастает с юга на север в ряду: Кунгурская лесостепь - Хвойно-широколиственные леса - Южная тайга - Средняя тайга. Приоритетными для ведения геоэкологического мониторинга на территории нефтяных месторождениях для региона считаем Ni, V, Fe, Pb, Sr, Zn.

2. На территории КУБа сформировался единый геохимический ряд для органогенного и подгумусового горизонтов: Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>V>Zn>Ni>Co>Pb>As. Сравнение с местными фоновыми концентрациями показывает, что техногенная и посттехногенная трансформация на территории КУБа выражается в накоплении органогенным горизонтом почв более разнообразного состава микроэлементов Co, Mn, Ni, As, Cr, Zn и Sr, чем в подгумусовом. В последнем аккумулируются только Co, Mn, Ni и Cr. Карты, созданные на основе ГИС, позволяют проводить пространственный анализ распределения металлов на исследуемой территории, выявлять локальные аномалии накопления микроэлементов. Характерной особенностью территории угледобывающих месторождений, заброшенных территории добычи угля нужно признать выраженную аккумуляцию Mn.

3. Под влиянием добычи калийно-магниевых солей на территории ВКМС сформировались геохимические ряды для органогенного горизонта (Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>Zn>V>Ni>Co>As>Pb) и подгумусового

(Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>Zn>V>Ni>Pb>Co>As), которые отличаются распределением Pb, Co и As. Сравнение с местными фоновыми концентрациями показывает, что техногенная трансформация природной среды на территории ВКМС выражается в накоплении органоминеральным горизонтом почв разнообразного состава элементов: Co, Mn, V, Cr, Zn, Fe. В подгумусовом горизонте аккумулируются Co, Fe. В зоне добычи калийных солей отмечено загрязнение почв Mn и As. Техногенными процессами обусловлено накопление Mn. Аномальная концентрация As обусловлена природными процессами. Уровень суммарного загрязнения почв химическими элементами находится в допустимых пределах. Изучение зоны влияния добычи калийных солей показало накопление Co, Mn, V, Cr, Zn, Fe. Необходима организация эколого-геохимического мониторинга за данными элементами.

6. ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОЕ ГЕОХИМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ПЕРМСКОГО КРАЯ

В таблице 4.7 ранее было представлено полученное в данном исследовании региональное фоновое содержание макро- и микроэлементов для территории Пермского края и отдельных природных районов.

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: $\frac{Co}{1,7} > \frac{Ni}{1,1}$.

В таблице 6.1 представлены данные о среднем содержании элементов в органогеоморфном горизонте почв на территориях, подверженных техногенному воздействию (раннее более подробно был приведен анализ в главе 5): добыча нефти, добыча калийных солей, добыча угля и ликвидация угольных шахт.

Таблица 6.1

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

Элементы	Показатели, мг/кг	Добыча нефти (территории месторождений нефти)	Добыча калийных солей (территория Верхнекамского месторождения калийных солей)	Добыча угля (территория Кизеловского угольного бассейна)
	<i>n</i>	<i>146</i>	<i>129</i>	<i>103</i>
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±	3996±80	4673±230

В результате добычи калийных солей на территории Верхнекамского месторождения 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 нефтедобычи 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.**

В результате проведения кластерного анализа (рис.6.1) можно говорить об основных факторах, влияющих на формирование геохимических особенностей территории региона.

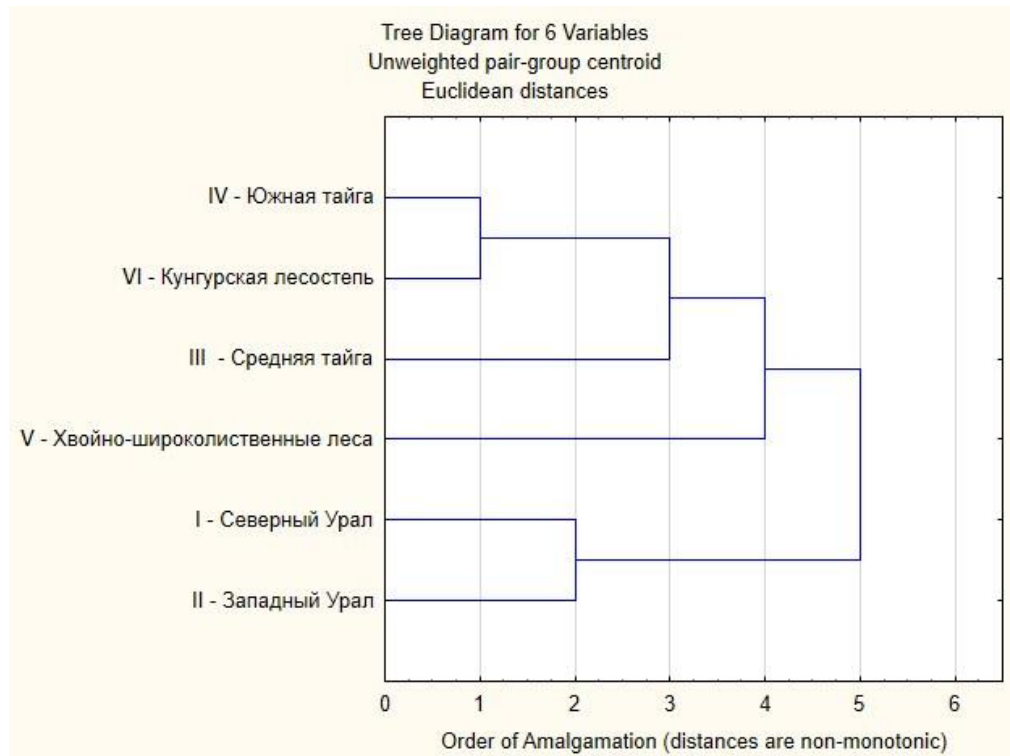


Рис.6.1. Результаты кластерного анализа (природные кластеры)

По данным о распределении химических элементов в природных районах (рис. 6.1) выделяются следующие ранги кластеризации и факторы их формирования.

Фактором первого ранга является изменение макрорельефа. Пространственная дифференциация происходит 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 разделились на две группы, где отдельно выделяется район Хвойно-широколиственных лесов (наиболее южный район края, зона подтайги) и объединяются в одну группу Средняя и Южная тайга, Кунгурская лесостепь. Несомненно, представляет феномен Кунгурской реликтовой лесостепи, который по геохимическому спектру более тяготеет к таежной зоне, чем к хвойно-широколиственным лесам.

Включение в кластеризацию территорий (ВКМС и КУБ), где формирование геохимических особенностей происходит под влиянием техногенной нагрузки (рис. 6.2) позволяет определить ее значимость по сравнению с природными факторами. Проводится ранжирование значимости, соотношение различных природных и техногенных факторов.

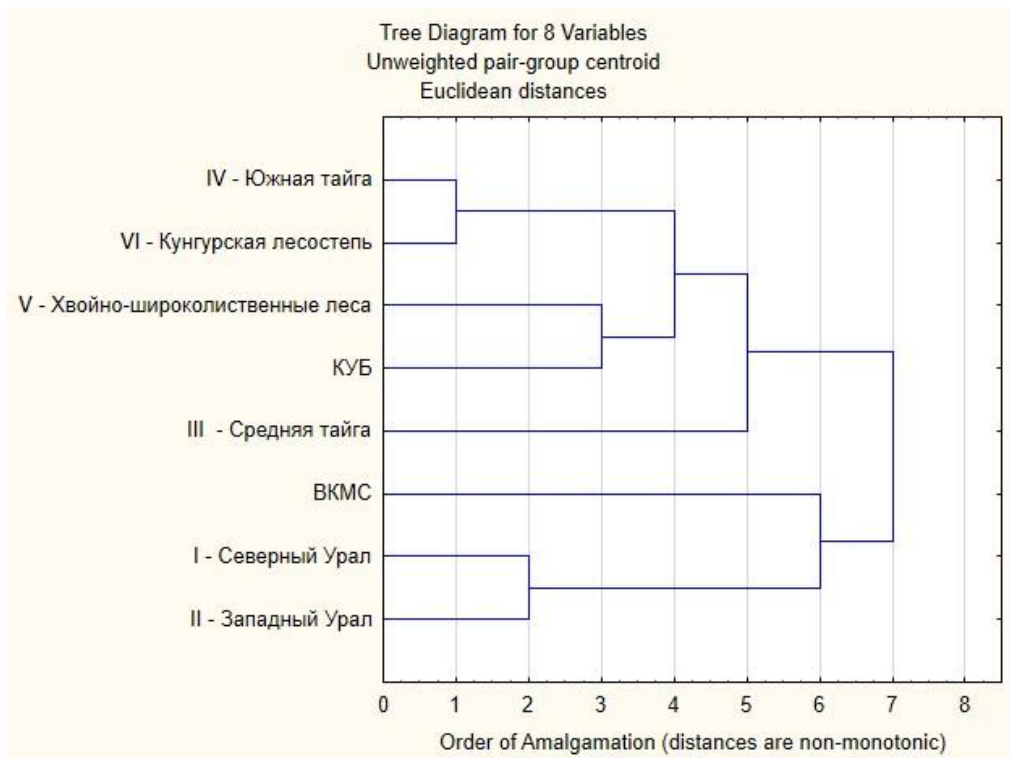


Рис.6.2. Результаты кластерного анализа (природно-техногенные кластеры)

Факторами первого ранга так же 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 (*Azimov et.al., 2018*). Интересно, что в данном случае мы наблюдаем то, что территория ВКМС объединяется с территорией среднегорий, низкогорий и предгорий, хотя находится на предгорной равнинной части края. А территории КУБ, наоборот, находясь в предгорной территории, встает 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 угольного бассейна стало фактором четвертого уровня пространственной дифференциации региона, 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 КУБ 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 6.2 представлены результаты по оценки значимости различий в фоновых содержаниях природных районов и средних содержаниях изученных территорий, находящихся под воздействием техногенеза.

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.

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

	Кизеловский угольный бассейн	Верхнекамское месторождение калийных солей
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

В таблице 6.3 представлены классификационные признаки и индексы, использованные для разделения районов.

Таблица 6.3

Классификационные признаки природно-техногенного районирования Пермского края

Признак	Виды признака
Характер рельефа	I. Среднегорный, низкогорный и предгорный II. Низменный и равнинный
Природные особенности (природный район, в границах которого расположен геохимический район)	I. Северный Урал II. Западный Урал III. Средняя тайга IV. Южная тайга V. Хвойно-широколиственных лесов VI. Кунгурская лесостепь
Геохимическая специализация	1) Лито-сидеро-халькофильная 2) Лито-халькофильная 3) Сидеро-халько-литофильная 4) Сидеро-халькофильная 5) Сидеро-лито-халькофильная 6) Сидерофильная
Ассоциация элементов	a) Ванадиево-полиметаллическая b) Ванадиево-цинково-полиметаллическая c) Кобальт-марганцево-полиметаллической d) Кобальт-никелевая e) Кобальт-полиметаллическая f) Марганцево-свинцовая g) Никелево-полиметаллическая h) Стронциево-цинковая

На рис.6.3 представлено полученное по результатам исследования природно-техногенное районирование Пермского края по геохимическим особенностям.

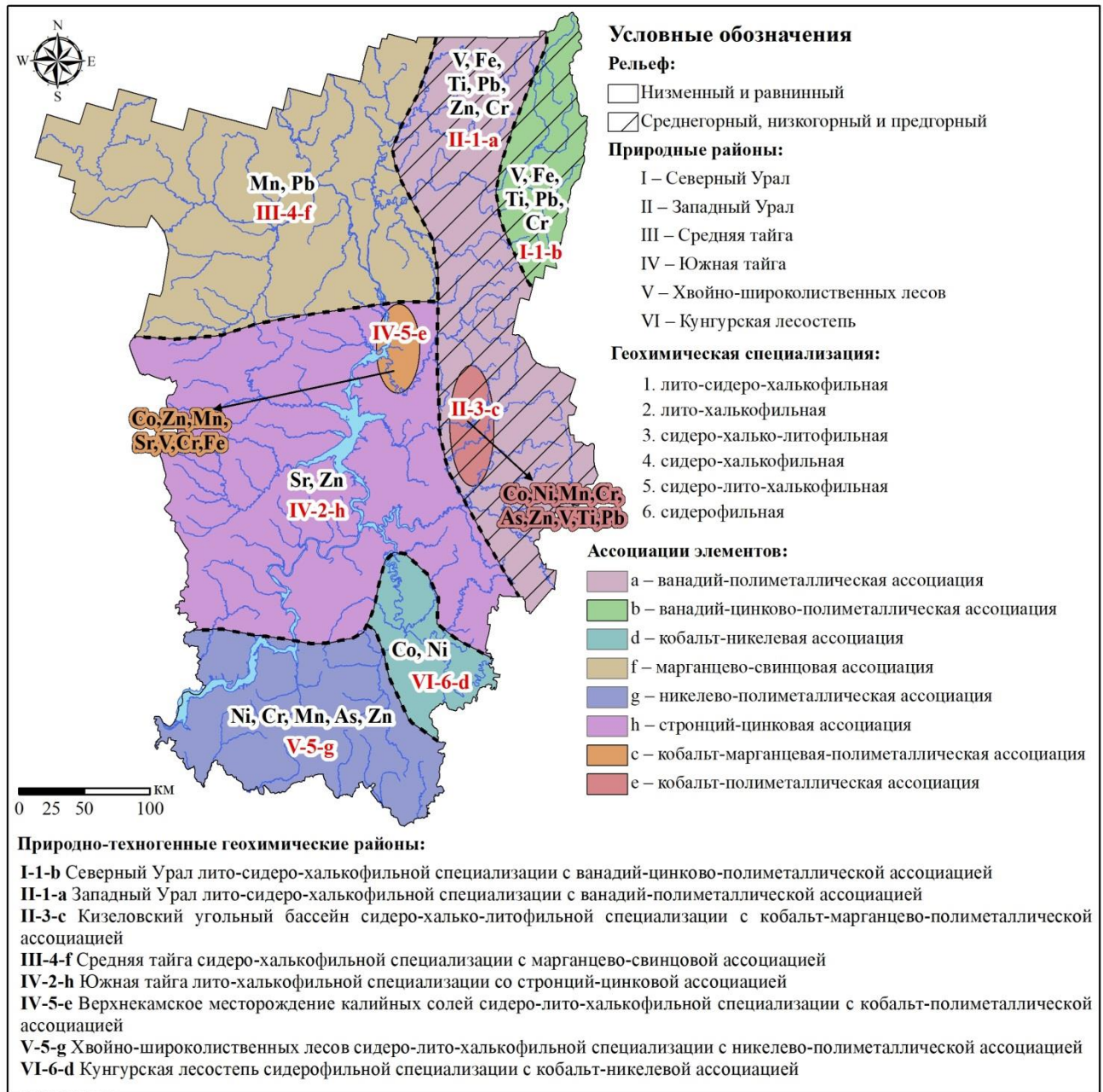


Рис. 6.3. Природно-техногенное геохимическое районирование Пермского края

Были выделены следующие природно-техногенные геохимические районы:

I-1-b Северный Урал лито-sidero-халькофильной специализации с ванадий-цинково-полиметаллической ассоциацией

II-1-a Западный Урал лито-sidero-халькофильной специализации с ванадий-полиметаллической ассоциацией

II-3-c Кизеловский угольный бассейн sidero-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

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, Верхнекамского месторождения калийных солей, Кизеловского угольного бассейна.

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: $KK = \frac{Co}{1,7} = \frac{Ni}{1,7} > \frac{Mn}{1,4} = \frac{Cr}{1,4} = \frac{As}{1,4} = \frac{Zn}{1,4} > \frac{V}{1,2} > \frac{Ti}{1,1} = \frac{Pb}{1,1}$;

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 по главе 6

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 на 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.

2. 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, Верхнекамского месторождения калийных солей, Кизеловского угольного бассейна. 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: $KK = \frac{Co}{1,7} =$

$\frac{Ni}{1,7} > \frac{Mn}{1,4} = \frac{Cr}{1,4} = \frac{As}{1,4} = \frac{Zn}{1,4} > \frac{V}{1,2} > \frac{Ti}{1,1} = \frac{Pb}{1,1}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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 накопление 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 (рис. 6), 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. 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, Верхнекамского месторождения калийных солей, Кизеловского угольного бассейна. 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:

КК = $\frac{V}{1,5} > \frac{Fe}{1,2} = \frac{Ti}{1,2} > \frac{Pb}{1,1} = \frac{Zn}{1,1} = \frac{Cr}{1,1}$; Средняя тайга: КК = $\frac{Mn}{1,1} = \frac{Pb}{1,1}$; Южная тайга:

КК = $\frac{Sr}{1,2} > \frac{Zn}{1,1}$; Хвойно-широколиственных лесов: КК = $\frac{Ni}{1,3} > \frac{Cr}{1,2} > \frac{Mn}{1,1} = \frac{As}{1,1} = \frac{Zn}{1,1}$;

Кунгурской лесостепи: КК = $\frac{Co}{1,7} > \frac{Ni}{1,1}$; Верхнекамского месторождения калийных солей:

КК = $\frac{Co}{1,4} > \frac{Zn}{1,3} = \frac{Mn}{1,3} = \frac{Sr}{1,3} > \frac{V}{1,2} = \frac{Cr}{1,2} = \frac{Fe}{1,2}$; Кизеловского угольного бассейна: КК = $\frac{Co}{1,7} =$

$\frac{Ni}{1,7} > \frac{Mn}{1,4} = \frac{Cr}{1,4} = \frac{As}{1,4} = \frac{Zn}{1,4} > \frac{V}{1,2} > \frac{Ti}{1,1} = \frac{Pb}{1,1}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдуллин Р.К., Березина О.А., Максимович Н.Г. Создание базы геоданных для оценки состояния окружающей среды ликвидированного Кизеловского угольного бассейна // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2018. № 3. С. 3-17.
2. Абдулманова И.Ф. К описанию растительного покрова особо охраняемых природных территорий, расположенных вдоль рек Березовая и Колва (Пермский край, Чердынский район) // Антропогенная трансформация природной среды. 2018. № 4. С. 26-28. С. 17-19.
3. Абдулманова И.Ф. К описанию растительного покрова участка Усьвинский проектируемого в Пермском крае природного парка // Антропогенная трансформация природной среды. 2017. № 3. С. 26-28.
4. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С. Микроэлементозы человека. М.: Медицина, 1991.
5. Алексеенко В.А. Геохимия окружающей среды: учеб. Пособие для вузов / В.А. Алексеенко, С.А. Бузмаков, М.С. Панин; Перм. гос. нац. иссл. ун-т. – Пермь, 2013. – 359с.: ил.
6. Алексеенко В.А. Металлы в окружающей среде. Почвы геохимических ландшафтов Ростовской области / В.А. Алексеенко, А.В. Суворинов, В.А. Алексеенко. – М.: «Логос», 2002. – 312 с.
7. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия: Учебник. – М.: Логос, 2000. – 627с.
8. Андреев Д. Н. Экогеохимическая диагностика антропогенной трансформации особо охраняемых природных территорий // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о земле. 2013. № 3. С. 3-9.
9. Андреев Д.Н. Биотический мониторинг в карстовом районе нефтедобычи (Пермский край) // Антропогенная трансформация природной среды. 2017. № 3. С. 87-89.
10. Андреев Д.Н. Использование данных дистанционного зондирования земли при исследовании многолетней динамики лесных экосистем // Геология, география и глобальная энергия. 2012. № 4(47). С. 145-149.
11. Андреев Д.Н. Исследование динамики экосистем на особо охраняемой природной территории «Осинская лесная дача / Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2012. - № 5. - С. 116-118.
12. Андреев Д.Н. Экогеохимическая диагностика антропогенной трансформации особо охраняемых природных территорий // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о земле. 2013. № 3. С. 3-9.

13. Андреев Д.Н., Бузмаков С.А. Антропогенная трансформация лесных экосистем по геохимическим и фотосинтетическим параметрам. Антропогенная трансформация природной среды. 2021. Т. 7. № 2. С. 49-57. DOI: 10.17071/2410-8553-2021-2-49-57.
14. Андреев Д.Н., Гатина Е.Л., Дзюба Е.А. 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.
15. Андреев Д.Н., Дзюба Е.А. Суммарное химическое загрязнение почв тяжелыми металлами в различных биотопах на территории Вишерского заповедника // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18. № 2-2. С. 283-287.
16. Андреев Д.Н., Шатрова А.И. Нефтепромысловые объекты в Пермском крае // Антропогенная трансформация природной среды. 2019. №5. С. 3-7.
17. Арестова И.Ю., Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Кукушкин С.Ю. Эколого-геохимическая оценка состояния природной среды в районах нефтедобычи // Геохимия биосферы. М.; Смоленск. 2006. С. 41-42.
18. Артамонова В.С., Бортникова С.Б. Экологические аспекты рекультивации почв на отвалах вскрышных пород в районах угледобычи // Антропогенная трансформация природной среды. 2022. Т. 8. № 1. С. 48–57. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-1-48-57>.
19. Арустамова Э.А. и др. Природопользование. – М., 1999.
20. Атлас особо охраняемых природных территорий Пермского края. Под ред. д.г.н. С.А. Бузмакова. Авторский коллектив: Бузмаков С.А., Воронов Г.А., Зайцев А.А., Санников П.Ю., Андреев Д.Н., Абдулманова И.Ф., Баландин С.В., Бахарев П.Н., Гатина Е.Л., Глазырина Ю.В., Дворянских О.А., Дзюба Е.А., Ефимик Е.Г., Жужгова Л.В., Козьминых В.О., Козьминых Т.В., Кувшинская Л.В., Кулакова С.А., Михута С.В., Молганова Н.А., Назаров А.В., Наумкин Д.В., Овёснгов С.А., Паньков Н.Н., Переведенцева Л.Г., Рогозин М.В., Семёнов В.В., Слащёв Д.Н., Стенно С.П., Шепель А.И., Шестаков И.Е., Шумихин С.А., Хотяновская Ю.В., Чагин Г.Н. Пермь: изд-во ООО "Астер Плюс", 2017. 512 с.
21. Атлас Пермского края / под общ.ред. А.М. Тартаковского. Перм. гос.-нац. иссл. ун-т. – Пермь, 2012. – 124 с.
22. Баландин С.В. Конкретные флоры Пермского края и Свердловской области // Ботанико-географические исследования. Камелинские чтения. 2019. С. 17-22.
23. Баландин С.В. Охраняемые виды растений на территории, подчиненной г. Перми // Проблемы экологии, охраны природы и природопользования: сб. науч. тр. Изд-во Перм. ун-та. Пермь, 2006. С. 262-274.

24. Баландина А.В., Еремченко О.З., Одегова Т.Ф., Кузнецов Д.Б. Результаты исследований по ремедиации дерново-карбонатных почв // *Фундаментальные исследования*. 2013. № 10-1. С. 95-99.
25. Батулин Е.Н., Меньшикова Е.А., Блинов С.М., Наумов Д.Ю., Белкин П.А. Проблемы освоения крупнейших калийных месторождений мира. Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=7513> (дата обращения: 05.03.2022).
26. Бахарев П.Н., Ворончихина Е.А., Ильиных С.И., Лоскутова Н.М. Технофильные элементы в особо охраняемых экосистемах Западноуральской тайги // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2012. Т. 14. № 1-8. С. 2136-2139.
27. Бачурин Б.А. Эколого-геохимическая оценка продуктов деградации нефти в условиях гипергенеза // *Антропогенная трансформация природной среды*. 2019. №5. С. 8-14.
28. Белковская Т.П. Конспект флоры заказника «Предуралье» / Перм. ун-т. Пермь, 1988. 118 с.
29. Бельшева Н.Е., Еремченко О.З. Оценка устойчивости почв ООПТ «Черняевский лес» к загрязнению тяжелыми металлами методом фитотестирования // *История и методология физиолого-биохимических и почвенных исследований. Сборник научных трудов по материалам научной конференции, посвященной 100-летию кафедры физиологии растений и микроорганизмов Пермского государственного национального исследовательского университета*. 2017. С. 121-124.
30. Блинов С.М., Максимович Н.Г., Меньшикова Е.А. Современное техногенное минералообразование в аллювии рек Кизеловского угольного бассейна // *Минералогия техногенеза*. 2003. Т. 4. С. 20-38.
31. Блинов С.М., Потапов С.С., Ворончихина Е.А., Доможирова С.А., Батулин Е.Н., Потапов Д.С. Новый метод улучшения экологической ситуации на участках прежнего сброса кислых шахтных вод Кизеловского угольного бассейна // *Минералогия техногенеза*. 2005. Т. 6. С. 229-237.
32. Большаков В.А., Водяницкий Ю.Н., Борисочкина Т.И., Кахнович З.Н., Мясников В.В. Методические рекомендации по оценке загрязнения городских почв и снежного покрова тяжелыми металлами. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева РАСХН, 1999. 31с.
33. Бузмаков С.А. Антропогенная трансформация природной среды // *Географический вестник*. Пермь, 2012. № 4 (23). С. 46-50.
34. Бузмаков С.А. Загрязнение почв при углеводородных миграциях в карстовых районах // *Антропогенная трансформация природной среды*. 2019. № 5. С. 21-30.

35. Бузмаков С.А. Оценка современного состояния особо охраняемой природной территории «Черняевский лесопарк г. Перми» / С.А. Бузмаков, Л.В. Кувшинская, А.В. Жекин [и др.] // Изв. Самар. Науч. центра РАН, 2009. Том 11, №1. С. 408-413.
36. Бузмаков С.А. Региональные вопросы устойчивого развития особо охраняемых природных территорий // Антропогенная трансформация природной среды. 2020. №6. С. 48-55. DOI: 10.17072/2410-8553-2020-6-48-55
37. Бузмаков С.А. Сеть особо охраняемых природных территорий Пермского края // Географический вестник = Geographical bulletin. 2020. №3(54). С. 135–148. doi 10.17072/2079-7877-2020-3-135-148.
38. Бузмаков С.А., Андреев Д.Н., Кувшинская Л.В. Почвенно-геохимические особенности территории месторождения железных руд // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. №2, С.36-38. 2013.
39. 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.
40. 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.
41. Бузмаков С.А., Андреев Д.Н., Хотяновская Ю.В., Дзюба Е.А. Экологическая диагностика антропогенной трансформации экосистем // Теория и методы исследований в естественных науках: Сборник научных статей по материалам Международной научно-практической конференции / Главный редактор И.С. Копылов: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2016. С. 171-178.
42. Бузмаков С.А., Воронов Г.А., Кулакова С.А., Андреев Д.Н., Гатина Е.Л., Зайцев А.А., Санников П.Ю., Шемихин С.А. Особо охраняемые природные территории г. Перми: монография. Перм. гос. ун-т. Пермь, 2012. 204 с.
43. Бузмаков С.А., Дзюба Е.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.
44. Бузмаков С.А., Егорова Д.О., Гатина Е.Л. Доза-эффект нефтезагрязнения почв на биотический компонент экосистем. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2017. Т. 25. № 2. С. 217-229. DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-2-217-229.

45. Бузмаков С.А., Зайцев А.А. Санников П.Ю. Актуальное состояние сети ООПТ Пермского края // Вопросы степеведения. 2019. №15. С. 55–58..
46. Бузмаков С.А., Костарев С.М. Техногенные изменения компонентов природной среды в нефтедобывающих районах Пермской области. Пермь: изд-во Перм. ун-та, 2003. 171 с.
47. Бузмаков С.А., Кулакова С.А. Оценка состояния почвенного покрова на территории нефтяных месторождений // Географический вестник. 2010. №4(15). С. 36-40.
48. Бузмаков С.А., Кулакова С.А. Формирование природно-техногенных экосистем на территории нефтяных месторождений // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2007. №1. С.20-24.
49. Бузмаков С.А., Санников П.Ю., Сивков Д.Е., Дзюба Е.А., Хотяновская Ю.В., Егорова Д.О. Разработка геоинформационных систем для управления окружающей средой и экологической безопасностью в районах эксплуатируемых нефтяных месторождений. Антропогенная трансформация природной среды. 2021. Т. 7. № 1. С. 102-127. DOI 10.17072/2410-8553-2021-1-102-127.
50. Быков В.Н. Экология недропользования: Учеб. пособие: В 2 кн. / Перм. гос. ун-т; Перм. гос. техн. ун-т. Пермь, 2000. Кн.1. 186 с., Кн.2. 186 с.
51. Васильев А.А., Чашин А.Н. Тяжелые металлы в почвах города Чусового: оценка и диагностика загрязнения: монография. М-во сельского хоз-ва Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Пермская гос. с.-х. акад. им. Д. Н. Прянишникова". Пермь : ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2011. 188 с.
52. Ведин О.Т. Атомно-адсорбционное определение и содержание мышьяка в почвах. - Автореф. канд. дис. М., 1979.
53. Веригина К.В., Добрицкая Ю.Я., Журавлева Е.Г., Орлова Л.Я., Ширинская М.Г. Влияние процессов почвообразования на распределение микроэлементов в основных типах почв европейской части СССР // Доклады к VII Международному конгрессу почвоведов. М.: Наука, 1964.
54. Вернадский В.И. Об анализе почв с геохимической точки зрения // Почвоведение, 1936. № 1. – С.8–16.
55. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения (Серия «Библиотека трудов академика В.И. Вернадского»). – М.: Наука, 2001, 376 с.
56. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. – М.: Изд-во АН СССР, 1953. – 237 с
57. Виноградов А.Я. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. №7.

58. Виноградов А.Я. О генезисе биогеохимических провинций // Труды Биогеохимической лаборатории АН СССР. 1960. Т. 11.
59. Виноградов А.Я. Основные закономерности распределения микроэлементов между растениями и средой // Микроэлементы в жизни растений и животных. Изд-во АН СССР, 1952.
60. Водяницкий Ю.Н. Загрязнение почв тяжелыми металлами и металлоидами и их экологическая опасность (аналитический обзор). Почвоведение. 2013. № 7. С. 872. DOI 10.7868/S0032180X13050171.
61. Водяницкий Ю.Н. Об опасных тяжелых металлах/металлоидах в почвах // Бюллетень Почвенного института В.В. Докучаева. 2011. Вып. 68. С. 56-82.
62. Водяницкий Ю.Н. Современные тенденции загрязнения почв тяжелыми металлами //Агрохимия.2013. № 9. С. 88-96.
63. Водяницкий Ю.Н. Формулы оценки суммарного загрязнения почв тяжелыми металлами и металлоидами // Почвоведение. 2010. № 10. С. 1276-1280
64. Вологжанина Т.В. Почвы. Эродированность почв // Атлас Пермской области. – М.: Изд-во ДИК, 2000. С.10-11.с.
65. Воронов Г.А. География мелких млекопитающих южной тайги Приуралья, Средней Сибири и Дальнего Востока (антропогенная динамика фауны и населения) / Перм. гос. ун-т, Пермь, 1993. 223 с.
66. Воронов Г.А. Животные города Перми. Позвоночные – Пермь: Форвард-С, 2010. 296 с.
67. Воронов Г.А. Сложные пихтово-еловые леса Уральского Прикамья/ Г.А. Воронов, Л.М. Трофимова, С.В. Баландин; изд-во Перм. гос. ун-та. Пермь, 2005. 178 с.
68. Воронцов Е.М. Птицы Камского Приуралья (Молотовской области). Горький, 1949. 113 с.
69. Ворончихина Е.А. , Блинов С.М., Меньшикова Е.А. Технофильные металлы в естественных и урбанизированных экосистемах Пермского края. Экология урбанизированных территорий. 2013. № 1. С. 103-108.
70. Ворончихина Е.А., Ждакаев В.И. Мышьяк в естественных и техногенных геосистемах Пермского края // Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Под ред. В.И. Осипова, Н.Г. Максимовича, А.А. Баряха, Е.В. Булдаковой, А.Д. Деменева, О.Н. Ереминой, В.Г. Заиканова, В.Н. Катаева, Ю.А. Мамаева, О.Ю. Мещеряковой. 2019. С. 278-283.

71. Выборов С.Г., Павелко А.И., Щукин В.Н., Янковская Э.В. Оценка степени опасности загрязнения почв по комплексному показателю нарушенного геохимического поля // Современные проблемы загрязнения почв. Межд. научная конф. М., 2004. С. 195–197.
72. Галкин. В.И., Середин В.В., Лейбович Л.О., Пушкарева М.В., Копылов И.С., Чиркова А.А. Оценка эффективности технологий очистки нефтезагрязненных грунтов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2012. № 6. С. 4-7.
73. Гамм Т.А., Гамм А.А. Исследование закономерностей распространения от источника загрязнения тяжелых металлов и нефтепродуктов на месторождении нефти. Наука и мир. 2015. № 2-1(18). С. 109-112.
74. Гатина Е.Л. Антропогенная трансформация ботанического разнообразия на территории Пермского края. Проблемы региональной экологии. 2009. № 5. С. 160-165.
75. Гатина Е.Л. Антропогенная трансформация ботанического разнообразия на территории Пермского края / Е.Л. Гатина // Проблемы региональной экологии, 2009. -№ 5. -С. 160-165
76. Гатина Е.Л. Геоинформационная база данных ООПТ Пермского края: ботанический аспект / Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Цифровая география» (16–18 сентября 2020 года). 2020. С. 235-237.
77. Гатина Е.Л. Трансформация растительного покрова на нефтяных месторождениях при механических нарушениях биогеоценологического покрова (на примере пермского края). Антропогенная трансформация природной среды. 2014. № 1. С. 167-172.
78. Гатина Е.Л. Флористические особенности территории проектируемого природного парка (участки «Вишерский», «Усьвинский», «Чусовской») // Антропогенная трансформация природной среды. 2016. №2. С. 108 - 114.
79. Генкель А.А. Болота Пермской области // Учен. зап. / Перм. пед. ин-та. 1974. Т.131, вып.2.2. С.4-83.
80. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. - М. : Высшая шк., 1988. - 326 с.
81. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов: учеб. Пособие. – М.: Географический факультет МГУ, 2007. 305 с.
82. Глазовская М.А. Содержание металлов в почвах различного типа. Геохимические поиски рудных месторождений в СССР. М.: Росгеолтехиздат, 1957.
83. ГН 2.1.7.2041-6. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: утв. Гл. гос. сан. врачом РФ 19.01.2006., введ. в действие с 01.04.06. — М., 2006.

84. Голик В.И., Заалишвили В.Б., Разоренов Ю.И. Проблемы региональной экологии Восточного Донбасса // Проблемы региональной экологии. 2014. № 3. С. 55-59.
85. Гольдшмидт В.М., Петере К.К. К геохимии мышьяка. – В кн.: Геохимия редких элементов. М. – Л., 1938.
86. Горбачев Д.Н., Чекмарева О.В. Влияние нефтяного месторождения на загрязнение атмосферного бассейна. Региональные проблемы геологии, географии, техносферной и экологической безопасности: Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции, Оренбург, 18–20 ноября 2019 года. С. 198-201.
87. Горбунова К.А. Андрейчук В.Н., Костарев В.П., Максимович Н.Г. Карст и пещеры Пермской области. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1992. 200 с.
88. Горбунова К.А., Максимович Н.Г. Типы разгрузки карстовых вод в районах гипсово-ангидритового карста. Европейская региональная конференция по спелеологии: Сб. от материалы. София, 1981. С. 439-441.
89. Горчаковский П.Л. Растительный мир высокогорного Урала. М.: Наука, 1975. 283 с.
90. ГОСТ 17.4.4.02-84 Охрана природы. Почва. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа [Электронный ресурс], режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200005920> (дата обращения: 09.08.2022)
91. ГОСТ 17.4.4.02-84. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. – М.: Стандартинформ, 2008.
92. ГОСТ 26212-91 Почвы. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО [Электронный ресурс], режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200023469> (дата обращения: 09.08.2022)
93. ГОСТ 26213-91 Почвы. Методы определения органического вещества [Электронный ресурс], режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200023481> (дата обращения: 09.08.2022)
94. ГОСТ 26423-85 Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки [Электронный ресурс], режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200023484> (дата обращения: 09.08.2022)
95. ГОСТ 54650-2011 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО [Электронный ресурс], режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200094361> (дата обращения: 09.08.2022)
96. Гребнева-Балюк О.Н., Кубракова И.В., Тютюнник О.А., Лапшин С.Ю., Пряжников Д.В. Многоэлементный анализ нефти методами АЭС-ИСП и МС-ИСП с

использованием микроволновой пробоподготовки. Журнал аналитической химии. 2021. Т. 76. № 3. С. 218-226. DOI 10.31857/S004445022103004X.

97. Григорьев Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 382 с.

98. Губанова Ю.К., Дзюба Е.А. Обзор подходов по изучению геохимических свойств почв // Проблемы антропогенной трансформация природной среды: Материалы международной конференции памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка, Пермь, 14–15 ноября 2019 года / Под редакцией С.А. Бузмакова. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2019. С. 142-143.

99. Двинских С.А. Экологическая оценка состояния поверхностных вод Пермской области // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. №6. 2005. С. 547-556.

100. Дзюба Е. А. Биотестирование почв особо охраняемой природной территории ГПЗ "Вишерский" на *Chlorella vulgaris* и *Daphnia magna* // Биоразнообразие и антропогенная трансформация природных экосистем: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной памяти профессора А.И. Золотухина, Балашов, 12–13 ноября 2015 года. Балашов: Издательство "Саратовский источник", 2015. С. 87-92.

101. Дзюба Е. А. Исследование зависимости геохимических свойств почв и показателей токсичности // Вестник молодых ученых ПГНИУ: сборник научных трудов / отв. редактор В.А. Бячкова; Пермский государственный национальный исследовательский университет. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2015. С. 24-33.

102. 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.

103. Дзюба Е. А. Перспективы геохимических исследований в Пермском крае // Антропогенная трансформация природной среды. 2017. № 3. С. 182-183.

104. Дзюба Е. А. Тяжелые металлы и техногенез на нефтепромысловых территориях в условиях карста // Проблемы антропогенной трансформация природной среды: Материалы международной конференции памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка, Пермь, 14–15 ноября 2019 года / Под редакцией С.А. Бузмакова. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2019. С. 144-148.

105. Дзюба Е.А. Геохимические особенности почв на территории ландшафтного заказника «Предуралье» (Пермский край) // Вопросы степеведения. 2019. № 15. С. 100-105.

106. 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: сборник материалов всероссийской школы-семинара, посвященной памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка, Пермь, 22–23 апреля 2021 года. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2021. С. 148-154.

107. Дзюба Е.А. Загрязнение почв макро- и микроэлементами на территории нефтяных месторождений Пермского края // Экологические проблемы. Взгляд в будущее: сборник трудов IX Международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 22–23 октября 2020 года / Под редакцией Ю. А. Федорова; Южный федеральный университет. Ростов-на-Дону - Таганрог: Южный федеральный университет, 2020. С. 215-220.

108. Дзюба Е.А. Распределение тяжелых металлов в биотопах Тулымского камня относительно высотной поясности // Вестник молодых ученых ПГНИУ: Сборник научных трудов / Ответственный редактор Р.Р. Гильмутдинов. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2016. С. 4-11.

109. Дзюба Е.А. Суммарное химическое загрязнение почв циклическими элементами на территории ООПТ «Черняевский лес» // Антропогенная трансформация природной среды. 2016. № 2. С. 114-122.

110. Дзюба Е.А., Бузмаков С.А. Распределение тяжелых металлов в карстовом районе нефтедобычи (лог «Арапов ключ») // Сборник материалов XI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. Под редакцией М.Б. Ивановой, К.С. Осоргина. 2017. С. 154-159.

111. Дзюба Е.А., Сивков Д.Е. Применение ГИС-технологий при изучении геохимических особенностей территории (на примере ландшафтного заказника "Предуралье") // Цифровая география : Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: в 2 т., Пермь, 16–18 сентября 2020 года. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2020. С. 243-247.

112. Дзюба, Е. А. Биотестирование и геохимический анализ почв государственного природного заповедника "Вишерский" // География и регион: Материалы международной научно-практической конференции: В 6 томах / Пермский государственный национальный исследовательский университет: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Пермский государственный национальный исследовательский университет", 2015. С. 64-71.

113. Дзюба, Е. А. Суммарное химическое загрязнение почв циклическими элементами на территории ООПТ "Черняевский лес" // Антропогенная трансформация природной среды. 2016. № 2. С. 114-122.

114. Добровольский В.В. Распределение рассеянных химических элементов между почвообразующей породой, почвой и растительностью в условиях Подмосковья // Науч. доклады высшей школы. Биол. науки. 1963. № 3.
115. Добровольский В.В. Биогеохимические циклы тяжелых металлов // Геохимия. 1988. № 2.
116. Добровольский В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. М.: Мысль, 1983.
117. Добровольский В.В. Химия Земли. – М.: Просвещение, 1980.
118. Добровольский Г.В. Значение почв в сохранении биоразнообразия. – Почвоведение. – 1996. – 694с.
119. Дорожукова С.Л., Янин Е.П. Буровые амбары как источники загрязнения природных вод в нефтедобывающих районах // Геохимия биосферы. М.; Смоленск, 2006. С. 123-125.
120. Дубынина С.С., Напрасникова Е.В. Эколого-геохимическая оценка антропогенных ландшафтов зоны КАТЭКа // Геохимия биосферы (к 90_летию А.И. Перельмана). М.–Смоленск, 2006. С. 125–127.
121. Еремченко О.З. Редкие и исчезающие почвы Пермского края / О.З. Еремченко, Т.Г. Филькин, И.Е. Шестаков. Пермь, 2010. 92 с.
122. Еремченко О.З. Экологические функции и морфологическое разнообразие почв городских ландшафтов Пермского Прикамья / О.З. Еремченко, Н.В. Москвина, И.Е. Шестаков // Бот. исслед. на Урале: материалы науч. конф., посвящ. памяти П.Л. Горчаковского / Перм. гос. ун-т. Пермь, 2009. С. 105-109.
123. Еремченко О.З., Артамонова В.С., Бортникова С.Б., Бельшева Н.Е. Оценка экологического риска в связи с накоплением тяжёлых металлов в почвах городских лесов // Вестник пермского университета. серия: биология. 2018. № 1. С. 70-80.
124. Ерёмченко О.З., Лымарь О.А. Почвенно-экологические условия зоны солеотвалов и адаптация к ним растений // Экология. 2007. №1. С. 18-23.
125. Еремченко О.З., Митракова Н.В. Фитотестирование почв и техногенных поверхностных образований в урбанизированных ландшафтах // Вестник Пермского университета. Серия: Биология. 2016. № 1. С. 60-67.
126. Еремченко О.З., Митракова Н.В., Шестаков И.Е. Природно-техногенная организация почвенного покрова территории воздействия солеотвалов и шламохранилищ в Соликамско-Березниковском экономическом районе. Вестник Пермского университета. Серия Биология. 2017. Вып. 3. С. 311-320.

127. Еремченко О.З., Москвина Н.В., Митракова Н.В., Колбик А.Е., Пахоруков И.В. Оценка экологического состояния засоленных, кислых и щелочных почв методом фитотестирования // Вестник Пермского университета. Серия: биология. 2019. № 1. С. 63-71.

128. Еремченко О.З., Москвина Н.В., Шестаков И.Е. Экологические функции и морфологическое разнообразие почв городских ландшафтов пермского Прикамья // В сборнике: Ботанические исследования на Урале Пермский государственный университет; Пермское отделение Русского ботанического общества. 2009. С. 105-108.

129. Еремченко О.З., Москвина Н.В., Шестаков И.Е., Швецов А.А. Использование тест-культур для оценки экологического состояния городских почв // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2014. Т. 19. № 5. С. 1280-1284.

130. Еремченко О.З., Филькин Т.Г., Шестаков И.Е. Выделение ценных почвенных объектов в Пермском крае // Ботанические исследования на урале Пермский государственный университет; Пермское отделение Русского ботанического общества. 2009. С. 109-111.

131. Еремченко О.З., Четина О.А., Кайгородов Р.В. Микроэлементный состав растительности на территории техногенной галитной аномалии, // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 3. С. 36-40.

132. Еремченко О.З., Шестаков И.Е., Каменщикова В.И. Эколого-биологические свойства урбаноземов г. Перми // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2010. № 4. С. 56-63.

133. Еремченко О.З., Шестаков И.Е., Каменщикова В.И., Киричук Ю.А. Оптимизация экологических функций почвенного покрова г. Перми // Синтез знаний в естественных науках. Рудник будущего: проекты, технологии, оборудование материалы. Международной научной конференции: в 2 томах. Пермский государственный национальный исследовательский университет, Естественнонаучный институт, Ответственный редактор В.А. Наумов. 2011. С. 60-65.

134. Еремченко О.З., Шестаков И.Е., Максимова С.Е. Систематика и распространение редких почв в связи с развитием «почвенно-краснокнижных» работ в Пермском крае // Вестник Пермского университета. Серия: Биология. 2015. № 1. С. 41-48.

135. Еремченко О.З., Шестаков И.Е., Митракова Н.В. Использование биологических показателей при оценке биогеоценологических функций почв // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. С. 542.

136. Еремченко О.З., Шестаков И.Е., Москвина Н.В. Почвы и техногенные поверхностные образования урбанизированных территорий Пермского Прикамья. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2016. 252 с.

137. Еремченко О.З., Шестаков И.Е., Москвина Н.В. Преобладающие и сопутствующие почвы урбопедагокомплексов урбанизированных территорий пермского Прикамья // Антропогенная трансформация природной среды. 2016. № 2. С.195-199.
138. Еремченко О.З., Шестаков И.Е., Чернышев К.О. Структурный и гранулометрический состав городских почв в связи с условиями обитания растений // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 5. С. 706.
139. Еремченко О.З., Шестаков И.Е., Чирков Ф.В., Филькин Т.Г. Дерново-карбонатные почвы Пермского края как объекты особой охраны // Фундаментальные исследования. 2008. № 7. С. 63-64.
140. Ефимик Е. Г. О мониторинге некоторых видов растений Красной книги Пермского края / Актуальные проблемы сохранения биоразнообразия в регионах Российской Федерации. Красная книга как объект государственной экологической экспертизы: материалы межрегион. науч.-практ. конф. (Пермь, 27-29 октября 2015 г.); Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2015. С. 81-84.
141. Животный мир заказника «Предуралье» (позвоночные): учеб.-метод. пособие / Перм. ун-т; авт.-сост. А. И. Шепель, Е. А. Зиновьев. Пермь, 1999. 144 с.
142. Животный мир Прикамья / Шураков А.И., Воронов Г.А., Каменский Ю.Н. Пермь: Пермское книжное издательство, 1989. 193 с.
143. Зайцев А.А. Географические и геоэкологические предпосылки и перспективы создания природного парка в Пермском крае // Геология, география и глобальная энергия. 2015. № 3 (58). С. 28-33.
144. Зайцев, А.А. Современное состояние особо охраняемых природных территорий регионального значения Пермского края. Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук, 2012 г.
145. Закруткин В.Е., Зубова Л.Г., Гибков Е.В., Зубов А.Р., Воробьев С.Г. Терриконы углепромышленных районов Донбасса как источник воздействия на окружающую среду. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2017. № 3-1(195-1). С. 69-75.
146. Зимовец А.А., Федоров Ю.А. Тяжелые металлы в почвах устьевой области реки Северная Двина//Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки, 2013, № 5. - С. 70-74.
147. Зиновьев Е.А. Аннотированный список рыб бас. Средней Камы // Состояние и охрана окружающей среды Пермской области в 2004 г. Пермь, 2005. С. 172-176.
148. Зиновьев Е.А. Рыбы и беспозвоночные водоемов Прикамья: история изучения и библиография. Пермь, 2011. 243 с.

149. Зиновьев Е.А. Фауна и экология рыб Прикамья: история изучения и библиография / Е.А. Зиновьев, В.Г. Костицын. Пермь, 2001. 116 с.
150. Зиновьев Е.А., Бакланов М.А. Ихтиофауна бассейна Верхней и Средней Камы // Вестн. Удм. ун-та. Сер. Биология. Ижевск, 2000. № 5. С. 41-46.
151. Зырин Н.Г. Распределение и варьирование содержания микроэлементов в почвах русской равнины // Почвоведение. 1968. №7.
152. Зырин Н.Г., Белицина Г. Д., Брысова Н. П. Содержание микроэлементов семейства железа в некоторых почвах СССР // Вестник МГУ. Сер. 6. 1961. №5.
153. Иларионов С.А. Экологические аспекты восстановления нефтезагрязненных почв. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 192 с.
154. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях – Изд-во Мир, Москва, 1989.
155. Казакова, Н.А. Загрязнение почвы тяжелыми металлами // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2009. № 1. С. 29-31.
156. Калинин В.Г. Водный режим камских водохранилищ и рек их водосбора в зимний сезон: монография / Перм. гос. ун-т. Пермь, 2014. 184 с.
157. Калинин Н.А. Мониторинг, моделирование и прогноз состояния атмосферы в умеренных широтах / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2015. 308 с.
158. Каменщикова В.И., Еремченко О.З., Шестаков И.Е., Кувшинская Л.В. Биодиагностика экологического состояния почв города Перми // Экология урбанизированных территорий. 2011. № 3. С.85-89.
159. Каменщикова В.И., Еремченко О.З., Шестаков И.Е. Биохимическая активность почв г. Перми // Вестник Пермского университета. Серия: Биология. 2011. № 2. С. 38-40.
160. Карандеева М. В. Геоморфология Европейской части СССР: Учебное пособие / Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1957. — 314 с.
161. Карандеева М.В. О зональности геоморфологических ландшафтов Русской равнины / Акад. наук СССР. Отд-ние геол.-геогр. наук. Геоморфол. комиссия. М., 1959. 22 с. (Материалы Второго геоморфологического совещания).
162. Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии. Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2015. №2. С. 7-17.
163. Катаев В.Н., Максимович Н.Г., Мещерякова О.Ю. Типы карста Пермского края // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. 2013. № 1. С. 56-66.
164. Кашина О.С., Самофалова И.А. Почвенный покров ООПТ «Вишнёвая гора» // Антропогенная трансформация природной среды. 2017. № 3. С. 184-186.

165. Кашулина Г.М., Чекушин В.А., Богатырев И.В. Физическая деградация и химическое загрязнение почв Северо-Запада Европы // Современные проблемы загрязнения почв. II Межд. науч. конф. М., 2007. Т. 2. С. 74–78.
166. Ковальский В.В. Геохимическая экология. М.: Наука, 1974.
167. Ковальский В.В., Андрианова Г.А. Микроэлементы в почвах СССР. М.: Наука, 1973.
168. Ковда В.А., Якушевская И.В., Тюрюканов А.Н. Микроэлементы в почвах Советского Союза. М.: Изд-во МГУ, 1959.
169. Комлев А.М., Черных Е.А. Реки Пермской области. Пермь: Перм. кн. изд-во, 1984. 214 с.
170. Копнин В.И. Верхнекамское месторождение калийных, калийно-магниевых и каменных солей и природных рассолов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал: Уральское обозрение. - 1995. - № 6
171. Копылов И.С. Литогеохимические аномальные зоны Западного Урала и Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. 2012. № 2 (15). С. 16-34.
172. Копылов И.С. Геодинамические активные зоны Приуралья, их проявление в геофизических, геохимических, гидрогеологических полях // Успехи современного естествознания. 2014. № 4. С. 69-74.
173. Копылов И.С. Геодинамические и геохимические ландшафты: систематизация, районирование, аномалии // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. 2019. № 22. С. 345-352.
174. Копылов И.С. Геоэкологическая роль геодинамических активных зон // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 7. С. 67-71.
175. Копылов И.С. Гидрогеохимические аномальные зоны Западного Урала и Приуралья // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2012. № 12. С. 145-149.
176. Копылов И.С. Закономерности формирования почвенных ландшафтов Приуралья, их геохимические особенности и аномалии // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4. С. 395.
177. Копылов И.С. Концепция и методология геоэкологических исследований и картографирования платформенных регионов // Перспективы науки. 2011. № 8 (23). С. 126-129.
178. Копылов И.С. Научно-методические основы геоэкологических исследований нефтегазоносных регионов и оценки геологической безопасности городов и объектов с применением дистанционных методов / автореф. дис.... д-ра геолого-минералогических наук. - Пермь, 2014. - 48 с.

179. Копылов И.С. Особенности геохимических полей и литогеохимические аномальные зоны Западного Урала и Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. 2011. № 1. С. 26-37.
180. Копылов И.С. Особенности геохимических полей и литогеохимические аномальные зоны Западного Урала и Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. - Пермь, 2011. - Вып. 1 (10). - С. 26-37.
181. Копылов И.С. Принципы и критерии интегральной оценки геоэкологического состояния природных и урбанизированных территорий // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 6. С. 285.
182. Копылов И.С. Районирование и оценка эколого-геодинамической опасности территории Пермского края на основе ГИС и ДЗЗ // Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края: сб. науч. трудов. - Пермь, 2010. - С. 28-38.
183. Копылов И.С. Региональные геологические факторы формирования экологических условий // Успехи современного естествознания. 2016. № 12. С. 172-177.
184. Копылов И.С. Формирование микроэлементного состава и гидрогеохимических аномальных зон в подземных водах камского Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. 2014. № 3 (24). С. 30-47.
185. Копылов И.С., Алексеева Л.В., Даль Л.И. Региональный геоэкологический и гидрогеоэкологический анализ Пермского края // Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность Сборник научных статей по материалам Международной научно-практической конференции. Гл. ред. И. С. Копылов; Пермский государственный национальный исследовательский университет, Естественнонаучный институт (ЕНИ ПГНИУ). 2016. С. 72-79.
186. Копылов И.С., Даль Л.И. Геоэкологическая оценка состояния природной среды Коми-Пермяцкого округа // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-2. С. 745.
187. Копылов И.С., Даль Л.И. Типизация и районирование ландшафтно-геохимических систем // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2. С. 772.
188. Копылов И.С., Ликутов Е.Ю. Структурно-геоморфологический, гидрогеологический и геохимический анализ для изучения и оценки геодинамической активности // Фундаментальные исследования. 2012. № 9-3. С. 602-606.
189. Копытов С.В. Пространственно-временная изменчивость геосистем долины верхней Камы: дис. ... канд. геогр. наук. Пермь, 2016. 178 с.
190. Коробков И.М. Малые реки Пермской области – Пермь: Пермское книжное издательство, 1959. 56 с.
191. Коротаев Н.Я. Почвы Пермской области. Пермь: Пермское книжное издательство, 1962. 279 с.

192. Коротаев Н.Я. Почвенное районирование Пермской области.// Почвенное районирование СССР. М.: Изд-во МГУ, 1961. Вып. II. 268 с.
193. Коршунова Т.Ю., Логинов О.Н. Нефтяное загрязнение водной среды: особенности, влияние на различные объекты гидросферы, основные методы очистки. Экобиотех. 2019. Т. 2. № 2. С. 157-174. DOI: 10.31163/2618-964X-2019-2-2-157-174.
194. Костарев С.М. Геоэкологические исследования в районах разведки и разработки нефтяных месторождений Пермской области // Геоэкологическое картографирование. Тез. докл. Всерос. науч.-практ. конф. Ч. III. М.: ВСЕГИНГЕО, 1998. С. 72-74.
195. Костарев С.М. Контроль состояния геологической среды на ранних стадиях освоения нефтяных месторождениях / Геология нефти и газа. М.: Недра, 1990, № 2. С. 34-37.
196. Костарев С.М. Разработка методов гидрогеологического контроля для оценки состояния геологической среды нефтяных месторождений Пермского Прикамья / автореф. дисс. канд. геол.- мин. наук. М.: ВНИИ, 1989. 19 с.
197. Кропачев А.М., Белозерова Е.А. Ландшафтно-геохимическое районирование территории Пермской области // Проблемы геологии Пермского Урала и Предуралья. - 1998. - С. 26-27.
198. Кувшинская Л.В. Структура почвенного покрова ООПТ «Черняевский лесопарк г. Перми» / Л.В. Кувшинская, Д.Н. Андреев // Географический вестник. Пермь, 2009. №1(9). С. 64-68.
199. Кулакова С.А. Техногенная трансформация экосистем в районах нефтедобычи (на примере Шагирто-Гожанского месторождения нефти): Автореф. дис.... геогр. наук. - Пермь, 2007. -18 с.
200. Ларионова Е.А. Тяжелые металлы в горно-таежных ландшафтах: авто-реф. дис. канд. геогр. наук/Е.А. Ларионова. Пермь, 2004. -23 с.
201. Лейбович Л.О., Середин В.В., Пушкарева М.В., Чиркова А.А., Копылов И.С. Экологическая оценка территорий месторождений углеводородного сырья для определения возможности размещения объектов нефтедобычи // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2012. № 12. С. 13-16.
202. Летняя ботаническая практика. Список видов высших растений, рекомендуемых для изучения: метод. указания / Перм. ун-т. сост. С. А. Овеснов. Пермь, 1989. 56 с.
203. Лискова М.Ю. Негативное воздействие, оказываемое на окружающую среду предприятиями по добыче и обогащению калийно-магниевых солей. Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2017. Т.16, №1. С.82–88. DOI: 10.15593/2224-9923/2017.1.9

204. Лузянина О.А., Самофалова И.А. Мониторинг гумусного состояния почв (на примере заповедника «Басеги») // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 3-4. С. 1349-1353.
205. Мазур Т.А. Геолого-геоморфологическая характеристика территории Бардымского и Куединского районов Пермской области / Вопросы ландшафтоведения, геоморфологии и исторической географии. Пермь, 1970. С.112-124.
206. Максимович Г.А. Основы карстоведения. Пермь, 1969. Т.2. 30 с.
207. Максимович Г.А. Основы карстоведения. Пермь: Перм. кн. изд-во, 1963. Т. 1. 446 с.
208. Максимович Н. Г., Хайрулина Е. А. Геохимические методы в решении проблем охраны окружающей среды. Географический вестник. 2013. № 4(27). С. 59-64.
209. Максимович Н.Г. Использование геохимических барьеров для очистки изливов кислых вод Кизеловского угольного бассейна. Инженерная геология. 2011. № 3. С. 46-51.
210. Максимович Н.Г. Пути решения экологических проблем связанных с развитием карста в угледобывающих районах // Карстоведение XXI век: теоретическое и практическое значение. Материалы международного симпозиума. 2004. С. 306-312.
211. Максимович Н.Г., Березина О.А. Влияние ликвидированного Кизеловского угольного бассейна на химический состав речных вод // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Рациональное природопользование. Современное минералообразование Труды VII Всероссийского симпозиума с международным участием и XIV Всероссийских чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана. Ответственный редактор Г.А. Юргенсон. 2018. С. 96-102.
212. Максимович Н.Г., Ворончихина Е.А., Дылдин И.Ю., Каменщикова В.И., Сунцов А.В. Геоэкологическое обоснование рациональной организации территории в границах осушаемого участка Нижнезырянского водохранилища // Географический вестник. 2008. № 2 (8). С. 230-238.
213. Максимович Н.Г., Казакевич С.В., Никифоров В.В. Роль карста в формировании нефтяного загрязнения гидросферы в районе п. Полазна // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: материалы рег. научно-практ. конференции. 2005. С. 290-295.
214. Максимович Н.Г., Мещерякова О.Ю. Методы борьбы с нефтяным загрязнением на закарстованных берегах водохранилищ // Экология урбанизированных территорий. 2009. № 4. С. 55-58.
215. Максимович Н.Г., Мещерякова О.Ю., Пьянков С.В., Хайрулина Е.А. Эколого-геохимические проблемы угольных месторождений и пути их решения // Геология и минерально-сырьевые ресурсы запада Восточно-Европейской платформы: проблемы изучения

и рационального использования. Материалы Международной научной конференции, посвященной 215-летию со дня рождения И. Домейко. Под редакцией А.К. Карабанова. 2017. С. 291-294.

216. Максимович Н.Г., Пьянков С.В. Кизеловский угольный бассейн: экологические проблемы и пути решения. Пермь. гос. нац. исслед. ун-т., 2018. 288с.

217. Максимович Н.Г., Хайрулина Е.А. Геохимические барьеры и охрана окружающей среды. Пермь: Изд-во ПГУ, 2011. 248 с.

218. Максимович Н.Г., Хайрулина Е.А. Минералы геохимических барьеров в зоне влияния отходов Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. 2016. № 19. С. 324-330.

219. Максимович Н.Г., Черемных Н.В., Хайрулина Е.А. Экологические последствия ликвидации Кизеловского угольного бассейна. Географический вестник. 2006. № 2(4). С. 128-134.

220. Малеев К.И. Экологическое краеведение. Пермская область. Пермь, 2003. – 207с.

221. Мещерякова О.Ю. Зонирование закарстованных территорий по степени устойчивости к нефтяному загрязнению // Геология и полезные ископаемые западного Урала. 2015. - № 15. С. 136-139.

222. Мещерякова О.Ю. Карст района Полазненского месторождения нефти Пермского края // Фундаментальные исследования. 2013. - № 6 (3). С. 628-633.

223. Мещерякова О.Ю., Максимович Н.Г. Особенности нефтяного загрязнения карстовых районов // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. – 2011. – №11. – С.188-190.

224. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области / В.Б. Ильин, А.И. Сысо. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. - 229 с.

225. Минкина Т.М., Манджиева С.С., Федоров Ю.А., Сушкова С.Н., Бурачевская М.В., Невидомская Д.Г., Антоненко Е.М., Калиниченко В.П., Ендовицкий А.П., Ильин В.Б., Черненко В.В., Бакоев С.Ю. Способ оценки степени деградации техноландшафта при химическом загрязнении // Stredoevropsky vestnik pro vedu a vyzkum. 2015. том 76, С.89.

226. Митракова Н.В. Изменение некоторых биохимических показателей почв в зоне подтопления Камским водохранилищем // Антропогенная трансформация природной среды. 2011. № 1. С. 179-182.

227. Митракова Н.В. Агрогенная трансформация свойств «краснокнижной» темно-серой почвы в Пермском крае // Вестник Пермского университета. Серия: Биология. 2015. № 3. С. 251-258.

228. Митракова Н.В., Еремченко О.З. Биологическая активность почв зоны солеотвалов Соликамско-Березниковского экономического района // Почвы России: вчера, сегодня, завтра. Сборник статей по материалам Всероссийской с международным участием научной конференции, посвящённой Году экологии и 90-летию со дня рождения профессора В. В. Тюлина. Отв. за вып. А. М. Прокашев. 2017. С. 162-167.

229. Митракова Н.В., Еремченко О.З. Свойства техногенных солончаков в таежно-лесной зоне Пермского края // История и методология физиолого-биохимических и почвенных исследований. Сборник научных трудов по материалам научной конференции, посвященной 100-летию кафедры физиологии растений и микроорганизмов Пермского государственного национального исследовательского университета. 2017. С.149-153.

230. Митракова Н.В., Еремченко О.З. Состояние почв и квазиземов урбопедокомплексов жилых районов г. Перми // Экологические проблемы промышленных городов сборник научных трудов по материалам 8-й Международной научно-практической конференции. 2017. С. 177-181.

231. Мишланова Ю.Л. Материалы к изучению мелких млекопитающих и их эктопаразитов на востоке Пермского края // Проблемы антропогенной трансформация природной среды. Материалы международной конференции памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка. Под редакцией С.А. Бузмакова. 2019. С. 92-95.

232. Москвина Н.В., Еремченко О.З. Применение методов фитотестирования при исследовании почвенного покрова города Перми. Экологические проблемы промышленных городов сборник научных трудов по материалам 7-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2015. С. 146-148.

233. Мотузова Г.В. Соединения микроэлементов в почвах: системная организация, экологическое значение, мониторинг. Изд. 3-е. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. – 168 с.

234. Мощенко Д.И., Кузина А.А., Колесников С.И. Сравнительная оценка устойчивости черноземов Центрального Предкавказья и Кавказа к загрязнению свинцом, хромом, медью, никелем и нефтью. Устойчивое развитие горных территорий. 2020. Т. 12. № 1(43). С. 76-87. DOI 10.21177/1998-4502-2020-12-1-76-87.

235. Муравьёв А.Г., Каррыев Б.Б., Ляндзберг А.Р. Оценка экологического состояния почвы: Практическое руководство/ Под ред. А.Г. Муравьёва. – Изд. 4-е, перераб. и дополн. – СПб.: Крисмас+, 2015. – 208 с.

236. Назаров Н.Н. Карст Прикамья /Перм. гос. ун-т. Пермь, 1993. 96 с.

237. Назаров Н.Н. Реки Пермского Прикамья: Горизонтальные русловые деформации / Н.Н. Назаров, С.С. Егоркина. Пермь: ИПК «Звезда», 2004. 155 с.

238. Наумкин Д.В., Ворончихина Е.А., Леушина Н.Р. К экологическим проблемам заповедника «Басеги» // Минералогия техногенеза. 2013. № 14. С. 258-262.
239. Национальный Атлас почв Российской Федерации [Электронный ресурс], режим доступа: <https://soil-db.ru/soilatlas> (дата обращения: 16.08.2022).
240. Национальный Атлас России [Электронный ресурс], режим доступа: <https://nationalatlas.ru/> (дата обращения: 08.08.2022).
241. Нефти, газы и битумоиды Пермского Прикамья и сопредельных районов. Каталог физико-химических свойств / под ред. С.А. Винниковского и А.З. Кобловой, Пермь, 1997, с. 568.
242. Никифорова Е.М., Солнцева Н.П. Геохимия техногенных потоков и ореолов загрязнения в районах угледобычи (на примере Кизеловского бассейна). Геохимия ландшафтов и географии почв – М.: Изд-во МГУ, 1982.
243. Никифорова Е.М., Солнцева Н.П., Сорокина Н.А. Геохимия тяжелых металлов в природных и техногенных ландшафтах. – М.: Изд-во МГУ, 1983.
244. Новиков В.Н. География, история и экономика Ординского района Пермского края с древнейших времен до 2006 года. – Орда, 2005. 178 с.
245. Оборин А.А., Хмурчик В.Т., Иларионов С.А. Маркарова М.Ю., Назаров А.В. Нефтезагрязненные биоценозы. Пермь: Изд-во ПГУ, 2008. 511 с.
246. Оборин А.А., Шишкин М.А., Одинцова Т.А. О природе нефтяного загрязнения Камского водохранилища в районе Полазненского нефтепромысла // Факторы и механизмы регуляции развития бактериальных популяций. Сборник научных трудов. 1990. С. 70-73.
247. Овеснов С.А. Ботанико-географическое районирование Пермской области // Вестн. Перм. ун-та. Биология. 2000. Вып. 2. С. 13-21.
248. Овеснов С.А. Конспект флоры Пермской области. Перм. гос. ун-т. Пермь, 1997. 252 с.
249. Овеснов С.А. Местная флора. Флора Пермского края и ее анализ: учеб. пособие по спецкурсу. Перм. гос. ун-т. Пермь, 2009. 171 с
250. Овеснов С.А., Ефимик Е.Г., Санников П.Ю. Предварительный список редких лесных экосистем Пермского края // Устойчивое лесопользование. 2020. № 4 (63). С. 30-38.
251. Овчинников Л.Н. Прикладная геохимия. М., Недра, 1990. 248 с.
252. Огуреева Г. Н. Ботанико-географическое районирование СССР. М.: Изд-во МГУ, 1991. 76 с.
253. Огуреева Г.Н., Леонова Н.Б., Булдакова Е.В., Кадетов Н.Г., Архипова М.В. и др., Биомы России: карта. М., 2018.
254. Одум Е. Экология. – М.: Просвещение, 1968.

255. Ониси Х., Санделл Э. Геохимия мышьяка. - В кн.: Геохимия редких элементов. М., 1959.
256. Опекунов А.Ю., Опекунова М.Г., Кукушкин С.Ю., Ганул А.Г. Оценка экологического состояния природной среды районов добычи нефти и газа в ЯНАО // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. 2012. № 4. С. 87-101.
257. Опекунов А.Ю., Опекунова М.Г., Сомов В.В., Митрофанова Е.С., Кукушкин С.Ю. Влияние разработки Сибайского месторождения (Южный Урал) на трансформацию потока металлов в подчиненных ландшафтах // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2018. № 1. С. 14-24.
258. Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Кукушкин С.Ю., Арестова И.Ю. Индикаторы антропогенной нагрузки на природно-территориальные комплексы нефтегазоконденсатных месторождений Ямало-Ненецкого автономного округа // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. 2007. № 1. С. 124-127.
259. Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Кукушкин С.Ю., Ганул А.Г. Фоновое содержание химических элементов в почвах и донных осадках севера Западной Сибири // Почвоведение. 2019. № 4. С. 422-439. DOI 10.1134/S0032180X19020114.
260. Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Кукушкин С.Ю., Лисенков С. Результаты комплексных эколого-биогеохимических исследований ландшафтов в районах нефтегазодобычи Арктики // Комплексные исследования природной среды Арктики и Антарктики: Тезисы докладов международной научной конференции, Санкт-Петербург, 02–04 марта 2020 года. Санкт-Петербург: Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, 2020. С. 122-125.
261. Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Кукушкин С.Ю., Лисенков С.А., Власов С.В., Сомов В.В. Загрязнение почв севера Западной Сибири нефтяными и полициклическими ароматическими углеводородами: распределение и оценка экологического риска // Почвоведение. 2022. № 11. С. 1442-1460. DOI 10.31857/S0032180X22110107.
262. Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Арестова И.Ю., Кукушкин С.Ю., Спасский В.В., Никитина М.А., Елсукова Е.Ю., Шейнерман Н.А., Недбаев И.С. Использование методов биоиндикации и биотестирования в оценке экологического состояния территории газоконденсатных месторождений севера Западной Сибири // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2018. Т. 63. № 3. С. 326-344. DOI 10.21638/spbu07.2018.305.
263. Органическая геохимия / Под ред. Эглинтон Дж., Мерфи М.Т. Дж. Л.: Недра, 1974. 487 с.
264. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2511 – 09, утвержденные постановлением Главного

государственного санитарного врача РФ от 18.05.2009 года №32. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

265. Осипов, В. В. Анализ методов создания цифровых моделей поверхностей. Гео-Сибирь. 2011. Т. 1. № 2. С. 73-77.

266. Основы геоэкологии: Учебник / Под ред. В.Г. Морачевского. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 1994.

267. Официальный сайт Заповедника «Вишерский» / Государственный природный заповедник «Вишерский» [Электронный ресурс], режим доступа: <http://vishersky.ru/> (дата обращения: 25.06.2015).

268. Перельман А.И. Геохимия ландшафтов в зоне гипергенеза. М., 1974.

269. Перельман А.И. Геохимия. М.: Высшая школа, 1989.- 407 с.

270. Печеркин И.А. Геодинамика побережий Камских водохранилищ. Часть II. Геологические процессы. Пермь: Изд-во Пермск. ун-та, 1969. 307 с.

271. Пиковский Ю.И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. М.: Изд-во МГУ, 1993. 207 с.

272. Пиковский Ю.И., Геннадиев А.Н., Краснопеева А.А. Пузанова Т.А. Углеводородные геохимические поля в почвах района нефтяного промысла // Вестник Московского ун-та. Серия 5 География. 2009. №5. С. 28-34.

273. Пиковский Ю.И., Геннадиев А.Н., Оборин А.А. и др., Углеводородное состояние почв на территории нефтедобычи с карстовым рельефом // Почвоведение. 2008. № 11. С. 1314-1323.

274. Пиковский Ю.И., Смирнова М.А., Ковач Р.Г., Пузанова Т.А., Хлынина А.В., Хлынина Н.И. Поведение углеводородов в карстовых ландшафтах // Естественные и технические науки. 2014. № 9-10. С. 133-143.

275. Пинский Д.Л., Минкина Т.М., Манджиева С.С., Федоров Ю.А., Бауэр Т.В., Невидомская Д.Г. Особенности поглощения Cu(II), Pb(II) и Zn(II) черноземом обыкновенным из растворов нитратов, хлоридов, ацетатов и сульфатов // Почвоведение. – 2014. – № 1. С. 22-29.

276. ПНД Ф 16.1.42-04. Методика выполнения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв рентгенофлуоресцентным методом, г.Санкт-Петербург, 2010 г, 50 с.

277. ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98 Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой

278. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04 (ПНД Ф Т 16.1:2:2.3:3.7-04) Методика измерений оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) для определения

токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления. – М., 2014. – 36 с.

279. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.12-06 (ПНД Ф Т 16.1:2:2.3:3.9-06) Методика измерений количества *Daphnia magna* Straus для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления методом прямого счета. – М., 2014. – 39 с.

280. Пономарёва Е.С., Шестаков И.Е., Завьялова Н.Е. Антропогенная трансформация азота агродерново-подзолистых почв (по результатам исследований в длительном полевом опыте) // Антропогенная трансформация природной среды. 2017. № 3. С. 190-193.

281. Проворов В. М. Тектоника // Минерально-сырьевые ресурсы Пермского края. Пермь, 2006. С. 63-74.

282. Пьянков С. В., Березина О. А., Абдуллин Р. К., Тарасов А. В. Геоэкологическая ГИС ликвидированного Кизеловского угольного бассейна: информационное наполнение и функциональные возможности. ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2019. Т. 25. № 1. С. 308-319. DOI 10.35595/2414-9179-2019-1-25-308-319.

283. Пьянков С.В., Максимович Н.Г., Хайрулина Е.А., Шихов А.Н., Абдуллин Р.К. Применение ГИС-технологий для оценки и прогноза экологической ситуации в угледобывающих районах с критической техногенной нагрузкой // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2017. Т. 23. № 3. С. 154-167.

284. Пьянков С.В., Шихов А.Н., Абдуллин Р.К. Атлас опасных гидрометеорологических явлений Уральского Прикамья. - Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т, 2016. - 116 с.

285. Рябицев В.К. Птицы Урала, Предуралья и Западной Сибири. Екатеринбург, издат. Уральского университета, 2001, 608 с.

286. Саэт Ю.Е. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Свет, Б.А. Ревич, Е.П. Янин. – М.: Недра. – 1990. – 319 с.

287. Саэт Ю.Е., Раевич Б.А., Смирнова Р.С., Сорокина Е.П., Саркисян С.Ш. Город как техногенный субрегион биосферы // Биогеохимическое районирование и геохимическая экология. М.: Наука, 1985. С. 133–166.

288. Саэт Ю.Е., Смирнова Р.С. Геохимические принципы выявления зон воздействия промышленных выбросов в городских агломерациях // Ландшафтно-геохимическое районирование и охрана среды. М.: Мысль, 1983.

289. Сайранова П.Ш., Самофалова И.А. Кислотно-основные свойства горных почв на Северном и Среднем Урале // Антропогенная трансформация природной среды. 2018. № 4. С. 94-97.

290. Сайранова П.Ш., Самофалова И.А. Формы кислотности горных почв на Северном Урале (заповедник «Вишерский») // Антропогенная трансформация природной среды. 2017. № 3. С. 193-195.
291. Самофалова И.А. Агроэкологическая оценка техногенно-засоленных почв на территории Аптугайского нефтяного месторождения // Антропогенная трансформация природной среды. 2019. № 5. С. 51-55.
292. Самофалова И.А. Геопространственное моделирование физико-химических свойств горных почв (Северный Урал, заповедник «Вишерский») // Российский журнал прикладной экологии. 2019. № 2. С. 34-41.
293. Самофалова И.А. Морфолого-генетические особенности почв на горе Хомги-Нёл (Северный Урал, заповедник «Вишерский») // Пермский аграрный вестник. 2015. № 4 (12). С. 64-72.
294. Самофалова И.А. Почвенное разнообразие тундровых и гольцовых ландшафтов в заповеднике «Басеги» // Географический вестник. 2018. № 1 (44). С. 16-28.
295. Самофалова И.А. Разнообразие почв низкогорных ландшафтов и особенности их формирования на западном макросклоне Среднего Урала (заповедник «Басеги») // Пермский аграрный вестник. 2017. № 3 (19). С. 10-17.
296. Самофалова И.А. Разнообразие почв низкогорных ландшафтов и особенности их формирования на западном макросклоне Среднего Урала (заповедник «Басеги») // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник. 2017. № 3 (19). С. 10-17.
297. Самофалова И.А. Формирование агроэкологических групп земель на территории учебного хозяйства «Липовая гора» // Инновационный потенциал естественных наук. Труды международной научной конференции. Том. II. Экология и рациональное природопользование. Управление инновационной деятельностью. 2006. С. 174-179
298. Самофалова И.А. Ценные почвенные объекты памятника природы «Вишневая гора» (Пермский край) // Географический вестник. 2019. № 2 (49). С. 101-114.
299. Самофалова И.А. Эколого-геохимическая оценка почв ненарушенных экосистем на Среднем Урале // Сахаровские чтения 2017 года: экологические проблемы XXI века. 2017. С. 176-177.
300. Самофалова И.А., Кондратьева М.А. Буферность горных почв субальпийского пояса к кислотному воздействию (заповедник «Басеги») // Пермский аграрный вестник. 2016. № 3 (15). С. 94-103.
301. Самофалова И.А., Лузянина О.А. Почвы заповедника «Басеги» и их классификация // Пермский аграрный вестник. 2014. № 1 (5). С. 50-60.

302. Самофалова И.А., Лузянина О.А. Эколого-генетическая характеристика почв горно-лесного пояса на Среднем Урале // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 3-4. С. 1426-1431.
303. Самофалова И.А., Лузянина О.А., Кондратьева М.А., Мамонтова Н.В. Элементный состав почв в ненарушенных экосистемах на Среднем Урале // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 5 (115). С. 67-74.
304. Самофалова И.А., Рогова О.Б., Лузянина О.А., Савичев А.Т. Геохимические особенности распределения макроэлементов в почвах ненарушенных ландшафтов Среднего Урала (на примере заповедника «Басеги») // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2016. № 85. С. 56-76.
305. Самофаова И.А. Почвенное разнообразие тундровых и гольцовых ландшафтов в заповеднике "Басеги" / И.А. Самофалова // Географический вестник, 2018. -№ 1. -С. 16-28.
306. Санников П.Ю. Дополнение базы данных особо охраняемых природных территорий Пермского края // Антропогенная трансформация природной среды. Научные чтения памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка: материалы междунар. школы-семинара молодых ученых (23-25 сентября 2015 г.) / под ред. С.А. Бузмакова; Изд-во ПГНИУ. Пермь, 2015. С. 111-115.
307. Санников П.Ю. Сеть особо охраняемых природных территорий Пермского края: современное состояние и перспективы развития. Дис.. канд. геогр. наук (25.00.23 - физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов). Науч. руководитель: д.геогр.н., проф. С.А. Бузмаков. Пермь: Пермский гос. нац. исслед. ун-т, 2014. 207 с.
308. Санников П.Ю. Сохранение степных сообществ Прикамья: Воскресенская степь // Антропогенная трансформация природной среды. №4, 2018. С. 101-104.
309. Санников П.Ю., Андреев Д.Н., Бузмаков С.А. Выявление и анализ сухостоя при помощи беспилотного летательного аппарата. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 3. С. 103-113. DOI 10.21046/2070-7401-2018-15-3-103-113.
310. Санников П.Ю., Бузмаков С.А. Перспективы развития сети особо охраняемых природных территорий Пермского края. Монография. Пермский гос. нац. исслед. ун-т. Пермь: изд-во ПГНИУ. 2015. 173 с.
311. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [Электронный ресурс], режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 09.08.2022)

312. Сарманова З.Р., Самофалова И.А. Почвенный покров болотного массива на западном склоне горы Северный Басег // Антропогенная трансформация природной среды. 2017. № 3. С 196-199.
313. Сединин А.М., Максимович Н.Г., Хмурчик В.Т., Деменев А.Д., Березина О.А., Мещерякова О.Ю. Экологические проблемы территории Кизеловского угольного бассейна и их комплексное решение // Сергеевские чтения. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Под ред. В.И. Осипова, Н.Г. Максимовича, А.А. Баряха, Е.В. Булдаковой, А.Д. Деменева, О.Н. Ереминой, В.Г. Заиканова, В.Н. Катаева, Ю.А. Мамаева, О.Ю. Мещеряковой. 2019. С. 539-545.
314. Селиванов И.А. Растительность долины р. Сылвы на участке между г. Кунгуром и с. У.- Кишертью // Учен. зап. / Перм. пед. ин-т. 1954. Вып. 13. С. 259-299
315. Семенов В. Вишерский заповедник / Активный отдых на Урале. – 2008. – Режим доступа: http://nordural.ru/article/visherskiy_zapovednik/ (дата обращения: 25.06.2015).
316. Сивков Д.Е., Санников П.Ю. Геоинформационная база данных "Особо охраняемые территории и объекты Пермского края" // Антропогенная трансформация природной среды. №4, 2018. С. 104-106.
317. Симкин Г.Н. Биогеоценозы таежного леса. М.: Изд-во МГУ, 1974. 175 с.
318. Соболева Е.Б. Основные параметры сезонного стока рек Камского бассейна / Гидрология и метеорология. Анализ и прогноз элементов водных и климатических ресурсов Урала, сопредельных территорий. – Пермь, 1981. С.57-64.
319. Соколов Э.М., Максимович Н.Г., Мещерякова О.Ю. Формирование нефтяного загрязнения сульфатного массива в карстовых районах и методы его ликвидации // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2015. - №2. – С. 79-89.
320. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1998. 369 с.
321. Солнцева Н.П., Никифорова Е.М. Влияние угледобычи на геохимию ландшафтов (на примере Подмосковского и Кизеловского бассейнов). Охрана геологической среды от отрицательного влияния предприятий горнодобывающего профиля. - М.: Изд-во МГУ, 1984. С. 189-192.
322. Солнцева Н.П., Никифорова Е.М. Кадмий, свинец и цинк в почвах Кизеловского угольного бассейна. Геохимия тяжелых металлов в природных и техногенных ландшафтах. – М.: Изд-во МГУ, 1983. С. 150-167.
323. Состояние и охрана окружающей среды г. Перми в 2009 г.: справочно-информационные материалы / Муниципальное управление по экологии и природопользованию администрации города Перми, 2010. 55 с.

324. Софроницкий П.А. Восточная окраина Русской платформы. Предуральский краевой прогиб. Западно-Уральская внешняя зона складчатости // Геология СССР. М.: Недра, 1969. Т. 12. ч.1. кн.2. С. 12-43.
325. Софроницкий П.А. Геологический очерк // Хим. география и гидрогеохимия Пермской области. Пермь, 1967. С.26-40.
326. Сочава Б.В. Введение в учение о геосистемах. – Новосибирск : Наука, 1978. - 319 с.
327. Троицкий Е.Я. Основные проблемы учения о микроэлементах в системе почва-растение // Вестник МГУ. Сер. Биология. № 5. 1960.
328. Турковская О.В., Муратова А.Ю., Дубровская Е.В., Бондаренкова А.Д., Любунь Е.В. Фиторемедиационный потенциал сорго веничного для очистки земель от углеводородов нефти и тяжелых металлов. Аграрный научный журнал. 2020. № 12. С. 50-54. DOI 10.28983/asj.y2020i12pp50-54.
329. Федоров Ю.А., Сухоруков В.В., Трубник Р.Г. Аналитический обзор: эмиссия и поглощение парниковых газов почвами. Экологические проблемы // Антропогенная трансформация природной среды. 2021. Т. 7. № 1. С. 6-34. DOI: 10.17072/2410-8553-2021-1-6-34
330. Хайрулина Е.А. Влияние центров горнодобывающей и горноперерабатывающей промышленности на заповедные территории // Эколого-экономические проблемы освоения минерально-сырьевых ресурсов тезисы докладов международной научной конференции. 2005. С. 213-214.
331. Хайрулина Е.А. Воздействие фильтрационных вод шламохранилища с соледержащими отходами на поверхностные и подземные воды. Географический вестник = Geographical bulletin. 2018. №2(45). С. 145–155. DOI: 10.17072/2079-7877-2018-2-145-155.
332. Хайрулина Е.А. Ландшафтно-геохимические процессы в районе разработки Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (Пермский край) // География и регион. Материалы международной научно-практической конференции : в 6 томах. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет». 2015. с. 157-163.
333. Хайрулина Е.А. Техногенная трансформация ландшафтно-геохимических процессов в районе добычи калийно-магниевых солей // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 3. С. 41-45.
334. Хайрулина Е.А. Фитоиндикационные показатели загрязнения тяжелыми металлами горно-таежных комплексов // Вопросы современной науки и практики. университет

им. В.И. Вернадского. Изд-во: Тамбовский государственный технический университет (Тамбов), № 10-12, - 2010 г. С. 44-47

335. Хайрулина Е.А., Ворончихина Е.А. Оценка современного биогеохимического состояния заповедных экосистем Пермского края. Вест. Перм. ун-та, Сер. Биология. 2007. Вып. 5 (10). С. 155-160.

336. Хайрулина Е.А., Максимович Н.Г. Развитие сероводородной обстановки в таёжных ландшафтах Верхнего Прикамья в условиях техногенного галогенеза // материалы Международной научной конференции, посвящённой 110-летию со дня рождения академика Константина Игнатьевича Лукашёва (1907-1987). 2017. С. 132-134.

337. Хайрулина Е.А., Митракова Н.В., Новоселова Л.В., Порошина Н.В. Трансформация почвенно-растительного покрова в результате влияния изливающихся древних рассолоподъёмных скважин на территории Пермского края. Географический вестник = Geographical Bulletin. 2021. №4(59). С. 113–129. DOI: 10.17072/2079-7877-2021-4-113-129.

338. Хайрулина Е.А., Никифорова Е.М., Ворончихина Е.А. Влияние регионального переноса загрязнителей на трансформацию биогеохимических параметров горнотаёжных ландшафтов. Теоретическая и прикладная экология. 2011. № 1. С. 61-68.

339. Хайрулина Е.А., Никифорова Е.М., Ворончихина Е.А. Влияние регионального переноса загрязнителей на трансформацию биогеохимических параметров горнотаёжных ландшафтов // Теоретическая и прикладная экология. 2011. № 1. С. 61-68.

340. Хайрулина Е.А., Новоселова Л.В., Порошина Н.В. Природные и антропогенные источники водорастворимых солей на территории Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей // Географический вестник. 2017. № 1 (40). С. 93-101.

341. Хайрулина Е.А., Новоселова Л.В., Шестаков И.Е., Богущ А.А. Формирование природно-техногенных ландшафтов при разработке месторождения калийных солей // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири. 2018. С. 220-223.

342. Хайрулина Е.А., Тимофеев В.И., Кошелева Н.Е. Потенциально токсичные элементы в почвах индустриального района г. Перми // Географический вестник. 2019. № 2. С. 80-100.

343. Хасаншина Э.М., Хакимова А.А., Хасаншин Х.А. Оценка перспектив получения ванадия из тяжелой нефти. Вестник современных исследований. 2018. №12.15(27). С. 280-282.

344. Химия тяжелых металлов, мышьяка и молибдена в почвах / Под ред. Н.Г. Зырина и Л.К. Садовниковой - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985 - 208 с, ил.

345. Хорошевская В.О. Закономерности миграции биометаллов на геохимических барьерах "суша - вода" в районах залегания угольных пластов и их промышленной разработки

(на примере Донецкого угольного бассейна). Естественные и технические науки. 2012. № 1(57). С. 206-213.

346. Черников А.А. Особенности формирования геохимических барьеров в приповерхностной и глубинной зонах гипергенеза // Геохимические барьеры в зоне гипергенеза. М.: Изд-во МГУ, 2002. С. 154-161.

347. Чибилев А.А. Урал: природное разнообразие и евро-азиатская граница. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 160 с.

348. Чирков А.Д., Дзюба Е.А. Эколого-геохимическая изученность территории Пермского края // Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды: сборник материалов всероссийской школы-семинара, посвященной памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка, Пермь, 22–23 апреля 2021 года. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2021. С. 331-336.

349. Шепель А.И. Видовое разнообразие наземных позвоночных Пермского края // Геоэкологические проблемы Приуралья: материалы X летней студенческой школы-семинара. - Пермский государственный национальный исследовательский университет. - 2012. - С. 27-53.

350. Шепель А.И. Животные Прикамья / А.И. Шепель [и др.]. Пермь, 2001. Т.2. – 166 с.

351. Шепель А.И. Хищные птицы и совы Пермского Прикамья. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1992. 926 с.

352. Шепель, А.И. Птицы города Перми и его окрестностей (история изучения, современное видовое разнообразие) / А.И. Шепель, Г.К. Матвеева // Известия Самарского научного центра РАН. -2014. -Том 16.-№ 5(1).-С. 349-355.

353. Шестаков И.Е. Выделение ценных почвенных объектов на территории г. Перми в рамках действующей сети ООПТ // Антропогенная трансформация природной среды. 2013. № 1. С. 86-90.

354. Шестаков И.Е., Еремченко О.З. Картографирование почвенного покрова г. Пермь // Отражение био-, гео-, антропогенных взаимодействий в почвах и почвенном покрове. Сборник материалов V Международной научной конференции, посвященной 85-летию кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ. Министерство образования и науки Российской Федерации, Томский государственный университет, Общество почвоведов им. В.В. Докучаева, Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Институт мониторинга климатических и экологических систем. 2015. С. 150-153.

355. Шестаков И.Е., Шутова Е.А. Почвенный покров некоторых археологических памятников пермского района: его значение и свойства // Антропогенная трансформация природной среды. 2018. № 4. С. 119-123.

356. Шестаков, И.Е. Экологическое состояние почвенного покрова г. Перми: дис.. к.б.н. - Пермь, 2012. 219 с.
357. Шимановский Л.А., Шимановская И.А. Пресные подземные воды Пермской области. - Пермь: Перм. кн. изд., 1973.
358. Шимановский Л.А., Шимановская И.А. Районирование подземных вод Пермской области по условиям водоснабжения // Вопросы физической географии Урала, вып.1. Уч. зап. Пермского ун-та №308. Пермь, 1973. С. 103-119.
359. Шимановский Л.А., Шимановская И.А.. Пресные подземные воды Пермской области. Пермское книжное издательство, 1973. — С. 198.
360. Шихов А.Н. Комплексный мониторинг и оценка геоэкологических последствий опасных гидрометеорологических явлений на территории Уральского Прикамья. Диссертация канд. геогр. наук. Пермь. 2014. 216 с.
361. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004, 342 с.
362. Шкляев А.С. Климат Пермской области / А.С. Шкляев, В.А. Балков. Пермь, 1963. 191 с.
363. Шкляев В.А., Шкляева Л.С. Климатические ресурсы Камского Приуралья / Географический вестник. 2006. №2 – с. 97-110
364. Школьник М.Я. Значение микроэлементов в жизни растений и в земледелии. М.: Изд-во АН СССР, 1950.
365. Шураков А.И. Животный мир Прикамья /сост. А.И. Шураков, Г.А. Воронов, Ю.Н. Каменский. Пермь: Перм. кн. изд-во, 1989. 193 с.
366. Якушевская И.В. Микроэлементы в природных ландшафтах. – М.: Изд. МГУ, 1973.
367. Ahmadi M., Jorfi S., Azarmansuri A., Jaafarzadeh N., Mahvi A.H., Darvishi Cheshmeh Soltani R., Akbari H.R., Akhbarizadeh R. (2017). Zoning of heavy metal concentrations including Cd, Pb and As in agricultural soils of Aghili plain, Khuzestan province, Iran. Data in Brief, 14, 20 - 27. DOI:10.1016/j.dib.2017.07.008.
368. Andreev D.N., Buzmakov S.A. (2021) Anthropogenic transformation of forest ecosystems by geochemical and photosynthetic parameters. Anthropogenic Transformation of Nature. №7. 49-57. DOI: 10.17071/2410-8553-2021-2-49-57
369. Angulo E. The Tomlinson pollution load index applied to heavy metal “Mussel_Watah” data: a useful index to assess coastal pollution // Sci. Tot. Environ. 1996. V. 187. P. 19–56.
370. Ayari J., Barbieri M., Barhoumi A., Belkhiria W., Braham A., Dhaha F., Charef A. (2022) A regional-scale geochemical survey of stream sediment samples in Nappe zone, northern

Tunisia: Implications for mineral exploration. *Journal of Geochemical Exploration*. DOI: 10.1016/j.gexplo.2022.106956.

371. Azimov O., Bunina A., & Karmazynenko S. (2018). Geoinformation aspects of the surface relief impact on the secondary redistribution of industrial pollutions in soils. DOI: 10.3997/2214-4609.201801812.

372. Bailey R.G. *Ecoregions. The Ecosystem Geography of the Oceans and Continents*. 2d ed. Springer Science+Media, 2014. 180 p. DOI 10.1007/978-1-4939-0524-9

373. Baure M., Eichinger L., Elsass P., Kloppmann W., Wirsing G. Isotopic and hydrochemical studies of groundwater flow and salinity in the Southern Rhine Graden. *Int. J. Earth Sci.* 2005. 94. P. 565–579. DOI:10.1007/s00531-005-0500-5.

374. Bian Z, Lu Q (2013) Ecological effects analysis of land use change in coal mining area based on ecosystem service valuing: A case study in Jiawang. *Environmental Earth Sciences*. № 68(6). DOI: 10.1007/s12665-012-1855-0

375. Buzmakov S., Egorova D., Gatina E. Effects of crude oil contamination on soils of the Ural region// *Journal of Soils and Sediments*. 2018. C. 1-11.

376. Buzmakov S., Egorova D., Gatina E. Effects of crude oil contamination on soils of the Ural region. *Journal of Soils and Sediments*. 2019. 19(1). P. 38–48. DOI: 10.1007/s11368-018-2025-0.

377. Buzmakov S.A., Andreev D.N., Zaytsev A.A., Khotyanovskaya Y.V. and Voronov G.A. Possible sources of pollution by oil products of water body in karst area //2019 IOP Conf. Ser.: *Earth Environ. Sci.* 321 012051. DOI: 10.1088/1755-1315/321/1/012051

378. Buzmakov S.A., Egorova D.O., Khotyanovskaya Y.V., Andreev D.N., Dziuba E.A., Shestakov I.E., Ivshina I.B., Kuyukina M.S., Elkin A.A., Nazarov A.V. 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. Vol. 43. № 12. P. 5099-null. DOI 10.1007/s10653-021-00998-9.

379. Buzmakov S.A., Khotyanovskaya. Y.V. Degradation and pollution of lands under the influence of oil resources exploitation // *Applied Geochemistry*, Volume 113, February 2020, 104443. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2019.104443

380. Cardoso A., Mainardi F.F. (2021) A first evaluation of water resource conditions after an environmental reclamation effort at a former degraded coal mining area in Southern Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*. №193(10). DOI: 10.1007/s10661-021-09393-4

381. Daliakopoulou I.N., Tsanisab I.K., Koutroulisa A., Kourgialasa N.N., Varouchakisa A.E., Karatzasa G.P., Ritsemac C.J. The threat of soil salinity: A European scale review. *Science of The Total Environment*. V. 573. P. 727-739. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.08.177.

382. Dzyuba E.A. A study of heavy metals load on soils from the state nature reserve "Vishersky" // Новое в естественных и гуманитарных науках = Innovations in Science and Humanities: Сборник материалов межвузовских научно-практических студенческих конференций, Пермь, 01 января 2015 года – 31 2016 года. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2016. P. 34-37.
383. Eremchenko O.Z., Moskvina N.V., Mitrakova N.V., Efimik E.G., Shestakov I.E. A multifaceted approach to assessing the effectiveness of remediating oil-contaminated soils. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*. 2021. Vol. 6. № 4. P. 26-40. DOI 10.21685/2500-0578-2021-4-3.
384. FAO. World Reference Base for Soil Resources 2014, Update 2015 International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps; World Soil Resources Reports No. 106; FAO: Rome, Italy, 203p.
385. Fazekašová D, Fazekaš J, Štofejová L (2021) Metal pollution assessment of surface water in the emission field of the slovinky tailing impoundment (Slovakia). *Water*. №13 (3143). DOI: 10.3390/w13213143
386. Fernández-Caliania J.C., Giráldez M.I., Wakena W.H., Del Ríoa Z.M., Córdoba F. (2021) Soil quality changes in an Iberian pyrite mine site 15 years after land reclamation. *Catena*. 206. DOI: 10.1016/j.catena.2021.105538
387. Fiedler S., Siebe C., Herre A., Roth B., Cram S., Stahr K. Contribution of oil industry activities to environmental loads of heavy metals in the Tabasco lowlands, Mexico // *Water Air Soil Pollut.* 2009. V. 197. P. 35-47.
388. Gao H. (2021). Agricultural Soil Data Analysis Using Spatial Clustering Data Mining Techniques. 2021 IEEE 13th International Conference on Computer Research and Development (ICCRD), 83-90. DOI: 10.1109/ICCRD51685.2021.9386553.
389. Goodbar J. Oil and gas drilling in cave and karst a: a process of mitigating impacts // *Proceedings of the 1997 Karst and Cave Management Symposium 13th National Cave Management Symposium*. -1997. -P. 196-201.
390. Greaves J.E. Arsenic in soils. - *Biochem. Bull*, № 2, 1913.
391. Hu H, Han L, Li L, Wang H, Xu T (2021) Soil heavy metal pollution source analysis based on the land use type in Fengdong District of Xi'an, China. *Environmental Monitoring and Assessment*. 193(10). DOI: 10.1007/s10661-021-09377-4
392. Hu Z., Gao S. Upper crustal abundances of trace elements: A revision and update. *Chem. Geol.* 2008. Vol. 253, Iss. 3-4. P. 205-221
393. Jung H.S., Lim D., Xu Z., Kim J., Lee J., Jeong D. (2021) Zoning of coastal environments based on sediment textural and geochemical characteristics and their major

oceanographic constraints: A case study in South Korea. *Journal of Asian Earth Sciences*. DOI: 10.1016/j.jseaes.2021.104883.

394. Khayrulina E., Bogush A., Novoselova L., Mitrakova N. Properties of Alluvial Soils of Taiga Forest under Anthropogenic Salinisation. *Forests* 2021, 12, 321. DOI: 10.3390/f12030321.

395. Khayrulina EA, Khmurchik VT, Maksimovich NG (2016) The Kizel Coal Basin (The Western Urals, Russia): Environmental problems and Solutions. *Mining Meets Water – Conflicts and Solutions. Proceedings IMWA2016 Annual Conference*. 761-767.

396. Leorn L., Parise M. Managing environmental problems in Cuban karstic aquifers // *Environmental geology* 58. -2009. -P. 257-283.

397. Lisk D.J. Trace metals in soils, plants and animals. — *Adv. Agron.*, vol.24, 1972.

398. Long J., Tan D., Deng S., Lei M. (2018) Pollution and ecological risk assessment of antimony and other heavy metals in soils from the world's largest antimony mine area, China. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. DOI:10.1080/10807039.2017.1396531.

399. Magno M, Luffman I, Nandi A (2021) Evaluating spatial regression-informed cokriging of metals in soils near abandoned mines in bumpus cove, Tennessee, USA. *Geosciences*. V.11. DOI: 10.3390/geosciences11110434

400. Martínez-López S., Martínez-Sánchez M.J., Gómez-Martínez M.D., Pérez-Sirvent C. (2020). Arsenic zoning in a coastal area of the Mediterranean Sea as a base for management and recovery of areas contaminated by old mining activities. *Applied Clay Science*, 199, 105881. DOI:10.1016/j.clay.2020.105881.

401. Nassiri O, Lâarabi EL Hachimi M, Ambrosi JP, Rhoujjati A (2021) Contamination impact and human health risk in surface soils surrounding the abandoned mine of Zeïda, High Moulouya, Northeastern Morocco. *Environment Development and Sustainability*. 23(1). DOI: 10.1007/s10668-021-01380-6

402. Nitzsche N., Siebel W., Stober I. Geologische, hydrogeologische und anthropogene Einflüsse auf die Wasserchemie der Möhlin, Schwarzwald – eine Momentaufnahme. *Grundwasser - Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie*. 2021. 26. P.175–189. DOI: 10.1007/s00767-021-00480-4.

403. Ogbo E.M., Okhuoya J.A. Bioavailability of some heavy metals in crude oil contaminated soils remediated with *Pleurotus tuber-regium* Fr. *Singer // Asian J. Biol. Sci.* 2011. V. 4. P. 53-61.

404. Olson D.M., Dinerstein E., Wikramanayake E., Burgess N. et al. Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on Earth // *BioScience*, 2001, vol. 51, №11, p. 933–938.

405. Opekunov A., Opekunova M., Kukushkin S., Lisenkov S. Impact of drilling waste pollution on land cover in a high subarctic forest-tundra zone. *Pedosphere*. 2022. V. 32, P. 414-425. DOI: 10.1016/S1002-0160(21)60083-8/

406. Parise M. Flood history in the karst environment of Castellana-Grotte (Apulia, southern Italy) // *Natural hazards and Earth system sciences* 3. -2003. -P. 593-604.
407. Pashkevich M.A., Bech J., Matveeva V.A., & Alekseenko A.V. (2020). Biogeochemical assessment of soils and plants in industrial, residential and recreational areas of Saint Petersburg. DOI:10.31897/pmi.2020.1.125.
408. Podlipskiy I.I., Dubrova S.V., Zelenkovskiy P., Lebedev S.V., Izosimova O.S., Chernova E.N., Nesterov E., Egorov P. (2020). Geocological zoning of modern geological objects composed of technogenic soils. Distribution of Zn, Cu, Pb, Fe, Hg and As in technogenic dispersed soils and bottom sediments. DOI:10.1088/1755-1315/579/1/012016.
409. Polemio M., Dragone V., Limoni P. Monitoring and methods to analyse the groundwater quality degradation risk in coastal karstic aquifers (Apulia, Southern Italy) // *Environmental Geology* 58. -2009. -P. 299-312.
410. Pyankov S.V., Maximovich N.G., Khayrulina E.A., Berezina O.A., Shikhov A.N., Abdullin R.K. (2021) Monitoring Acid Mine Drainage's Effects on Surface Water in the Kizel Coal Basin with Sentinel-2 Satellite Images. *Mine Water and the Environment*. DOI: 10.1007/s10230-021-00761-7
411. Redondo-Vega J.M., Melón-Nava A., Peña-Pérez S.A., Santos-González J., Gómez-Villar A., González-Gutiérrez R.B. (2021) Coal pit lakes in abandoned mining areas in León (NW Spain): characteristics and geocological significance. *Environmental Earth Sciences*. 80(24). DOI: 10.1007/s12665-021-10037-6
412. Rezaei H., Mehrabi B., Khanmirzaee A., & Shahbazi K. (2019). Arsenic heavy metal mapping in agricultural soils of Alborz province, Iran. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 101, 127 - 139. DOI:10.1080/03067319.2019.1661398.
413. Ruppen D., Chituri O.A., Meck M.L., Pfenninger N., Wehrli B. (2021) Community-Based Monitoring Detects Sources and Risks of Mining-Related Water Pollution in Zimbabwe. *Frontiers in Environmental Science*. DOI: 10.3389/fenvs.2021.754540
414. Rustamov G., İsmaylova L. (2022) Geochemistry landscape classification: toxicity of chemical elements and their impact on human health. *Environmental Geochemistry and Health*. 44(1). 1-13. DOI: 10.1007/s10653-020-00747-4
415. Silva R.J., Silva Y.J., Straaten P., Nascimento C.W., Biondi C.M., Silva Y.J., Araújo Filho, J.C. (2022). Influence of parent material on soil chemical characteristics in a semi-arid tropical region of Northeast Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194. DOI:10.11137/2018_2_397_409.
416. Solgi E., Jalili M.J. (2021). Zoning and human health risk assessment of arsenic and nitrate contamination in groundwater of agricultural areas of the twenty two village with geostatistics

(Case study: Chahardoli Plain of Qorveh, Kurdistan Province, Iran). *Agricultural Water Management*, 255, 107023. DOI:10.1016/J.AGWAT.2021.107023.

417. Vodyanitskii Y. N. Contamination of soils with heavy metals and metalloids and its ecological hazard (analytic review). *Eurasian Soil Science*. 2013. Vol. 46. No 7. P. 793-801. DOI 10.1134/S1064229313050153.

418. Waltham T., Bell F., Culshaw M. Sinkholes and subsidence. Karst and cavernous rocks in engineering and construction. Praxis Publishing Ltd, Chichester, UK, 2005. -382p.

419. Wang R., Hou W., Li Y., Yu T., & Chen J. (2019). Land Safety Zoning Method in High-Selenium and High-Cadmium Areas. *Huan jing ke xue= Huanjing kexue*, 40 12, 5524-5530. DOI:10.13227/j.hjcx.201905006.

420. Wang Y, Xu W, Li J, Song Y, Hua M, Li W, Wen Y, Li T, He X (2022) Assessing the fractionation and bioavailability of heavy metals in soil–rice system and the associated health risk. *Environmental Geochemistry and Health*. 44(2). DOI: 10.1007/s10653-021-00876-4

421. Yu L., Zhang F., Zang K., He L., Wan F., Liu H., Zhang X., Shi Z. (2021). Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Cultivated Land Based on Soil Geochemical Zoning: Yishui County, North China Case Study. *Water*. DOI:10.3390/w13233322.

422. Zhang R., Wu P., Ye H., Li X. (2021) Hydrogeochemical Characteristics and Quality Assessment of Mine Water in Coalfield Area, Guizhou Province, Southwest. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 107(3). DOI: 10.1007/s00128-021-03322-4.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Описание пробных площадок заповедника «Вишерский»

Название фитоценоза	Пробные площадки	Описание растительности	Описание почв
Елово-пихтовый лес кислично-мелко-папоротниковый	№1, №8	Древесный ярус образован <i>Picea obovata</i> , <i>Abies sibirica</i> и в меньшей <i>Betula pendula</i> . Формула древостоя 5П4Е1Б, сомкнутость крон 0,4. Средняя высота древостоя 18–20 м, диаметр – 0,22 м. В подросте отмечено возобновление <i>Picea obovata</i> . Подлесок образован <i>Sorbus sibirica</i> . Кустарниковый ярус развит слабо и состоит из <i>Rosa acicularis</i> , <i>Lonicera xylosteum</i> . В травяно-кустарничковом ярусе обычны бореальные виды таежного мелкотравья: <i>Oxalis acetosella</i> , <i>Majantemum bifolium</i> , <i>Linnaea borealis</i> . Присутствуют папоротники <i>Gymnocarpium dryopteris</i> , <i>Athyrium filix-femina</i> . Проективное покрытие травянисто-кустарничкового яруса составляет не более 40 %. Среди мхов преобладают <i>Hylocomium splendens</i> и <i>Pleurozium schreberi</i> . Синантропные виды не отмечены.	Горно-подзолистые почвы, кислые, на элювии и делювии образовавшиеся из метаморфических и других пород. По гранулометрическому составу среднесуглинистые
Смешанный лес	№2	Древесный ярус образован <i>Betula pubescens</i> и <i>Picea obovata</i> , в меньшей степени в сложении древостоя участвует <i>Abies sibirica</i> . Формула древостоя 4Б4Е2П, сомкнутость крон 0,3. Средняя высота <i>Betula pubescens</i> 18–20 м, темнохвойные виды высотой не более 10–12. В подросте отмечено возобновление <i>Picea obovata</i> . Подлесок сформирован <i>Salix phylicifolia</i> и <i>Sorbus sibirica</i> . Кустарниковый ярус отсутствует. Среди трав присутствуют <i>Gymnocarpium dryopteris</i> , <i>Majantemum bifolium</i> , <i>Equisetum sylvaticum</i> , <i>Linnaea borealis</i> , <i>Rubus arcticus</i> , <i>Calamagrostis langsdorffii</i> . Изредка встречаются <i>Cortusa Altaica</i> , <i>Vaccinium myrtillus</i> . Проективное покрытие травянисто-кустарничкового яруса составляет не более 30 %. Отмечены участки зеленых мхов, где преобладает <i>Hylocomium splendens</i> . Проективное покрытие мохово-лишайникового яруса не превышает 30 %. Синантропные виды отсутствуют.	Горно-подзолистые почвы, кислые, на элювии и делювии образовавшиеся из метаморфических и других пород. По гранулометрическому составу относятся к тяжелым суглинкам.
Пихтово-еловый лес чернично-мелко-папоротниковый	№3	Древесный ярус образован <i>Picea obovata</i> и <i>Abies sibirica</i> , единично отмечена <i>Betula pubescens</i> . Формула древостоя 6Е4Пед.Б, сомкнутость крон 0,4. Средняя высота 20–22 м. В подросте присутствуют <i>Picea obovata</i> и <i>Pinus sibirica</i> . Подлесок образован <i>Sorbus sibirica</i> . В травянисто-кустарничковом ярусе доминируют <i>Vaccinium myrtillus</i> и <i>Gymnocarpium dryopteris</i> , также встречаются <i>Majantemum bifolium</i> , <i>Linnaea borealis</i> , <i>Vaccinium vitis-idaea</i> , <i>Lycopodium annotinum</i> . Единично отмечен <i>Solidago virgaurea</i> . Проективное покрытие травянисто-кустарничкового яруса составляет не более 30 %. Довольно мощный моховой покров сформирован с преобладанием <i>Hylocomium splendens</i> и присутствием <i>Pleurozium schreberi</i> . Проективное покрытие мохово-лишайникового яруса достигает 50 %. Синантропные виды отсутствуют.	
Пихтово-еловый лес с черничником	№4	В древесном ярусе преобладает <i>Picea obovata</i> , в меньшей степени присутствует <i>Abies sibirica</i> , в качестве примеси отмечена <i>Betula pubescens</i> , единично произрастает <i>Pinus sibirica</i> . Формула древостоя 6Е3П1Бед.С(с). Древостой разрежен, сомкнутость крон 0,1. Средняя высота 20–22 м., но отдельные экземпляры <i>Pinus sibirica</i> достигают высоты 25м. В подросте преобладает <i>Picea obovata</i> , присутствуют <i>Abies sibirica</i> , <i>Betula pubescens</i> , <i>Pinus sibirica</i> . Подлесок образован <i>Sorbus sibirica</i> . В травянисто-кустарничковом ярусе преобладает <i>Vaccinium myrtillus</i> , встречаются <i>Equisetum sylvaticum</i> , <i>Majantemum bifolium</i> , <i>Lycopodium annotinum</i> , <i>Gymnocarpium dryopteris</i> , <i>Vaccinium vitis-idaea</i> . Проективное покрытие травянисто-кустарничкового яруса составляет не более 40 %. Мохово-лишайниковый покров разрежен, в нем доминирует <i>Pleurozium schreberi</i> . Проективное покрытие	

Название фитоценоза	Пробные площадки	Описание растительности	Описание почв
Ельник черничник	№5	<p>мохово-лишайникового яруса не превышает 20 %. Синантропные виды отсутствуют.</p> <p>В древесном ярусе преобладает <i>Picea obovata</i>, в меньшей степени присутствует <i>Abies sibirica</i>, в качестве примеси отмечены <i>Betula pubescens</i> и <i>Pinus sibirica</i>. Формула древостоя 7ЕЗПед.Б,С(с). Древостой разрежен, сомкнутость крон не превышает 0,1. Средняя высота темнохвойных пород 20–22 м, <i>Betula pubescens</i> не превышает 15–17 м по высоте, а отдельные экземпляры <i>Pinus sibirica</i> возвышаются над остальными деревьями и достигают 25 м. В подросте присутствуют все лесообразующие породы. В травянисто-кустарничковом ярусе явно доминирует <i>Vaccinium myrtillus</i>, с меньшим проективным покрытием встречаются <i>Gymnocarpium dryopteris</i>, <i>Linnaea borealis</i>, <i>Majantemum bifolium</i>, <i>Equisetum sylvaticum</i>, <i>Vaccinium vitis-idaea</i>. Проективное покрытие травянисто-кустарничкового яруса составляет не более 30 %. Среди мхов преобладает <i>Pleurozium schreberi</i>. Местами отмечены виды рода <i>Sphagnum</i>, <i>Polytrichum commune</i>, <i>Hylocomium splendens</i>. Проективное покрытие мохово-лишайникового яруса не превышает 20 %. Синантропные виды отсутствуют.</p>	
Березово-пихтовое горное редколесье	№6	<p>Древесный ярус образован <i>Abies sibirica</i>, <i>Betula tortuosa</i>, с участием <i>Larix sibirica</i> и <i>Pinus sibirica</i>, единично встречается <i>Picea obovata</i>. Характеризуется редким расположением древесных растений, что отражается на сомкнутости, она не более 0,1. Высота деревьев также снижена по отношению к лесным фитоценозам в пониженной части маршрута. Средняя высота древостоя 7–9 м, средняя высота ели – 7,75 м, диаметр – 0,13 м. Формула древостоя 4ПЗБ2Л(с)1С(с)ед.Е. В подросте отмечены <i>Abies sibirica</i> и <i>Picea obovata</i>, а также <i>Betula tortuosa</i>. В подлеске обычна <i>Sorbus sibirica</i>. Среди трав и кустарничков преобладает <i>Vaccinium myrtillus</i>, образуя практически сплошной покров. С меньшим проективным покрытием представлены <i>Deschampsia flexuosa</i>, <i>Melampyrum pratense</i>, <i>Empetrum nigrum</i>, <i>Vaccinium uliginosum</i>. На опушке единично произрастают <i>Melampyrum pratense</i> и <i>Anemone biarmiensis</i>. Проективное покрытие травянисто-кустарничкового яруса составляет не более 50 %. Напочвенный покров представлен лишайниками рода <i>Cladonia</i> и <i>Pleurozium schreberi</i>. Проективное покрытие мохово-лишайникового яруса не превышает 10 %. Синантропные виды отсутствуют.</p>	<p>Горно-лесные кислые неоподзоленные почвы, на элювии и делювии образовавшиеся из метаморфических и других пород. По гранулометрическому составу относятся к тяжелым суглинкам.</p>
Разреженный смешанный лес с черничником	№7	<p>Древесный ярус образован <i>Abies sibirica</i> и <i>Betula pubescens</i> с меньшим участием <i>Picea obovata</i>. Формула древостоя 4П4Б2Е. Древесный ярус характеризуется редким расположением деревьев, сомкнутости не более 0,1. Средняя высота древостоя 12–15 м. В подросте представлены <i>Picea obovata</i> и <i>Abies sibirica</i>. В подлеске обычна <i>Sorbus sibirica</i>. Среди трав и кустарничков преобладает <i>Vaccinium myrtillus</i>, в мохово-лишайниковом ярусе <i>Pleurozium schreberi</i>. Проективное покрытие мохово-лишайникового яруса не превышает 10 %. Проективное покрытие травянисто-кустарничкового яруса составляет 60 %. Синантропные виды отсутствуют.</p>	

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Физико-химические свойства почв заказника «Предуралье»

№ точки	C, %	Сумма обм.осн. ммоль/100г. почвы	Нобщ ммоль/100 г. почвы	Ноб, ммоль/100 г. почвы	ЕКО	степень нас осн, V %	Нрн	рН, Н2О	рН, КСl
1	3,71	14,1	9,33	0,05	23,4	60,2	9,3	5,80	5,5
	1,11	8,0	7,35	0,75	15,4	52,1	6,6	5,50	3,8
2	–	–	–	–	–	–	–	5,9	5,2
	–	–	–	–	–	–	–	6,8	6,6
3	–	–	–	–	–	–	–	7,4	7,1
	–	–	–	–	–	–	–	7,3	7
4	–	–	–	–	–	–	–	4,9	3,9
	–	–	–	–	–	–	–	5,3	3,8
5	7,92	94,5	2,50	–	97,0	97,4	2,5	6,80	6,5
	2,97	–	–	–	–	–	0,1	7,10	6,8
6	–	–	–	–	–	–	–	4,5	3,7
	–	–	–	–	–	–	–	5,15	3,8
7	–	–	–	–	–	–	–	6,3	5,9
	–	–	–	–	–	–	–	7,1	7
8	5,01	31,9	2,21	–	34,1	93,5	2,3	6,90	6,1
	1,53	29,0	1,18	–	30,2	96,1	1,2	7,30	6,7
9	–	–	–	–	–	–	–	5,9	5,2
	–	–	–	–	–	–	–	7,1	6,5
10	4,99	–	–	2,05	–	–	–	4,90	3,8
	4,76	–	–	1,45	–	100,0	–	5,20	3,7
11	–	–	–	–	–	–	–	5,3	4,4
	–	–	–	–	–	–	–	5,9	4,9
12	–	–	–	–	–	–	–	6,9	6,3
	–	–	–	–	–	–	–	7,1	7
13	–	–	–	–	–	–	–	6,4	5,7
	–	–	–	–	–	–	–	7,3	6,7
14	6,56	49,2	2,29	0,00	51,5	95,5	2,3	6,40	6,4
	2,63	47,5	0,64	0,05	48,1	98,7	0,6	7,20	6,7
15	–	–	–	–	–	–	–	7,1	6,8
	–	–	–	–	–	–	–	6,2	7
16	–	–	–	–	–	–	–	5,4	4,4
	–	–	–	–	–	–	–	5,4	4,2
17	0,47	45,2	2,21	0,03	47,4	95,3	2,2	7,00	6,5
	2,17	97,5	0,92	–	98,4	99,1	1,0	7,10	6,8
18	–	–	–	–	–	–	–	5,2	4,1
	–	–	–	–	–	–	–	5,4	4,5
19	2,31	12,2	8,60	0,15	20,8	58,7	8,4	5,40	4,3
	1,40	8,2	8,01	0,35	16,2	50,6	7,7	5,50	4,2
20	–	–	–	–	–	–	–	5	3,7
	–	–	–	–	–	–	–	5,3	3,7
21	2,47	14,3	10,73	0,15	25,0	57,1	10,6	5,60	4,3
	1,73	12,0	10,29	0,20	22,3	53,8	10,1	5,50	4,2

№ точки	C, %	Сумма обм.осн. ммоль/100г. почвы	Нобш ммоль/100 г. почвы	Ноб, ммоль/100 г. почвы	ЕКО	степень нас осн, V %	Нрн	рН, H2O	рН, КСl
22	–	–	–	–	–	–	–	6,6	6
	–	–	–	–	–	–	–	7	6,5
23	–	–	–	–	–	–	–	4,7	3,8
	–	–	–	–	–	–	–	5,9	5,2
24	1,94	10,9	13,41	0,55	24,4	44,9	12,9	5,20	4,0
	2,06	8,2	13,23	0,45	21,4	38,3	12,8	5,20	3,9
25	2,47	65,6	3,53	–	69,1	94,9	3,6	6,90	5,9
	3,71	29,8	4,78	–	34,6	86,2	4,8	6,50	5,5
26	–	–	–	–	–	–	–	6,3	5,3
	–	–	–	–	–	–	–	5,6	4,8
27	2,47	7,4	10,20	0,40	17,6	42,0	9,8	6,40	4,4
	1,05	11,2	7,35	0,20	18,5	60,3	7,2	5,90	4,4
28	-0,03	65,1	2,82	–	68,0	95,9	2,8	6,00	5,8
	3,87	30,7	7,83	–	38,5	79,7	7,8	5,50	4,5
29	–	–	–	–	–	–	–	6,1	5,4
	–	–	–	–	–	–	–	6,7	5,8
30	2,75	45,4	0,81	–	46,2	98,2	0,8	6,80	6,6
	1,70	36,1	0,98	–	37,1	97,4	1,0	6,50	6,8
31	–	–	–	–	–	–	–	6	4,9
	–	–	–	–	–	–	–	6,2	5
32	–	–	–	–	–	–	–	4,6	3,6
	–	–	–	–	–	–	–	4,9	4,2
33	–	–	–	–	–	–	–	5,5	4,5
	–	–	–	–	–	–	–	6,1	4,9
34	2,47	32,4	9,56	–	41,9	77,2	9,6	5,40	4,5
	2,35	24,8	5,88	–	30,7	80,8	5,9	5,00	4,6
35	–	–	–	–	–	–	–	6,1	5,2
	–	–	–	–	–	–	–	6,9	6,6
36	–	–	–	–	–	–	–	7,2	6,4
	–	–	–	–	–	–	–	7,1	6,3
37	7,86	28,2	14,46	0,07	42,6	66,1	14,4	5,30	4,5
	2,66	31,1	10,47	0,05	41,6	74,8	10,4	5,70	4,8
38	2,04	44,8	0,74	0,05	45,5	98,4	0,7	7,30	7,1
	1,98	48,3	0,81	–	49,1	98,4	0,8	7,30	7,0
39	–	–	–	–	–	–	–	7,1	6,8
	–	–	–	–	–	–	–	7	6,5
40	–	–	–	–	–	–	–	5,8	4,9
	–	–	–	–	–	–	–	6,2	5,3
41	–	–	–	–	–	–	–	6,8	6,2
	–	–	–	–	–	–	–	6,8	6,2
42	–	–	–	–	–	–	–	6,3	5,8
	–	–	–	–	–	–	–	6,8	6,2
43	–	–	–	–	–	–	–	5,6	4,5

№ точки	C, %	Сумма обм.осн. ммоль/100г. почвы	Нобш ммоль/100 г. почвы	Ноб, ммоль/100 г. почвы	ЕКО	степень нас осн, V %	Н _{рн}	рН, Н ₂ O	рН, КСl
	–	–	–	–	–	–	–	5,5	4,2
44	2,68	18,7	9,56	0,15	28,3	66,2	9,4	5,60	4,9
	1,65	11,2	8,73	0,40	19,9	56,1	8,3	5,50	4,2
45	–	–	–	–	–	–	–	6	5,2
	–	–	–	–	–	–	–	5,8	4,6
46	–	–	–	–	–	–	–	6,1	4,9
	–	–	–	–	–	–	–		
47	–	–	–	–	–	–	–	6,7	6,1
	–	–	–	–	–	–	–	7,2	6,8
48	7,30	51,7	2,50	–	54,2	95,4	2,5	6,70	5,8
	4,83	47,5	2,21	–	49,7	95,6	2,2	6,90	6,0
49	–	–	–	–	–	–	–	5,8	5,2
	–	–	–	–	–	–	–	6,3	5,6
50	4,64	15,6	13,23	0,65	28,8	54,0	12,6	5,10	3,8
	2,35	11,6	13,01	1,50	24,6	47,1	11,5	5,20	3,6
51	2,60	22,1	7,53	–	29,6	74,6	7,5	5,70	5,0
	1,34	13,0	7,50	0,05	20,5	63,5	7,4	5,00	3,9
52	–	–	–	–	–	–	–	5,3	5
53	2,20	22,1	5,51	–	27,6	80,0	5,5	5,90	5,0
	1,05	14,1	3,82	–	17,9	78,7	3,9	5,60	4,8
54	–	–	–	–	–	–	–	6	5,2
55	4,58	25,6	6,91	–	32,5	78,8	7,0	5,80	4,8
	2,47	31,1	8,00	–	39,1	79,5	8,1	5,60	4,5
56	–	–	–	–	–	–	–	6,2	5,3
	–	–	–	–	–	–	–	6,5	6
57	–	–	–	–	–	–	–	6	5,2
	–	–	–	–	–	–	–	5,5	4,6
58	–	–	–	–	–	–	–	5,2	4,6
	–	–	–	–	–	–	–	5,5	4,4
59	–	–	–	–	–	–	–	5,4	4
	–	–	–	–	–	–	–	5,3	4,1
60	–	–	–	–	–	–	–	6,1	5,2
	–	–	–	–	–	–	–	5,9	4,7

**ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Описание точек обследования на территории заказника
«Предуралье»**

Биотоп	Тип рельефа	Тип почв	№ точки
Березовый лес	Коренной склон	дерново-карбонатные	49
		дерново-подзолистые	59
Еловый лес	Водораздельная равнина	дерново-карбонатные	28
		дерново-подзолистые	44
			53
	Коренной склон	карбонатные	34
		дерново-карбонатные	23
			37
			40
			51
		дерново-карбонатные каменистые	54
	дерново-подзолистые	60	
	Лог (Межевой)	дерново-карбонатные	18
20			
Лог		22	
Зарастающий луг	Водораздельная равнина	дерново-карбонатные	29
			36
		дерново-карбонатные каменистые	15
		дерново-подзолистые	43
	Коренной склон	дерново-карбонатные	46
		дерново-карбонатные каменистые	17
Липовый лес	Водораздельная равнина	дерново-карбонатные	8
		дерново-подзолистые	21
		дерново-карбонатные каменистые	45
Мелколиственный лес	Пойма и надпойменная терраса	дерново-карбонатные каменистые	24
		аллювиальные	25
		дерново-карбонатные	50
		дерново-карбонатные каменистые	58
		серо-гумусовая на короткой террасе с делювиальным шлейфом	52
55			
Осиново-Ольховый лес	Водораздельная равнина	дерново-карбонатные каменистые	48
Пойменный луг	Пойма и надпойменная терраса	аллювиальные	26
			31
			33
		дерново-луговые	38
Синантропный луг	Пойма и надпойменная терраса	дерново-карбонатные каменистые	39
Сосновый лес	Водораздельная равнина	дерново-карбонатные	16
			19
		дерново-подзолистые	1
			4
			6
			10
			11
57			

Биотоп	Тип рельефа	Тип почв	№ точки	
		дерново-карбонатные каменистые	14	
		Коренной склон	дерново-карбонатные	32
			дерново-карбонатные каменистые	2
				5
				7
				13
			56	
		аллювиальные	27	
		Лог (Бабий)	дерново-карбонатные каменистые	3
		Лог (Гремячий)		12
Лог (Песчаный)	9			
Суходольный луг	Водораздельная равнина	дерново-карбонатные	30	
			35	
			41	
			42	
			47	

**ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Содержание нефтепродуктов и хлоридов в почвах на территории
нефтяных месторождений**

Место отбора	Глубина взятия образца	Cl мг/100г	нефтепродукты г/кг
ЦДНГ-3, Аптугайское месторождение			
Аптугайское м-е, скв. 157	0-20	<7,09	<0,005
Аптугайское м-е, куст №1	0-20		<0,005
Аптугайское м-е, куст №3	0-20		<0,005
Аптугайское м-е, скв. 205	0-20		0,0094
Аптугайское м-е, ДНС-0344 (в 50 м от ДНС)	0-20		<0,005
Аптугайское м-е, ДНС-0344 (в 100 м от ДНС)	0-20		<0,005
Аптугайское м-е, ДНС-0344 (в 200 м от ДНС)	0-20		<0,005
Аптугайское м-е, скв. 201, 37	0-20	<7,09	<0,005
Аптугайское м-е, куст №5	0-20		<0,005
Аптугайское м-е, куст №7	0-20		<0,005
Аптугайское м-е, куст №146	0-20	<7,09	<0,005
Аптугайское м-е, куст №8	0-20		0,034
Аптугайское м-е, фон	0-20		<0,005
ЦДНГ-6, Батырбайское месторождение			
Батырбайское м-е, скв. 515	0-20	<7,09	<0,005
Батырбайское м-е, скв. 296, 913	0-20		<0,005
Батырбайское м-е, кс-21, лес-лог	0-20		0,0262
Батырбайское м-е, скв. 432, 264	0-20		<0,005
Батырбайское м-е, скв. 270	0-20		<0,005
Батырбайское м-е, кс-21, скв. 913, 296	0-20		<0,005
Батырбайское м-е, с. Сараша, сев. участок, фон	0-20		<0,005
ЦДНГ-1, Поспеловский участок			
Реперный участок - 1	0-20	<7,09	<0,005
фоновая	0-20	<7,09	<0,005
Реперный участок - 2	0-20	<7,09	<0,005
фоновая	0-20	<7,09	<0,005
Реперный участок - 3	0-20	<7,09	<0,005
фоновая	0-20	<7,09	<0,005
ЦДНГ-2, Краснояро-Куединское месторождение			
УППН "Куеда"	0-20	<7,09	0,0241
фоновая	0-20	<7,09	<0,005
Татышлинский р-н, Куединская площадь-ДНС-0226	0-20	<7,09	<0,005
фоновая	0-20	<7,09	<0,005
ЦДНГ-2, Гондыревское месторождение			
УППН "Гондырь"	0-20	<7,09	0,031
фоновая	0-20	<7,09	<0,005
ЦДНГ-2, Солодовский участок			
Реперный участок - 1	0-20	<7,09	<0,005
фоновая	0-20	<7,09	<0,005
Реперный участок - 2	0-20	<7,09	<0,005
фоновая	0-20	<7,09	<0,005
ЦДНГ-5, Осинское месторождение			
УППН "Оса"	0-20	<7,09	0,0068
фоновая	0-20	<7,09	0,0058
ЦДНГ-5, Рассветное месторождение			
УППН "Рассвет"	0-20	<7,09	0,006
фоновая	0-20	<7,09	<0,005
ЦДНГ-6, Батырбайское месторождение			
УППН "Константиновка"	0-20	<7,09	<0,005

Место отбора	Глубина взятия образца	Сl мг/100г	нефтепродукты г/кг
фоновая	0-20	<7,09	0,0059
ЦДНГ-6, Таныпское месторождение			
УППН "Танып"	0-20	<7,09	<0,005
фоновая	0-20	<7,09	0,0065

ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Физико-химические свойства почв в карстовом районе нефтедобычи (лог «Арапов ключ»)

ПП	Глубина отбора, см	Реакция на НСl	рН (Н ₂ O)	рН (КСl)	Гидролитическая кислотность	Сумма обменных оснований	Емкость катионного обмена (ЕКО)	Степень насыщенности основаниями	Карбонаты (СО ₃)
					мг-экв\100 г			%	
0	0-25	–	6,98	6,26	4,4	48	52,4	92	> 0,005
1	0-25	+	7,71	7,19	–	–	–	> 0,05	1,616
2	0-25	+	7,77	6,97	–	–	–	> 0,05	0,718
3	2-15	+	7,45	6,9	–	–	–	> 0,05	0,56
	16-32	+	7,38	6,72	–	–	–	> 0,05	0,46
	36-60	+	7,34	6,5	–	–	–	> 0,05	0,41
	61-88	–	7,32	6,36	2	36,5	38,5	95	> 0,005
	90-110	+	7,44	6,74	–	–	–	> 0,05	0,544
	2-32	+	7,66	6,83	–	–	–	> 0,05	0,518
4	0-25	+	7,27	6,69	–	–	–	> 0,05	0,738
5	2-12	–	5,52	3,96	18	16,7	34,7	48	> 0,005
	13-23	–	5,58	3,91	17	18	35	51	> 0,005
	30-40	–	6,09	4,53	5,1	25,5	30,6	83	> 0,005
	47-57	–	6,97	5,77	2,8	28	30,8	91	> 0,005
6	0-25	–	5,88	5	7,4	23,2	30,6	76	> 0,005
7	0-25	+	7,97	7,3	–	–	–	> 0,05	2,28
8	3-17	–	6,26	5,08	10,4	39,5	49,9	79	> 0,005
	20-30	–	6,17	4,76	6,5	23,5	30	78	> 0,005
	37-47	–	6,72	5,94	3,9	28	31,9	88	> 0,005
	50-60	–	6,37	4,5	5,2	26,5	31,7	84	> 0,005
	70-80	–	6,35	4,58	4,4	27,2	31,6	86	> 0,005
9	0-25	–	5,85	4,98	14,8	39	53,8	72	> 0,005
10	0-25	–	6,65	5,75	7,5	47,5	55	86	> 0,005
11	3-13	+	7,83	6,95	–	–	–	> 0,05	1,69
	15-25	+	8,09	7,25	–	–	–	> 0,05	1,904

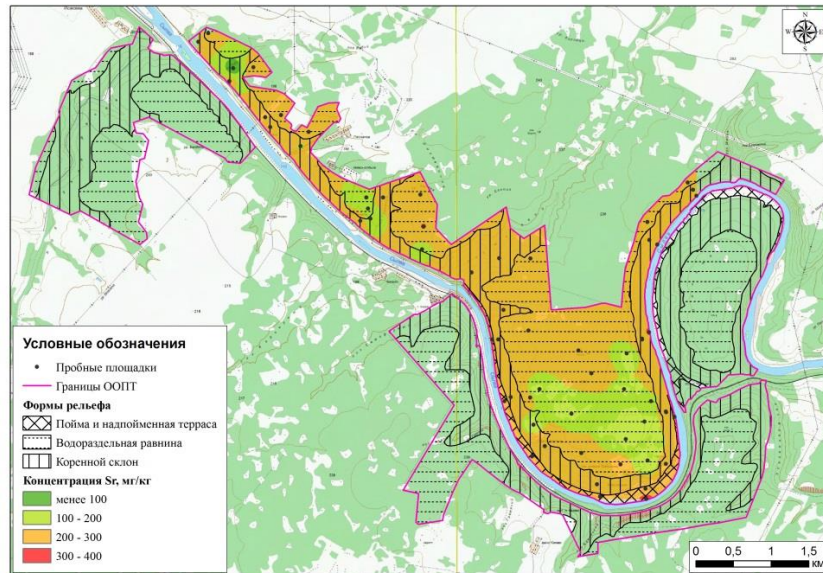
ПП	Глубина отбора, см	Реакция на HCl	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	Гидролитическая кислотность	Сумма обменных оснований	Емкость катионного обмена (ЕКО)	Степень насыщенности основаниями	Карбонаты (СО ₃)
								мг-экв\100 г	
	32-42	+	8,08	7,22	–	–	–	> 0,05	2,0
	50-70	+	7,69	6,97	–	–	–	> 0,05	1,232
12	0-25	–	5,73	4,83	8,3	26	34,3	76	> 0,005
13	5-15	+	7,79	6,86	–	–	–	> 0,05	0,71
	18-28	+	7,86	6,94	–	–	–	> 0,05	0,614
	32-42	–	7,35	6,47	2,5	47,5	50	95	> 0,005
	56-66	+	7,34	6,13	–	–	–	> 0,05	0,606
	72-82	–	7,27	6,18	1,4	29,2	30,6	95	> 0,005
14	5-20	–	6,09	4,84	19,5	43,7	63,2	69	> 0,005
	22-35	–	6,05	4,84	13,9	41,1	55	75	> 0,005
	38-48	+	6,22	4,46	–	–	–	> 0,05	0,376
	58-68	–	6,19	4,59	7,3	27,4	34,7	79	> 0,005
	74-84	–	7,18	6,28	2,3	36,5	38,8	94	> 0,005
	92-102	+	8,32	7,23	–	–	–	> 0,05	1,788
	104-114	+	8,39	7,28	–	–	–	> 0,05	1,68
15	0-25	–	6	5,1	14,4	36,2	50,6	71	> 0,005
16	0-25	+	7,23	6,88	–	–	–	> 0,05	1,136

Показатели содержания органического вещества и элементов минерального питания растений почв в карстовом районе нефтедобычи (лог «Арапов ключ»)

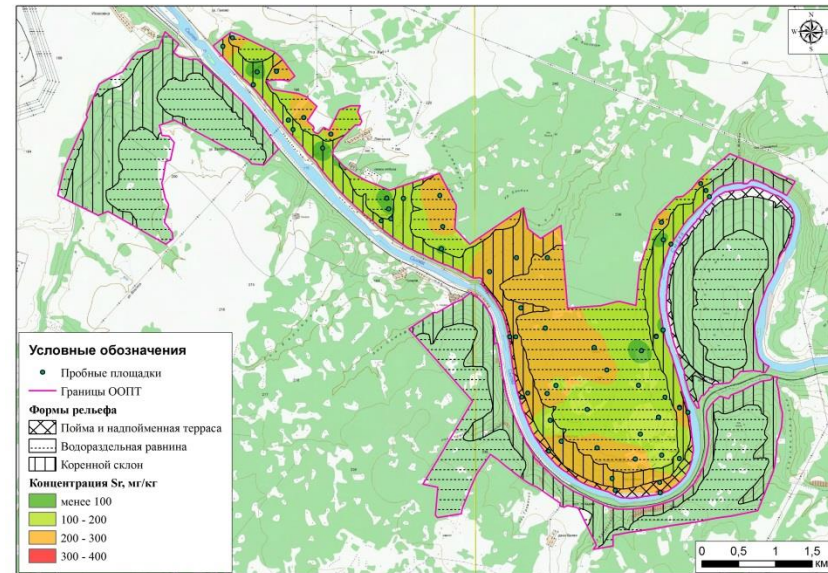
ПП	Глубина отбора, см	Содержание углерод, %	P ₂ O ₅ , мг/кг	Na ₂ O, мг/кг	K ₂ O, мг/кг
0	0-25	7	2,2	137	42
1	0-25	3,9	> 0,002	180	17
2	0-25	5,5	0,25	92	35
3	2-15	3	3,0	80	75
	16-32	18	2,5	55	85
	2-32	2,2	0,25	85	50

ПП	Глубина отбора, см	Содержание углерод, %	P ₂ O ₅ , мг/кг	Na ₂ O, мг/кг	K ₂ O, мг/кг
4	0-25	10,4	16,5	122	20
5	2-12	3,8	0,05	30	40
	13-23	6,4	> 0,002	30	42
6	0-25	1,7	5,5	120	75
7	0-25	7,1	5,0	100	17
8	3-17	5,8	3,5	50	35
	20-30	1,4	7,6	37	57
9	0-25	7,7	4,0	87	65
10	0-25	7,1	24	52	62
11	3-13	3,5	> 0,002	120	27
	15-25	2,1	> 0,002	115	20
12	0-25	2,2	14,5	37	75
13	5-15	4,2	2,5	87	22
	18-28	5,4	> 0,002	85	32
14	5-20	8,4	32	52	67
	22-35	14,7	33	50	5
15	0-25	5,6	0,25	50	97
16	0-25	3	2,2	200	72

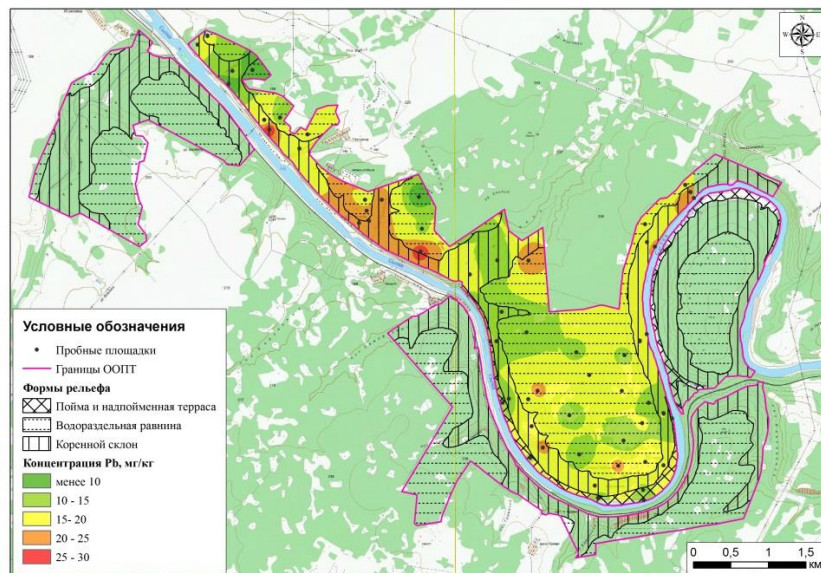
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. Карты распределения элементов на территории заказника «Предуралье»



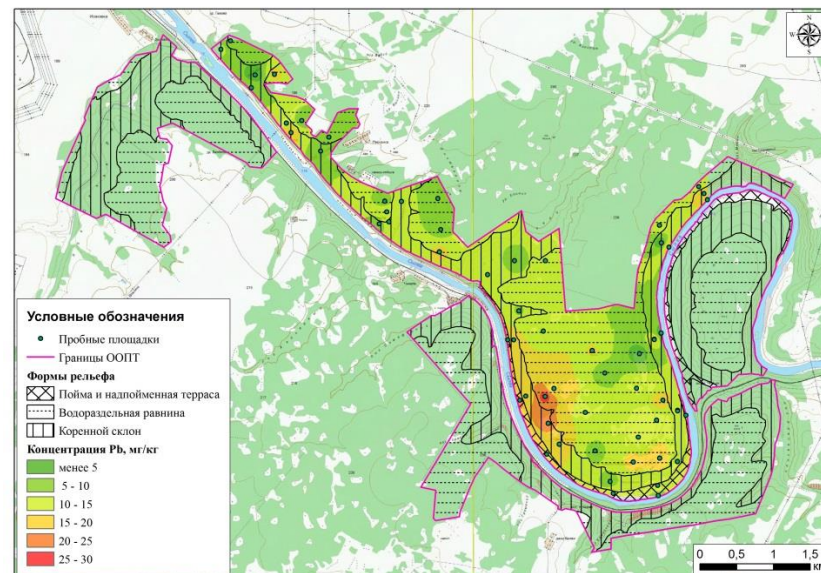
Распределение Sr (0-10 см)



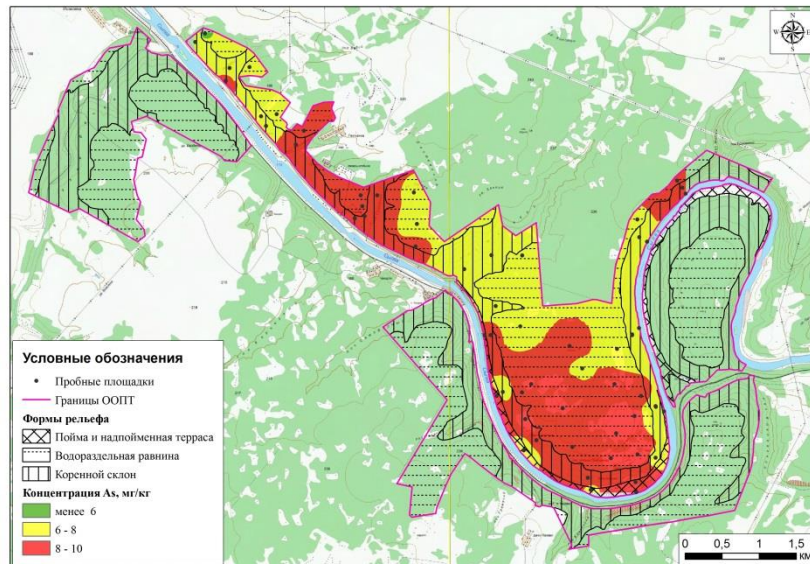
Распределение Sr (10-20 см)



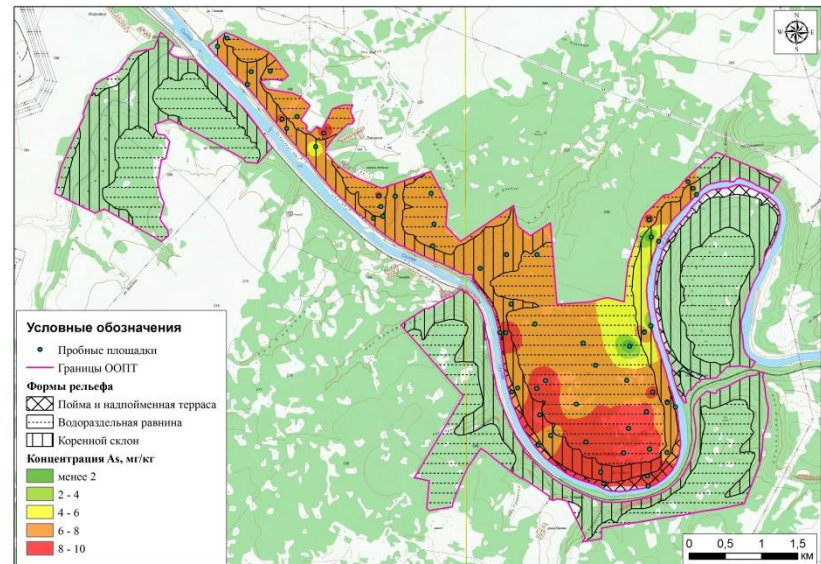
Распределение Pb (0-10 см)



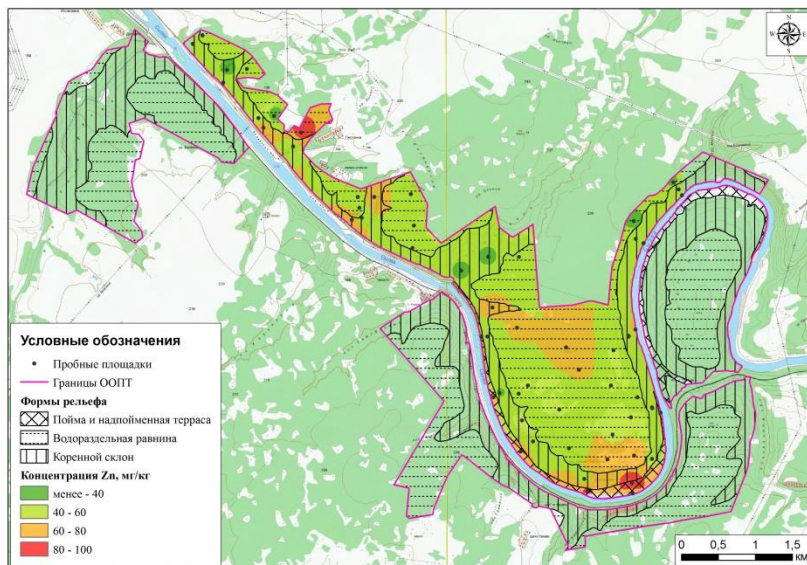
Распределение Pb (10-20 см)



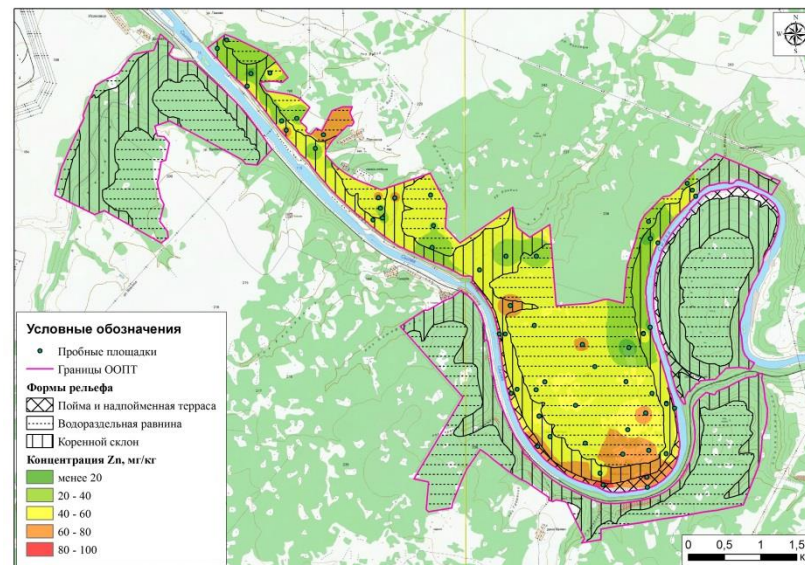
Распределение As (0-10 см)



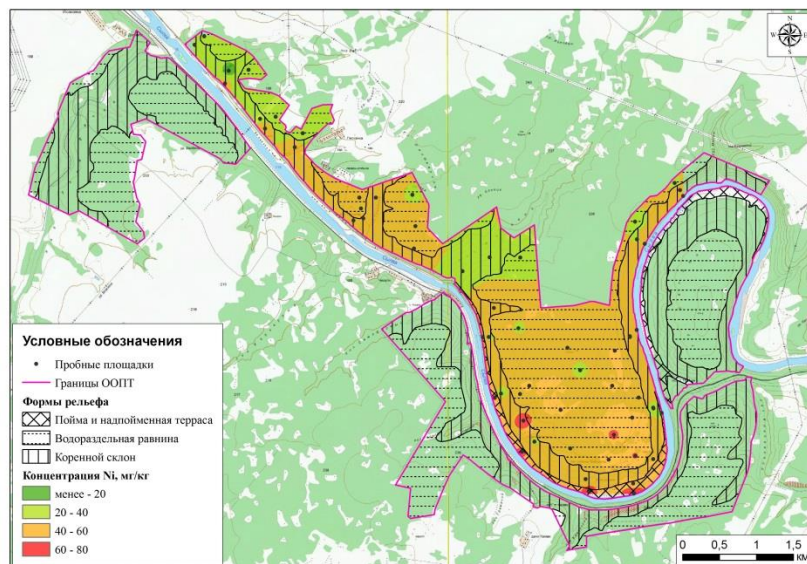
Распределение As (10-20 см)



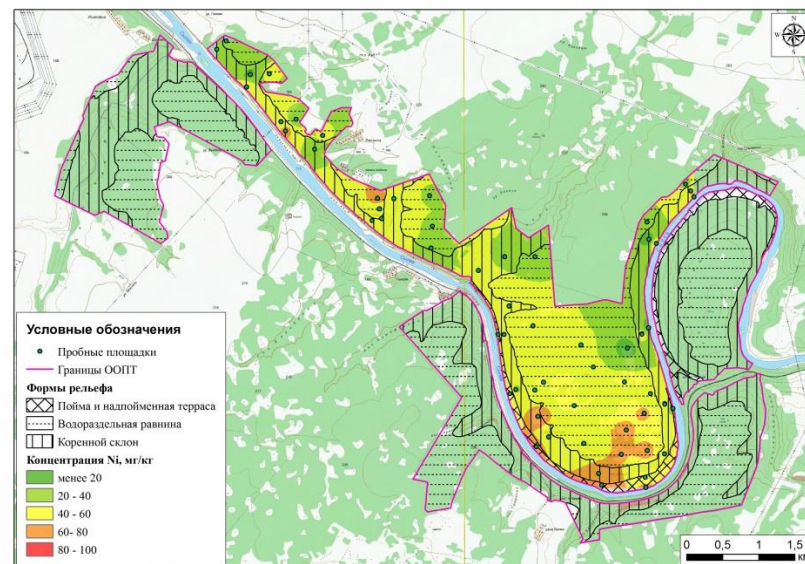
Распределение Zn (0-10 см)



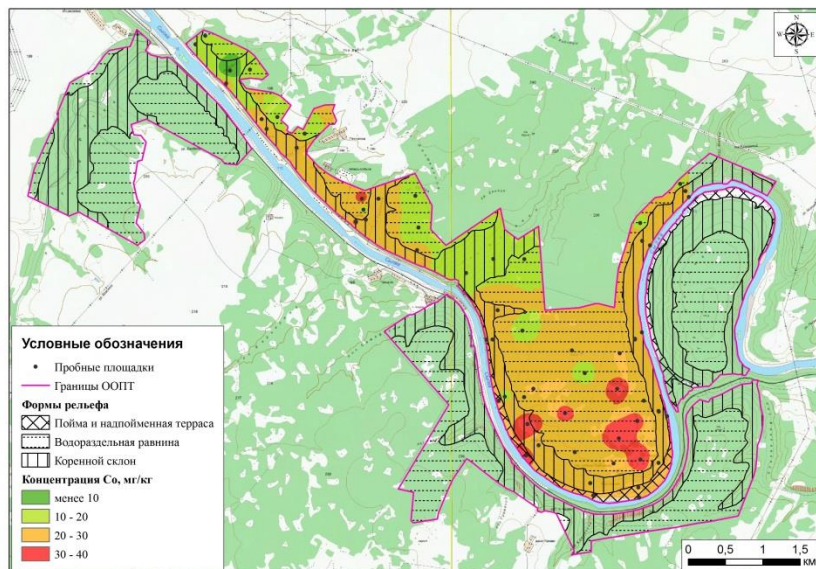
Распределение Zn (10-20 см)



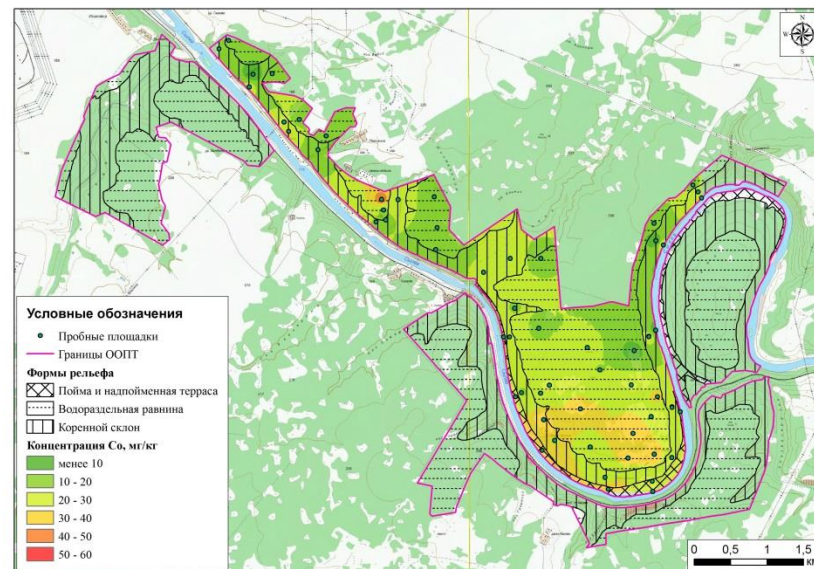
Распределение Ni (0-10 см)



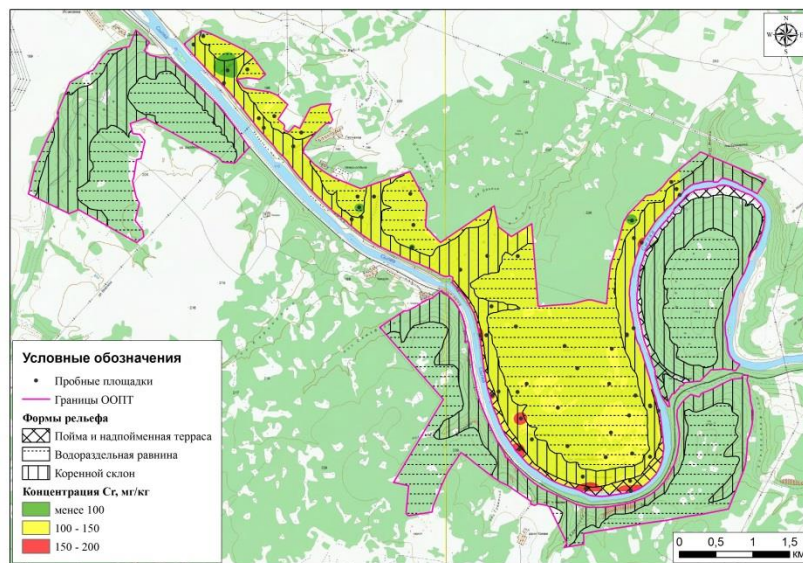
Распределение Ni (10-20 см)



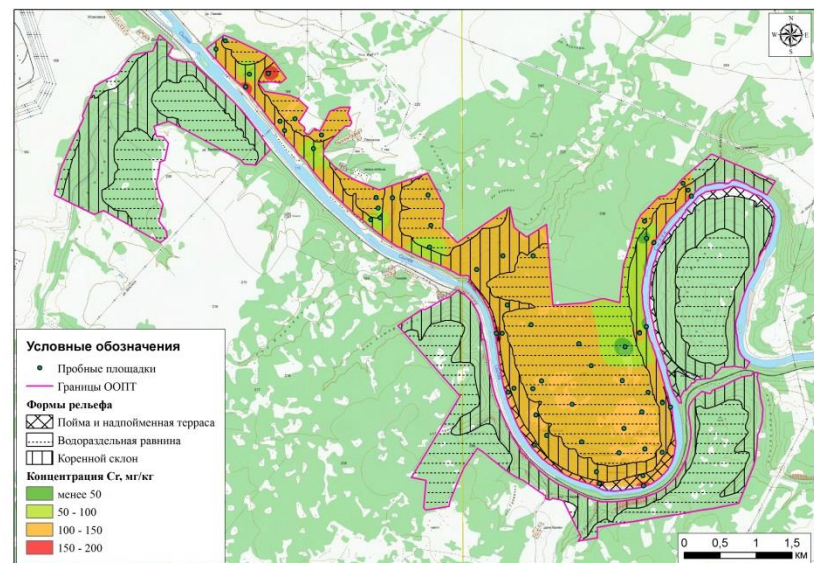
Распределение Co (0-10 см)



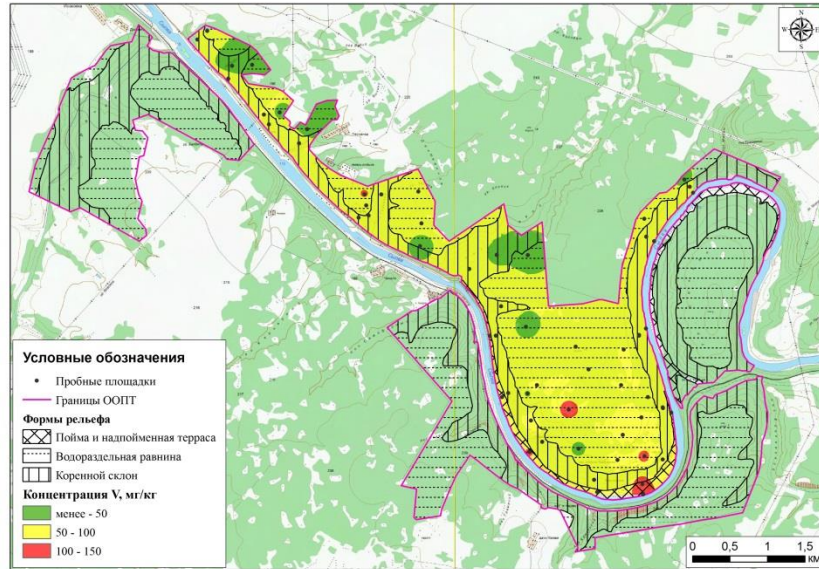
Распределение Co (10-20 см)



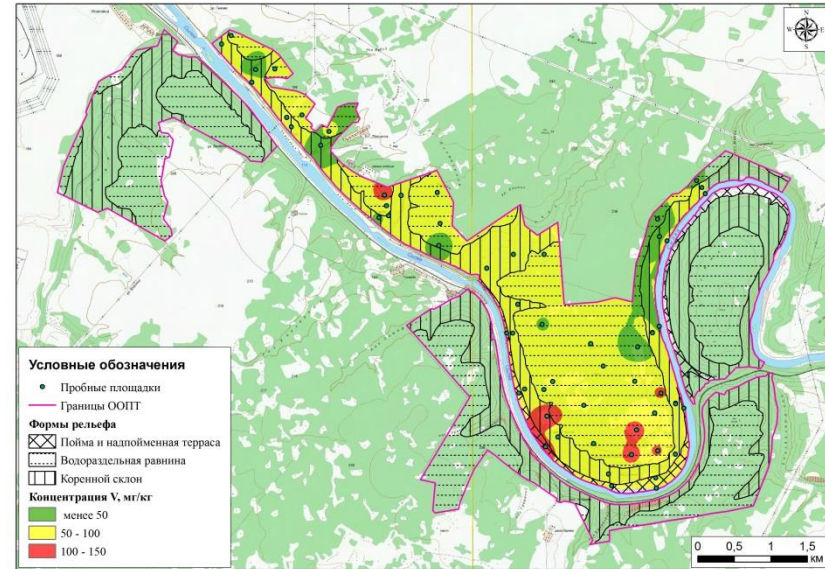
Распределение Cr (0-10 см)



Распределение Cr (10-20 см)



Распределение V (0-10 см)



Распределение V (10-20 см)

ПРИЛОЖЕНИЕ 7. Результаты измерений содержания макро- и микроэлементов в почвах на территории нефтяных месторождений,
мг/кг

Id	Месторождение	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe2O3	Fe	MnO	Mn	Cr	V	TiO2	Ti
1	Аптугайское	278	14,1	5,3	91	33	7,1	33042	23106	2576	1997	123	63	7170	4293
2	Аптугайское	313	34,0	18,8	85	47	7,2	33607	23501	2345	1818	129	68	6898	4131
3	Аптугайское	300	20,0	13,9	83	40	6,4	30493	21324	2774	2151	127	65	7484	4481
4	Аптугайское	299	13,0	3,5	81	40	6,5	30989	21671	2143	1661	176	64	7350	4401
5	Аптугайское	347	15,4	9,5	74	28	6,5	32038	22404	1612	1250	111	64	7061	4228
6	Аптугайское	378	23,9	11,5	72	31	6,0	36640	25622	2631	2040	157	57	6427	3849
7	Аптугайское	768	19,9	11,4	25	15	4,7	16701	11679	257	199	117	34	5157	3088
8	Аптугайское	486	17,3	15,8	74	31	6,5	31294	21884	488	379	149	58	6622	3965
9	Аптугайское	521	22,7	12,2	69	32	6,5	31295	21885	485	376	145	57	6207	3717
10	Аптугайское	534	17,1	8,1	49	20	6,2	25834	18066	2107	1633	110	46	5826	3489
11	Аптугайское	389	14,9	5,9	55	46	6,4	32736	22892	1327	1029	187	57	6697	4010
12	Аптугайское	265	24,2	12,4	52	70	9,3	48001	33567	2515	1949	178	50	6677	3998
13	Батырбайское (Константинов)	110	4,1	5,7	57	36	7,1	32615	22808	1027	796	136	62	7077	4238
14	Батырбайское (Константинов)	104	16,8	10,6	55	83	9,0	49462	34589	1396	1082	181	36	5648	3382
15	Батырбайское (Константинов)	170	16,6	8,8	56	73	9,0	45427	31767	1583	1227	163	47	6663	3990
16	Батырбайское (Константинов)	270	15,2	9,1	72	67	9,1	46655	32626	1586	1229	169	48	6745	4039
17	Батырбайское (Константинов)	464	19,4	10,0	56	33	7,6	35487	24816	1452	1125	136	59	6807	4076
18	Батырбайское (Константинов)	123	22,9	13,3	55	64	8,5	42314	29590	1259	976	144	62	7255	4344
19	Озёрное	154	22,5	7,5	67	45	9,2	25145	17584	1523	1181	99	66	7058	4226
20	Озёрное	164	21,9	5,8	62	43	9,1	21458	15006	1621	1257	101	66	7256	4345
21	Озёрное	146	19,3	3,2	66	43	8,9	20458	14306	1578	1223	103	61	7301	4372
22	Озёрное	265	17,6	5,0	78	66	6,3	25478	17817	1469	1139	133	59	6974	4176
23	Озёрное	241	21,7	5,3	78	90	7,2	26547	18564	1365	1058	145	67	5463	3271
24	Озёрное	256	20,0	6,1	76	82	9,0	27893	19506	1547	1199	121	64	6521	3905
25	Озёрное	301	22,0	6,0	82	72	8,3	28713	20079	1698	1316	121	61	5412	3241
26	Озёрное	325	23,0	5,8	83	90	9,8	29876	20892	1532	1188	127	6	5147	3082

Id	Месторождение	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe2O3	Fe	MnO	Mn	Cr	V	TiO2	Ti
27	Озёрное	285	25,8	5,5	87	81	8,0	31487	22019	1502	1164	142	65	5789	3466
28	Озёрное	287	17,5	5,0	76	74	6,9	29347	20522	1469	1139	128	60	6128	3669
29	Озёрное	301	19,0	4,0	89	73	6,8	28631	20022	1599	1240	132	57	5896	3531
30	Озёрное	296	22,4	4,0	65	61	4,0	25013	17492	1489	1154	163	62	5412	3241
31	Озёрное	321	25,9	3,6	80	65	6,0	24876	17396	1599	1240	124	62	5320	3186
32	Озёрное	285	26,5	5,0	80	67	7,5	23596	16501	1601	1241	125	57	6410	3838
33	Озёрное	254	19,1	6,0	74	69	6,9	25478	17817	1578	1223	123	56	6014	3601
34	Озёрное	237	17,5	5,5	96	62	7,1	24698	17271	1549	1201	124	54	7026	4207
35	Озёрное	289	22,0	4,1	81	61	6,6	26478	18516	1420	1101	137	56	8061	4827
36	Озёрное	274	20,0	4,4	82	71	6,8	25697	17970	1466	1136	133	61	7955	4763
37	Озёрное	263	24,4	5,0	84	72	4,9	26496	18529	1506	1167	133	63	6901	4132
38	Гагаринское	255	25,5	3,7	85	63	5,0	25746	18004	1577	1222	136	63	6250	3743
39	Гагаринское	315	21,4	4,1	81	64	3,1	24631	17224	1593	1235	130	65	6322	3786
40	Гагаринское	222	22,5	6,3	81	64	9,0	20178	14110	1546	1198	131	66	6410	3838
41	Гагаринское	161	18,1	7,7	91	31	8,0	41523	29037	658	510	135	85	8645	5177
42	Гагаринское	154	17,9	7,5	89	30	7,0	40123	28058	701	543	132	86	8562	5127
43	Гагаринское	155	16,5	6,5	85	27	8,0	39856	27871	744	577	131	79	8741	5234
44	Гагаринское	156	18,2	7,0	90	34	8,6	41023	28687	689	534	136	65	9001	5390
45	Гагаринское	161	18,0	6,4	87	31	7,6	40589	28384	678	526	145	84	8621	5162
46	Гагаринское	165	16,5	7,9	87	32	6,5	39654	27730	703	545	141	81	8012	4798
47	Гагаринское	163	17,4	7,1	86	35	6,0	38965	27248	652	505	139	80	8473	5074
48	Озёрное	164	17,1	6,0	85	25	6,9	41598	29090	689	534	125	79	8214	4919
49	Аптугайское	825	8,1	2,9	119	33	7,7	31925	22325		0	80	34	4918	2945
50	Маговское	163	16,7	7,6	81	33	8,2	41589	29083	745	578	145	35	8463	5068
51	Маговское	268	23,6	4,8	78	68	5,9	25963	18156	1479	1147	134	66	6520	3904
52	Маговское	568	27,9	6,9	75	42	9,2	48712	34064	755	585	164	72	5678	3400
53	Маговское	297	21,1	3,8	89	68	6,1	26485	18521	1569	1216	122	87	6317	3783
54	Маговское	275	22,4	5,5	79	60	7,9	28654	20038	1654	1282	123	89	5496	3291

Id	Месторождение	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe2O3	Fe	MnO	Mn	Cr	V	TiO2	Ti
55	Маговское	261	25,9	6,0	82	66	8,0	29786	20829	1542	1195	125	83	5631	3372
56	Маговское	252	19,9	7,6	85	37	7,5	27413	19170	1356	1051	120	80	8469	5071
57	Маговское	297	21,5	3,4	71	61	6,1	25698	17971	1547	1199	102	65	7456	4465
58	Логовское	293	24,0	4,8	66	64	5,1	24569	17181	1596	1237	115	79	7541	4516
59	Логовское	290	27,9	4,0	86	61	7,5	29846	20871	1548	1200	113	77	7365	4410
60	Логовское	289	31,9	4,6	81	60	6,9	28469	19908	1402	1087	134	77	7485	4482
61	Логовское	285	17,3	6,0	91	57	4,1	22789	15936	1469	1139	101	71	7014	4200
62	Логовское	283	19,0	5,5	85	47	5,8	23547	16466	1745	1353	99	70	7256	4345
63	Логовское	281	21,8	6,8	84	52	6,0	25478	17817	1632	1265	116	70	7345	4398
64	Логовское	274	22,1	4,3	97	41	5,4	20136	14081	1578	1223	121	67	7268	4352
65	Логовское	273	23,8	5,0	81	50	4,8	21863	15289	1601	1241	115	61	7145	4278
66	Шершнёвское	271	20,1	4,5	80	50	6,8	25896	18109	1589	1232	120	62	7546	4519
67	Шершнёвское	265	19,5	4,3	70	51	5,2	24563	17177	1601	1241	119	68	7341	4396
68	Шершнёвское	289	18,7	4,0	87	65	6,0	20147	14089	1478	1146	118	88	7265	4350
69	Шершнёвское	279	15,4	5,1	82	66	5,4	25961	18155	1258	975	114	88	7413	4439
70	Шершнёвское	281	16,3	4,8	80	62	5,5	27961	19553	1346	1043	115	85	7326	4387
71	Шершнёвское	296	14,9	6,0	84	64	6,2	28469	19908	1274	988	115	84	7289	4365
72	Шершнёвское	255	13,9	8,0	81	61	6,0	23654	16541	1475	1143	116	85	7145	4278
73	Шершнёвское	279	13,0	5,6	84	66	4,0	24961	17455	1502	1164	110	87	7589	4544
74	Шершнёвское	218	13,8	6,7	74	69	5,0	25961	18155	1479	1147	112	75	7693	4607
75	Шершнёвское	297	14,3	5,9	75	68	4,8	24697	17271	1365	1058	118	75	7016	4201
76	Шершнёвское	289	12,6	9,2	74	68	5,3	23697	16571	1422	1102	119	81	7144	4278
77	Шершнёвское	286	18,0	5,0	72	63	5,0	22931	16036	1369	1061	119	83	7396	4429
78	Шершнёвское	285	18,4	5,6	80	55	7,0	21964	15359	1745	1353	116	84	7541	4516
79	Шершнёвское	291	14,0	6,0	80	64	7,0	24859	17384	1489	1154	115	85	8569	5131
80	Шершнёвское	293	14,9	5,6	77	68	4,1	25961	18155	1503	1165	119	85	8246	4938
81	Шершнёвское	280	11,0	9,9	76	61	5,6	23145	16185	1555	1205	121	89	8396	5028
82	Чернушинское	225	15,3	6,0	47	42	6,0	32964	23052	1426	1105	137	66	7785	4662

Id	Месторождение	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe2O3	Fe	MnO	Mn	Cr	V	TiO2	Ti
83	Чернушинское	227	16,0	5,2	45	43	7,9	33458	23397	1365	1058	136	68	7896	4728
84	Павловское	232	13,1	5,8	63	55	4,1	36785	25724	1456	1129	151	55	6912	4139
85	Павловское	233	14,2	6,2	62	55	6,8	37145	25976	1502	1164	164	57	6896	4129
86	Поспеловский участок	225	15,8	7,2	75	47	6,6	33478	23411	1593	1235	170	72	7718	4622
87	Поспеловский участок		26,8	13,1	70	70	9,0	47311	33085	1641	1272	133	63	7320	4383
88	Красноярско-Куединское	153	27,6	19,9	61	63	7,9	43345	30311	1191	923	143	66	8172	4893
89	Красноярско-Куединское	141	10,5	3,1	68	56	7,8	38134	26667	1621	1256	204	67	7699	4610
90	Гондыревское	303	21,6	4,9	69	59	7,7	39177	27397	1246	966	153	54	71	42
91	Гондыревское	149	14,9	3,5	64	69	8,3	45567	31865	1055	818	149	77	7931	4749
92	Солодовский участок	318	23,7	6,4	60	81	9,6	52730	36874	1083	840	183	57	7072	4235
93	Солодовский участок	162	21,6	6,9	61	52	7,4	37344	26115	1159	898	176	78	8544	5116
94	Солодовский участок	336	28,6	17,6	75	60	7,7	38518	26936	1464	1135	135	65	7513	4499
95	Солодовский участок	230	26,2	17,5	72	60	7,9	39225	27430	1312	1017	147	73	7848	4699
96	Осинское	376	13,4	8,2	60	64	9,1	47886	33487	1920	1489	177	60	7211	4318
97	Осинское	159	24,9	15,5	78	89	10,8	57822	40435	1259	976	187	57	7380	4419
98	Рассветное	315	14,2	10,1	39	32	6,6	29150	20385	799	619	118	78	7940	4754
99	Рассветное	178	22,1	16,6	54	38	7,5	32064	22422	971	753	139	66	7122	4265
100	Батырбайское (Константинов)	164	17,2	10,2	60	85	10,4	52315	36584	1509	1170	140	50	6141	3677
101	Батырбайское (Константинов)	417	24,3	12,4	61	46	8,3	39438	27579	2861	2218	146	62	6588	3945
102	Таныпское	222	15,7	5,2	65	56	7,5	37562	26267	1140	884	123	58	7052	4223
103	Таныпское	220	32,6	23,4	48	40	7,0	31865	22283	1501	1163	148	66	7646	4578
104	Ручьёвское	215	14,1	7,0	53	47	23,5	36547	25557	1547	1199	143	55	7584	4541
105	Ручьёвское	223	13,7	3,5	52	48	19,0	37512	26232	1498	1161	137	55	7413	4439
106	Ручьёвское	201	18,1	5,7	53	45	17,6	35691	24959	1532	1188	127	54	7502	4492
107	Ручьёвское	203	12,1	6,0	54	47	15,0	35617	24907	1539	1193	124	55	7539	4514
108	Поспеловский участок		16,3	9,2	58	54	7,5	38941	27231	1224	949	149	82	8145	4877
109	Поспеловский участок	134	16,5	12,4	57	57	7,8	42668	29838	1649	1278	121	48	6533	3912
110	Поспеловский участок		20,5	11,8	53	45	7,7	39291	27476	808	626	159	89	9308	5574

Id	Месторождение	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe2O3	Fe	MnO	Mn	Cr	V	TiO2	Ti
111	Поспеловский участок	148	21,1	11,4	50	39	5,9	28941	20238	1271	985	133	87	8744	5236
112	Падунское	255	19,7	6,8	62	53	8,1	34851	24371	1496	1160	149	53	6312	3780
113	Падунское	246	18,8	5,0	59	59	7,4	35126	24564	1478	1146	151	51	6912	4139
114	Баклановское	344	8,9	2,0	121	63	8,2	34589	24188	1457	1129	133	66	5748	3442
115	Баклановское	320	14,7	5,4	79	40	11,0	35621	24910	1478	1146	139	62	7001	4192
116	Баклановское	325	14,2	6,1	80	41	10,0	33458	23397	1502	1164	137	59	6942	4157
117	Баклановское	266	10,1	7,1	88	41	9,0	36521	25539	2635	2042	153	64	6485	3883
118	Шумовское	133	15,1	8,8	49	39	9,1	42159	29482	1246	966	147	53	6214	3721
119	Шумовское	152	13,9	5,5	74	26	7,1	32785	22927	1533	1188	147	65	5963	3571
120	Мало-Усинское	176	15,0	8,0	51	42	6,2	41589	29083	1659	1286	133	58	6011	3599
121	Мало-Усинское	220	21,0	8,0	67	43	7,0	26476	18515	1478	1146	103	66	7856	4704
122	Кокуйское	204	12,1	5,4	58	74	10,1	55633	38904	1184	918	165	46	6966	4171
123	Кокуйское	129	3,2	4,7	43	55	10,6	63764	44590	1501	1164	109	24	4644	2781
124	Кокуйское	454	12,9	4,1	52	55	8,9	42200	29510	801	621	131	27	4925	2949
125	Кокуйское	181	10,2	1,8	52	59	7,5	41768	29208	998	774	122	33	5662	3390
126	Кокуйское	623	13,9	8,9	51	52	6,6	33980	23762	505	391	124	28	47	28
127	Кокуйское	189	19,4	9,0	50	52	7,8	38297	26781	1136	881	118	36	5455	3266
128	Кокуйское	674	2,1	2,0	41	56	8,7	40440	28280	469	364	112	24	4521	2707
129	Кокуйское	343	8,2	3,3	39	45	7,6	35139	24573	604	468	132	57	6814	4080
130	Кокуйское		13,7	5,4	15	8	2,2	4938	3453	143	111	42	46	1008	604
131	Кокуйское	127	16,9		50	71	8,0	47967	33543	1857	1440	133	41	6394	3829
132	Кокуйское	214	16,6	12,6	49	47	7,1	33284	23276	1277	990	137	55	6405	3835
133	Кокуйское	649	7,7	5,7	64	62	8,6	36307	25390	1051	815	138	19	4872	2917
134	Кокуйское	372	9,5		47	61	8,2	40603	28394	2048	1588	136	39	5555	3326
135	Кокуйское	423	8,8	4,3	52	62	7,5	39152	27379	750	581	155	38	5690	3407
136	Кокуйское		11,0	8,1	19	22	4,6	13320	9315	367	284	58	25	2006	1201
137	Кокуйское	886	5,1	6,7	48	33	6,6	21845	15276	751	582	136	38	3391	2031
138	Кокуйское	425	9,1	2,5	61	67	7,7	43324	30297	526	408	157	49	6575	3937

Id	Месторождение	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe2O3	Fe	MnO	Mn	Cr	V	TiO2	Ti
139	Кокуйское	390	21,2	11,6	66	50	7,9	37709	26370	1219	945	125	43	5560	3329
140	Кокуйское	633	14,0	2,1	55	47	7,2	33592	23491	943	731	105	38	5442	3259
141	Кокуйское	278	11,3	7,9	59	67	8,3	47138	32964	1375	1066	128	40	5887	3525
142	Кокуйское	803	10,4	9,1	52	47	7,6	30019	20992	842	653	105	16	3642	2181
143	Кокуйское	427	37,8	5,0	57	52	7,1	32449	22692	917	711	113	7	3684	2206
144	Кокуйское	259	7,6	8,7	61	62		41263	28855	1040	806	132	112	6338	3795
145	Кокуйское	195	8,2	6,2	50	49	10,5	32159	22489	1055	818	122	68	6036	3614
146	Кокуйское	231	7,0	7,5	45	52	24,6	35768	25013	837	649	111	90	6486	3884

ПРИЛОЖЕНИЕ 8. Результаты измерений содержания макро- и микроэлементов в почвах на территории Кизеловского угольного бассейна, мг/кг

FID	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe2O3	Fe	MnO	Mn	Cr	V	TiO2	Ti
Органогенный горизонт														
0	228	15,2	10,4	78	65	25	30682	21456	1207	936	142	98	7771	4653
1	232	16,3	9,9	81	67	24	38889	27195	1534	1189	166	83	7308	4376
2	216	17,1	8,8	74	74	21	34744	24296	1174	910	175	91	7411	4438
3	245	16,5	11,1	88	69	22	30897	21606	1270	984	169	82	8406	5034
4	251	15,2	10,8	95	65	24	35498	24824	1500	1163	170	61	7498	4490
5	237	11,0	9,8	87	66	28	33905	23710	1150	891	162	96	7209	4317
6	226	11,3	7,9	79	68	24	39764	27807	1267	982	168	91	7936	4752
7	235	12,8	9,0	78	65	24	31902	22309	1616	1253	163	86	8062	4828
8	241	13,8	11,0	80	70	26	35620	24909	1543	1196	166	101	7881	4719
9	257	15,0	12,5	85	76	26	37627	26312	1164	903	168	95	8390	5024
10	273	15,1	14,1	91	81	26	34615	24206	1672	1296	173	74	8377	5016
11	245	16,5	10,5	89	77	25	36814	25744	1621	1257	163	92	7302	4372
12	238	15,8	12,4	86	74	25	31602	22099	1197	928	167	81	7428	4448
13	221	14,6	11,3	86	75	24	31191	21812	1486	1152	201	100	8288	4963
14	274	18,8	15,9	85	74	25	36525	25542	1272	986	209	94	8281	4959
15	234	19,7	14,9	87	71	25	34897	24403	1290	1000	188	97	7428	4448
16	228	18,7	13,3	87	70	27	32508	22733	1686	1307	185	61	7257	4345
17	221	17,9	16,9	79	69	28	35474	24807	1071	830	192	68	7996	4788
18	249	17,9	14,2	81	75	24	31228	21837	1692	1312	194	60	7593	4547
19	251	19,8	14,0	82	75	25	33579	23482	1677	1300	185	67	7896	4728
20	240	18,2	14,9	85	70	25	36609	25601	1199	929	197	94	7354	4404
21	226	17,8	11,3	87	73	23	39479	27608	1699	1317	199	81	8079	4838
22	231	21,0	12,3	85	73	26	39253	27450	1136	880	190	73	7437	4453
23	235	19,9	11,5	80	75	26	39788	27824	1098	851	201	83	7320	4383
24	224	17,1	11,4	78	70	29	39612	27701	1189	921	189	69	7626	4567
25	264	24,3	17,5	91	85	27	34458	24096	1245	965	209	74	7892	4726
26	258	19,1	16,8	92	84	27	30312	21197	1363	1057	209	74	8006	4794

FID	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe2O3	Fe	MnO	Mn	Cr	V	TiO2	Ti
27	259	21,4	16,1	86	85	30	35703	24967	1196	927	181	89	7247	4339
28	243	22,1	15,0	82	79	30	38067	26620	1175	911	203	97	7618	4561
29	259	23,3	16,0	89	82	30	30462	21302	1275	989	198	99	7732	4630
30	201	19,7	12,8	73	65	24	36314	25394	1105	856	187	78	8193	4906
31	228	18,1	11,0	76	67	23	37865	26479	1281	993	199	90	7385	4422
32	212	17,1	11,0	75	64	25	34821	24350	1537	1191	181	78	8107	4855
33	198	16,2	8,7	80	59	19	30627	21418	1417	1099	200	92	8207	4914
34	287	27,8	17,4	92	86	29	39536	27647	1434	1112	199	76	7369	4413
35	254	24,1	16,6	87	84	27	35000	24476	1157	897	193	81	7422	4445
36	255	20,0	15,7	85	83	28	31264	21863	1565	1213	199	90	8308	4975
37	196	18,2	10,2	84	64	23	34413	24065	1360	1054	199	74	7558	4526
38	224	17,3	11,0	81	79	24	30479	21314	1674	1298	197	90	7981	4779
39	225	16,9	11,1	82	78	23	35347	24718	1072	831	197	74	7601	4552
40	227	19,8	12,0	84	79	24	37586	26284	1142	885	190	61	7833	4691
41	228	19,4	10,3	83	76	24	36407	25459	1509	1170	179	73	7441	4456
42	226	19,5	11,0	84	75	23	33086	23137	1216	943	192	90	7332	4390
43	231	17,2	11,8	84	76	25	38522	26938	1239	960	186	80	7721	4623
44	216	15,4	10,4	82	76	21	31471	22007	1650	1279	195	86	7609	4556
45	205	13,2	9,4	82	75	21	31211	21826	1526	1183	185	72	8431	5048
46	236	18,8	11,4	82	75	25	32111	22456	1604	1244	200	71	8314	4979
47	217	16,6	10,4	84	72	24	36627	25613	1553	1204	190	75	7758	4646
48	208	15,5	10,2	79	72	22	32755	22906	1611	1249	187	99	8339	4994
49	211	16,1	8,5	80	70	24	30367	21236	1294	1003	197	67	7331	4390
50	210	17,9	7,3	81	72	24	32060	22419	1430	1108	191	71	7698	4609
51	228	14,6	8,1	82	73	24	33580	23482	1653	1282	200	62	7293	4367
52	232	19,8	10,5	84	73	25	33098	23145	1338	1037	189	77	7930	4749
53	241	20,0	13,0	86	79	26	35253	24653	1524	1181	197	71	7861	4707
54	217	14,7	11,4	82	76	23	36061	25217	1276	989	180	78	7818	4681
55	218	15,7	10,9	82	71	23	36348	25418	1430	1108	197	97	7420	4443
56	228	16,9	11,0	83	73	25	33139	23174	1499	1162	195	88	8338	4993

FID	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe2O3	Fe	MnO	Mn	Cr	V	TiO2	Ti
57	235	17,1	12,1	85	75	26	36042	25204	1196	927	181	60	8326	4986
58	201	15,4	9,3	87	60	24	36608	25600	1492	1156	182	67	7515	4500
59	197	14,1	7,4	81	59	23	31178	21803	1363	1057	208	92	8160	4886
60	198	14,4	8,0	80	61	23	36185	25304	1174	910	190	80	8149	4879
61	167	15,0	7,9	69	58	20	37498	26222	1642	1272	208	67	8179	4897
62	189	14,8	9,9	72	60	19	39158	27383	1558	1208	186	98	7518	4502
63	192	15,1	8,4	69	61	19	39062	27316	1609	1248	150	77	7217	4322
64	205	14,2	7,4	76	69	22	34076	23829	1338	1037	154	101	7514	4500
65	287	15,6	11,5	89	87	27	35027	24495	1602	1242	144	64	8270	4952
66	165	16,4	7,0	65	61	21	35773	25016	1645	1275	145	97	8073	4834
67	178	13,3	9,0	67	61	20	34440	24084	1201	931	149	86	8399	5029
68	195	14,1	9,8	67	61	25	31409	21964	1651	1280	153	75	8478	5077
69	201	15,5	8,4	69	62	24	35385	24745	1286	997	150	67	7803	4672
70	185	13,3	4,4	64	60	26	33566	23473	1275	989	155	78	8142	4875
71	198	12,9	5,0	65	62	24	31762	22211	1376	1066	152	65	7502	4492
72	192	13,5	7,0	62	61	27	39220	27426	1720	1333	144	65	7227	4328
73	183	12,4	7,9	61	59	22	39531	27644	1696	1315	151	60	8188	4903
74	188	12,0	4,0	66	58	26	31723	22184	1146	888	152	66	8238	4933
75	192	12,4	5,9	64	59	25	38701	27064	1556	1206	149	96	7440	4455
76	201	11,6	6,9	79	62	21	36382	25442	1562	1211	148	70	7702	4612
77	205	12,4	7,9	80	64	23	38707	27068	1662	1289	146	68	7345	4398
78	255	11,0	8,0	91	72	21	39298	27481	1701	1318	141	62	7364	4410
79	206	11,0	6,3	76	70	21	35187	24607	1619	1255	150	88	8182	4899
80	210	12,4	8,0	80	69	22	33761	23609	1625	1259	144	74	7786	4662
81	198	11,9	4,3	65	73	20	36297	25383	1080	838	153	80	8479	5077
82	201	13,1	5,9	69	73	21	37576	26277	1238	960	150	88	7631	4569
83	185	12,4	4,1	65	66	20	35331	24707	1558	1208	152	78	7988	4783
84	210	12,1	7,0	71	59	29	39916	27913	1403	1088	150	95	7291	4366
85	181	13,6	6,5	74	51	24	33034	23100	1532	1188	143	83	7227	4328
86	182	14,1	5,1	70	50	20	33995	23773	1360	1054	146	84	7571	4534

FID	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe2O3	Fe	MnO	Mn	Cr	V	TiO2	Ti
87	178	15,3	4,7	69	51	21	35631	24917	1676	1299	171	83	7734	4631
88	195	16,5	5,2	65	56	18	37716	26375	1477	1145	189	72	8125	4865
89	201	14,8	6,4	75	55	22	33720	23580	1161	900	176	81	8369	5011
90	198	15,2	7,5	71	51	19	37769	26412	1671	1295	175	73	7709	4616
91	187	16,6	5,7	73	52	20	36482	25512	1387	1075	186	75	8246	4937
92	212	15,4	6,2	76	54	21	30796	21536	1312	1017	170	89	7583	4541
93	187	12,9	6,9	79	52	25	39197	27410	1346	1043	170	61	7594	4547
94	215	13,5	7,9	84	54	24	37683	26352	1206	935	175	87	7944	4757
95	225	17,8	9,8	84	56	26	35665	24940	1615	1252	181	60	7681	4600
96	223	16,8	11,4	83	56	26	31437	21984	1097	851	176	93	8229	4928
97	245	15,8	12,8	87	81	28	37882	26491	1534	1189	185	88	7436	4453
98	238	16,9	19,8	86	79	28	39430	27574	1548	1200	182	65	8464	5068
99	241	17,9	14,6	86	78	27	35348	24719	1070	829	186	89	7997	4789
100	229	13,5	13,7	82	79	27	32939	23034	1219	945	186	68	7311	4378
101	219	14,9	12,8	81	80	29	32136	22473	1620	1256	180	84	7622	4564
102	247	19,8	14,9	85	81	29	30395	21255	1609	1248	185	94	8249	4940
Подгумусовый горизонт														
0	190	17,9	7,3	62	59	23	33079	23132	1101	853	132	70	7347	4399
1	155	20,6	6,2	61	59	24	33640	23524	1477	1145	132	71	7537	4513
2	123	15,0	7,0	63	53	20	34592	24190	1258	975	134	71	8107	4854
3	204	11,3	7,9	59	60	21	31729	22188	1147	889	126	69	7974	4775
4	193	11,9	8,0	69	61	23	32340	22616	1258	975	121	71	7470	4473
5	169	8,2	7,0	63	60	25	34237	23942	1245	965	128	73	8017	4801
6	151	11,7	7,6	66	57	24	31406	21962	1257	974	138	65	7687	4603
7	196	11,4	6,9	60	54	26	34056	23815	1101	853	129	63	7144	4278
8	127	11,1	6,0	61	53	25	32178	22502	1248	967	135	64	7244	4338
9	234	13,2	5,9	62	64	26	30415	21270	1256	974	136	70	7158	4286
10	144	12,7	6,0	64	65	24	29704	20772	1369	1061	130	65	8018	4801
11	175	11,3	5,7	70	65	23	29995	20975	1125	872	130	64	7290	4365
12	198	10,1	7,9	62	65	21	30162	21092	1101	853	132	66	7791	4665

FID	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe2O3	Fe	MnO	Mn	Cr	V	TiO2	Ti
13	147	10,5	7,0	62	62	23	32610	22804	1100	853	145	71	7941	4755
14	157	10,0	7,9	66	60	23	31458	21999	1157	897	157	71	7885	4721
15	195	11,3	8,0	66	61	25	30252	21155	1147	889	161	72	7659	4586
16	175	11,2	6,6	70	62	29	33380	23343	1247	967	153	72	7517	4501
17	158	9,5	6,9	71	65	27	32957	23047	1146	888	173	69	7134	4272
18	166	11,0	6,2	69	65	26	33739	23594	1255	973	155	61	7484	4481
19	209	12,1	7,0	69	63	24	31174	21800	1357	1052	163	64	8053	4822
20	126	11,8	6,9	67	64	25	29753	20806	1477	1145	166	66	8038	4813
21	205	10,0	6,3	69	65	25	30679	21454	1259	976	166	67	7397	4429
22	122	12,7	8,7	62	66	25	29936	20934	1369	1061	171	66	7289	4365
23	168	16,3	8,0	63	67	25	33446	23389	1248	967	180	65	7513	4499
24	187	12,3	8,0	62	68	27	34007	23781	1269	984	154	64	7631	4569
25	176	16,9	9,0	60	65	27	34498	24124	1129	875	170	65	7852	4702
26	147	12,3	7,9	70	68	27	32729	22888	1247	967	172	67	7442	4456
27	216	15,4	8,1	68	64	26	32187	22508	1356	1051	169	68	7532	4510
28	187	15,5	8,7	53	65	26	34001	23777	1147	889	175	69	7902	4732
29	185	15,1	8,1	63	66	26	32513	22736	1045	810	178	71	7728	4627
30	134	10,1	7,3	66	70	25	33401	23358	1106	857	165	73	7391	4426
31	190	15,0	7,9	71	72	26	30349	21223	1154	895	168	74	7321	4384
32	151	9,8	6,8	73	72	26	34172	23896	1259	976	176	66	7499	4490
33	132	12,0	8,1	74	74	24	34482	24113	1369	1061	181	64	7541	4515
34	239	19,7	7,9	61	71	26	30489	21321	1235	957	165	63	7697	4609
35	134	19,6	8,9	63	73	25	31693	22163	1149	891	173	63	7388	4424
36	232	14,7	6,5	64	74	26	30846	21571	1238	960	175	65	7601	4551
37	103	13,1	7,9	63	69	27	31427	21977	1476	1144	181	71	7956	4764
38	160	12,1	7,4	61	66	25	30868	21586	1547	1199	170	73	7535	4512
39	188	11,6	6,5	63	67	23	34555	24164	1144	887	163	74	7478	4478
40	151	12,9	6,0	66	64	24	31741	22196	1239	961	159	70	8021	4803
41	130	12,3	5,3	70	65	22	33282	23274	1360	1054	156	72	7820	4683
42	151	17,3	7,9	65	67	23	30190	21112	1439	1116	151	72	7605	4554

FID	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe2O3	Fe	MnO	Mn	Cr	V	TiO2	Ti
43	193	11,8	7,9	67	62	24	29828	20859	1348	1045	154	73	7477	4477
44	154	10,4	6,9	57	65	26	30303	21191	1476	1144	144	73	7087	4244
45	137	8,5	7,0	60	65	20	30107	21054	1471	1140	158	74	7033	4212
46	197	13,7	5,9	61	66	22	30583	21387	1584	1228	158	76	7526	4507
47	181	10,7	5,2	60	69	23	32637	22823	1277	990	149	70	7446	4459
48	160	8,5	5,8	65	65	20	31251	21854	1158	898	151	69	7374	4416
49	151	8,4	5,4	55	64	24	32507	22732	1244	964	165	71	8097	4849
50	140	12,5	5,0	83	67	22	34616	24207	1147	889	170	73	7320	4383
51	190	11,7	4,9	81	65	22	31637	22124	1259	976	171	65	8058	4825
52	161	13,6	6,9	53	60	24	33650	23531	1348	1045	166	64	7995	4788
53	161	12,8	4,9	55	60	25	30875	21591	1429	1107	162	66	7052	4223
54	176	12,8	5,4	56	60	24	31319	21901	1346	1043	172	66	7901	4731
55	131	14,4	5,0	60	62	23	32863	22981	1359	1053	166	68	7884	4721
56	190	14,0	6,3	58	57	21	31502	22030	1246	966	152	69	7578	4538
57	214	12,8	5,9	59	56	20	31861	22280	1480	1147	151	61	7704	4613
58	212	12,5	4,8	64	58	20	34057	23816	1328	1029	152	63	7927	4746
59	203	12,5	4,5	65	58	21	30771	21518	1473	1142	157	68	7314	4380
60	233	12,1	4,7	65	59	23	32393	22653	1240	961	152	55	7399	4430
61	239	12,4	3,7	55	58	23	33845	23668	1329	1030	164	60	7395	4428
62	180	13,0	4,2	57	59	25	34507	24131	1472	1141	165	61	7870	4712
63	160	12,5	3,9	59	54	24	32543	22757	1522	1180	157	66	7090	4245
64	178	11,3	4,0	57	56	23	31228	21837	1429	1108	159	66	7442	4456
65	239	15,9	4,6	60	59	21	34854	24373	1546	1198	155	68	7966	4770
66	150	17,6	3,7	52	53	23	29649	20734	1429	1108	154	69	7789	4664
67	187	11,2	5,9	50	54	23	32464	22702	1329	1030	153	70	7485	4482
68	229	10,9	5,0	51	57	21	30467	21306	1471	1140	155	79	7807	4675
69	287	11,8	5,9	58	58	23	32993	23072	1544	1197	161	70	7686	4602
70	176	11,9	4,6	50	59	24	33578	23481	1428	1107	163	72	8070	4832
71	165	8,8	4,4	49	52	25	33787	23627	1353	1049	164	62	7720	4623
72	167	10,5	4,8	53	50	23	34607	24201	1140	884	155	63	8043	4816

FID	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe2O3	Fe	MnO	Mn	Cr	V	TiO2	Ti
73	153	9,3	4,8	53	51	23	30477	21312	1259	976	136	65	7547	4519
74	171	8,5	4,3	52	52	24	31064	21723	1144	887	142	60	7390	4425
75	167	13,9	3,7	51	51	24	33474	23408	1043	809	140	66	7308	4376
76	168	10,4	4,7	53	50	24	32647	22830	1147	889	138	63	7692	4606
77	186	10,9	4,7	55	55	24	32187	22508	1255	973	130	63	7679	4598
78	268	9,6	5,4	52	52	25	30709	21475	1358	1053	131	61	7244	4338
79	242	9,0	5,3	50	51	25	34193	23911	1148	890	133	68	8093	4846
80	300	10,9	5,8	55	53	23	33408	23363	1027	796	140	67	7328	4388
81	189	8,4	4,8	51	54	24	31045	21710	1144	887	136	64	7859	4706
82	168	12,5	4,8	52	50	25	30609	21405	1148	890	138	66	7043	4217
83	176	13,0	4,0	53	51	22	30828	21558	1246	966	136	67	7745	4638
84	175	14,2	5,2	50	53	22	29845	20871	1264	980	134	72	7312	4378
85	157	17,2	5,2	69	50	25	32641	22826	1347	1044	130	73	8066	4830
86	152	12,4	4,9	70	51	24	34617	24208	1124	872	129	72	7085	4243
87	162	15,8	4,1	69	53	22	30362	21232	1286	997	136	74	7878	4717
88	170	14,7	4,4	69	53	25	31915	22318	1350	1046	137	75	7176	4297
89	168	18,2	4,9	68	50	23	29909	20915	1244	964	137	72	7233	4331
90	180	14,9	5,9	70	51	24	29620	20713	1343	1041	139	72	7532	4510
91	134	15,8	5,1	70	53	24	30153	21086	1259	976	144	74	7631	4569
92	177	15,5	5,9	71	55	23	34519	24139	1294	1003	146	75	7317	4382
93	125	12,5	5,8	70	50	24	31068	21726	1253	971	135	76	7587	4543
94	123	12,5	5,9	72	52	24	30346	21221	1287	998	139	75	7649	4580
95	188	13,9	6,1	69	60	25	34447	24089	1479	1146	146	59	7807	4675
96	172	12,4	7,9	69	65	24	33647	23530	1358	1053	154	59	7414	4440
97	175	14,2	8,8	66	61	26	29964	20954	1471	1140	161	66	8050	4820
98	159	11,7	7,1	62	62	24	31173	21799	1359	1053	160	60	7035	4212
99	201	11,5	7,0	64	63	26	33296	23284	1248	968	162	58	8109	4856
100	164	8,3	6,9	66	66	21	33096	23144	1148	890	162	60	7332	4390
101	146	10,2	7,5	66	62	27	30918	21621	1476	1144	158	61	7611	4557
102	206	16,3	6,9	67	63	25	30198	21117	1479	1147	160	64	7119	4263

ПРИЛОЖЕНИЕ 9. Результаты измерений содержания макро- и микроэлементов в почвах на территории Верхнекамского-месторождения солей, мг/кг

FID	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe2O3	Fe	MnO	Mn	Cr	V	TiO2	Ti
Органогенный горизонт														
0	291	14,6	6,8	77	33	23,8	40296	28179	1295	1004	140	75	6506	3896
1	296	16,8	7,1	77	39	20,2	41086	28731	1305	1012	143	71	6698	4011
2	298	14,3	7,9	71	30	21,6	39643	27722	1246	966	144	73	6826	4087
3	301	15,6	5,7	73	29	25,1	40269	28160	1389	1077	136	79	6710	4018
4	382	15,0	6,8	74	35	19,9	41068	28719	1208	936	138	79	6792	4067
5	279	16,9	7,0	67	33	20,3	42078	29425	1369	1061	140	69	6603	3954
6	291	15,7	5,3	69	36	22,0	39642	27722	1250	969	140	64	6682	4001
7	293	14,9	7,3	71	34	22,0	40139	28069	1203	933	144	73	6791	4066
8	321	16,0	6,1	75	32	20,1	41252	28848	1285	996	155	81	6652	3983
9	316	14,2	7,2	81	28	25,8	40325	28199	1302	1009	153	84	6598	3951
10	314	16,5	8,5	78	29	28,5	41023	28687	1238	960	156	89	6702	4013
11	316	17,9	7,2	85	38	27,2	40589	28384	1358	1053	149	85	6650	3982
12	319	16,4	6,1	86	34	25,0	39542	27652	1302	1009	152	85	6698	4011
13	309	14,0	6,0	80	30	24,5	40126	28060	1397	1083	157	86	6702	4013
14	317	15,5	5,8	81	28	29,0	40286	28172	1296	1005	154	80	6623	3966
15	315	16,4	5,1	81	28	27,5	39612	27701	1302	1009	149	84	6896	4129
16	315	16,9	5,9	79	32	20,9	39562	27666	1249	968	148	76	6652	3983
17	311	17,5	6,2	79	32	22,6	41056	28710	1342	1040	151	76	6789	4065
18	313	16,1	6,4	75	34	23,8	40382	28239	1285	996	152	80	6721	4025
19	311	15,9	6,4	81	34	24,8	41289	28873	1362	1056	154	82	6724	4026
20	306	14,8	8,5	82	36	25,6	30395	21255	1205	934	156	83	6720	4024
21	307	15,3	7,1	79	34	24,1	39165	27388	1365	1058	150	76	6682	4001
22	300	15,9	6,7	82	34	20,5	40129	28062	1250	969	151	75	6602	3953
23	307	16,1	6,0	82	36	21,9	41328	28901	1201	931	151	75	6620	3964

FID	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe2O3	Fe	MnO	Mn	Cr	V	TiO2	Ti
24	300	15,3	7,0	80	33	19,0	38965	27248	1258	975	154	80	6638	3975
25	287	16,7	6,0	81	31	19,0	39125	27360	1293	1002	148	84	6582	3941
26	301	16,3	6,5	84	34	18,5	38563	26967	1271	985	151	82	6402	3834
27	300	15,7	5,5	85	30	18,0	39128	27362	1193	925	150	84	6385	3823
28	298	14,1	6,1	79	32	17,6	39138	27369	1289	999	146	85	6789	4065
29	286	17,0	6,6	81	33	18,4	39610	27699	1320	1023	140	80	6702	4013
30	288	15,2	7,0	83	31	19,3	38216	26724	1296	1005	144	83	6793	4068
31	303	14,7	5,9	81	33	18,3	38964	27248	1257	974	146	81	6605	3955
32	305	16,6	7,1	81	30	18,0	38903	27205	1263	979	150	83	6685	4003
33	306	15,9	5,3	79	32	17,9	38964	27248	1301	1009	143	81	6652	3983
34	304	16,9	7,0	76	34	18,6	39214	27422	1358	1053	140	81	6715	4021
35	308	15,7	6,4	80	30	19,1	38165	26689	1362	1056	141	80	6639	3975
36	328	14,3	7,2	81	31	18,6	39246	27445	1289	999	143	74	6523	3906
37	315	15,4	6,5	83	34	18,0	39025	27290	1320	1023	143	78	6698	4011
38	313	16,5	7,8	83	32	19,2	39648	27726	1350	1047	146	81	6789	4065
39	299	15,5	6,3	76	29	19,7	38964	27248	1328	1029	151	82	6693	4008
40	289	15,2	6,2	71	30	12,6	37149	25978	1102	854	120	65	6528	3909
41	279	14,8	7,0	73	33	13,5	36912	25813	1201	931	119	67	6693	4008
42	285	16,2	6,8	71	31	13,7	37459	26195	1196	927	125	69	6713	4020
43	289	14,3	6,0	80	31	19,0	40236	28137	1302	1009	166	81	6482	3881
44	264	14,8	6,0	66	28	17,0	37985	26563	1205	934	144	69	6712	4019
45	296	16,2	6,6	84	35	18,0	42861	29973	1365	1058	158	92	6589	3946
46	298	14,8	5,9	92	34	19,6	43296	30277	1486	1152	156	89	6712	4019
47	305	15,0	7,0	84	35	15,3	45861	32071	1523	1181	146	85	7025	4207
48	301	16,3	6,9	88	37	17,9	44523	31135	1428	1107	161	79	6852	4103
49	300	12,9	8,0	88	37	19,9	45763	32002	1379	1069	159	83	6793	4068
50	304	13,6	8,1	81	30	21,1	46931	32819	1402	1087	163	84	6630	3970
51	311	14,8	7,5	84	30	20,1	45821	32043	1529	1185	184	90	6789	4065
52	316	11,4	6,9	88	32	24,6	48935	34220	1349	1046	180	72	6825	4087
53	320	14,6	5,0	88	33	21,9	46821	32742	1471	1140	198	79	6952	4163

FID	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe2O3	Fe	MnO	Mn	Cr	V	TiO2	Ti
54	307	15,9	6,2	79	36	22,6	47315	33087	1502	1164	186	83	6782	4061
55	311	13,7	5,8	77	32	23,5	46851	32763	1439	1116	168	85	6823	4086
56	347	14,2	6,1	82	30	20,2	47893	33492	1579	1224	153	87	6987	4184
57	315	15,0	5,9	83	31	21,7	45021	31483	1602	1242	159	87	6825	4087
58	312	14,0	5,7	86	26	21,6	45398	31747	1479	1147	155	87	6725	4027
59	311	14,1	6,0	80	31	19,0	40129	28062	1323	1026	165	82	6715	4021
60	275	14,0	6,3	65	30	15,2	38521	26938	1175	911	147	69	6698	4011
61	313	13,3	5,9	80	28	19,0	40569	28370	1298	1006	165	82	6712	4019
62	276	14,2	6,1	67	28	16,5	37961	26546	1196	927	142	70	6693	4008
63	312	15,4	6,0	79	30	19,3	39821	27847	1254	972	164	81	6789	4065
64	313	15,0	5,9	87	25	20,3	44125	30857	1425	1105	160	90	6793	4068
65	315	14,6	5,4	88	24	21,6	45823	32044	1479	1147	166	91	6721	4025
66	314	13,3	5,7	81	26	20,1	45216	31620	1493	1157	180	85	6630	3970
67	317	14,7	6,0	85	22	22,6	45398	31747	1528	1184	181	91	6872	4115
68	313	15,3	6,0	90	26	25,9	45139	31566	1520	1178	186	90	6921	4144
69	310	14,9	6,8	83	25	23,7	46932	32820	1574	1220	175	91	6712	4019
70	313	14,8	5,9	88	27	20,1	46027	32187	1521	1179	172	82	6893	4128
71	311	16,2	5,7	85	27	22,6	46823	32743	1476	1144	164	87	6714	4020
72	313	16,5	5,5	87	26	21,5	46021	32183	1524	1181	158	90	6792	4067
73	315	14,7	5,3	88	26	22,6	46852	32764	1578	1223	161	91	6712	4019
74	315	15,0	6,1	90	30	23,7	47136	32962	1499	1162	170	91	6682	4001
75	317	13,3	6,0	90	27	21,5	46932	32820	1524	1181	176	85	6611	3959
76	317	16,9	5,3	86	29	22,0	47852	33463	1586	1229	181	92	6734	4032
77	319	17,5	5,4	91	27	23,7	47931	33518	1593	1235	187	93	6789	4065
78	298	14,8	5,9	81	25	19,7	40128	28062	1359	1053	168	82	6713	4020
79	299	15,3	5,2	73	22	17,5	41036	28697	1302	1009	159	74	6695	4009
80	297	15,2	6,4	77	22	19,0	39563	27666	1403	1088	155	80	6415	3841
81	301	16,0	7,1	75	23	19,9	40129	28062	1365	1058	161	75	6921	4144
82	289	14,4	7,3	79	24	17,4	41796	29228	1325	1027	155	76	6789	4065
83	280	15,2	6,9	76	22	17,9	40246	28144	1245	965	158	76	6521	3905

FID	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe2O3	Fe	MnO	Mn	Cr	V	TiO2	Ti
84	276	14,4	5,9	74	23	18,0	39652	27729	1296	1005	160	77	6698	4011
85	280	15,0	6,2	81	25	20,6	41596	29088	1366	1059	173	86	6513	3900
86	311	15,3	6,0	83	24	22,6	42178	29495	1322	1025	171	83	6637	3974
87	301	14,3	6,3	75	23	17,5	37896	26501	1120	868	147	72	6713	4020
88	290	15,2	6,3	75	24	19,9	39654	27730	1254	972	154	82	6596	3950
89	288	16,4	6,2	74	25	18,7	40289	28174	1296	1005	157	76	6428	3849
90	292	14,3	6,0	75	25	19,0	40796	28529	1301	1009	161	77	6637	3974
91	287	14,3	6,9	66	34	13,0	35082	24533	1098	851	131	64	6520	3904
92	286	14,0	7,0	68	33	13,0	35961	25148	1082	839	129	64	6349	3802
93	285	14,8	6,5	65	34	13,9	36964	25849	999	774	127	66	6482	3881
94	298	14,6	6,0	77	31	17,3	39521	27637	1286	997	140	79	6605	3955
95	291	15,2	5,9	77	33	18,5	41028	28691	1328	1029	142	81	6712	4019
96	289	14,7	5,8	72	34	16,2	40563	28366	1308	1014	142	85	6523	3906
97	301	16,2	6,1	77	30	17,1	39861	27875	1396	1082	147	85	6694	4008
98	306	13,5	5,8	79	31	18,6	40012	27980	1289	999	147	86	6631	3971
99	279	14,3	5,8	69	32	10,3	37952	26540	1102	854	136	68	6563	3930
100	296	15,4	6,3	73	33	15,5	39521	27637	1249	968	130	80	6638	3975
101	287	14,3	6,1	71	36	12,5	36945	25836	1046	811	131	71	6520	3904
102	286	15,0	6,0	69	34	13,6	37215	26024	996	772	128	66	6631	3971
103	279	15,0	5,3	72	33	15,1	38215	26724	1302	1009	143	76	6712	4019
104	286	15,0	6,4	75	36	15,0	38192	26708	1289	999	148	74	6782	4061
105	290	16,0	5,9	76	32	15,7	38642	27022	1205	934	149	80	6408	3837
106	291	14,3	6,2	74	33	16,4	39057	27313	1196	927	151	75	6523	3906
107	287	14,9	7,0	76	30	17,5	38964	27248	1214	941	153	78	6482	3881
108	292	14,9	7,1	77	30	18,9	39851	27868	1285	996	160	82	6502	3893
109	301	16,0	7,0	77	32	17,9	38647	27026	1237	959	161	79	6685	4003
110	295	13,4	5,8	79	30	16,5	38964	27248	1293	1002	165	78	6578	3939
111	299	14,9	5,5	81	31	17,4	40128	28062	1305	1012	164	80	6593	3948
112	286	15,9	5,7	80	32	18,5	39871	27882	1279	991	164	80	6479	3880
113	294	15,3	5,8	80	32	17,4	38216	26724	1205	934	164	82	6582	3941

FID	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe2O3	Fe	MnO	Mn	Cr	V	TiO2	Ti
114	300	15,4	5,3	79	34	18,5	39852	27869	1298	1006	165	80	6635	3973
115	278	15,7	6,9	78	29	16,1	35023	24492	983	762	132	62	6528	3909
116	281	15,6	7,1	69	33	15,5	36864	25779	1038	805	132	55	6632	3971
117	283	14,9	8,0	60	34	14,8	34961	24448	996	772	137	57	6789	4065
118	285	13,3	8,3	55	34	13,1	35038	24502	1085	841	127	58	6632	3971
119	286	19,0	5,1	65	28	15,7	36120	25259	1096	850	138	59	6789	4065
120	301	14,3	6,3	83	31	25,5	40129	28062	1032	800	166	82	6893	4128
121	286	15,3	6,3	69	37	10,3	34589	24188	1058	820	126	61	6586	3944
122	289	15,4	6,3	65	35	9,9	35021	24490	1103	855	127	61	6620	3964
123	287	15,0	6,0	65	33	9,1	33821	23651	1025	795	127	59	6694	4008
124	290	14,3	6,5	66	35	9,9	34052	23813	995	771	125	59	6728	4029
125	291	14,8	6,0	66	35	10,1	34965	24451	1037	804	125	61	6478	3879
126	287	15,2	6,7	67	36	9,1	35215	24626	1058	820	136	69	6637	3974
127	288	14,0	6,5	67	34	9,8	34962	24449	1102	854	132	67	6528	3909
128	290	14,0	6,0	65	34	9,0	35021	24490	1079	836	133	65	6603	3954
Подгумусовый горизонт														
0	265	12,9	5,3	67	26	9	38200	26713	925	717	115	56	6476	3878
1	272	14,1	6,9	70	25	12	36009	25181	874	678	122	62	6650	3982
2	254	14,6	5,6	67	24	13	38103	26645	854	662	134	58	6509	3898
3	261	11,3	6,8	69	32	10	36685	25654	844	654	127	69	6605	3955
4	270	11,3	7,0	62	33	9	38337	26809	860	667	118	58	6714	4020
5	153	11,5	6,3	59	28	12	34786	24326	887	687	123	63	6671	3995
6	169	12,5	7,2	66	34	15	35363	24730	977	757	120	65	6431	3851
7	246	12,2	6,9	63	34	9	37503	26226	995	772	131	65	6568	3933
8	239	10,6	6,2	61	23	11	34008	23782	918	712	116	57	6463	3870
9	247	15,0	6,3	64	31	10	37378	26138	901	698	122	66	6604	3954
10	253	12,8	5,9	67	27	11	36297	25383	893	692	128	54	6503	3894
11	267	10,6	5,3	62	24	14	33949	23741	867	672	132	67	6776	4057
12	254	10,7	4,7	59	34	14	34933	24429	917	711	115	55	6748	4040
13	269	11,6	7,9	67	26	15	36201	25316	839	651	121	58	6737	4034

FID	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe2O3	Fe	MnO	Mn	Cr	V	TiO2	Ti
14	246	10,8	6,0	69	25	15	36560	25567	887	688	131	68	6529	3910
15	252	10,5	7,7	64	25	13	36499	25524	848	657	132	62	6352	3803
16	265	11,4	6,3	70	25	15	33779	23622	901	698	117	59	6388	3825
17	279	12,3	5,0	60	35	9	38383	26841	911	706	128	62	6336	3794
18	287	12,2	7,7	70	23	14	37470	26203	944	732	134	65	6778	4059
19	258	12,6	7,6	61	32	12	37524	26240	852	661	127	67	6519	3904
20	262	11,9	7,3	64	28	14	36628	25614	850	659	133	66	6780	4060
21	268	11,1	4,6	66	31	9	35707	24970	966	749	123	59	6685	4003
22	242	11,9	6,3	71	31	13	37311	26091	868	673	115	64	6567	3932
23	252	12,5	7,3	61	31	11	36266	25361	846	656	125	58	6679	4000
24	240	10,6	6,7	67	30	14	37557	26264	918	712	119	63	6474	3877
25	236	11,6	5,0	67	31	13	34585	24185	891	690	132	63	6536	3914
26	237	13,8	6,7	61	28	9	35062	24519	884	685	114	55	6702	4013
27	243	13,1	6,8	67	33	13	35873	25086	963	746	116	59	6723	4026
28	257	10,6	6,0	67	31	11	37822	26449	872	676	123	58	6574	3937
29	258	12,0	6,5	67	29	10	35393	24750	940	729	128	63	6593	3948
30	229	10,6	4,8	63	33	13	38481	26910	894	693	135	65	6767	4052
31	133	11,4	5,5	71	26	15	37552	26260	864	670	122	63	6749	4041
32	252	14,3	5,9	70	24	11	36553	25562	983	762	131	54	6779	4059
33	257	12,2	5,2	70	25	15	36724	25681	838	649	133	66	6589	3945
34	259	11,4	4,7	61	27	15	33779	23622	879	681	127	67	6448	3861
35	247	14,1	5,2	70	23	10	35034	24500	891	691	116	66	6558	3927
36	231	11,3	4,5	59	32	14	35191	24609	980	760	133	58	6693	4008
37	223	10,9	6,8	64	24	14	37209	26020	979	759	114	65	6552	3923
38	246	12,7	5,1	68	29	11	36729	25685	852	660	120	67	6651	3982
39	256	13,1	5,6	63	29	12	38492	26918	894	693	120	59	6566	3932
40	258	10,8	7,1	69	32	14	35876	25088	982	761	114	57	6671	3995
41	263	14,2	5,4	66	25	12	34360	24028	901	698	127	68	6732	4031
42	258	11,3	7,1	70	33	10	36070	25224	869	673	114	66	6338	3795
43	257	13,0	4,8	61	31	11	35612	24903	909	705	127	61	6427	3849

FID	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe2O3	Fe	MnO	Mn	Cr	V	TiO2	Ti
44	258	12,6	7,3	63	36	11	36950	25839	982	761	115	66	6442	3857
45	260	12,8	6,3	63	35	9	35872	25086	933	723	132	58	6771	4055
46	264	13,2	5,2	66	32	13	35144	24576	999	774	119	64	6730	4030
47	258	12,0	5,2	64	26	13	34833	24359	857	665	124	55	6752	4043
48	259	12,0	6,8	67	31	11	36485	25514	854	662	131	61	6580	3940
49	235	12,7	5,2	67	28	9	36068	25223	975	756	129	67	6456	3866
50	255	14,3	7,2	65	34	9	37149	25979	916	710	131	57	6589	3946
51	245	13,8	5,9	65	27	13	34261	23958	901	698	117	55	6576	3938
52	238	11,1	7,3	60	33	10	37375	26136	913	708	120	57	6486	3884
53	237	13,7	5,3	65	30	11	36618	25607	964	747	123	67	6493	3888
54	244	13,1	7,9	62	25	9	36046	25207	864	670	123	60	6583	3942
55	258	11,4	5,4	70	28	14	36021	25189	906	702	119	65	6741	4037
56	264	12,9	5,2	59	27	12	35670	24944	852	661	130	64	6675	3997
57	279	13,5	7,4	64	35	10	38484	26912	864	670	124	65	6387	3825
58	268	10,7	5,2	64	33	11	36172	25295	965	748	128	55	6699	4012
59	254	10,7	5,5	58	35	11	37138	25970	934	724	115	60	6442	3857
60	256	10,5	4,9	70	25	15	37733	26387	961	745	134	60	6760	4048
61	262	10,4	5,6	69	27	10	33862	23680	896	695	119	64	6429	3850
62	254	11,1	6,5	69	28	12	34292	23980	868	673	123	61	6371	3815
63	247	12,5	6,2	59	28	10	33722	23582	937	726	123	58	6761	4048
64	258	12,0	5,6	65	28	14	35345	24717	971	753	126	59	6665	3991
65	258	11,4	4,9	62	32	13	36987	25865	864	670	126	67	6435	3853
66	260	12,0	4,7	70	34	10	35491	24819	971	753	125	59	6572	3935
67	246	10,4	4,6	71	30	9	35473	24806	859	666	122	67	6542	3917
68	246	11,2	5,1	67	34	14	37115	25954	943	731	130	59	6731	4030
69	247	10,6	4,6	70	35	14	34714	24276	953	739	118	60	6439	3855
70	249	11,4	4,7	70	34	11	33909	23713	970	752	122	55	6394	3829
71	249	14,1	5,3	69	34	13	34370	24035	956	741	120	62	6533	3912
72	251	12,4	5,1	59	30	11	35980	25161	925	717	128	65	6345	3800
73	257	12,0	5,8	66	33	13	36635	25619	888	688	117	59	6546	3920

FID	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe2O3	Fe	MnO	Mn	Cr	V	TiO2	Ti
74	242	11,7	7,5	60	34	13	38146	26675	911	706	117	54	6632	3971
75	248	12,3	7,7	67	28	11	33816	23647	903	700	115	62	6649	3981
76	245	10,5	5,8	65	28	15	36202	25316	998	773	135	65	6673	3996
77	256	10,6	7,4	70	34	14	35100	24545	848	658	116	60	6729	4029
78	269	13,9	5,3	63	27	12	35591	24889	897	695	132	57	6505	3895
79	258	14,6	4,8	67	31	14	38075	26626	902	699	134	58	6760	4048
80	258	12,9	4,6	69	34	10	36691	25658	945	733	133	56	6522	3906
81	250	10,7	6,3	69	23	15	38480	26909	871	675	119	56	6781	4060
82	251	13,7	7,8	63	34	11	38227	26732	998	774	125	57	6458	3867
83	252	10,6	7,0	71	27	11	34077	23830	959	744	124	55	6541	3917
84	259	11,3	5,3	62	29	14	35946	25137	879	682	127	60	6315	3782
85	282	11,4	5,2	65	35	9	36241	25343	988	766	129	60	6605	3955
86	272	10,4	5,8	69	34	10	35471	24805	913	708	133	55	6518	3903
87	273	14,6	7,8	70	35	11	33655	23535	944	732	129	55	6670	3994
88	275	14,8	5,5	62	25	10	34880	24391	902	699	115	61	6475	3877
89	247	13,7	4,6	70	32	10	37922	26519	869	673	121	60	6328	3789
90	254	11,3	7,0	67	27	11	35240	24643	863	669	133	62	6563	3930
91	256	13,3	5,4	70	28	15	38286	26773	912	707	116	68	6402	3834
92	258	12,4	7,2	63	27	11	38349	26817	935	725	129	58	6660	3988
93	269	14,5	7,9	65	29	12	38423	26869	980	759	132	62	6572	3935
94	272	14,2	6,3	61	26	9	35504	24828	858	665	127	68	6736	4034
95	264	13,7	5,7	60	33	11	37369	26132	986	764	116	61	6478	3879
96	258	10,4	5,6	68	34	12	34217	23928	978	758	123	55	6765	4051
97	260	12,2	6,7	64	23	9	36994	25870	929	720	134	65	6630	3970
98	254	11,9	5,9	69	32	9	37086	25934	1000	775	116	59	6538	3915
99	259	13,1	5,8	70	30	10	36236	25340	902	699	124	57	6376	3818
100	260	11,4	6,9	71	33	9	34206	23920	900	698	126	59	6579	3939
101	264	14,6	7,3	60	28	9	37722	26379	899	697	130	57	6688	4005
102	247	12,6	5,9	59	26	10	36787	25725	985	763	113	65	6606	3956
103	252	11,1	5,2	67	35	10	34472	24106	899	697	126	54	6506	3896

FID	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe2O3	Fe	MnO	Mn	Cr	V	TiO2	Ti
104	254	14,9	4,8	68	26	9	38507	26928	885	686	130	67	6350	3803
105	246	12,2	5,0	71	23	11	38211	26721	878	681	115	58	6673	3996
106	245	11,9	5,3	64	30	9	36616	25605	858	665	117	62	6771	4054
107	244	12,0	6,9	63	30	15	35930	25126	893	692	115	60	6500	3892
108	243	14,1	5,2	62	29	12	38334	26807	829	643	124	65	6348	3801
109	244	11,4	7,9	58	23	9	34293	23981	997	773	119	60	6386	3824
110	245	11,8	5,3	58	36	14	37315	26095	837	648	113	66	6372	3816
111	253	12,6	4,9	63	30	10	37341	26112	902	699	135	68	6729	4029
112	249	13,6	7,3	67	33	12	34989	24468	874	678	135	56	6475	3877
113	251	11,1	6,3	70	30	9	36850	25769	975	756	133	62	6314	3781
114	251	11,4	7,7	58	36	9	33973	23758	847	656	114	63	6512	3899
115	253	10,6	5,9	62	24	14	37696	26361	862	668	128	56	6521	3905
116	248	14,1	7,4	68	24	13	35492	24820	848	657	121	60	6375	3817
117	248	10,7	7,8	69	33	10	34157	23886	932	723	118	67	6528	3909
118	237	14,9	4,9	70	31	13	33739	23594	959	743	131	60	6515	3901
119	238	11,3	4,8	66	33	12	35077	24529	974	755	117	55	6569	3933
120	242	11,0	7,1	60	35	11	34286	23976	985	763	131	66	6518	3903
121	243	14,1	4,9	61	29	12	34775	24318	975	756	130	58	6750	4042
122	249	13,8	5,7	67	25	12	36615	25605	947	734	114	54	6552	3923
123	252	11,1	6,1	69	30	14	37094	25940	910	706	127	56	6635	3973
124	253	11,9	7,8	71	29	13	37655	26332	930	721	129	58	6414	3841
125	247	11,7	5,8	58	26	10	34160	23888	921	714	130	66	6750	4042
126	246	13,5	6,2	69	29	9	34870	24385	840	651	118	57	6681	4001
127	240	13,2	6,5	66	33	12	36496	25522	982	761	135	67	6439	3856
128	251	14,7	5,3	66	29	9	36350	25420	845	655	125	68	6438	3855