

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования «Пермский государственный
национальный исследовательский университет»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования «Уральский государственный
горный университет»

На правах рукописи

ПОЧЕЧУН ВИКТОРИЯ АЛЕКСАНДРОВНА

**РЕГИОНАЛЬНЫЙ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОЙ ГЕОСИСТЕМЫ ГОРНО-
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА СРЕДНЕГО УРАЛА**

25.00.36 – Геоэкология (науки о Земле)

Диссертация на соискание ученой степени
доктора географических наук

Научный консультант
доктор географических наук,
профессор С.А. Двинских

ПЕРМЬ - ЕКАТЕРИНБУРГ - 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА	17
1.1. Изученность вопроса	17
1.2. Применение системного подхода в геоэкологических исследованиях	24
1.3. Основные положения системного подхода, используемые при изучении горно-металлургического комплекса	31
ВЫВОДЫ	45
2. СТРУКТУРА ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОЙ ГЕОСИСТЕМЫ III УРОВНЯ	47
2.1. Элементы природной подсистемы	50
2.1.1. <i>Геолого-геохимическое строение – основной системообразующий фактор геохимического строения геосистемы</i>	51
2.1.2. <i>Почвообразующий горизонт как индикатор экологического состояния элементов природной подсистемы</i>	68
2.1.3. <i>Фоновые концентрации природных элементов структуры геосистемы</i>	72
2.2. Горно-металлургический комплекс, как техногенный элемент структуры природно-техногенной геосистемы III уровня	104
2.2.1. <i>Основные факторы распределения загрязняющих элементов в природно-техногенной геосистеме III уровня, поступающих от воздействия техногенных источников</i>	110
2.3. Современное состояние элементов структуры природно-техногенной геосистемы III уровня	120
2.3.1. <i>Методы исследований современного состояния элементов структуры природно-техногенной геосистемы III уровня</i>	121

2.3.2. Современное экологическое состояние меднорудной геосистемы III уровня (на примере ОАО «КМК» и ОАО «СУМЗ»)	127
2.3.3. Современное экологическое состояние железорудной геосистемы III уровня (на примере шлаковых отвалов ОАО «НТМК»)	140
ВЫВОДЫ	145
3. ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОЙ ГЕОСИСТЕМЫ III УРОВНЯ	148
3.1. Поступление загрязняющих веществ в природно-техногенную геосистему	148
3.2. Снежный покров как индикатор поступления загрязняющих веществ в природно-техногенную геосистему III уровня	156
3.3. Миграция загрязняющих веществ в природно-техногенной геосистеме III уровня	167
3.4. Изменение устойчивости природно-техногенной геосистемы III уровня	183
3.4.1. Оценка состояния населения рыжей полевки (на примере района расположения «ОАО СУМЗ»)	183
3.4.2. Выявление механизма устойчивости природно-техногенной геосистемы III уровня на основе биогеохимического баланса	190
ВЫВОДЫ	198
4. РАЗВИТИЕ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОЙ ГЕОСИСТЕМЫ III УРОВНЯ	200
4.1. Изучение развития меднорудной геосистемы III уровня (на примере ОАО «УРАЛГИДРОМЕДЬ»)	201
4.1.1. Современное экологическое состояние района расположения ОАО «УРАЛГИДРОМЕДЬ»	206
4.1.2. Обоснование возможности использования биогеохимического барьера как природоохранного мероприятия и его эколого-экономическая оценка	219

4.2. Изучение развития железорудной геосистемы III уровня (на примере шлаковых отвалов ОАО «НТМК»)	254
<i>4.2.1. Методика районирования территории расположения шлаковых отвалов ОАО «НТМК»</i>	254
<i>4.2.2. Результат районирования территории расположения шлаковых отвалов ОАО «НТМК»</i>	258
ВЫВОДЫ	270
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	275
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	281

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Добыча и переработка минерально-сырьевых ресурсов по-прежнему является безальтернативной основой существования цивилизации на современном этапе и одновременно источником ее экологических проблем. Несмотря на широкомасштабные экономические реформы в России тенденции техногенного и природоёмкого развития экономики сохраняются. Однако на современном этапе развития отечественной экономики наблюдается возросший интерес к решению экологических проблем.

Горно-металлургический комплекс (ГМК) Среднего Урала создает свою техносферу, неуклонно замещая ею биосферу. Так, по данным Росстата, на долю горного производства приходится около 40% всех нарушенных земель, более 30% вредных выбросов в атмосферу и 10% объемов сточных вод. Добыча и переработка полезных ископаемых является одной из наиболее природоёмких отраслей народного хозяйства.

В современных условиях на основе требований устойчивого развития территорий с развитым горно-металлургическим комплексом, в целях обеспечения экологической безопасности востребованной и актуальной является проблема разработки методологических основ регионального геоэкологического анализа окружающей среды, базирующегося на системно-диалектическом подходе.

Использование регионального геоэкологического анализа окружающей среды при освоении ресурсов недр позволит предотвратить или минимизировать последствия техногенного воздействия горно-металлургического комплекса на компоненты природной среды и позволит решить такую оптимизационную задачу, как восстановление окружающей среды.

Результаты исследований В.Б. Сочавы, А.Д. Арманда, Н.Ф. Реймерса, А.Г. Исаченко, Т.М. Чодураева, А.Г. Низамиева, Б.В. Ряшко, Т.П. Девятковой, С.А. Двинских и других ученых в области системного подхода позволяют предположить, что геоэкологический анализ должен рассматривать окружающую среду, находящуюся под воздействием горно-металлургического комплекса как природно-техногенную геосистему III уровня, характеризующуюся структурой, функционированием и развитием, которые определяются региональными особенностями.

Цель работы заключается в разработке методологических основ геоэкологического анализа, используемого при решении региональных проблем управления и экологической оптимизации природно-техногенной геосистемы III уровня, находящейся под воздействием предприятий ГМК.

Основные задачи исследования:

1. Обоснование использования системно-диалектической методологии как научной основы регионального геоэкологического анализа.
2. Изучение структуры природно-техногенной геосистемы III уровня с позиции регионального геоэкологического анализа, включающего изучение природных и техногенных элементов и характеристику современного состояния структуры.
3. Характеристика и анализ функционирования природно-техногенной геосистемы III уровня, включающего поступление и миграцию загрязняющих веществ в геосистему и, как следствие, изменение ее устойчивости.
4. Разработка управленческих решений по оптимизации экологического состояния природно-техногенной геосистемы III уровня на основе анализа ее возможного развития.

Исходные данные и методы исследований.

Для подтверждения возможности использования регионального геоэкологического анализа проведены многолетние (2003 – 2014 гг.)

исследования ГМК Среднего Урала. Региональный геоэкологический анализ основывается на большом количестве данных литературных источников, фондовых, статистических и картографических материалов, данных мониторинга природной среды.

Значительная часть необходимой информации получена в процессе экспедиционных исследований с участием автора. В работе использовано более 6000 проб количественного анализа халькофильных и сидерофильных элементов различных компонентов окружающей среды (почвообразующего горизонта, почв, снежного покрова, поверхностных вод, растений и живых организмов). С целью установления фоновых концентраций элементов для тест-объекта исследована биохимия 500 проб *Drosophila melanogaster*. В лабораторных условиях проанализировано несколько тысяч особей *Drosophila melanogaster* на разных этапах развития и рыб на разных индикационных показателях.

В процессе обработки результатов исследований использовались основы теории информации, графическое моделирование, тематическое картографирование, биоиндикация, геоинформационное и программное обеспечение, одномерная вариационная статистика, многофакторный регрессионный анализ и ряд других.

В целом схема реализации геоэкологического анализа природно-техногенной геосистемы представлена на рис.1.

Научная новизна.

1. Обоснованы научно-теоретические и методические положения регионального геоэкологического анализа с целью оценки состояния ПТГС.

2. Предложен ряд новых трактовок понятий: региональный геоэкологический анализ, критерий оценки загрязнения окружающей среды, природно-техногенная геосистема ГМК, меднорудная геосистема III уровня, железорудная геосистема III уровня.

3. Разработаны структура и содержание анализа, а также процедура исследований экологической ситуации в рамках природно-техногенной геосистемы.

4. Дана геоэкологическая оценка современного состояния компонентов окружающей среды под воздействием предприятий ГМК Среднего Урала.

5. Впервые установлены региональные фоновые концентрации для экологической тест-системы *Drosophila melanogaster* и доказана возможность использования данного тест-объекта для оценки экологического состояния биологической составляющей геосистемы.

6. В качестве показателя устойчивости ПТГС использовано экологическое состояние мелких млекопитающих.

7. Предложен метод и проведен расчет биогеохимического баланса, включающий приход, накопление и вынос загрязняющих элементов из отходов горно-металлургических предприятий в компоненты природной среды (атмосферный воздух, природные воды, почвы, почвообразующий горизонт, биоту).

8. Предложен критерий оценки экологической ситуации ПТГС.

9. Доказаны преимущество и экономическая эффективность использования биогеохимических барьеров для очистки поверхностных вод предприятий ГМК.

Практическая значимость.

Теоретические разработки и практические рекомендации автора используются на предприятиях ГМК (ОАО «Среднеуральский медеплавильный завод», ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат», ОАО «УРАЛГИДРОМЕДЬ», ОАО «Кировградский медеплавильный комбинат», ОАО «Качканарский горно-обогатительный комбинат», ОАО «Святогор»). В настоящее время ведется внедрение биогеохимических барьеров на предприятии ОАО «УРАЛГИДРОМЕДЬ». Получены 3 Патента. Результаты

исследований геоэкологической оценки используются в Министерстве природных ресурсов Свердловской области, РОСТЕХНАДЗОРЕ по УрФО, РОСПРИРОДНАДЗОРЕ по УрФО, научно-исследовательских институтах, занимающихся проблемами экологии, а также при проведении НИР в рамках государственных заданий на выполнение работ «Развитие методологии оценки и управления экологическими рисками на горных предприятиях».

По теме исследований изданы три учебных пособия: «Статистические методы в гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии», «Теория, методика и практика геоэкологической оценки окружающей среды горно-металлургических комплексов», «Учебная практика по геоэкологии, биоразнообразию и почвоведению», которые используются в курсах лекций по общей экологии, промышленной экологии и геоэкологии.

Защищаемые положения.

1. Разработанный на основе системно-диалектической методологии региональный геоэкологический анализ базируется на изучении триады – структура, функционирование, развитие. Это позволяет логически выстроить оптимальный путь исследования природно-техногенной геосистемы ГМК, достоверно оценить ее экологическую ситуацию и принять эффективные управленческие решения.

2. Современное состояние окружающей среды формируется при взаимодействии природных и техногенных элементов структуры геосистемы, определяющих ее экологическую ситуацию, в качестве индикаторов которой можно использовать почвообразующий горизонт, отражающий общую геохимическую обстановку изучаемой геосистемы, и биологический тест-объект – *Drosophila melanogaster*, характеризующий экологическое состояние биоты.

3. Техногенное поступление и миграция загрязняющих веществ в результате функционирования геосистемы способствует накоплению

загрязняющих элементов в компонентах ГС и ведет к изменению как устойчивости биотической составляющей (это подтверждается ухудшением экологического состояния мелких млекопитающих), так и геосистемы в целом (о чем свидетельствуют результаты расчета биогеохимического баланса).

4. Направление развития геосистемы зависит от накопления в ее элементах загрязняющих веществ. При отсутствии нормативных значений загрязнителей нормирование может проводиться по критерию оценки, использующего как предельно допустимые, так и фоновые концентрации. При длительном превышении нормативов формируется неблагоприятная экологическая ситуация. В этом случае для обеспечения развития геосистемы в сторону прогресса необходимо ею управлять, что связано с внедрением экологически и экономически эффективных природоохранных мероприятий – биогеохимических барьеров.

5. Геохимическое районирование территории является основой для организации системного мониторинга за экологическим состоянием геосистемы. Системно организованный мониторинг позволяет прогнозировать пути возможного развития геосистемы и как следствие управлять ею – разрабатывать и внедрять эффективные природоохранные мероприятия.

Личный вклад автора:

1. Разработка регионального геоэкологического анализа.
2. Разработка программ полевых исследований в рамках хоздоговорных работ: «Мониторинг компонентов окружающей среды Кировградского промузла», «Проведение экологического мониторинга компонентов окружающей среды зоны воздействия ОАО «Среднеуральский медеплавильный завод», «Разработка Проекта экологического мониторинга на ОАО «СУМЗ», «Мониторинг экологического состояния компонентов окружающей среды района размещения объектов складирования отходов ОАО «НТМК», «Разработка Программы экологического мониторинга за состоянием

окружающей среды в районе размещения объектов складирования отходов ОАО «НТМК», «Проведение предпроектных работ для подготовки проекта реконструкции верхнего участка южного рукава Северского водохранилища в водоем инженерно-биологической очистки стока р. Железянки и производственных вод предприятия «Уралгидромедь», с учетом предложенного регионального геоэкологического анализа.

3. Участие в полевых и лабораторных работах, камеральной и статистической обработке материалов.

4. Теоретическое обобщение и систематизация данных, увязка сложившейся экологической ситуации с технологическими особенностями предприятий ГМК.

5. Расчет биогеохимического баланса, экологической и экономической эффективности использования биогеохимических барьеров, картографирование результатов исследований.

6. Моделирование в лабораторных условиях биогеохимических барьеров.

7. Выявление региональных фоновых концентраций загрязняющих элементов для живых организмов (*Drosophila melanogaster*), путем разработки методов биотестирования.

Апробация и публикации.

Основные положения диссертации обсуждены на: научно-практических конференциях «Уральская горнопромышленная декада», Екатеринбург, 2003, 2004, 2005; Международной научно-практической конференции «Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде северных регионов», Архангельск, 2004; Международной научно-практической конференции «Экология фундаментальная и прикладная», Екатеринбург, 2005; годичных сессиях Научного совета РАН «Сергеевские чтения», Москва, 2006, 2007, 2009; I Уральском международном экологическом конгрессе «Экологическая безопасность горнопромышленных регионов», Екатеринбург, 2007;

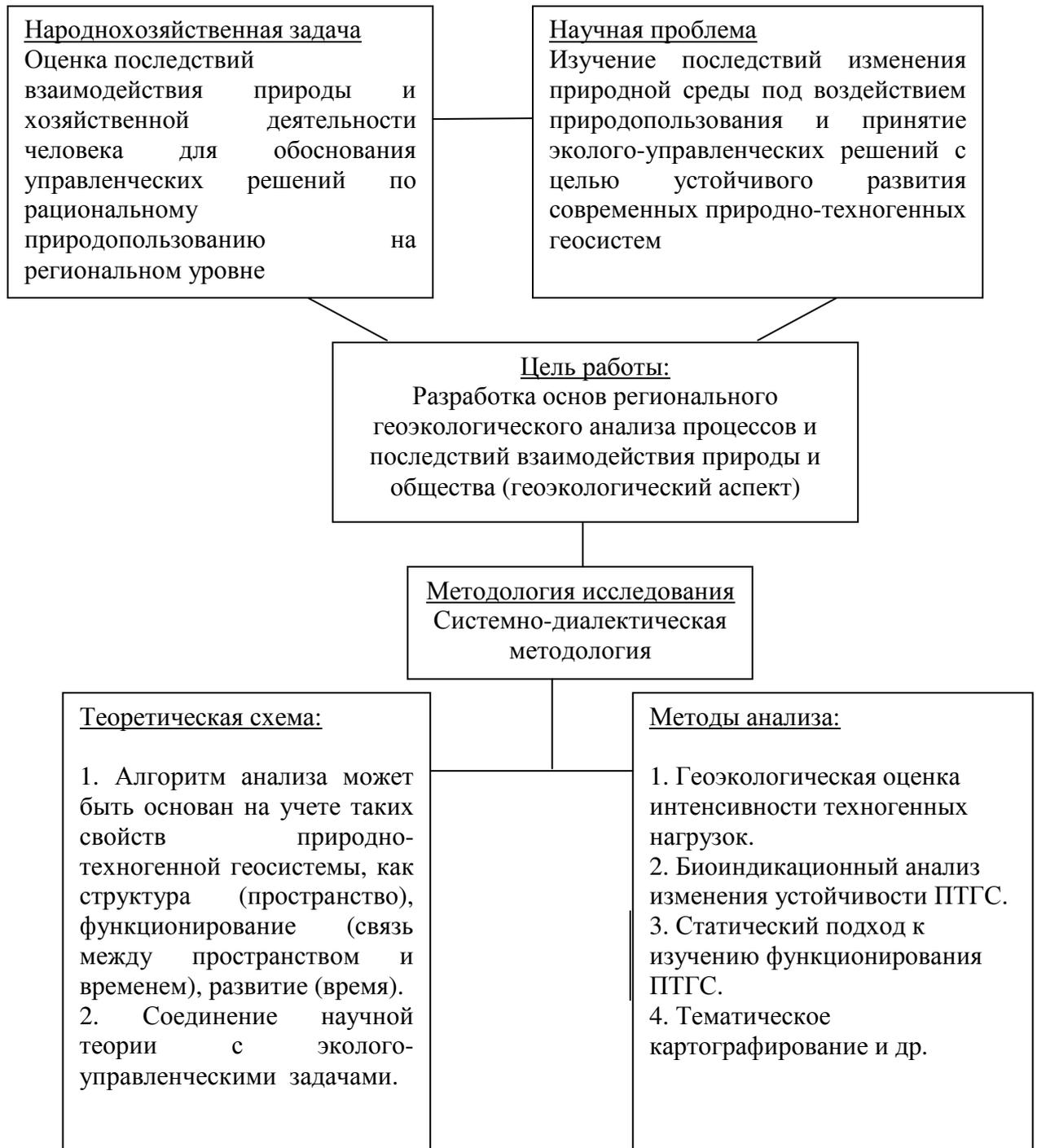


Рисунок 1 - Схема регионального геоэкологического анализа природно-техногенной геосистемы (сост. автором)

XI Международной конференции «Экология и развитие общества», Санкт-Петербург, 2008; Международной научно-практической конференции «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов», Пермь, 2009; Всероссийской научной конференции «Современные проблемы

биомониторинга и биоиндикации», Киров, 2010; II Уральском международном экологическом конгрессе «Экологическая безопасность промышленных регионов», Екатеринбург – Пермь, 2011, Международной конференции «Развитие наук о Земле в Кыргызстане: состояние, проблемы и перспективы», Бишкек, 2015.

По теме диссертации подготовлены и опубликованы 55 работ, из них 5 монографий, 3 учебных пособия, 5 статей в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Кыргызской Республики, 13 статей в ведущих журналах из Перечня рецензируемых научных изданий, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки Российской Федерации для опубликования основных научных результатов диссертаций.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 279 наименований. Работа изложена на 310 страницах текста, содержит 121 рисунок, 58 таблиц.

Содержание работы.

Во введении обосновывается актуальность исследований, сформулированы их цель и задачи, научная новизна и практическая значимость.

В первой главе «Геоэкологические исследования: теория и практика» приведен литературный обзор в области геоэкологической оценки состояния компонентов окружающей среды. Отмечены исследования различных авторов по изменению окружающей среды под антропогенным воздействием (В.И. Вернадский, 1934; А.Е. Ферсман, 1939), антропогенной миграции химических элементов (Ю.Е. Сает, Б.А. Ревич, Е.П. Янин, 1986), экологической геохимии элементов (В.В. Иванов, 1994), природной и техногенной металлоносности окружающей среды ГМК Урала (А.И. Семячков и др. 2001, 2007, 2008, 2009), атмосферной миграции загрязняющих элементов (Ю.Л. Мельчаков, В.Н.

Удачин, 2009). Произведен также анализ литературы в области системного подхода. Отмечены работы авторов, изучавших объекты как систему или геосистему (В.Б. Сочава, А.Д. Арманд, 1975, 1989, Б.В. Ряшко, 1995). Обоснована возможность изучения экологического состояния компонентов окружающей среды, находящихся под воздействием предприятий ГМК, как природно-техногенной геосистемы III уровня.

Во второй главе «Структура природно-техногенной геосистемы III уровня» представлена структура природно-техногенной геосистемы как триада взаимосвязанных между собой частей:

1. Природные элементы, характеризующиеся фоновыми концентрациями химических элементов в компонентах природной среды (почвах, атмосфере, подземных и поверхностных водах, растениях и живых организмах) и обусловленные геологическими условиями формирования пород и руд, проявившихся на различных стадиях геологического развития района, осложненные метаморфизмом, магматизмом. Индикатором экологического состояния природных компонентов структуры может служить почвообразующий горизонт.

2. Техногенные элементы – предприятия горно-металлургического комплекса, исследование и ранжирование которых по видам и интенсивности загрязнения показывают, что в зависимости от вида добываемого и перерабатываемого сырья, а также технологических процессов, в окружающую среду поступают различные ассоциации тяжелых металлов.

3. Природно-техногенные элементы структуры – результат взаимодействия природной и техногенной подсистем, которые образуют природно-техногенные геохимические аномалии. Эти аномалии определяют современное экологическое состояние геосистемы. Проведен анализ всех природно-техногенных компонентов геосистемы – атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, почв, растений и живых организмов на основе

геоэкологической оценки. Доказана возможность использования при геоэкологической оценке состояния живых организмов в качестве биоиндикатора *Drosophila melanogaster*.

В третьей главе «Функционирование природно-техногенной геосистемы III уровня» рассматривается функционирование геосистемы как процесс трех взаимосвязанных между собой частей:

1. Поступление веществ в геосистему (в ГМК это поступление загрязняющих веществ в результате выбросов, сбросов, отходов). Проведена экологическая оценка снежного покрова, показывающая интенсивность такого поступления.

2. Миграция загрязняющих веществ в геосистеме. Проведена оценка миграционной активности загрязняющих элементов и установлена взаимосвязь между компонентами природно-техногенной геосистемы.

3. Изменение устойчивости геосистемы. В качестве одного из информативных критериев показателя устойчивости в работе рассмотрено экологическое состояние мелких млекопитающих, находящихся под воздействием предприятия меднорудной промышленности. Выявлен механизм устойчивости природно-техногенной геосистемы на основе биогеохимического баланса загрязняющих элементов.

В четвертой главе «Развитие природно-техногенной геосистемы III уровня» рассмотрены пути возможного развития двух геосистем III уровня – меднорудной и железорудной. Развитие природно-техногенной геосистемы характеризуется ее современным состоянием.

Современное состояние меднорудной геосистемы оценено с помощью разработанных критериев, и оценка показала, что состояние водных объектов может быть охарактеризовано как «экологическое бедствие». Для улучшения экологического состояния необходимо внедрение природоохранных мероприятий. Оптимальным из возможных вариантов таких мероприятий

являются биогеохимические барьеры. Эколого-экономическая оценка предложенной технологии защиты меднорудной геосистемы с помощью биогеохимических барьеров показала, что данная технология является инновационной в силу ее высокой экологической и экономической эффективности и возможности применения в любых природно-техногенных условиях.

Современное состояние железорудной геосистемы оценено на основе районирования, которое показало, что данная территория относится к категории загрязнения «опасная». Для улучшения экологической ситуации необходима разработка природоохранных мероприятий, что возможно только на основе экологического мониторинга. В основу экологического мониторинга должно быть положено проведенное районирование данной территории.

В заключении диссертации сформулированы основные выводы и результаты проведенных исследований.

Автор выражает благодарность и признательность научному консультанту доктору географических наук, профессору, заведующей кафедрой гидрологии и охраны водных ресурсов ПГНИУ С.А. Двинских, доктору геолого-минералогических наук, профессору, заведующему кафедрой геоэкологии УГГУ А.И. Семячкову за научные консультации и большую помощь в выполнении работы, а также доктору технических наук, профессору, заведующему лабораторией рационального использования водных ресурсов РосНИИВХ А.Н. Попову за поддержку.

1. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

Процесс трансформации окружающей среды под воздействием деятельности человека приобрел глобальный характер. Значительные скорости и глубина антропогенных преобразований потребовали их неотложного изучения. Теоретической основой решения проблемы загрязнения окружающей среды можно считать, в частности, идеи и методы геохимии, что нашло отражение в геоэкологических исследованиях.

1.1. Изученность вопроса

Известно, что экологические условия любого природного региона обусловлены интенсивностью техногенной нагрузки, показателем которой является поступление или вынос химических соединений по отношению к компонентам окружающей среды [9, 30]. Иначе говоря, в процессе деятельности человек постоянно преобразовывает природную среду. Геоэкологический смысл преобразования человеком компонентов окружающей среды впервые раскрыл В.И. Вернадский [31, 32], тем самым заложив методологический принцип ее изучения. Он показал, что проблема антропогенного воздействия является проблемой геохимической и биогеохимической.

А.Е. Ферсман под термином «техногенез» [249] подразумевал геохимические преобразования окружающей среды в связи с извлечением горных пород и минералов из недр, перераспределением химических элементов недр, их инженерной перегруппировкой на поверхности Земли.

Планомерные комплексные геохимические исследования компонентов окружающей среды и распространения загрязняющих веществ, связанных с отходами, выбросами и стоками различных производств, были проведены А.И. Перельманом, В.В. Добровольским, А.А. Беусом [15, 16, 77, 160, 161, 209, 246]. Авторами установлено, что в ходе распространения загрязняющих веществ, осуществляемого главным образом природными миграционными механизмами, образуются ореолы и потоки рассеяния,

сходные с ореолами и потоками рассеяния месторождений полезных ископаемых.

М. А. Глазовская рассмотрела геохимию ландшафтов Советского Союза на «процессном уровне» [51, 52, 53]. Представления об элементарных процессах и направлениях почвообразования здесь развиваются до понятия направленных ландшафтно-геохимических процессов, в результате длительного течения которых накапливается геохимическая информация и формируется определенная геохимическая структура ландшафта.

Н. С. Касимовым установлены основные закономерности современной геохимической структуры степных и пустынных ландшафтов Евразии, их палеогеохимия в кайнозое. Им развито учение о геохимических барьерах, введены представления о двусторонних, радиальных и латеральных барьерах, впервые детально описаны кислые, испарительные и щелочные барьеры. Разработаны теоретические и методические основы геохимии городских ландшафтов, их классификации, геохимические принципы создания геоинформационных систем городов и регионов, геохимии аквальных ландшафтов [102, 103, 104].

А. А. Чибилёв в монографии «Введение в геоэкологию» изложил фундаментальные основы геоэкологии, как раздела географической науки, изучающей природную географическую среду с экологической точки зрения и в целях решения экологических проблем человечества. Особое внимание здесь уделено истории формирования современного экологического мировоззрения. Рассмотрены принципиальные эколого-географические подходы при решении проблем регионального и локального уровня [262].

Исследования А.Л. Ковальского в связи с разработкой биогеохимических методов поисков рудных месторождений дали обширный фактический материал для сопоставления уровней содержания микроэлементов в почвах и в золе растений [110, 111]. По содержанию микроэлементов в почвах, в золе растений и биопродуктивности последних

А.Л. Ковальский разделил изученные биообъекты на «безбарьерные» и «барьерные».

Эколого-геохимический анализ антропогенной миграции химических элементов провели Ю.Е. Саэт, Б.А. Ревич, Е.П. Янин [49]. Ими описаны источники загрязнения окружающей среды (выбросы, стоки, твердые отходы, средства химизации), миграционные цепи распространения элементов в природных системах (воздушной, водной, биогенной). Здесь рассмотрены принципы, методы и результаты биогеохимической и геогигиенической оценки отрицательных последствий загрязнения окружающей среды для здоровья человека.

Анализ большого количества материала различных авторов и собственные исследования по экологической геохимии всех элементов таблицы Д.И. Менделеева сделан В.В. Ивановым [91, 92, 93, 94, 95, 96]. Он обобщил материал по воздействию химических элементов на все компоненты окружающей среды: воздух, воду, почвы, растительность, животных, человека, а также по поведению химических элементов в техногенезе. Здесь приведены данные о содержании и предельно допустимых концентрациях элементов во всех природных средах, включая минералы, горные породы, месторождения.

Теоретические положения экологической геологии, критерии оценки состояния эколого-геологических условий, систематическая характеристика ресурсной, геодинамической, геохимической и геофизической экологической функций литосферы рассмотрены В.Т. Трофимовым, Д.Г. Зилингом [244]. Ими предложены методы получения эколого-геологической информации, методика инженерно-экологических изысканий и составления эколого-геологических карт, методы управления состоянием эколого-геологических систем.

А.И. Семячков обобщил материал по природной и техногенной металлоносности окружающей среды горно-металлургических комплексов Урала [213]. Им установлены закономерности природной металлоносности

окружающей среды, произведена оценка горно-металлургических комплексов как источников потоков металлов в окружающей среде под воздействием предприятий и техногенно-минеральных образований, изучены атмосферные и гидрогенные потоки металлов в окружающей среде горно-металлургических комплексов.

Анализ эколого-геохимической обстановки на Южном Урале, сложившейся под влиянием техногенеза, освещены В.С. Самариной, А.Я. Гаевым, Ю.М. Нестеренко, В.Я. Захаровым, Г.Д. Мусихиным, А.П. Бутолиным [44, 45, 46]. Здесь обобщены результаты многолетних исследований природных вод, дана объективная оценка эколого-геохимического состояния всех составляющих природной среды. С помощью методик эколого-геологической типизации и эколого-геологического картирования, разработанных А.Я. Гаевым и В.С. Самариной, произведена оценка преобразования геологической среды в связи с эксплуатацией медно-колчеданных залежей и обогащением руд на Гайском медноколчеданном месторождении. Рекомендованы мероприятия по уменьшению негативных последствий и преобразований геологической среды под влиянием эксплуатации медно-колчеданных месторождений.

Э.Ф. Емлин исследовал медноколчеданные месторождения Урала в широком геоэкологическом смысле [83, 84]. Автор рассматривает меднорудное освоение Урала с точки зрения представлений о взаимодействии технических комплексов – городов, рудников, заводов – с Уральским горноскладчатым сооружением, сложной развивающейся геосистемой. По мнению автора, главные составляющие техногенеза на Урале – это индустриализация (развитие промышленных комплексов) и урбанизация (зарождение и рост городов).

В работах О.Н. Грязнова и А. И. Семячкова [67, 68] подчеркивается большое значение природной составляющей в формировании экологического состояния компонентов окружающей среды на территории Урала, как металлогенической провинции.

А. И. Семячковым и др. [211, 215, 219, 220, 222, 223, 225, 229] рассмотрен локальный уровень ведения экологического мониторинга, позволяющего оценить проблемы окружающей среды на территориях меднорудных горно-металлургических комплексов (ГМК). Установлены фоновые концентрации химических элементов в почвах, подземных и поверхностных водах, биоте для районов меднорудных горно-металлургических комплексов Среднего Урала, которые рекомендуются использовать для оценки загрязнения окружающей среды этих территорий. Произведена оценка меднорудных ГМК как источников воздействия на компоненты окружающей среды. Разработана технология системы локального экологического мониторинга меднорудных ГМК с целью совершенствования системы природопользования на территориях их расположения.

В работах А.И. Семячкова, А.А. Фоминых, В.А. Почечун [210, 212, 221, 224, 231, 232, 233] предложена двухуровневая система экологического мониторинга, позволяющая решать проблемы защиты окружающей среды на железорудных ГМК, разработаны мероприятия и выданы рекомендации по охране окружающей среды и совершенствованию системы природопользования на территориях железорудных горно-металлургических комплексов. Установлены фоновые концентрации химических элементов в почвах, подземных и поверхностных водах для районов железорудных горно-металлургических комплексов Среднего Урала, которые рекомендуется использовать для оценки загрязнения окружающей среды этих территорий. Произведена оценка железорудных горно-металлургических комплексов как источников воздействия на компоненты окружающей среды. Разработана технология систем экологического мониторинга железорудных ГМК. Разработан комплекс технических и организационных мероприятий по защите окружающей среды и совершенствованию системы природопользования на территориях железорудных ГМК.

Исследование геохимии почвенного слоя включает ряд направлений. Первое – агрохимическое, ставящее своей целью изучение содержаний, запасов, подвижности компонентов в почвах как источника сбалансированного минерального питания растений. Это направление развивалось благодаря работам В. Б. Ильина, А. Кабата–Пендиас, Х. Пендиас [98, 99]. Второе – поисково-геохимическое, основной целью которого является исследование миграции элементов в процессе формирования вторичных ореолов рассеивания рудных объектов (А.А. Беус, С.В. Григорян) [16]. Третье – экологическое, целью которого является изучение геохимии почвенного слоя как составной части ландшафта. Наиболее крупные работы в рамках третьего направления проведены М. А. Глазовской, П. В. Елпатьевским, Г. А. Вострокнутым [2, 3, 40, 51, 82].

Исследования загрязнения поверхностных вод на Урале и в районах промышленных узлов были выполнены А.М. Черняевым, А.Н. Поповым и другими авторами [170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 258]. Ими сделан вывод о загрязнении поверхностных вод за счет различных источников, в том числе поступления загрязняющих веществ из донных отложений.

А.Н. Поповым, В.А. Почечун, А.И. Семячковым [182] рассмотрены вопросы формирования качества поверхностных вод, на которое оказывает влияние хозяйственная деятельность через сброс сточных вод, зачастую неочищенных или недостаточно очищенных, рассеянного поступления потока ингредиентов с измененного и загрязненного водосбора, поступления с атмосферным переносом. Вопрос улучшения состояния водных объектов может быть решен формированием биогеохимического барьера на пути потока вещества и энергии. Приведены примеры эффективного использования биогеохимических барьеров для защиты водных объектов в горнопромышленных районах.

Оценку естественного содержания микроэлементов в растениях произвел А. Кабата-Пендиас [99]. Методику исследования растений при

контроле загрязнения окружающей среды металлами разработали Н.Г. Зырин, С.Г. Малахова, где в качестве биологического тест-объекта предложены их древесные виды [90].

Е. Г. Язиков, А.Ю. Шатилов [268] разработали систему комплексного геоэкологического мониторинга за состоянием компонентов окружающей среды.

Ю.Л. Мельчаковым рассмотрены особенности атмосферной миграции халькофильных элементов (Cu, Zn, Pb, Cd, Se, As, Bi, Sb, Sn) на Южном и Среднем Урале [136].

Шафигуллина Т.Г., Серавкин И.Б., В.Н. Удачин изучили процессы миграции микроэлементов халькофильного ряда при региональном атмосферном переносе, накопление и трансформацию в депонирующих (почвы и донные отложения озер) и транспортных (поверхностные воды) средах [263].

При прогнозировании экологического состояния компонентов окружающей среды используются детерминированные и статистические методы. Так, для прогнозирования состояния загрязнения почв по загрязненности снежного покрова В. Н. Василенко использовал детерминированные зависимости [29]. Ю. Г. Тютюник установил статистические зависимости между загрязненностью воздуха и почв городов [245].

Анализ приведенных литературных источников показал, что в основе большинства современных исследований лежит эколого-геохимический анализ, который позволяет решать конкретные (или частные) задачи. Мы считаем, что более полно понять и описать процесс трансформации загрязняющих веществ в природной среде возможно, используя в качестве методологии системный подход.

1.2. Применение системного подхода в геоэкологических исследованиях

Системный подход – направление методологии научного познания и социальной практики, в основе которого лежит исследование объекта как системы [19]. Он представляется достаточно универсальным подходом при анализе, исследовании, проектировании и управлении любых сложных технических, экономических, социальных, экологических, политических, биологических и других систем. Системный подход, будучи принципом познания, выполняет ориентационную и мировоззренческую функции, выстраивает путь и логику исследования. Основной акцент при его применении делается на анализе целостных свойств объекта, выявлении его различных связей и структуры, особенностей функционирования и развития (<http://e-educ.ru/tsisa22.html>).

Мы под системным подходом понимаем изучение сложных природных, природно-техногенных и техногенных образований как динамических систем, характеризующихся единством структуры, функционирования и развития. Объектом, к которому применим системный подход, может быть геосистема.

Основоположителем системной идеологии считается австрийский биолог Людвиг фон Берталанфи [19], который в 40-е годы опубликовал «Общую теорию систем». Однако в 1978 г. американский ученый Ричард Маттесич обратил внимание на сходство основных положений общей теории систем Л. Берталанфи с идеями, высказанными А.А. Богдановым в его книге «Тектология», первая часть которой была опубликована в 1912 г. на немецком языке [76].

В естественных науках системный подход нашел широкое применение, например в экологии объектом исследования является экосистема [156, 247], в геоэкологии геосистема.

Однако в настоящее время существует множество определений понятия «геосистема» и нет единого, общепринятого [256].

Свои определения геосистемы дают В. Б. Сочава, А.Д. Арманд, Н. А. Гвоздецкий, Н.Ф. Реймерс, Ф. Н. Мильков, К.Н. Дьяконов, С.А. Двинских, А. Л. Ревзон, В.С. Преображенский, А.Ю. Ретеюм, Ю.Г. Пузаченко, А.В. Поздняков и др. [4, 5, 50, 69, 70, 80, 141, 168, 169, 189, 191, 192, 236, 239, 255, 263]. Можно выделить минимум несколько групп определений: 1) родовое понятие «система» - это совокупность элементов, находящихся в отношениях и связях между собой, которая образует определенную целостность, единство; 2) ГС – традиционно выделяемые в географии типологические и региональные единицы; 3) фундаментальная категория геологии, обозначающая совокупность компонентов геологической оболочки, объединённых потоками энергии и вещества.

Ю.А. Косыгин и В.А. Соловьев [85, 117] предложили рассматривать природные системы трех типов: статические, динамические и ретроспективные (среди последних – генетические, исторические и эволюционные). Статические системы – это тот геологический мир, который мы наблюдаем в настоящее время без учета происходящих в нем перемен. Динамические системы – это геологические процессы, протекающие «на наших глазах», в геологическом пространстве и физическом (обыденном) времени. Ретроспективные системы – продукт теоретической реконструкции; время, которое в них фигурирует («геологическое время»), – это некий логический конструкт, фактически пространственные отношения между геологическими объектами, описанные в другой терминологии.

А.Н. Дмитриевский предложил в основу определения системы положить понятие целостности и элементности (элементарности). По его мнению, во-первых, эти системные принципы являются основными при проведении исследований и, во-вторых, целостность и элементность - это те компоненты, которые интуитивно выделялись при изучении сложных образований. Подобный подход к определению системы позволяет активно ввести системные принципы в практику, например, геологических исследований, обеспечивает сохранение традиций геологической науки и

дает возможность при проведении системных исследований использовать методы, разрабатываемые и развиваемые многими поколениями геологов [76].

Давая близкое определение системы как «комплекса взаимосвязанных элементов, образующих некоторую целостность», Д.М. Гвишиани (1979) отмечает, что при таком понимании системы не накладывается никаких ограничений ни на характер входящих в нее элементов (они могут быть материальными объектами или идеальными конструкциями), ни на тип образуемой системной целостности [76].

Целостность предполагает качественные изменения при переходе от целого к элементам. Выделение подсистем и элементов позволяет разделить процесс исследования объекта на отдельные этапы и последовательно приближаться к его познанию. Объединение же элементов в подсистемы и подсистем в целое дает возможность установить особенности целостности изучаемого объекта. Следует также помнить, что любая система может быть подразделена на множество подсистем и элементов; отдельные элементы в зависимости от целей исследования могут рассматриваться как система и в свою очередь расчленяться на подсистемы и элементы [76].

Например, при изучении нефтегазоносности осадочных бассейнов выделяют нефтегазоносные комплексы, которые рассматриваются как системы. Это материальные системы, которые имеют свои эмерджентные свойства, заключающиеся в том, что они могут генерировать и аккумулировать углеводороды, и состоят из элементов: пород-коллекторов, пород-флюидоупоров и нефтегазоматеринских отложений. Изучение осадочного бассейна обычно начинается с установления в разрезе положения коллекторов и покрышек. Для уверенной идентификации нефтегазоматеринских отложений требуется провести детальный комплекс геохимических исследований, что обычно выполняется на более поздних этапах изучения бассейна. В этих случаях

целесообразно выделить подсистему “природный резервуар”, состоящую из двух элементов: пород-коллекторов и пород-флюидоупоров, имеющую свою целостность и эмерджентность, заключающиеся в способности аккумулировать и удерживать углеводороды от рассеяния [76].

Таким образом, приведенное выше определение системы как целостной совокупности элементов является «стартовым». Оно предполагает, что для введения системных исследований в изучение сложного объекта необходимо выдержать как минимум два системных принципа - целостность и элементность с качественной характеристикой их взаимосвязи, учитывающей историческую общность элементов данного объекта [76].

В качестве элементов системы могут выступать различные компоненты, процессы, связи. Их количество определяет разнообразие системы, чем их больше, тем система сложнее. При этом, принимая во внимание законы усложнения системной организации К.Ф.Рули¹ и неограниченности процесса², можно говорить об увеличении разнообразия в процессе развития системы. Однако, как замечает Н.Ф.Реймерс, прогресс неограничен лишь при очень значительных усилиях и саморегуляции как ведущем факторе развития, а "длительность неограниченности" лимитирована эволюционными рамками (для Земли - временем ее существования) [71, 185, 193, 276].

Существует и несколько классификаций геосистем (по уровню интеграции, по размерности, по характеру функциональных связей: изолированные, закрытые, открытые, по степени их изменения) [71].

В.В. Докучаев, опираясь на сельскохозяйственный опыт, теоретически обосновал процесс становления внешних связей и перехода их во внутренние. Чернозем, по В.В. Докучаеву - не простая арифметическая совокупность компонентов природы, а результат многочисленных связей в

¹ Историческое развитие живых организмов (а также всех иных природных и социальных систем) приводит к усложнению их организации путем нарастающей дифференциации функций и органов (подсистем), выполняющих эти функции.

² Развитие от простого к сложному эволюционно неограниченно.

процессе исторического развития природы в целом. Пространственные связи ландшафтных компонентов (внешние) благодаря фактору времени становятся органическими (внутренним), при которых исчезает автономность отдельного компонента ландшафта [71].

Многие ученые отмечают эффективность введения в научные исследования этих системных принципов. Явление объективной действительности, рассмотренное с позиций закономерностей системного целого и взаимодействия составляющих его частей, образует особую «гносеологическую призму», или особое «измерение» реальности (Кузьмин, 1976) [76, 185].

В пределах одной системы подсистемы и элементы могут находиться в разных состояниях. Это может быть прогрессивное состояние (способствующее развитию системы), регрессивное (препятствующее развитию) и нейтральное (может и способствовать и препятствовать развитию системы). Сумма и взаимосвязь всех трех видов элементов и подсистем представляет структуру, а количество связей между ними – устойчивость [71, 185, 276].

Геосистемным связям присуща двуликость, различают связи-отношения и связи-взаимодействия. Связи-отношения - это связи, выражающие соотношение явлений, процессов или объектов внутри системы, которые могут быть представлены в качественном или количественном виде. Связи-взаимодействия - связи, определяющие соответствие качества системы ее состоянию (количеству вещества и энергии) за определенный промежуток времени. Следовательно, они определяют качество самой системы, а не отдельных ее составляющих. Существуют в системе они всегда, но их количество изменяется только в критических ситуациях (переход количественных изменений в качественные). Когда же накапливается достаточное количество качественных изменений, происходит скачок всей системы, после чего она может развиваться как в сторону прогресса, так и в сторону регресса, в

зависимости от того, какое суммарное количество факторов (положительное или отрицательное) преобладает [71, 185, 276].

Работы И. Пригожина, О. Тофлера, П. Кратчфилда показывают, что флуктуации вынуждают систему выбрать случайным образом то направление, по которому будет происходить дальнейшая эволюция. Это происходит в момент, когда система теряет свою устойчивость, становится неустойчивой. Неустойчивость можно рассматривать как результат флуктуации, которая сначала была локализована в малой области системы, а затем распространилась и привела к новому ее состоянию. Иначе говоря, отзвуки локальных событий разносятся по всей системе. Для этого должны быть хорошо развиты "каналы связи", с помощью которых область системы, подвергшаяся флуктуации, передает часть энергии и вещества по всей системе. Предупредить это можно перекрыв каналы связи [71, 185, 276].

В связи с этим особое значение приобретают вопросы управления, связанные с регулированием взаимодействия объекта (природа) и субъекта (человека) и возникающих в результате субъект-объектных отношений [188]. Если субъект включает не только естественную, но и антропогенную составляющую, превышающую по силе влияния природную и приводящую к экологическим нарушениям, то система практически становится незамкнутой, то есть ослабляются связи субъект-объект. Преобразование объекта происходит в основном за счет перехода количественных изменений в качественные. В результате система меняет первоначальную направленность своего развития и теряет экологическое равновесие. Чем больше изменяется объект, тем ближе система подходит к экологическому кризису (проблемы Арала, Севана, Байкала и так далее). Для ликвидации кризисных ситуаций человек вынужден создавать еще один вид связей—связи приспособления [71, 185, 276].

Большинство разрабатываемых в настоящее время мероприятий (переброска стока, строительство очистных сооружений, дамбы и так далее)

позволяет лишь приспособить изменившиеся условия к природной среде. Однако, как показывает практика, связи приспособления не всегда гарантируют ликвидацию экологических кризисных ситуаций. Поэтому необходимо создание связей управления, замыкающих систему. Они должны формироваться одновременно с возникновением природно-техногенной системы и так регулировать связи между человеком и природой, чтобы функционирование создаваемой системы не привело к нарушению экологического равновесия [71, 185, 276].

Итак, от кризисных экологических ситуаций могут оберегать системы только связи управления, хотя в настоящее время в уже сложившихся природно-хозяйственных системах преобладает использование связей приспособления [71, 185, 276].

С изменением геосистемы тесно связано и понятие развитие, то есть смена инварианта (необратимые изменения). Анализ исследований, связанных с закономерностями развития геосистем (ГС) позволяет выделить такие их черты, как цикличность, характеризующаяся разными возрастными стадиями развития; однонаправленность - развитие от прошлого к будущему; неограниченность прогресса - развитие от простого к сложному; неравномерность - одновременное наличие прогрессивных (упорядоченных), стабильных (антиупорядоченных) и регрессивных (разупорядоченных) элементов или подсистем (качеств) [71, 185, 276].

Ценность системного подхода состоит в том, что, получив принципиально важную информацию уже в самом начале изучения объекта, можно правильно ориентировать весь ход исследований и последовательно приближаться к более полному познанию сложных объектов, вводить качественные характеристики объекта, которые впоследствии (если это вообще возможно) могут быть заменены количественными данными, эффективно сочетать формальные и содержательные методы, широко использовать интуицию и опыт исследователя [76].

В силу рассмотренных выше исследований объект может быть представлен в виде системы множеством различных способов, в зависимости от цели и задач исследования.

Анализ литературных источников и результаты наших исследований позволяют сделать ряд обобщений, которые приведены в следующем разделе.

1.3. Основные положения системного подхода, используемые при изучении ГМК

В XX веке системная методология сформировалась как научная теория. Это связано с необходимостью изучения сложноорганизованных систем, включающих в качестве неотъемлемых составляющих производственные, сельскохозяйственные, транспортные и другие системы. Изучение этих систем требует интеграции методов различных областей науки (геохимические методы, методы биологической индикации, методы математического моделирования, методы экономических расчетов и т.д.). Общенаучным методологическим направлением в этом случае выступает системный подход, под которым мы понимаем принципы системного исследования объектов, составляющих в совокупности сложную систему.

В основе методологии системных исследований лежат такие принципы, как целостность, взаимосвязь и взаимозависимость. Взаимосвязь и взаимозависимость говорят о полном проникновении составляющих окружающего нас мира друг в друга. Целостность проявляется в единстве внутренней и внешней структур, то есть внутренняя структура изучаемого объекта рассматривается как целостность его элементов и подсистем, но в то же время этот объект входит составной частью в структуру внешней иерархии. По нашему мнению, оба эти принципа находят свое проявление не только в иерархическом строении, но и в таком свойстве, как открытость системы.

Открытые системы – системы, испытывающие на себе влияние как внутренних, так и внешних факторов. К внешним факторам относятся

факторы окружающей изучаемый объект среды (поступление вещества, энергии, информации). Внутренние факторы – процессы, происходящие внутри изучаемого объекта (перераспределения и преобразования поступивших извне и образовавшихся внутри изучаемого объекта потоков вещества, энергии, информации). Наложение внутренних факторов на внешние определяет региональные особенности системы. Включение техногенных элементов в структуру системы может нарушить сложившееся соотношение между внутренними и внешними факторами, и если эти нарушения будут значительными, то возникают экологические проблемы, связанные с образованием в системе, например, такого количества вещества, которое она не сможет самостоятельно «переработать». В результате этого нарушится ее функционирование, то есть нарушится свойственное системе в определенный период времени типичное состояние.

В нашей работе в качестве объекта исследований в русле системной методологии выступает геосистема. Однако из приведенного выше анализа литературных источников следует, что не существует ни единого понятия «геосистема», ни общепринятой классификации геосистем. Вероятно, это связано с тем, что исследователи, ставя перед собой какую-то цель, конструируют удобный для ее реализации объект исследований. Ясно одно, что этот объект, представляющий научную абстракцию, должен иметь пространственную определенность, его границы должны совпадать с территориальным расположением изучаемого объекта.



Рисунок 1.1 - Иерархическое строение изучаемой ГС (сост. автором)

К этому «вырезанному» объекту должны быть применены системные методы исследования. А от того, какую структурную сущность этого объекта будем изучать, зависит выбор той или иной классификации, которая

отражает его иерархическую структуру. Геосистема горно-металлургического комплекса Среднего Урала включает в себя геосистемы II и III порядков. Геосистемы II уровня представлены меднорудным и железорудным ГМК, а III уровня – территориями расположения промышленных предприятий, относящихся к меднорудному и железорудному ГМК (рис. 1.1). Объектом наших исследований являются геосистемы III уровня. Они рассматриваются как объект, включающий природную и техногенную составляющие (то есть состоят из двух подсистем – природной и техногенной), поэтому будут изучаться как природно-техногенные геосистемы. Выбор вида геосистемы определяет методы исследования.

Основу «досистемного» развития науки составляли аналитические методы. В этом случае исследуемый объект разбивался на части, каждая из которых и изучалась. Аналитические методы актуальны и сегодня, но они не позволяют выявить эмерджентные свойства объектов.

Эмерджентность – наличие новых свойств целостности у системы, т.е. таких свойств, которых нет ни у одного из составляющих ее элементов. Иначе говоря, в нашем случае из элементов, имеющих одни качественные особенности, может сложиться геосистема, обладающая иными качественными чертами. Это свойство проявляется как форма осуществления закона перехода количественных изменений в качественные. В реальных исследованиях выражением эмерджентности, по нашему мнению, может служить такая характеристика системы, как устойчивость. Именно изменение устойчивости связано с переходом количества в качество. Проблема в этом случае заключается в определении самой устойчивости.

Обзор литературных источников показал, что единого мнения у ученых по трактовке «устойчивости» не существует. Это, на наш взгляд, связано со сложностью ее определения. Необходимо выявить такие показатели или параметры системы, которые позволяли бы объективно оценить, как изменяется ее состояние, если меняются составляющие ее

структуры и функционирование. Чем больше разных по генезису подсистем включает изучаемая геосистема, тем сложнее определение устойчивости. Известно, что чем разнообразнее природная система, тем она более устойчива. Это объясняется тем, что разрушить существующие связи между элементами простой системы много проще, чем сложной: в простой их меньше. А если в геосистему включается техногенная подсистема, что будет с устойчивостью? Количество элементов в геосистеме увеличивается, значит, возрастает и количество связей. Можно ли в этом случае говорить об увеличении устойчивости? Считаем, что в этом случае возникает противоречие между естественным и искусственным, которое выражается в уменьшении устойчивости природной подсистемы. Объясняется это тем, что при внедрении техногенных элементов разрываются сложившиеся между природными компонентами связи, а, следовательно, изменяется функционирование.

Устойчивость природной исторически сложившейся геосистемы, в пределах которой возник ГМК, обусловлена потоком вещества, определяющим ее функционирование, в компоненты окружающей среды: атмосферный воздух, почвы, природные воды, биоту. Резкое изменение химического состава этих компонентов в результате хозяйственной деятельности приводит к нарушению устойчивости природной геосистемы и трансформации ее в природно-техногенную. Природно-техногенные геосистемы состоят из геохимических полей, генетически, пространственно и во времени связанных как с элементами природной среды, так и с техногенными объектами. Происходящие здесь процессы трансформации окружающей среды не имеют аналогов в природных геосистемах, структуру и функционирование которых можно было бы моделировать применительно к ГМК.

Что же касается техногенной подсистемы, ее состояние лучше характеризовать понятием «надежность».

Изменение функционирования во времени характеризует развитие геосистемы. Обычно геосистема развивается от простой к сложной, но это происходит до определенного времени, так как любая геосистема рано или поздно разрушится и на ее месте возникнет новая. И каждый новый этап развития геосистемы будет характеризоваться изменением ее экологического состояния (обстановки), так как будет меняться состояние компонентов природной среды.

Сложность экологических исследований состоит в том, что почти не существует объектов, которые можно рассматривать как отдельные элементы или подсистемы, функционирующие обособленно. Их локализация и раздельное изучение означают нарушение (разрыв) межэлементных связей. Это искажает знания о развитии геосистемы в целом. Поэтому наряду с изучением отдельных элементов (подсистем) и их функционирования необходим целостный анализ развития геосистемы.

В нашем понимании, системный подход, являясь теоретической основой, определяет путь и логику исследований, помогает конструировать объект исследований и выявляет те основные свойства системы, которые нужно изучить, чтобы добиться поставленной цели. Можно составить следующую логическую цепочку исследования развития геосистемы:

Система (изучаемый объект) —> подсистемы (составляющие части системы, определяют вид ГС) —> структура подсистем (изучение основных элементов) —> функционирование (показатель направленности функционирования – устойчивость) —> развитие (показатель направленности развития – экологическая обстановка).

При конструировании объекта исследований мы исходим из того, что геосистема – это часть географической оболочки, имеющая единый базис, обладающая некой целостностью и характеризующаяся единством структуры, функционирования и развития. Территориально мы ее выделяем по границам месторождений рудных полезных ископаемых – меднорудных и железорудных, по схеме тектонического и металлогенического

районирования Урала находящихся в пределах Тагильской зоны главного эвгеосинклиналичного пояса, Восточно-Уральской и Зауральской мегазоны [201].

Каждая изучаемая геосистема III уровня относится к классу природно-техногенных геосистем. Она представлена двумя подсистемами: природной и техногенной.

Структура природной подсистемы включает компоненты природной среды: атмосферный воздух, почвы, природные воды, биоту. По сути, речь идет о геосистеме, которую можно отождествлять с биогенным ландшафтом. Как уже говорилось ранее, под геосистемой понимается совокупность природных элементов, находящихся в определенных пространственных и временных отношениях и взаимосвязях и имеющих общий базис естественного происхождения, определяющий целостность этой совокупности. Согласно А.И. Перельману, биогенные ландшафты – это сложные биокосные системы, в которых почва, кора выветривания, континентальные отложения, грунтовые и поверхностные воды, растительность, животный мир, приземный слой атмосферы тесно между собой связаны миграцией атомов и образуют единое целое. Так формируется естественный фон.

Техногенная подсистема – предприятия меднорудной и железорудной промышленности. Они формируют техногенные потоки вещества, которые благодаря наличию связей поступают в компоненты природной подсистемы и определяют ее функционирование в определенный момент времени. Функционирование изменяется во времени. В результате этого происходит изменение устойчивости природно-техногенной геосистемы (ПТГС).

Под устойчивостью мы понимаем сохранение естественного состояния геосистемы при внешнем воздействии на нее. Устойчивость меняется в зависимости от поступления и миграции вещества в геосистеме. Поступление и расходование вещества осуществляется через прямые и обратные связи. В случае, если обратные связи менее сильны, чем прямые, то

есть преобладает привнос вещества, выявить роль прямых и обратных связей можно с помощью биогеохимического баланса. В равновесном состоянии баланс (разница между приходной и расходной частями) равен нулю. Но постоянно нулевой баланс не может сохраняться, так как в этом случае система развиваться не будет, а мы знаем, что «все течет, все изменяется», т.е. через какое-то время в балансе будет преобладать или приходная, или расходная часть. Следовательно, устойчивость будет постоянно меняться. Смена устойчивости, а значит и функционирования во времени, и характеризует ее развитие. Если при техногенном вмешательстве баланс отрицательный, то геосистема развивается в сторону истощения, а если положительный – то в сторону загрязнения. В обоих случаях экологическое состояние геосистемы будет отличным от естественного. Следовательно, для его изучения необходимо знать направленность развития геосистемы.

Если через a_i обозначить элементы ПТГС, через b_i – связи в ней, а через t_i – время, то структура системы условно будет описана уравнением: $u_c = f(a_i)$; функционирование $y_\phi = f(a_i, b_i)$; развитие $y_p = f(a_i, b_i, t_i)$. Как видим, изучение развития геосистемы должно включать исследования и структуры, и функционирования.

Для прикладного использования положений системного подхода существуют различные виды анализа (рис. 1.2).

С помощью системного подхода и исходя из заданной цели исследования можно выбрать вид анализа и сконструировать систему.

Например, системный анализ применим для описания системы с помощью математических моделей (широко используется в Институте системных исследований РАН).

В.Б. Ряшко в рамках системного подхода разработана системно-диалектическая методология (СДМ), которая представляет постановку, выделение и решение трех типов задач [203]:

1. Определение структуры элементов объекта (процесса, явления) на основании представления о его функционировании в определенных условиях (исходных).
2. Создание представлений об идеальных возможностях функционирования объекта с заданной структурой.
3. Формирование представлений о функционировании в условиях ограничения развития или ограничения функционирования.



Рисунок 1.2 - Содержание системной методологии и системного подхода
(сост. автором)

На основе разработанной триады Б.В. Ряшко применил социально-экономический анализ при изучении развития системы железнодорожного транспорта. Т.П. Девяткова адаптировала данную методологию для достижения своей цели – изучения гидрологических процессов, происходящих в водохранилищах, где был применен структурно-

функциональный анализ. Согласно СДМ данный анализ состоит из трех взаимосвязанных между собой частей – структуры, функционирования и развития и представлен на рисунке 1.3.

Существует эколого-социально-экономический анализ, разработанный Т.П. Девятковой, М.С. Обориным для изучения курортно-рекреационной зоны, общая схема которого представлена на рис. 1.4.



Рисунок 1.3 - Состав и структура элементов системы [203]



Рисунок 1.4 - Системная структуризация эколого-социально-экономической системы (по Т.П. Девятковой, М.С. Оборину, [203])

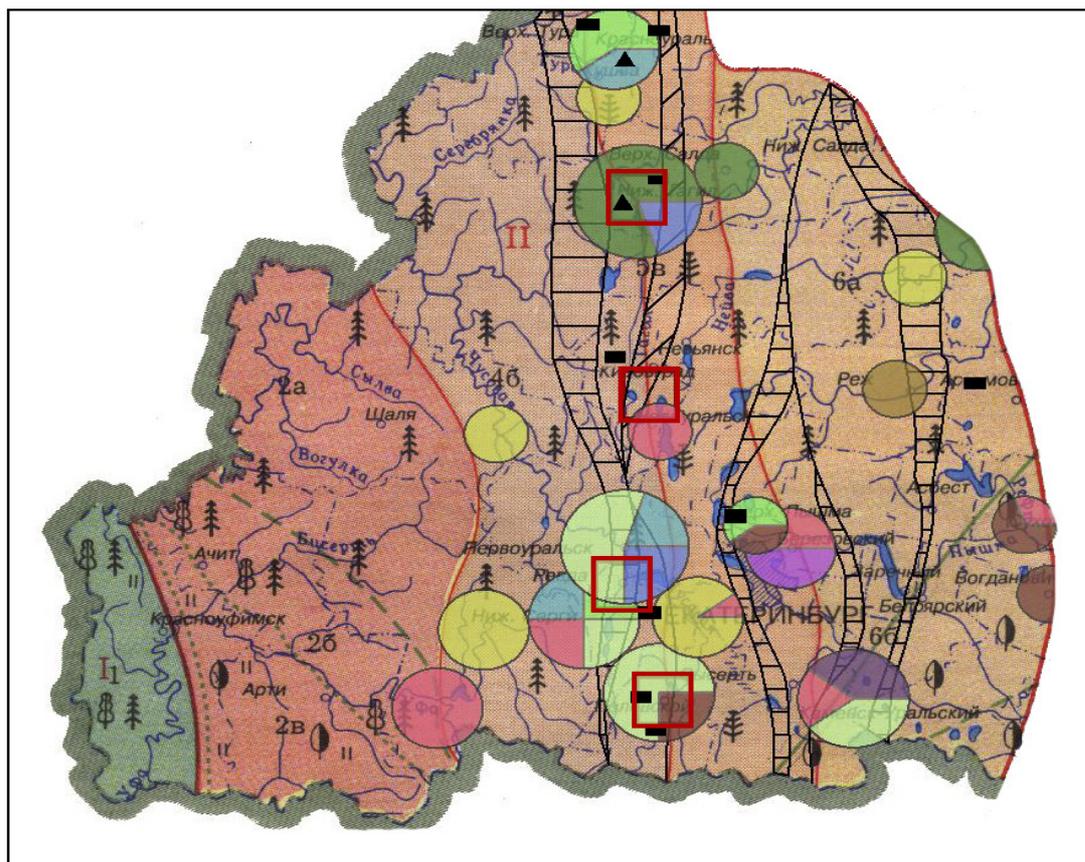
Таким образом, из приведенных выше примеров можно сделать вывод, что СДМ можно адаптировать под любой тип анализа в зависимости от объекта исследований и поставленной цели.

Объекты нашего исследования по физико-географическому районированию расположены в низкогорной полосе Среднего Урала и его Восточных предгорьях, в пределах месторождений рудных полезных ископаемых (Ломовско-Карпушихинское, Левиховское, Ежовское рудные поля, Гумешевское месторождение медистых глин, Высокогорское железорудное месторождение) (рис. 1.5). Они рассматриваются нами как природно-техногенные геосистемы (III иерархического уровня), имеющие пространственные границы, определенные базисом – крупными горнодобывающими и перерабатывающими металлургическими предприятиями: ОАО «КМК», ОАО «СУМЗ», ОАО «Уралгидромедь», ОАО «НТМК» (рис. 1.1).

Нашей целью является разработка регионального геоэкологического анализа, а согласно СДМ геоэкологический анализ объекта заключается в обоснованном выделении его из среды как самостоятельной целостности, установлении внешних взаимодействий, выделении функциональных связей, описании его развития для принятия управленческих решений.

Полная информация о природно-техногенной геосистеме III уровня должна охватывать совокупность представлений о ее структуре, функционировании и развитии (рис. 1.6).

Каждая геосистема состоит из двух подсистем – природной и техногенной. К ее изучению можно подойти с двух позиций: 1) изучить каждую подсистему отдельно, а потом увязать все друг с другом (аналитический подход); 2) не разделяя подсистемы, рассматривать их как единое целое, проникающее друг в друга (системный подход). В первом случае мы не учитываем такое основополагающее свойство геосистемы, как эмерджентность, во втором – оно становится определяющим.



Легенда

Горно-металлургический комплекс - ПТГС I иерархического уровня

- Производство алюминия и глинозёма
- Меднорудный комплекс - ПТГС II иерархического уровня
- Производство никеля
- Производство химической продукции, связанной с цветной металлургией
- Прокат и обработка цветных металлов и получения сплавов
- Железорудный комплекс - ПТГС II иерархического уровня
- Производство ферросплавов и прецизионных сплавов
- Производство труб и метизов
- Производство огнеупоров
- Производство химической продукции связанной с чёрной металлургией
- Неполный цикл, передельная металлургия

Границы

- Природных районов
- Географических зон
- Географических подзон
- Барьерных подзон
- Северотаежные леса (еловые, кедровые, сосновые с лиственницей)
- Среднетаежные леса
- Темнохвойные леса (пихтово-еловые, елово-пихтовые с кедром)
- Светлохвойные леса (сосновые, сосновые с елью, кедром)
- Южнотаежные леса
- Темнохвойные леса (пихтово-еловые, елово-пихтовые с кедром)
- Светлохвойные леса (сосновые, сосновые с елью, кедром)
- Широколиственно-хвойные леса (пихтово-еловые с липой, кленом, ильмом)
- Березовые, осиново-березовые леса
- Осиново-березовые леса и луговые степи

Районы исследования - ПТГС III иерархического уровня

- Районы исследования - ПТГС III иерархического уровня
- Шовные зоны**
- Главного уральского глубинного разлома
- Других глубинных разломов
- Серовско-Мауского глубинного разлома
- Полезные ископаемые**
- медь и медно-цинковые руды
- железные руды

		Крупные тектогенные (азональные) природные комплексы						
		II Урал						
Зоны и подзоны	Финно-географические природные зоны	Восточно-европейская равнина	Уфимское плато 1	Западные предгорья 2	Среднегорья Свердловского Урала 3	Низкогорья Среднего Урала 4	Восточные предгорья 5	Зауральская складчатая возвышенность 6
	Зональные природные комплексы	Тундра зона						
Подзона северной тайги						↓ a		↓ a
Подзона средней тайги						↓ b	↓ a	↓ b
Подзона южной тайги					↓ a		↓ b	↓ a
Подзона широколиственно-хвойно-таежных лесов				↓ a	↓ b			
Лесостепная зона								↓ b

Рисунок 1.5 - Положение районов исследований на карте физико-географического районирования Свердловской области (сост. автором по материалам атласа Свердловской области, 2005 [5])

При этом мы не изучаем отдельные технические элементы геосистемы (например, цеха, подсобные помещения и т.д.), нас интересует технологический процесс, который выступает в роли связи между техническими и природными элементами геосистемы. Именно последствия технологических процессов являются «поставщиком» в природную подсистему вещества, информации и энергии. Накладываясь на уже сформировавшуюся здесь геохимическую обстановку, они формируют новый геохимический облик геосистемы. Образовавшиеся в этом случае концентрации химических элементов в природных компонентах геосистемы не являются простым арифметическим сложением содержания концентраций поступивших веществ в какой-то компонент природы с имеющимися ранее, так как химические элементы имеют миграционную подвижность, перемещаются из одних компонентов системы в другие, распространяются по поверхности неравномерно из-за орографии и климата, а также наряду с привносом элементов в геосистему действует и механизм выноса их из геосистемы: смыв поверхностным стоком с водосборной территории.

Однако без изучения первоначального (фоновое) химического облика геосистемы и поступающих в нее дополнительных техногенных потоков вещества невозможно оценить влияние техногенной подсистемы на современное экологическое состояние геосистемы, а следовательно, сложно предложить рациональные природоохранные мероприятия.

Этим объясняется выбор нами в качестве основного методологического подхода СДМ (рис. 1.6), а в качестве основного вида анализа – регионального геоэкологического анализа. Одним из основных законов СДМ является закон координации (единство и взаимосвязь между однопорядковыми элементами геосистемы) [71]. Геосистемы III уровня в нашем исследовании – территории предприятий меднорудной промышленности (см. рис. 1.1) – находятся на одном иерархическом уровне, поэтому к ним может быть применен закон координации, исходя из которого и из имеющейся информации структура данной ГС рассматривается на

примере территории ОАО «КМК», функционирование – на примере ОАО «СУМЗ», развитие – на примере ОАО «Уралгидромедь». Данные предприятия по своим технологическим процессам, природным условиям территории расположения, типу природопользования являются аналогами, поэтому если недостаточно какой-либо информации для одного предприятия, например по функционированию или развитию, мы можем воспользоваться информацией аналогичного предприятия, где имеются необходимые данные.

Региональный геоэкологический анализ (взаимосвязь структуры, функционирования и развития) при изучении предприятий железорудной промышленности (геосистема III порядка) (см. рис. 1.1) реализован нами на примере территории одного предприятия – ОАО «НТМК».

Специфика применения регионального геоэкологического анализа такова, что его результаты находят свое отражение и в механизме управления, который является составной частью блока «развитие» (см. рис. 1.6). Относительно геосистемы III уровня они выступают основой:



Рисунок 1.6 - Необходимая триада частей природно-техногенной геосистемы III уровня (сост. автором)

- выбора природоохранного мероприятия – для территории предприятий меднорудной промышленности;
- разработки системы мониторинга на основе СДМ – для территории предприятия железорудной промышленности.

ВЫВОДЫ

Геосистемы горно-металлургического комплекса Среднего Урала включает геосистемы трех уровней (рис. 1.1). Объектами нашего исследования являются геосистемы III уровня.

Методологической основой исследования является системно-диалектическая методология, включающая изучение триады: структуры, функционирования и развития.

Под структурой мы понимаем элементы природной подсистемы, которые формируются в тесной связи с геологическим строением, обуславливающим фоновые концентрации элементов в компонентах природной среды (атмосферном воздухе, почвах, природных водах, биоте), а также элементы техногенной подсистемы (промышленные предприятия горно-металлургического комплекса). При взаимодействии этих подсистем возникает природно-техногенная геосистема (современное состояние окружающей среды).

Функционирование представляет собой процесс, обусловленный не только природными особенностями геосистемы, но и постоянным поступлением химических элементов в результате выбросов предприятиями загрязняющих веществ в атмосферу, сбросов сточных вод и образования отходов, их миграцией внутри геосистемы и как следствие – изменение ее устойчивости.

Развитие зависит от структуры и функционирования ГС, которые в свою очередь определяют сложившуюся здесь экологическую ситуацию. В зависимости от складывающейся экологической ситуации геосистема может развиваться как в сторону регресса, так и в сторону прогресса. Чтобы не

допустить деградации геосистемы, необходимо ею управлять. Управление, с точки зрения сохранения естественных свойств природной составляющей, связано с внедрением природоохранных мероприятий.

Изучение представленной триады и является сутью **регионального геоэкологического анализа**, под которым мы понимаем учет региональных особенностей природно-техногенных геосистем при изучении их экологического состояния с целью принятия обоснованных управленческих решений. В связи с тем, что методологическая основа анализа – системный подход, основными принципами его являются: целостность, взаимосвязь, взаимозависимость и однонаправленность.

2. СТРУКТУРА ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОЙ ГЕОСИСТЕМЫ III УРОВНЯ

Структура изучаемой нами природно-техногенной геосистемы включает в себя элементы природной подсистемы, которые формируются в тесной связи с геологическим строением, обусловленным специфическим геологическим развитием региона – наличием крупнейших меднорудных и железорудных месторождений полезных ископаемых (специфические фоновые концентрации загрязняющих элементов в компонентах природной среды), а также элементы техногенной подсистемы (предприятия ГМК). При взаимодействии этих подсистем возникает природно-техногенная геосистема III уровня (современное состояние компонентов окружающей среды, находящихся под воздействием предприятий ГМК) (рис.2.1) [72,73].

Природно-техногенная геосистема ГМК имеет сложную структуру, представленную тремя составляющими: природными, техногенными и природно-техногенными. Как считает В.Б. Сочава, «ГС изучается с целью познания закономерности структуры и формирования природной среды и возможности ее оптимизации в ресурсном и экологическом отношении». Правда, он утверждает, что изучать природные, территориально-экономические и социальные системы нужно отдельно. Однако в изучаемой нами геосистеме тесно переплелись природные и техногенные элементы, что привело к формированию новой природно-техногенной структуры, которая и определяет развитие геосистемы. В этом случае возникает вопрос: каков масштаб произошедших изменений? Для ответа на него необходимо знать природную (фоновую) обстановку изучаемой геосистемы, изменения, вносимые техногенными элементами, и сформированную в связи с этим современную (реальную) структуру ГС. При этом, по нашему мнению, структура геосистемы должна изучаться с учетом цели проводящихся исследований. Так как наша цель – исследовать влияние ГМК на экологическую ситуацию изучаемой

территории, а основной вклад в ее формирование вносит поступление загрязняющих компонентов, образующихся в результате деятельности предприятий ГМК, то нас в первую очередь волнует изучение природного фона и поступление в ГС загрязняющих веществ. С этих позиций мы и рассматриваем структуру природно-техногенной геосистемы III уровня (рис. 2.1).

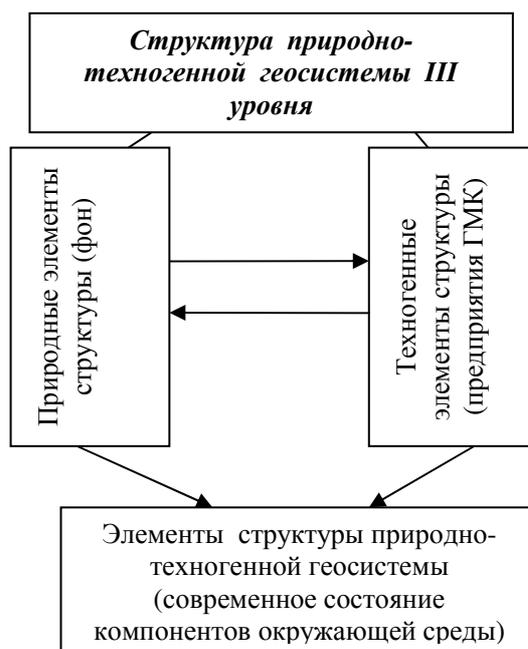


Рисунок 2.1 - Структура природно-техногенной геосистемы III уровня
(сост. автором)

Подход к исследованию структуры природно-техногенной геосистемы включает методы научного познания, которые определяют логическую схему исследования [213]. Обычно схема исследований соответствует решению (или представляет путь решения) поставленных задач и определяет методы исследования. Выбор методов нашего исследования определяется использованием методологического принципа, сочетающего, с одной стороны, расчленение объекта на отдельные элементы и исследование каждого из них, а с другой – рассмотрение нерасчлененного целого с набором функциональных и структурных особенностей [73, 213]. Это объясняется тем, что природные

компоненты играют разную роль в формировании фоновых концентраций. Для изучаемой ГС основным, системообразующим компонентом является геологическое строение территории.

В качестве нерасчлененного целого с набором функциональных и структурных особенностей нами рассмотрены техногенные элементы структуры – зоны воздействия предприятий ГМК на окружающую среду. Объясняется это тем, что нас интересуют не технические элементы структуры геосистемы, а непосредственно последствия деятельности предприятий ГМК Среднего Урала – поступление в ГС загрязняющих веществ. Для этого было проведено исследование основных источников загрязнения (ОАО «Кировградский медеплавильный комбинат», ОАО «Среднеуральский медеплавильный завод» – меднорудная геосистема III уровня; ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат» – железорудная геосистема III уровня) и их ранжирование по способу загрязнения.

Совместное изучение природной и техногенной составляющих структуры изучаемых ГС позволило дать характеристику современного состояния их компонентов, схема формирования этого состояния представлена на рис. 2.2.

В соответствии с «рядом Солнцева», в котором компоненты размещены от самых «сильных» до самых «слабых» (по своему структуро-формирующему значению): геологическое строение – литология – рельеф – климат – воды – почвы – растительность – животный мир [237], ведущими факторами в данном ряду являются литогенные компоненты, на втором месте – климат и воды, и самыми слабыми оказываются биогенные компоненты, которые полностью зависят от всех предшествующих им в ряду. Мы и рассматриваем структуру природно-техногенных геосистем согласно этому ряду, начиная с геологического строения и заканчивая биотой, только в нашем случае к

геологическому строению добавляется еще одно структуроформирующее значение – техногенные источники (предприятия ГМК).



Рисунок 2.2 - Схема формирования экологического состояния природно-техногенной геосистемы III уровня (сост. автором)

2.1. Элементы природной подсистемы

Природная подсистема геосистемы III уровня с городами Кировград, Ревда, Первоуральск, Н.Тагил формируется в тесной связи с особенностями геологического развития региона, которое определило особенный природный геохимический фон [37, 58, 88, 89, 128, 213]. Рудная минерализация, обусловленная структурно-геологическими условиями формирования пород и руд, осложнённая метаморфизмом, магматизмом и другими процессами привела к формированию месторождений рудных полезных ископаемых, и

ассоциациям потоков рассеяния тяжелых металлов, создающих современный фон в окружающей среде региона [213]. Это и позволяет рассматривать геологическое строение как основной системообразующий элемент структуры ГС, который определяет содержание химических ингредиентов в остальных элементах ее структуры, а почвообразующий горизонт – как индикатор природного фона, так как химические элементы из материнской породы попадают в первую очередь в почвообразующий горизонт – грунты, не затронутые техногенезом.

2.1.1. Геолого-геохимическое строение территории – основной системообразующий фактор геохимического строения геосистемы

А. Н. Заварицкий, А. Г. Бетехтин, Н. К. Высоцкий, И. Д. Соболев, Д. С. Штейнберг, Л. Н. Овчинников, Д. В. Рундквист, К. К. Золоев изучали геолого-геохимическое строение Урала [213].

Подробно металлогении Среднего Урала в связи с его геологическим строением посвящена работа А.И. Семячкова [213]. Согласно схеме тектонического и металлогенического районирования Урала [20, 128, 199, 201, 218, 213], на исследуемой территории выделяются следующие мегазоны: Тагильская зона главного эвгеосинклинального пояса; Восточно-Уральская и Зауральская. Металлогения этих зон связана с геодинамическими процессами, как предшествующими их заложению, так и последовательно возникшими. Последние формировались на начально геосинклинальной (океанической), раннегеосинклинальной (островодужной), орогенной (коллизонной) и платформенной (континентальной) стадиях развития. В пределах указанных структур расположены микроконтиненты (срединные массивы) с оруденением, возникшим в результате активизации этих массивов под влиянием процессов, происходивших в собственных структурах складчатого пояса. После превращения подвижного пояса в молодую платформу во всех

вышеперечисленных структурах вновь проявился континентальный рифтогенез со свойственными ему магматизмом, метасоматозом и оруденением [213].

Сложность и многообразие взаимосвязанных явлений тектоногенеза, магматизма, осадконакопления и метаморфизма на различных стадиях развития территории обусловили многостадийный прерывисто-непрерывный процесс рудогенеза. Рудообразование носило унаследованный и направленный характер. Тем не менее, крупные металлогенические эпохи и процессы, соответствующие выделенным циклам и стадиям развития складчатого пояса, характеризуются четким, только им присущим набором разнотипных в генетическом отношении полезных ископаемых [213].

Исследуемая территория формировалась в среднеордовикско-металлогеническую эпоху и соответствует времени заложения, развития и замыкания Уральской палеозойской геосинклинали, ее постгеосинклинального орогенного развития и посторогенной тектоно-магматической активизации. Эта эпоха подразделяется на три металлогенических этапа (стадии): собственно геосинклинальный, орогенный и посторогенный. Именно в эту эпоху сформировались важнейшие рудообразующие и рудолокализирующие структуры и возникли главнейшие рудоносные геологические и рудные формации, определяющие металлогению Восточного склона Урала и Зауралья. С наиболее продолжительной доорогенной стадией развития Уральской палеозойской эвгеосинклинали связан базальтоидный магматизм со свойственным ему набором специфических магматических пород и ассоциированных с ними месторождений черных, цветных и благородных металлов. На орогенном этапе развития Восточного склона Среднего Урала общее сжатие и главная складчатость привели к коренному изменению магматизма и рождению орогенной металлогении. При этом эвгеосинклинальные отложения с рудными месторождениями доорогенной стадии подверглись зональному (градиентному) плутонометаморфизму и деформациям [213].

Нами рассмотрены геологические особенности меднорудных и железорудных месторождений с акцентом на геохимическую спецификацию элементов.

Меднорудные месторождения. В регионе известны многочисленные месторождения медных руд различного, главным образом эндогенного, происхождения. Среди них ведущее промышленное значение принадлежит медноколчеданным месторождениям [213].

Одним из крупных колчеданных месторождений является группа месторождений, расположенная в Кировградском районе.

В геолого-структурном отношении Кировградский район располагается в Тагило-Магнитогорском синклинии [88,199], являющемся составной частью Главной эвгеосинклинальной зоны Урала. Колчеданные месторождения приурочены к узкой полосе вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород, вытянутых на расстояние более 1800 км вдоль 60 - ого меридиана. В пределах этой полосы известны почти 200 месторождений и проявлений. Уральские месторождения по составу руд относятся к медным и медно-цинковым. Пространственное распространение основных геохимических типов руд в пределах Главной эвгеосинклинальной зоны Урала достаточно однородно, но по повышенной меденосности выделяются 2 зоны - Среднеуральская в Тагильском мегасинклинии и Южноуральская, тяготеющая к Магнитогорскому мегасинклинию. Такое подразделение месторождений имеет под собой геологическое основание.

На Среднем Урале в Тагильском мегасинклинии оруденение приурочено к вулканитам нижнего силура. Вулканиты подвержены региональному расщеплению, особенно это касается пород ордовика и силура.

Согласно схеме тектонического районирования И. Д. Соболева, Тагильский мегасинклиний в свою очередь распадается на более мелкие структуры - западную - Левихинскую (или Тагильскую) синклиналь, названную

в районе западной зеленокаменной полосой и восточную - Кировградскую. Обе синклинали осложнены серией поперечных перегибов, которые не прослеживаются по всей ширине мегасинклинория и образованы местными поднятиями шарниров. Синклинали разделены локальным поднятием - Ежовско-Кировградской антиклиналью.

В.А. Прокин [199] подразделил рудные районы по степени тектонической деформации на несколько групп. Согласно этому подразделению Левихинская полоса месторождений относится к третьему классу пород - с рассланцеванием вулканических пород, но с сохранившейся первичной зональностью рудных тел. Тогда как Калатинская (Кировградская) полоса характеризуется рассланцеванием вмещающих пород и преобразованной зональностью рудных тел. Вообще для Тагильского мегасинклинория, где располагается Кировградский промузел, рассланцевание и метаморфизм рудных агрегатов носят определяющий характер. Рудные тела здесь имеют крутое ($50-70^\circ$) падение. Рассланцевание вмещающих пород, обычно сопровождается метасоматической сульфидной вкрапленностью, характерной для среднеуральских месторождений.

Медно-колчеданное оруденение Кировградского района относится к западной зеленокаменной полосе, представленной сложным комплексом вулканогенных, вулканогенно-осадочных и осадочных пород, разделенном на три свиты силур-нижнедевонского возраста (снизу-вверх) (рис. 2.3). Согласно стратиграфической схеме вулканогенно-осадочный комплекс района делится на 5 свит (снизу вверх) [8]:

1) Нейвинская свита. В составе выделено две толщи горных пород: толща гнейсов и толща уралитизированных пироксеновых порфиринов, их туфов, амфиболитов и амфиболитовых сланцев. По возрасту свита отнесена к ландоверийскому ярусу, но не исключается и более древний возраст этой свиты.

2) Невьянская свита, объединяющая собой сложный комплекс метаморфических пород: слюдисто-кварцевых, углисто-кварцитовых, филлитовых и зеленых сланцев, мраморов и основных эффузивов, превращенных в амфиболиты и амфиболитовые сланцы. В соответствии с ранее установленным ее возрастом отнесена к венлоку.

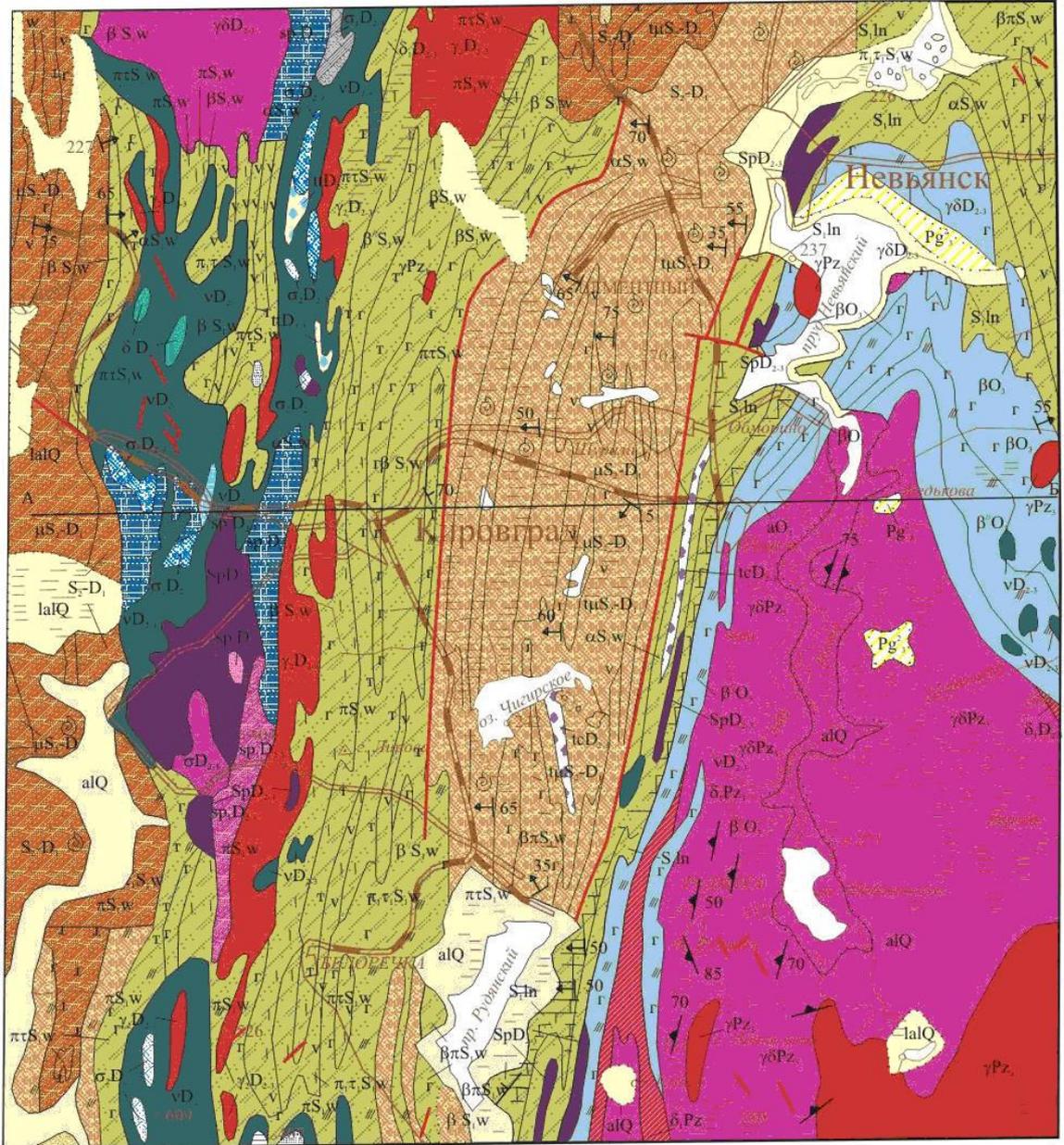
3) Кировградская (рудonoсная) свита. Представлена альбитофирами, кварцевыми альбитофирами, и диабазовыми порфиритами, пирокластическими аналогами этих эффузивов и их метаморфическими производными. Возраст – венлок – нижний лудлоу.

Пэк А. В., Столяров Ю. М. и др. в пределах рудных полей выделяются две группы жильных образований: а) генетически связанная с интрузивными массивами района; б) генетически связанная с вулканическим комплексом S – D возраста и не выходящие за пределы толщ Кировградской свиты. Жильные образования этой группы создают благоприятные структурные условия и существенно влияют на размещение колчеданного оруденения.

Все известные колчеданные месторождения в районе приурочены только к образованиям Кировградской свиты – к зонам интенсивного рассланцевания, прослеживающихся в виде меридиональных по простиранию сланцевых зон, причем промышленные концентрации сульфидов тяготеют к участкам наибольшей фациальной изменчивости толщ и совпадают с участками проявления древнего вулканизма.

Рудonoсная Кировградская свита делится на две неравные части: нижняя датирована ранним-средним ландовери, а верхняя часть вместе с низами шуралинской свиты датируется поздним ландовери – ранним венлоком.

В западной - зеленокаменной полосе - располагаются Левихинское и Карпушихинское месторождения; в восточной полосе - Ежовское, Ново-Ежовское, Калатинское, Белореченское и Хабунинское месторождения.

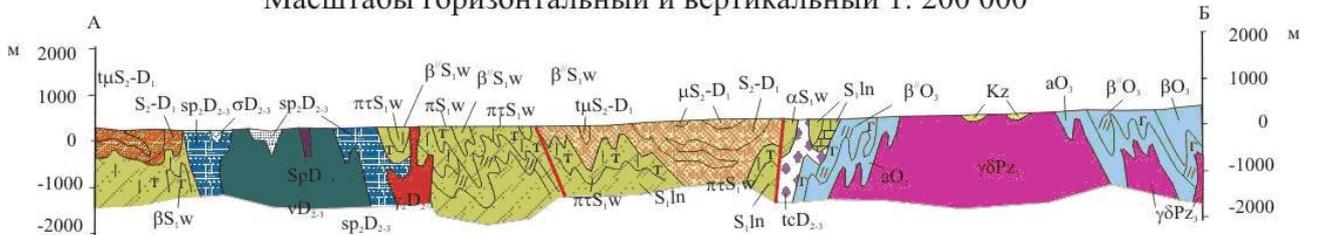


Составлено по материалам Соболева И.Д., 1960 г.

1: 200 000
В 1 см 2 километра

РАЗРЕЗ ПО ЛИНИИ А-Б

Масштабы горизонтальный и вертикальный 1: 200 000



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

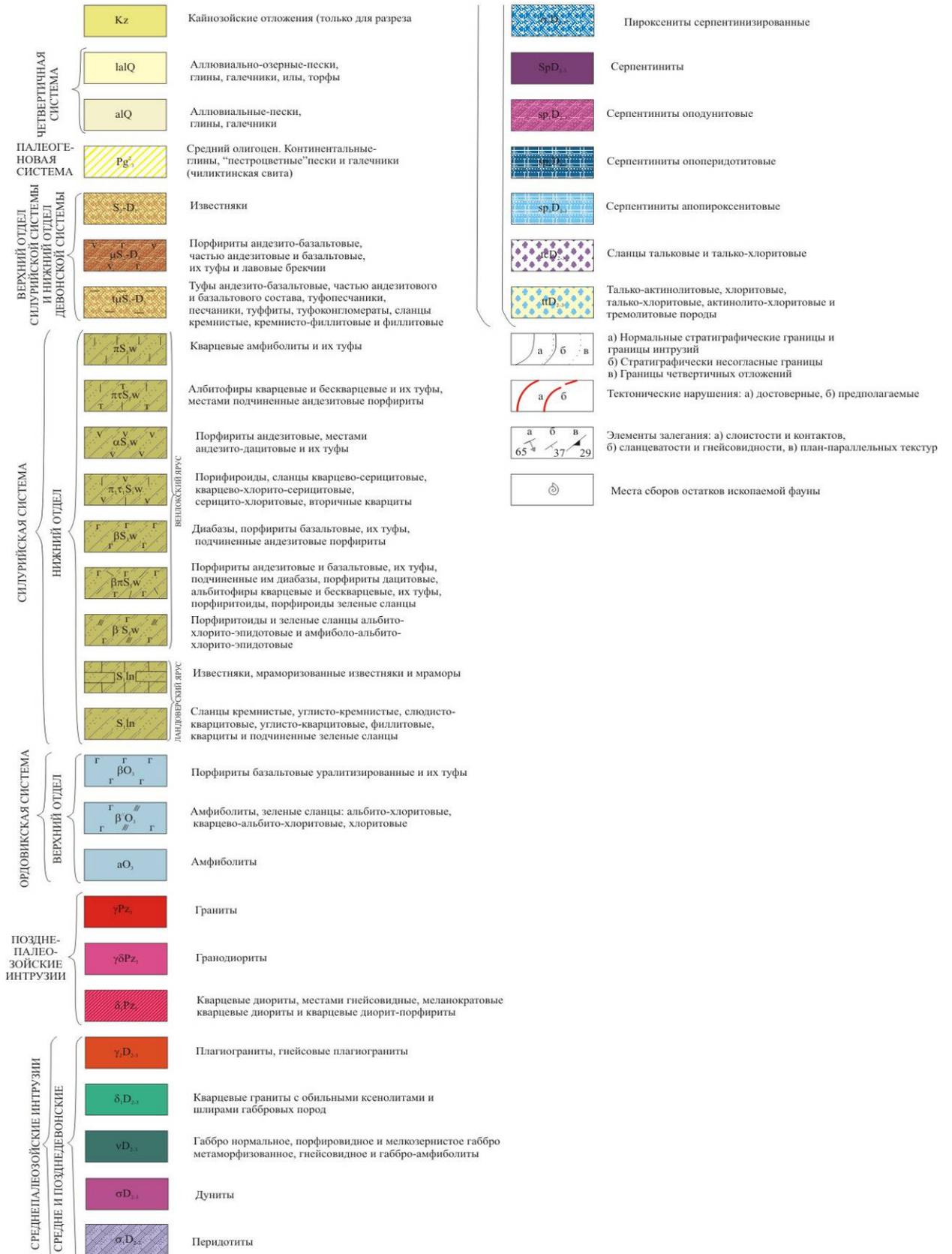


Рисунок 2.3 - Геологическая карта Кировградского промузла

Резкая фациальная изменчивость – высокая мобильность в течение длительного времени, что и явилось причиной широкого развития на рудных полях субвулканических тел, мелких интрузий и даек различного состава.

4) Шуралинская свита обладает пестрым и сложным составом, довольно сильно фациально меняется в пределах западной и восточной фациальных зон. Включает три различные литологические толщи: осадочную, туфогенно-осадочную и вулканогенную. Представлена известняками, туфопесчаниками, углисто-кремнистыми и кремнистыми сланцами, различными лито- и кристалло-кластическими туфами, плагиоклазовыми порфиритами (андезитового, андезито-дацитового и дацитового состава), уралит-плагиоклазовыми и уралитовыми порфиритами (андезито-базальтового состава). По возрасту определяется как верхний лудлоу – жединский ярус нижнего девона.

5) Тагильская свита. Этот комплекс горных пород самый молодой в районе, развит не повсеместно, пространственно связан с породами шуралинской свиты. В состав ее входят ортофиры, их крупнообломочные и кристалло-кластические туфы и туффиты, пижонито-плагиоклазовые порфириты, габбро-порфириты. Возраст свиты – нижний девон [235].

Интрузивные горные породы района представлены двумя различными формациями: габбро-перидотитовой и гранитной. Первая из них объединяет комплекс пород Тагильского и Тагило-Невьянского массивов, вторая представлена кислыми интрузивными породами Верх-Исетской интрузии.

Тагильский массив протягивается на западе района и приурочен к крупному антиклинальному поднятию первого порядка. Сложен массив в пределах исследуемого района в основном габбро, диоритами и плагиогранитами с незначительным развитием пироксенитов и горнблендитов. Изучая северную часть Тагильской интрузии, Заварицкий А. И. (1927 г.) пришел к выводу о залегании ее в виде межформационного лакколита. И. Д.

Соболев относит Тагильский массив к межформационной интрузии с общим односторонним восточным падением.

Кислые интрузивные породы Верх-Исетского гранитного массива занимают юго-восточную часть района и также приурочены к антиклинальной структуре первого порядка, ограничивающей Тагильский синклиний с востока. Для нее характерно наличие гнейсового пояса и неоднородность состава самой интрузии. В пределах района выделяется северная часть главного тела интрузии – Верх-Исетский массив, на продолжении которого в районе Невьянского пруда картируется небольшой Середовикский сателлит главной интрузии. К северу и северо-востоку от Верх-Исетского массива выделяется поле малых интрузий: Пановский массив, Таволжанский массив и т. д. Сложен Верх-Исетский массив в основном кислыми разностями горных пород, которые представлены различными гранитоидами. Среди кислых пород встречается несколько разновидностей пород более основного состава – габбро и диориты. Габбро встречаются к северо-востоку в экзоконтактовой зоне гранитного массива. Здесь габбро залегает в виде пластовых относительно маломощных интрузий. Диориты встречаются лишь в виде ксенолитов среди гранитоидов массива.

Тагильский синклиний в центральной части района разделяется антиклинальным поднятием второго порядка на две синклинальные зоны. К этой антиклинальной структуре второго порядка приурочены Верх-Нейвинский, Верхне-Тагильский и Тагило-Невьянский массивы основных и ультраосновных горных пород. Эти три массива в центральной части района образуют второй пояс основных и ультраосновных пород и объединены в Тагило-Невьянский массив. Центральная часть Тагило-Невьянского массива сложена преимущественно серпентинитами, среди которых выделяются небольшие участки дунитов, перидотитов и пироксенитов. Периферически северная и северо-западная части массива сложены габбро и плагиогранитами.

Кроме того, плагиограниты слагают восточную окраину Тагило-Невьянского массива. Северная часть Верхне-Тагильского и западная часть Тагило-Невьянского массива сложена преимущественно габбро. Кислые интрузии этого массива так же как габбро и диориты, характеризуются зеленокаменными изменениями. Большинство исследователей района Тагило-Невьянский массив рассматривается как межформационная интрузия. По возрасту интрузивные горные породы в районе разделяются на две группы: породы габбро-перидотитовой формации (Тагильский и Тагило-Невьянский массивы) относятся к среднепалеозойским интрузиям; гранитные интрузии (Верх-Исетский массив) относится к верхнепалеозойскому интрузивному комплексу.

Итак, главная эвгеосинклиальная зона Урала является основным концентратором тяжелых металлов. Широтная неоднородность влияет на состав потоков рассеяния и взаимодействует с климатической зональностью, а меридиональная определяет расположение потенциальных источников халькофилов.

Колчеданная залежь, сформировавшаяся на дне океана, в результате накопления сульфидных илов, претерпела ряд последовательных превращений в результате уплотнения, дегидратации и перекристаллизации осадка. Этот путь в дальнейшем усложнился и процессами последующих преобразований. Завершение геологической жизни произошло уже в континентальных условиях, где определяющим фактором становится восстановительная среда в приповерхностной зоне. Именно здесь происходит физическое и химическое разрушение сульфидов. Если рудное тело стало доступно “агентам гипергенеза”, то формируется новая геохимическая зональность. Эта новая зональность представлена как комплекс вторичных ореолов рассеяния. Ведь рудное тело служит источником элементов в механических потоках обломочного материала, водных и газовых потоках. Динамика этих потоков зависит от фазового состояния миграционной среды: газовые потоки наиболее

мобильны, механические - консервативны. Однако потоки обломочного материала - гравитационные, водные, суспензионные и золотые играют главную роль в поверхностном стоке рудного материала.

На изучаемой территории роль коренных пород, как природных источников халькофилов доступных агентам гипергенеза в процессе загрязнения окружающей среды наиболее заметна. В первую очередь это относится к вершинам увалов, холмов, кряжей и сопок, где имеются обнажения коренных пород, в той или иной степени обогащенных халькофильными элементами. При окислении сульфидов медь и цинк, в меньшей степени, свинец и мышьяк переходят в подвижное состояние и рассеиваются в окружающей среде. Кроме того, широко развиты суглинисто-щебнистые четвертичные отложения. Содержание и петрографический состав щебня весьма изменчивы и, в значительной степени, зависят от мощности четвертичного покрова. При ничтожной мощности, как правило, щебень резко преобладает над суглинистым материалом и представлен полностью или преимущественно обломками местных пород. Рудные скопления, залегающие под таким рыхлым, тонким щебнистым слоем, легко доступны агентам окисления, а ореолы рассеяния меди и ее спутников вокруг их достигают земной поверхности.

В 1969-1973 годах были проведены геохимические исследования на территории Кировградского района с целью оценки перспективности рудных зон в пределах Ломовско – Карпушихинского рудного поля [235]. Было отобрано 3574 пробы по скважинам. На основании обобщения нескольких тысяч спектральных анализов Ломовско – Карпушихинского, месторождения определен набор элементов (Сипливых и др.): Cu,Zn,Pb,Ag,Mo,As,Ba,Cd,Jn. Изучение ореолов было проведено по 9 профилям (в масштабе 1:1000 и 1:2000), расстояние между профилями 100 – 200 м. Концентрации элементов представлены в таблице 2.1. Внутренне строение ореолов сложное –

полосчатое, обусловленное наличием повышенного содержания элементов. Размещение их определяется зонами повышенной трещиноватости и т.д.

Таблица 2.1 - Содержание элементов в пределах Ломовско – Карпушихинского рудного поля (сост. автором)

Породы	Элементы	Cu	Zn	Pb	As
	N пробы	(в п*10 ^{-3%})			
Порфириты Андезитовые	С фон	3,5	5,5	0,1	
	С пробы (max)	50	30	1,5	
Порфириты базальтовые и андезит- базальтовые	С фон	4	6	0,05	3,5
	С пробы (max)	50	15	2	50
Туфы альбитовые и сланцы по ним	С фон	2	6,5	0,13	
	С пробы (max)	20	30	1,5	
Туфы смешенного состава и сланцы по ним	С фон	2	7	0,1	
	С пробы (max)	200	20	2	

Медь образует узкие короткие ореолы, шириной от 10 до 40 метров. Концентрация содержания меди в ореолах составляет 0,01 – 0,7 %. Наибольшая концентрация меди наблюдается вблизи рудных тел.

Цинк. По сравнению с медью цинк образует ореолы большей мощности. Подрудные ореолы мощнее надрудных.

Свинец образует ореолы близкие к меди. Наиболее высокая концентрация вблизи рудных тел.

Мышьяк тяготеет к участкам с повышенной концентрацией меди и цинка.

Из описания геохимических аномалий можно сделать вывод о зональности ореолов. Вертикальность зон: Pb – Zn – Cu. Горизонтальность зон: руда – Cu – Pb – Zn.

Железорудные месторождения. Месторождения семейства железа образуют в регионе комплексные и самостоятельные объекты различного генезиса и разного промышленного назначения. Комплексные месторождения чаще всего формируются рудами железа, титана и ванадия [201, 213].

Одним из железорудных месторождений на Среднем Урале является Высокогорское месторождение, расположенное в Нижнетагильском промузле [240].

Высокогорское железорудное месторождение расположено в западном крыле Туринско-Тагильской мегасинклинали и приурочено к восточному экзоконтакту Тагильского сиенитового массива с верхнесилурийскими известняками и породами эффузивно-пирокластической толщи (рис. 2.4).

Структура месторождения характеризуется моноклинальным залеганием именновской свиты и входящей в ее состав метаморфической толщи и рудных тел.

Простираение пород северо-северо-западнее $315-330^{\circ}$, падение на восток или северо-восток под углом $45-75^{\circ}$.

Рудное поле месторождения в общем виде сложено следующими породами (сверху вниз):

1. Известняки мраморизованные, мощностью до 250 м;
2. Чередование туфов плагиоклазовых порфиритов, плагиоклазовых и пироксен-плагиоклазовых порфиритов андезито-базальтового состава и сиенит-порфиритов, максимальной мощностью 600 м.
3. Верхняя рудно-скварновая зона (Восточный пояс), максимальная мощность 200 м.
4. Горизонт, сложенный преимущественно туфами плагиоклазовых порфиритов андезито-базальтового состава, максимальная мощность 220 м.
5. Нижняя рудно-скварновая зона (Западный пояс), максимальная мощность 160 м.

6. Мраморизованные известняки, мощность около 880 м.

Осадочные породы, представленные известняками, слагают две меридионально вытянутые полосы: западную - Высокогорскую и восточную - Лебяжинскую, которые в 4,5 км к югу от Главного карьера, вблизи д. Горбуново соединяются.

Западная, так называемая, Высокогорская полоса подходит к месторождению с юга, где она резко обрывается, будучи прорвана внедрением апофиз южного окончаний массива сиенитов.

Непосредственно на месторождении известняки Высокогорской полосы вскрыты Главным карьером, а также рядом подземных выработок, пройденных на южном фланге месторождения. Севернее Главного карьера кровля известняков погружается в северо - восточном направлении под углом 45-55°, подстилая рудноскарновороговиковую зону месторождения.

Южнее Высокогорского месторождения известняки выходят на поверхность, где узкой полосой прослеживаются до с. Горбуново. Ширина Высокогорской полосы известняков колеблется от 700 до 1200 м.

Лебяжинская полоса известняков, шириной около 150 м, протягивается параллельно западной полосе от д. Горбуново на юге до Лебяжинского рудника на севере. В районе реки Тагил она смещена сдвиго-сбросом к востоку на 0,5 км.

Известняки Высокогорской и Лебяжинской полос трещиноваты и закарстованы.

Между описанными полосами известняков согласно о ними залегает толща эффузивно-пирокластических пород, местами рассланцованных и превращенных в туфогенные сланцы, с прослоями мраморизованных известняков на юго-восточном фланге месторождения (Ново-Меднорудянский участок).

У контакта с сиенитами известняки и пирокласты замещаются скарново-рудными образованиями.

Сиениты слагают северо-западную и западную часть месторождения и являются южной оконечностью Тагильского массива, внедрившегося по контакту известняков и пирокластов.

К северу от месторождения контакт сиенитов с породами вулканогенно-осадочной толщи довольно простой и согласный.

На юге, на Высокогорском месторождении, контакт сиенитов с известняками и пирокластическими породами носит сложный, секущий характер. Он фиксируется, обычно, под углом 50° к простираанию толщи известняков и пирокластов. В результате тектонических нарушений и отмеченного выше контакта, в юго-западной части месторождения известняки залегают под сиенитами.

Скарново-рудные образования представлены двумя поясами или зонами - нижней или западной, верхней или восточной.

Оруденение западного пояса приурочено к верхним горизонтам Высокогорской полосы известняков. Западная скарново-рудная зона протягивается от горы Высокой к югу, включая секущий контакт сиенитов с известняками (на участке Главного карьера), далее уходит на глубину вдоль контакта известняков с пирокластами в северо-восточном направлении и оказывается под восточной скарновой зоной (верхней зоной).

Общая протяженность по простираанию западной зоны составляет 1800 м, ширина зоны достигает 400 м, а максимальная глубина 930 м.

Восточная скарново-рудная зона связана с маломощными прослоями известняков в толще пирокластических пород и отделяется от западной зоны двухсотметровой толщей туфов порфиритов.

В вертикальном разрезе месторождения восточная скарново-рудная зона лежит стратиграфически выше западной зоны и с ней не связана. Глубина зоны оруденения ограничена горизонтом - 290 м (520 м от поверхности).

Тектоническими нарушениями эта зона делится на участки: Восточно-

Ревдинский, Западно-Ревдинский, Верх-Исетский, Ново-Меднорудянский и Меднорудянский.

Кроме известняков и эффузивно-пирокластических пород на месторождении развиты метаморфизованные породы, представленные скарнами и роговиками.

Скарны образовались, главным образом, за счет известняков. Ороговикованию подвергались пирокластические породы и часть апофиз сиенитов. В пределах рудного поля роговики и ороговикованные породы развиты преимущественно на Восточно-Ревдинском участке, содержащем наиболее глубоко залегающие руды.

Широкое развитие на месторождении имеют продукты древнего выветривания, представленные элювиированными сиенитами, мощность которых достигает 100 метров, реже элювиированными туфами, окисленными и полуокисленными рудами.

Процессы выветривания скарново-рудных образований проявились в окислении магнетита и разложении силикатных материалов.

Руды Высокогорского месторождения в основном массивные с незначительной трещиноватостью.

В зонах тектонических нарушений руды мелкотрещиноватые, участками песчано-подобные (окисленные).

Крепость вмещающих пород и руд довольно разнообразна и зависит от степени их выветривания и трещиноватости. В целом они достаточно устойчивы и на существующих глубинах отработки требуют крепления лишь па участках, тектонически нарушенных. Сильно разрушенные неустойчивые породы попадают в пределах мощной коры выветривания.

На месторождении широко развиты делювиальные образования, представленные глинистыми массами, содержащими валуны и щебень. Местами в делювии встречаются валуны и щебень рудных пород – так называемые

«валунчатые руды».

Геохимическая спецификация вмещающих пород железорудных месторождений имеет вид: Fe, Mn, V, Cu, Pb, Zn [35, 39, 48, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 213, 241, 269].

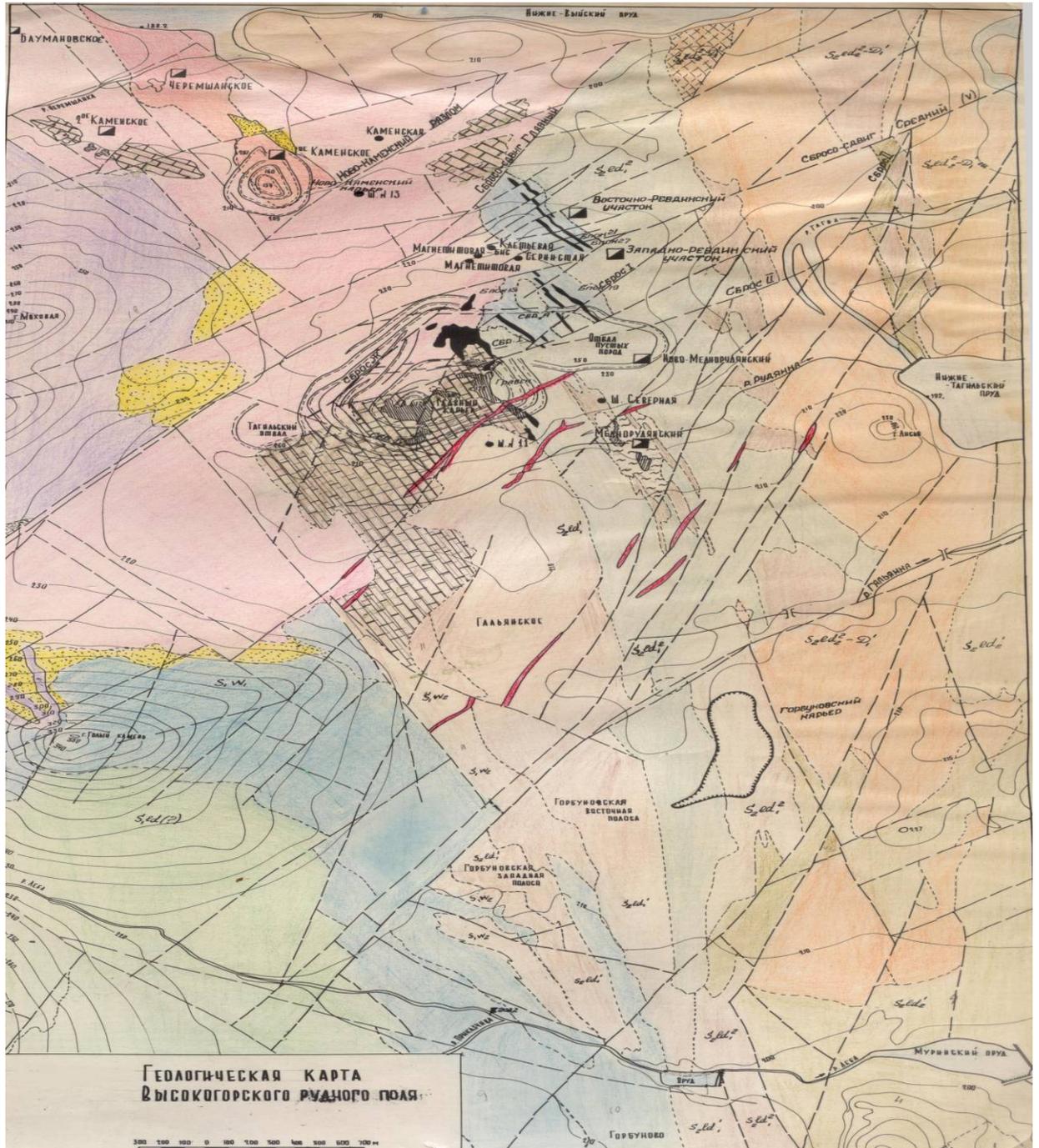


Рисунок 2.4 - Геологическая карта Высокогорского рудного поля (составлена по материалам Института «Гипроцветмет», 1971 г.)

2.1.2. Почвообразующий горизонт, как индикатор экологического состояния элементов природной подсистемы

Индикатором экологического состояния элементов природной подсистемы, осложненной на разных стадиях специфическим геологическим развитием, и формирования экологической обстановки может служить ее элемент – почвообразующий горизонт (грунты), не затронутый техногенными процессами [186,187].

Для определения степени концентрации элементов в «почвообразующем» горизонте по пробам, отобраным в пределах Висимского заповедника [47, 167], концентрации Cu, Pb, Zn, Cd сравнивались с их кларками в осадочных горных породах по А. П. Виноградову [35]. Результаты сравнения приведены в таблице 2.2.

Из таблицы видно, что концентрации Pb, Zn в 4-7 раз превышают кларки этих элементов в осадочных горных породах: Cu – в нормальных с ними соотношениях, а Cd – ниже кларков. Формула «почвообразующего» горизонта выглядит следующим образом:

Таблица 2.2 - Срез 5 «почва» («почвообразующий горизонт») (сост. автором)

№ п/п	Элемент	К осад. пор.	КК среза «почвообразующего» горизонта по площадкам										Пре-выше-ния
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Cu	$5,7 \cdot 10^{-3}$	-	-	-	0,4	0,4	0,4	0,5	-	4	-	1
2	Pb	$2 \cdot 10^{-3}$	-	-	-	1	1	3	2	-	26	-	7
3	Zn	$8 \cdot 10^{-3}$	-	-	-	2	3	3	3	-	16	-	5
4	Cd	$6,5 \cdot 10^{-3}$	-	-	-	0,07	0,07	0,07	0,07	-	0,9	-	-

Распределение содержания элементов в почвообразующем горизонте нами изучено по всей территории Кировградского промузла (зона воздействия ОАО «КМК» – меднорудная ПТГС III уровня), где концентрации химических элементов сопоставлялись с ПДК этих элементов (рис. 2.5-2.9). Всего было отобрано 50 проб почвообразующего горизонта с глубины 1 м. Анализ схем

содержания химических элементов в почвообразующем горизонте показывает, что исследуемая территория характеризуется высокими концентрациями. По меди имеется ареал в центральной части территории, где превышение над ПДК составляет от 10 до 80 раз. В центральной и восточной частях территории выявлена аномалия в почвообразующем горизонте по цинку, содержание которого меняется от 10 ПДК до нескольких десятков ПДК.

Наиболее высокие содержания свинца в почвообразующем горизонте отмечаются в центральной части исследуемой территории от ПДК до 15 ПДК. По кадмию и мышьяку выявлено несколько ареалов, расположенных в центральной, западной и южной частях исследуемой территории.

Таким образом, анализ схем показывает, что расположение ареалов слабо зависит от основных направлений миграции загрязнения, что предопределяет незначительное поступление элементов в почвообразующий горизонт в результате техногенного воздействия. Содержание их в почвообразующем горизонте определяется в основном геохимией подстилающих материнских пород.

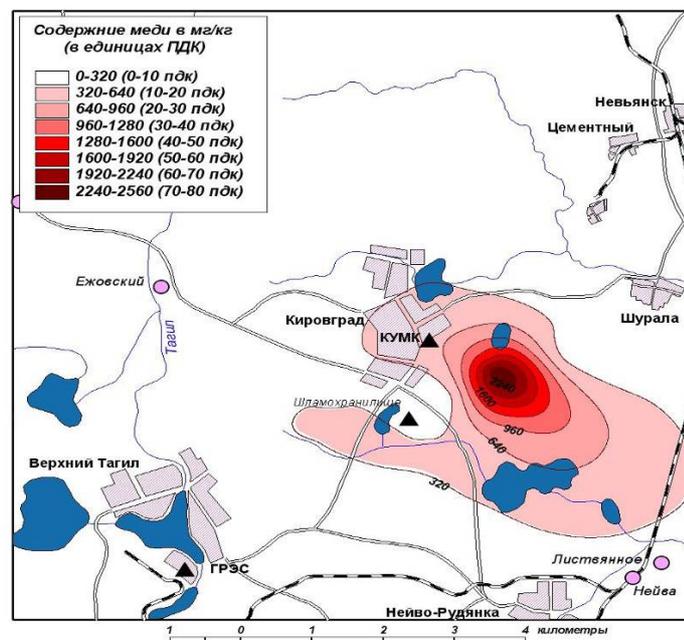


Рисунок 2.5 - Содержание меди в почвообразующем горизонте Кировградского промузла (сост. автором)

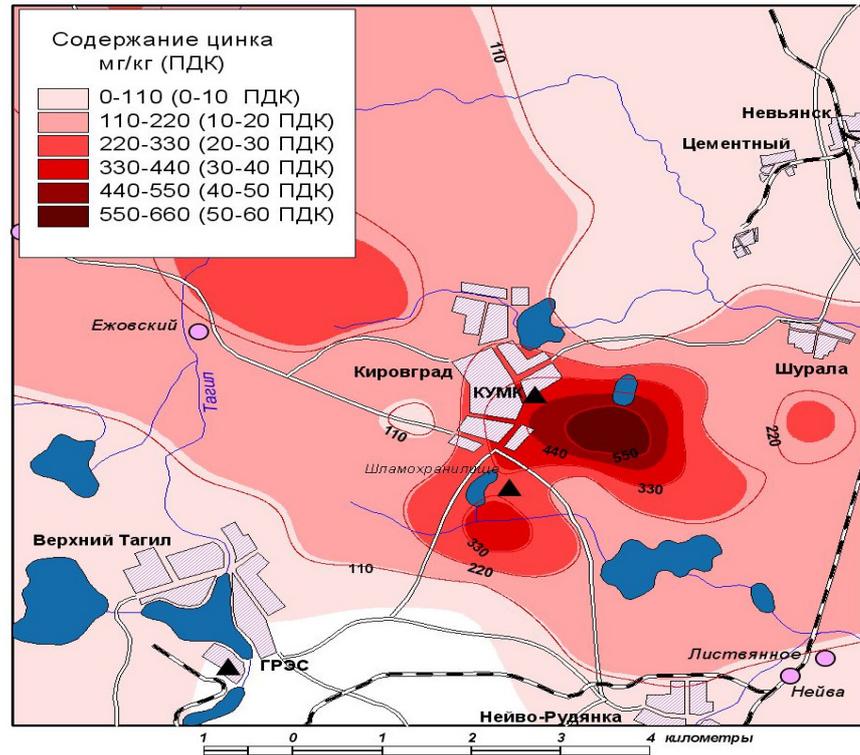


Рисунок 2.6 - Содержание цинка в почвообразующем горизонте Кировградского промузла (сост. автором)

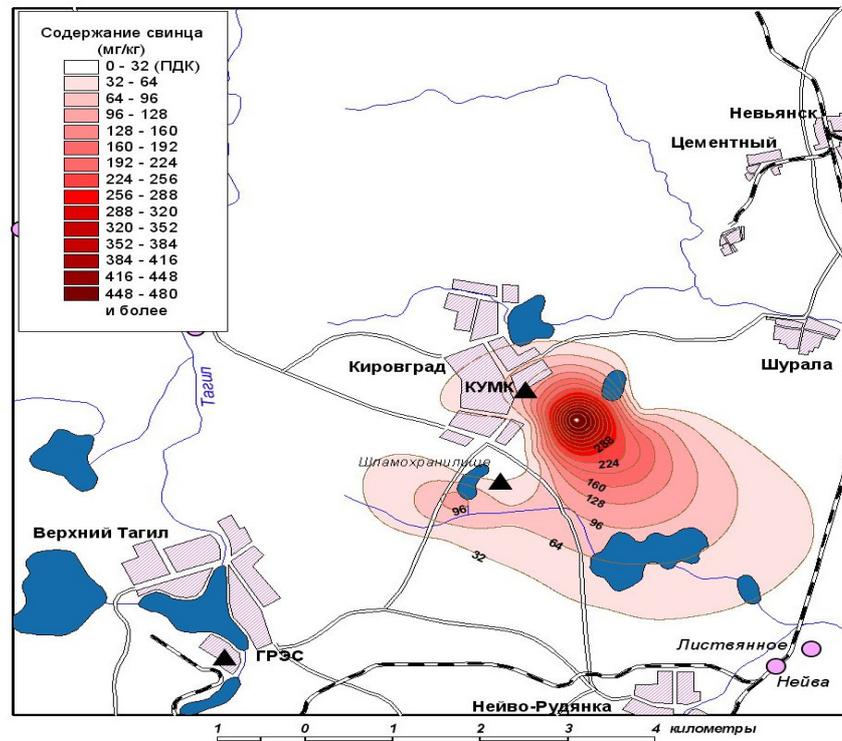


Рисунок 2.7 - Содержание свинца в почвообразующем горизонте Кировградского промузла (сост. автором)

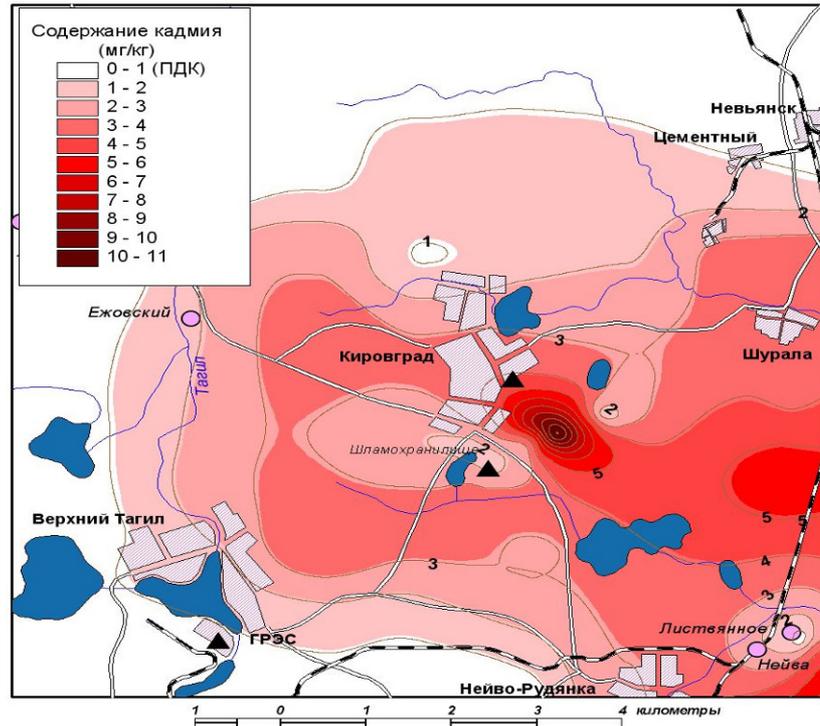


Рисунок 2.8 - Содержание кадмия в почвообразующем горизонте Кировградского промузла (сост. автором)

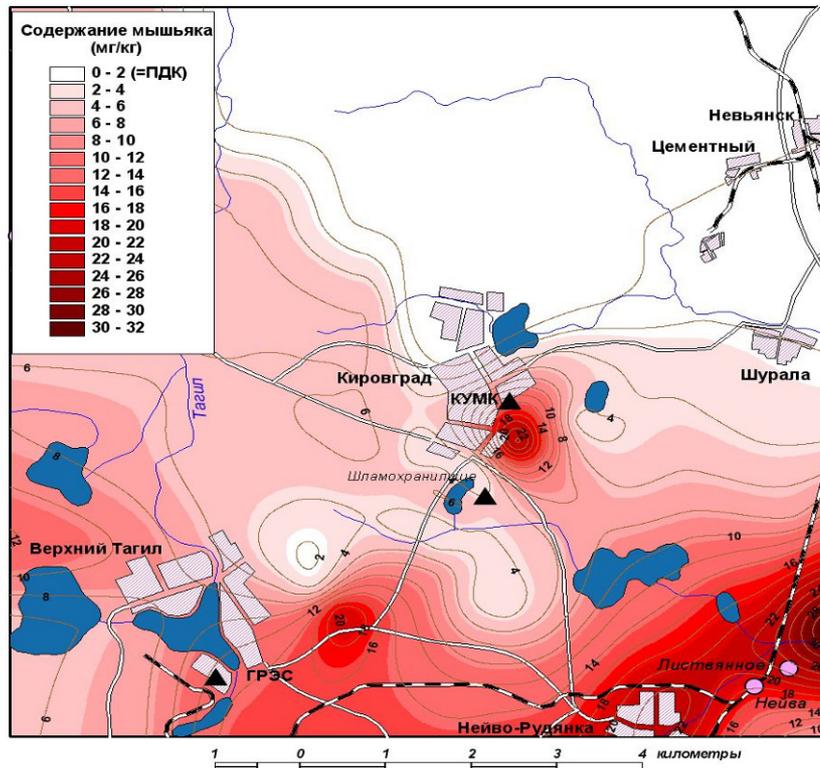


Рисунок 2.9 - Содержание мышьяка в почвообразующем горизонте Кировградского промузла (сост. автором)

2.1.3. Фоновые концентрации природных элементов структуры геосистемы

Под фоновым содержанием химического элемента понимается средняя его концентрация в природных телах однородного в ландшафто-геохимическом отношении участка, прямо не затронутого техногенезом [41, 165, 212, 217].

Почвенный слой

Рядом работ установлено, что распределение металлов в почве зависит от ее типа, типа ландшафта, в условиях которого почва образована, и типа подстилающей материнской породы [43, 52, 81, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 160, 161, 242, 253].

На Среднем Урале сформирован чрезвычайно разнообразный почвенный покров. По механическому составу почвы относятся преимущественно к суглинкам и глинам. Супеси и пески встречаются редко. Большим распространением, особенно в районе Уральского хребта, характеризуются грубоскелетные почвы. На исследуемой территории выделяются следующие почвенные районы [122, 213]:

1. Предгорный Зауральский лесной район (города В. Пышма, Кировград, Кушва, Н. Тагил). Представлен типичными дерново-подзолистыми, тяжелосуглинистыми почвами различной степени оподзоленности на элювии и делювии основных, карбонатных и кислых пород. По пониженным равнинам и нижним частям склонов встречаются дерновые почвы, глеевые и оподзоленные, а также торфяно-болотные почвы [213].

2. Северный Зауральский лесной район (г. Алапаевск). Представлен типичными, тяжело суглинистыми, различной степени оподзоленности почвами. Под лесами преимущественно подзолы и сильно подзолистые почвы. Значительное распространение имеют торфяно-болотные и торфяно-подзолистые почвы. Встречаются вторично подзолистые почвы. Серые и темно-серые лесные тяжелосуглинистые почвы встречаются только в южных районах [213].

3. Зауральский лесостепной район. Представлен оподзоленными, осолоделыми и выщелоченными, тяжелосуглинистыми и глинистыми черноземами на делювиальных желто-бурых глинах, третичных глинах, и других породах. Встречаются темно-серые и серые лесные почвы, лугово-черноземные, тяжелосуглинистые и луговые солончаки, редко солонцеватые черноземы. Под лесами дерново-подзолистые почвы и солоды. Отдельными пятнами – солонцы. На песчаных массивах супесчаные и песчаные дерново-подзолистые и серые осолоделые почвы. Редко – вторично-подзолистые почвы [213].

В пределах исследуемой территории наибольшее распространение имеют подзолистые, серые лесные почвы и чернозёмы (рис. 2.10), среднее содержание металлов в которых представлено в табл. 2.3.

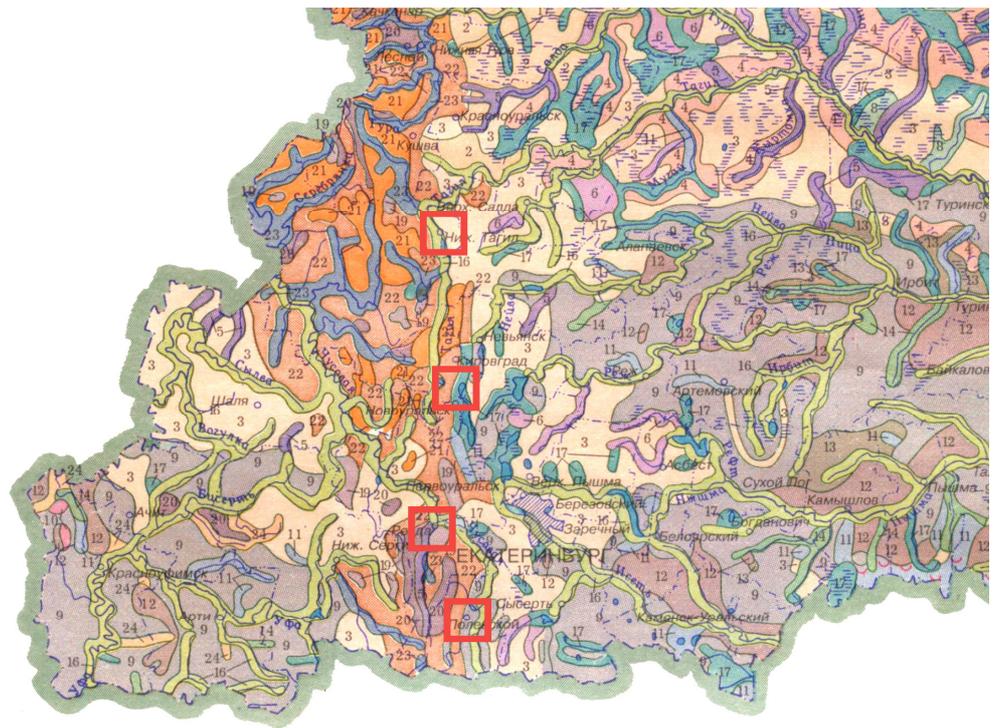


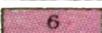
Рисунок 2.10 –Почвенная карта [5]

ПОЧВЕННАЯ КАРТА

Масштаб 1 : 2 500 000

ПОЧВЫ РАВНИННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

ПОЧВЫ ТАЙГИ И ШИРОКОЛИСТВЕННО- ХВОЙНЫХ ЛЕСОВ

-  1 Глееподзолистые
-  2 Подзолистые
-  3 Дерново-подзолистые
-  4 Подзолистые со вторым гумусовым горизонтом
-  5 Дерново-подзолистые глееватые и глеевые
-  6 Торфянисто - и торфяно-подзолистые оглеенные
-  7 Дерново-карбонатные
-  8 Дерново-глеевые
-  9 Серые лесные
-  10 Серые лесные остаточнокarbonатные
-  11 Серые лесные глееватые и глеевые, включая осолоделые

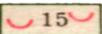
ПОЧВЫ ЛЕСОСТЕПИ

-  12 Черноземы оподзоленные и выщелоченные
-  13 Лугово-черноземные

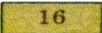
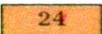
ГИДРОМОРФНЫЕ ПОЧВЫ

-  14 Луговые в том числе и влажнолуговые
-  17 Лугово-болотные и болотные торфяные

ЗАСОЛЕННЫЕ И СОЛОНЦЕВАТЫЕ ПОЧВЫ

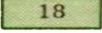
-  15 Солонцы черноземно-луговые и солоды

АЛЛЮВИАЛЬНЫЕ ПОЧВЫ

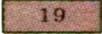
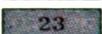
-  16 Аллювиальные
-  24 Смытые и намытые почвы оврагов, балок и прилегающих склонов

ПОЧВЫ ГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

ПОЧВЫ ВЫСОКОГОРИЙ И ГОРНЫХ ТУНДР

-  18 Горно-луговые и горно-тундровые

ПОЧВЫ ГОРНЫХ ЛЕСОВ

-  19 Горные примитивные
-  20 Горно-лесные бурые
-  21 Горные подзолистые
-  22 Горные дерново-подзолистые
-  23 Горные дерново-подзолистые глееватые и глеевые



Районы исследования

Из таблицы видно, что с увеличением количества гумусового материала увеличивается концентрация практически всех металлов в почве [213].

В таблице 2.4 приводятся результаты сравнения концентраций исследуемых элементов почв западной части Кировградского промузла (Висимский заповедник) с кларками почв по А.П. Виноградову [23]. Анализ таблицы 2.4 показывает что, концентрации Pb, Zn в 3-4 раза превышают кларки этих элементов в почвах, а Cd, Cu – в норме. Распределение элементов по профилю в зависимости от типа ландшафта и почв представлено табл. 2.5. Анализ таблицы показывает равномерное распределение Cd по всему профилю. В целом для этого элемента характерны очень низкие содержания.

Для Zn, Pb, Cu установлены более высокие содержания и более ли менее равномерное распределение (табл. 2.5). Для этой группы характерно минимальное понижение содержаний в Э ландшафте и незначительное их превышение в ТЭ ландшафтах западного склона по сравнению с восточным. В АЭ ландшафте отмечается дальнейшее минимальное повышение содержаний элементов. Отмеченное повышение содержаний рассматриваемых элементов на западном склоне профиля позволяет предположить наличие повышенных содержаний тяжелых металлов в ГБ почвах по сравнению с ДП.

Подземные воды

Распределение металлов в потоках подземных вод зависит от физико-химических процессов, происходящих между твёрдой и жидкой фазами и рассмотренных в работах [10, 24, 33, 60, 61, 109, 142, 213]. Наиболее высокие концентрации металлов на исследуемой территории формируются при взаимодействии подземных вод с рудными зонами.

Таблица 2.3 - Основные разновидности горных пород Среднего Урала и среднее содержание в них металлов в г/т, по Л. Н. Овчинникову [213]

Элемент	Литосфера в целом	Изверженные породы						Осадочные породы		
		ультрабазиты	базиты	андезиты, диориты	гранодиориты	граниты	сиениты	глинистые сланцы	песчаник	карбонаты
Железо	53000	3500	85000	53600	30000	15600	36700	44200	15900	9000
Ванадий	12	42	240	140	91	38	30	130	20	19
Хром	93	2000	180	54	22	5.6	2	94	35	11
Марганец	900	1300	1700	1200	750	420	85	800	400	830
Кобальт	23	150	48	14	78	1	3	19	0.3	1.6
Никель	70	2000	140	41	16	3.5	4	74	2	12
Медь	53	10	92	43	29	10	5	48	1	6.8
Цинк	68	46	110	74	59	39	130	93	21	22
Мышьяк	1.8	1.3	2	2.2	1.8	1.6	14	12	1	1
Кадмий	0.17	0.05	0.19	0.15	0.11	0.17	0.13	0.42	0.05	0.36
Ртуть	0.072	0.007	0.07	0.00021	0.052	0.06	0.01	0.42	0.03	0.043
Свинец	13	0.46	6	11	15	19	12	20	70	8.8

Таблица 2.4 - Оценка концентраций исследуемых элементов почв западной части Кировградского промузла (сост. автором)

№ п/п	Элемент	Кларк почв	КК почв по площадкам										Пре- выше- ния
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Cu	$2 \cdot 10^{-3}$	-	-	1	1	1	0,8	1	2	1	1	1
2	Pb	$1 \cdot 10^{-3}$	-	-	4	5	4	3	7	4	3	4	4
3	Zn	$5 \cdot 10^{-3}$	-	-	4	4	4	3	6	7	3	4	4
4	Cd	$5 \cdot 10^{-5}$	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Таблица 2.5 - Фоновые содержания элементов в почвах Кировградского промузла (сост. автором)

Среднее содержание по площадкам $1 \cdot 10^{-4}$ г/т		10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Ландшафт ^{*)}		АЭ	ТЭЗ			Э	ТЭВ			СА	
			ТЭЗ	ТЭ2	ТЭ1		ТЭ1	ТЭ2	ТЭ3		
Элемент	Почва ^{**)}	ГБ				ДП				БНТ	
Cu		20	28	32	22	16	20	21	24	-	-
Pb		35	32	42	65	32	42	49	42	-	-
Zn		200	170	340	284	136	220	212	210	-	-
Cd		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	-	-

Примечание: ^{*)} Ландшафт: АЭ – аккумулятивно-элювиальный; ТЭЗ – транэлювиальный западного склона; ТЭВ – транэлювиальный восточного склона; ТЭ1,2,3 – транэлювиальный верхний, средний, нижний; Э – элювиальный; СА – супераккумулятивный. ^{**)} Почвы: ГБ – горно-лесные бурые; ДП – дерново-подзолистые; БНТ – болотно-низинные торфяно-глеевые.

В подземных водах, находящихся в пределах рудного тела (рудные воды), концентрация максимальна, за его пределами она уменьшается по потоку в зависимости от удаленности от рудного тела (ареальная вода) до фонового содержания [145]. Это подтверждается данными, приведенными в работе [213], по медноколчеданным месторождениям Среднего Урала (табл. 2.6). Концентрация металлов в потоках, фильтрующихся через рудные тела, может возрастать на несколько порядков. В арельных зонах она также выше фоновой на один-два порядка. Пространственные масштабы повышения концентраций в рудных зонах определяются масштабами рудных тел и имеют пределы $n \cdot 10 - n \cdot 100$ м. Зона ореольных вод зависит от гидродинамических и физико-химических параметров водоносного горизонта и составляет обычно $n \cdot 10^2 - n \cdot 10^3$ м [213].

Содержание металлов в рассмотренных зонах крайне неоднородно. Это связано главным образом с фильтрационной неоднородностью в плане и в разрезе, что приводит к формированию арельных металлоносных вод, со слабой или незакономерной изменчивостью концентрации металлов в пострудном пространстве [213].

Неоднородность распределения металлов в потоках подземных вод проявляется на формационном уровне. В подземных водах территорий распространения железорудной формации отмечаются повышенные содержания сидерофильных элементов; меднорудная характеризуется значительными содержаниями халькофильных металлов [213].

Таблица 2.6 - Среднее содержание металлов в различных генетических типах подземных вод Среднего Урала [213]

Генетический тип вод	Условия формирования химического состава вод	Порядки содержания элементов, мг/л						
		$n \cdot 100$	$n \cdot 10$	n	$0, n$	$0, 0n$	$0, 00n$	$0, 000n$
Фоновые	Гумидное выветривание комплексов "зеленокаменных" вулканогенно-туфогенных пород Среднего Урала				Fe	Mn	Zn, Ni, Cu, V, Pb, Cr	As, Co
Рудные	Интенсивное окисление и выщелачивание руд колчеданных месторождений	Fe	Cu, Zn, Mn	Co	Cd	Pb, As, Ni		
Ореольные	Метаморфизм сернокислотных вод при взаимодействии с вмещающими породами				Fe, Mn, Zn, Cu, Co	As, Pb, Ni, Cd, V		

Поверхностные воды

Высокие уровни неоднородности распределения металлов в поверхностных водах формируют рудные поля и рудные тела [213].

Большое влияние на распределение металлов в поверхностном водотоке оказывает литологический состав пород на пути его движения [127, 213]. Так, на Гороблагодатском рудном поле содержание меди в пределах пересечения рекой Кушвой известняков уменьшается в два раза по сравнению с вулканитами. В данном случае породы играют роль геохимического барьера [40, 259], на котором происходит осаждение меди [213].

Значительное антропогенное воздействие привело к метаморфизации фона ионов металлов и соединений в поверхностных водах. Поэтому определение фоновых содержаний можно осуществить только в истоках рек,

где они не подверглись воздействию указанных факторов. В настоящее время это производится при геоэкологическом картировании и разработке предельно допустимых сбросов сточных вод [36, 121, 125, 127, 130, 133, 137, 213]. В последнем случае исследуется весьма ограниченное количество металлов (табл. 2.7), что не позволяет оценить влияние территорий различных рудных формаций на их распределение в поверхностной гидросфере по всем ингредиентам [213].

Таблица 2.7 - Фоновое содержание металлов в растворенном виде в поверхностных водах территорий рудных формаций Среднего Урала (мг/ дм³) и фоновые модули (в скобках) поверхностного стока металлов (кг/км²) в год [213]

Элемент	Железорудная		Медноколчеданная, Кировградский р-н, по данным РосНИИВХ	
	р.Лая (количество проб-36)	р. Бандея (количество проб-36)	р.Лёвиха (количество проб-24)	р.Калатинка (количество проб-24)
Fe	0.99 (168.3)	0.373 (63.4)	0.7 (119)	0.633 (107.6)
Cu	0.008 (1.36)	0.008(1.36)	0.018 (3.06)	0.042 (7.14)
Zn			0.783 (133.1)	0.186 (31.62)
Pb			0.003 (0.51)	0.0028 (0.34)
Cd			0.00075 (0.13)	0.00055 (0.094)

На Среднем Урале сформирован природный повышенный фон металлов в поверхностных водах, связанный с повышенной металлоносностью литосубстрата. Отмечается их спецификация в зависимости от типоморфных элементов рудных формаций [213].

Приземная атмосфера

Содержание металлов в атмосферном воздухе фоновых территорий связано с большим числом разнообразных параметров [13, 27, 65, 115, 207, 275]: ветровым режимом территории, температурной стратификацией атмосферы и режимом атмосферных осадков. Количественной оценкой

интенсивности миграции металлов в атмосфере могут являться среднесуточные или среднегодовые выпадения их на дневную поверхность в $\text{кг}/\text{км}^2$ [213].

В атмосфере наблюдаются две фазы нахождения металлов: аэрозольная, в которой элемент входит в состав взвешенных или пылевых частиц, и парогазовая. Для эталонных фоновых участков установлено [13, 27, 65, 115, 207], что большинство элементов (Cd, Co, Cu, Zn, Pb, Hg, As) находится, главным образом, в парогазовой фазе [213].

Фоновое содержание металлов в воздухе, обусловленное космогенным, литогенным и вулканическим поступлением, сильно варьирует в зависимости от особенностей циркуляции воздуха. Для Европейской части территории России (ЕТР) на основе большого статистического материала получены обобщающие данные [13, 27, 65, 115, 207] по содержанию металлов в воздухе (табл. 2.8) [213]. Содержания металлов в воздухе, дождевой воде и пыли достаточно хорошо коррелируют между собой и со среднесуточными выпадениями. В связи с этим при формировании фоновых концентраций металлов в атмосфере большую роль будет играть исходный состав пыли, который зависит от геохимической характеристики почво-литосубстрата, вовлеченного в воздушный миграционный поток. Это обуславливает различие геохимического фона металлов в атмосфере территорий распространения различных рудных формаций Среднего Урала: железорудной и меднорудной [213]. Состав пыли во взвесах снеговых вод фоновых территорий изучался в работе [49], а ее результаты представлены в табл. 2.9 [213].

Исследование фонового состава пыли на территории распространения железорудной формации, произведенное в районе г. Н. Тагил, где имеются несколько контактово-метасоматических месторождений железных руд, показало преобладание сидерофильных компонентов [213].

Таким образом, фоновые концентрации тяжелых металлов в атмосферном воздухе тесно связаны с территориями распространения рудных месторождений Среднего Урала.

Таблица 2.8 - Концентрации металлов в воздухе, дождевой воде и пылевых выпадениях из атмосферы для ЕТР [213]

Элемент	Атмосферный воздух, мкг/м ³	Содержание в пыли, мг/кг	Содержание в дождевой фазе, мг/дм ³	Среднесуточное выпадение, мг/км ²
Fe	-	-	$2 \cdot 10^{-1}$	-
V	0.003	64	$4.1 \cdot 10^{-3}$	960
Cr	0.006	50	$2.9 \cdot 10^{-3}$	750
Mn	0.013	570	$8.1 \cdot 10^{-3}$	8550
Co	-	7	$2.5 \cdot 10^{-5}$	105
Ni	0.004	20	$6 \cdot 10^{-3}$	300
Cu	0.02	80	$2.3 \cdot 10^{-2}$	1200
Zn	0.023	70	$8.5 \cdot 10^{-2}$	1050
As	н.о.	-	$1.6 \cdot 10^{-3}$	-
Cd	н.о.	0.3	$1.8 \cdot 10^{-2}$	4.5
Hg	0.002	0.01	$2.1 \cdot 10^{-4}$	0.15
Pb	0.006	50	$3.9 \cdot 10^{-2}$	750

Таблица 2.9 - Фоновое содержание металлов во взвешях снеговых вод территорий распространения различных рудных формаций Среднего Урала, мг/кг [213]

Элемент	Рудные формации		Фон Европейской территории России [37]
	железорудная (количество проб – 19)	меднорудная (количество проб – 15)	
V	175	100	64
Mn	1680	1200	570
Cr	664	50	50
Co	21	10	7
Ni	65	55	20
Cu	495	35	80
Zn	427	72	70
Pb	109	15	50

Растительность

Вопрос о распределении и поведении металлов в растениях подробно изучен, однако еще не до конца ясно, что же определяет в основном степень их концентрации – первичное содержание в почвах или характер самого растения [274].

Содержание меди в растениях на незагрязненных почвах колеблется от 1 до $n \cdot 10$ мг/кг сухой массы, а в золе от 5 до 1500 мг/кг. Чаще всего меди содержится ~ 20 мг/кг (сухой массы), и эта величина принимается за порог, выше которого наступает избыток. Однако многие растения аккумулируют, особенно в корнях, гораздо больше меди. Кларковые концентрации по многим странам мира (мг/кг сухой массы): травы – 1 – 33, в хвое (однолетней) – 4,2 мг/кг (сухая масса), в ветвях – 3, корнях – 1,2 – 3,5, в древесине – 0,6 [91, 92, 93, 94, 95].

Будучи одними из наиболее биологически активных элементов, металлы входят в ряд окислительных ферментов. Они оказывают положительное воздействие на фотосинтез растений, синтез белковых веществ, образование хлорофилла. К наиболее существенным биологическим функциям, например, меди относятся: наличие ее в пластоцианине, определяющим Eh в системах хлоропластов, а также в аскорбат- и полифенолоксидазе, участвующих в метаболизме фенольных соединений; медь является переносчиком кислорода при образовании пигментов [18].

Вместе с тем, среди необходимых для жизни элементов она отнесена к группе потребных в микроколичествах. Медь относится к ряду токсичных элементов. Показано, что из токсичных металлов – Cd, Pb, Hg, Cu – последняя полнее всех захватывается организмами [6, 265, 267].

В табл. 2.10, 2.11 приведены результаты сравнения концентраций элементов в листе западной части исследуемой территории (Висимский заповедник) с кларками этих элементов в золе растений по А.П. Виноградову

[35]. Данные таблицы 2.10 позволяют говорить о том, что концентрации Cd достигают превышений более чем в 1000 раз, Pb, Zn в 6-19 раз, Cu – в норме.

Как видно из табл. 2.11, содержания тяжелых металлов листовенного среза в Э-ландшафте довольно высокие. В ТЭ1-ландшафте западного и восточного склона профиля они незначительно понижаются, но уже в ТЭ2-ландшафте западного склона они повышаются, а на восточном склоне повышаются в ТЭ3.

При этом содержания изученных элементов западного склона выше содержания восточного. А это значит, что в листе содержание тяжелых металлов в ДП-почвах, выше чем в ГЛ.

Анализ материалов указывает, что листва является активным накопителем тяжелых металлов, привнесенных преимущественно атмосферными потоками.

Таблица 2.10 - Оценка концентраций исследуемых элементов в листе западной части Кировградского промузла (сост. автором)

Элемент	Кларк растений (в золе)	Кларк концентрации в листе по площадкам										Превышение
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Cu	$20 \cdot 10^{-3}$	1,1	1,2	1,0	1	0,8	1,5	1,1	0,8	1,1	-	1
Pb	$1 \cdot 10^{-3}$	24	13	20,5	16	13,3	15	7,5	30	29	-	19
Zn	$90 \cdot 10^{-3}$	6	3,5	6,7	6,7	6,3	5,5	6,7	7,7	6,8	-	6
Cd	$0,001 \cdot 10^{-3}$	1300	450	1100	1800	1200	1000	680	650	1140	-	1035

Живые организмы

В организме животных и человека металлы играют двойственную роль. С одной стороны, они необходимы как микроэлементы, с другой – при избыточной концентрации выступают как токсиканты [7, 18, 123, 266, 270].

В литературе [91, 92, 93, 94, 95] имеются немногочисленные данные о содержании тяжелых металлов в наземных животных. Такие данные могут быть приняты только за глобальный фон.

Таблица 2.11 - Фоновые содержания элементов в листе Кировградского промузла (сост. автором)

Среднее содержание по площадкам $1 \cdot 10^{-4}$ г/г		10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Ландшафт		АЭ	ТЭЗ			Э	ТЭВ			СА	
			ТЭ1	ТЭ2	ТЭ3		ТЭ1	ТЭ2	ТЭ3		
Элемент	Почва	ГБ			ДП			БНТ			
Cu	-	220	150	225	300	150	190	212,5	240	220	
Pb	-	290	300	75	150	133,5	160	205	130	240	
Zn	-	6200	7000	6000	5000	5667	6000	6000	3200	5400	
Cd	-	11,4	6,5	6,8	10,0	12,3	18	11,1	4,5	13,3	

Примечание: *) Ландшафт: АЭ – аккумулятивно-элювиальный; ТЭЗ – транэлювиальный западного склона; ТЭВ – транэлювиальный восточного склона; ТЭ1,2,3 – транэлювиальный верхний, средний, нижний; Э – элювиальный; СА – супераквальный. **) Почвы: ГБ – горно-лесные бурые; ДП – дерново-подзолистые; БНТ – болотно-низинные торфяно-глеевые.

О возможности использования *Drosophila melanogaster* в качестве тест-системы экологического состояния окружающей среды

Для экологической оценки конкретного вещества на биологический объект используются различные критерии, которые позволяют дать количественную характеристику его мутагенного и токсического эффектов [270, 278]. Для *Drosophila melanogaster* наиболее приемлемы такие комплексные показатели, как изменение в процессах морфогенеза крыла, а также генотоксический эффект, который включает в себя среднюю плодовитость, частоту возникновения ранних (РЭЛ), поздних эмбриональных леталей (ПЭЛ), частоту возникновения личиночных и куколочных леталей [254].

С помощью такого рода критериев возможно установление предельно допустимых концентраций меди для модельной тест-системы *Drosophila melanogaster*. Если полученные предельно допустимые концентрации модельной тест-системы сопоставимы с ПДК, установленными для человека,

это указывает на то, что ее возможно исследовать для оценки экологического состояния окружающей среды. Опыты проводились нами по наиболее распространенному элементу, поступающему в окружающую среду от предприятий меднорудной промышленности – меди. Поступление меди в организм тест-объекта осуществлялось с водой. Для этого были выбраны три концентрации сульфата меди, а именно 5 мг/дм^3 ($\text{Cu}^{2+} - 2,4 \text{ мг/дм}^3$, $\text{SO}_4^{2-} - 2,6 \text{ мг/дм}^3$), $2,5 \text{ мг/дм}^3$ ($\text{Cu}^{2+} - 1,19 \text{ мг/дм}^3$, $\text{SO}_4^{2-} - 1,3 \text{ мг/дм}^3$) и $1,2 \text{ мг/дм}^3$ ($\text{Cu}^{2+} - 0,57 \text{ мг/дм}^3$, $\text{SO}_4^{2-} - 0,63 \text{ мг/дм}^3$) [184, 217, 218, 228].

В работе была использована линия дикого типа «Север», которая на протяжении двух лет культивируется в лаборатории генетики кафедры зоологии УрГУ, и претерпела свыше 50 поколений отбора. Для изучения генотоксического эффекта действия солей меди, применялись водорастворимые соединения CuSO_4 , в указанных концентрациях. Опыты проводились с использованием среды Альдерстона. Среда Альдерстона, содержащая CuSO_4 в указанных концентрациях заселялась личинками в возрасте 60 часов, и на этой среде они содержались до вылета имаго. Вылетевшие имаго анализировались на наличие морфологических нарушений, в том числе и на структуру крыла. Среди вылетевших имаго отбирались 25 пар индивидуальных культур, с целью изучения динамики средней плодовитости. Опыты по плодовитости осуществлялись в течение десяти дней в каждой серии [184, 217, 218, 228].

Родительские поколения (P), подвергнутые действию CuSO_4 в трех концентрациях, были использованы для изучения эмбриотоксического эффекта I и II поколения (F1, F2). Продолжительность опыта составила около 4 месяцев. С целью изучения эмбриотоксического эффекта, полученные в ходе опыта с медью яйца в количестве 32668 были подвергнуты анализу на частоту встречаемости неразвившихся яиц. С этой целью яйца дрозофилы с пробочек переносились на черную агаровую пластинку (ежедневно), а спустя 4-5 дней изучались на предмет выявления неразвившихся яиц. Все неразвившиеся яйца

дрозофилы подразделялись на две группы, а именно, яйца бурого цвета, которые являются поздними эмбриональными летелями, развитие которых прекращается на 6-7 часу и, как правило, это хромосомные аберации. Яйца белого цвета могут быть теоретически подразделены на неоплодотворенные и ранние эмбриональные летали [254].

Вылупившиеся личинки с агаровых пластинок переносились на среду Альдерстона до вылета имаго, с учетом числа развившихся и неразвившихся куколок, подсчитывался процент личиночных и куколочных леталей. Всего было использовано 2700 личинок [184, 217, 218, 228].

Для анализа процессов морфогенеза крыла и его количественной оценки приготавливались препараты крыльев имаго родителей, выращенных на среде с концентрацией CuSO_4 1,2 и 2,5 мг/дм³. С помощью рисовального аппарата, крылья переносились на бумагу и сравнивались с контролем [184, 217, 218, 228].

Влияние меди на соматические клетки. В ходе исследований с использованием различных концентраций CuSO_4 были осуществлены эксперименты влияния меди на процессы морфогенеза крыла. Как известно, уже начиная с эмбрионального периода развития, закладываются зачатки органов имаго, в виде так называемых имагенальных дисков. В период метаморфоза имагенальные диски дифференцируются в различные структуры взрослой особи. В период личиночного роста имагенальные диски растут, увеличиваются в размерах, но не обнаруживают каких-либо видимых структур. Тем не менее, установлено, что в дисках уже прошли процессы детерминации для образования видимых структур имаго. Наибольший интерес представлял крыловой имагенальный диск, самый крупный по своим размерам. Крыловой диск, как и все имагенальные диски, несмотря на то, что он внешне не дифференцирован, тем не менее, процессы детерминации происходят во время постэмбриональной стадии развития (в III личиночный период). Поэтому, если

осуществить повреждения такого крылового диска в этот период развития, или даже раньше, то при вылете имаго можно обнаружить различные повреждения крыла [184, 217, 218, 228].

В 30-е годы немецким генетиком Р. Гольдшмидтом [272] впервые были осуществлены опыты подобного рода. Р. Гольдшмидт использовал в своих экспериментах на дрозофиле не только высокую температуру, но и другие факторы экологического стресса, в первую очередь химические вещества.

При обработке дрозофилы II и III периода личиночного развития различными химическими веществами, Р. Гольдшмидт наблюдал многочисленные повреждения различных структур имаго, в том числе и крыла. Все они получили название хемоморфозы.

Хемоморфозы по своему внешнему виду очень напоминали известные мутации, однако, в отличие от них не наследовались.

Частота возникновения хемоморфозов очень сильно варьировала в зависимости от концентрации и природы вещества, иногда достигая 100%. В основе возникновения хемоморфозов лежат представления о так называемых чувствительных периодах, при совпадении которых с химическим воздействием и наблюдается соответствующий эффект.

Ярким примером таких хемоморфозов применительно к человеку, является появление талидомидных детей, у которых отсутствуют верхние или нижние конечности.

Для оценки подобного эффекта при воздействии меди на модельную систему использовался метод сравнения общей площади крыла и площади отдельных ячеек [184, 217, 218, 228].

Влияние соединений меди на соматические клетки в ходе онтогенеза, было прослежено при изучении процессов с использованием родительских форм, при концентрации CuSO_4 1,2 мг/дм³ и 2,5 мг/дм³. При минимальной

концентрации CuSO_4 никаких морфологических изменений не наблюдалось, и результаты эксперимента были сопоставимы с контролем [184, 217, 218, 228].

При максимальной концентрации CuSO_4 как видно из рисунка 4.3, общая площадь крыла в опыте, достоверно меньше таковой в контроле, как у самок, так и у самцов. Однако анализ площади отдельных ячеек крыла в целом обнаруживает уменьшение по данному показателю среди ряда ячеек. Обращает на себя внимание, что наибольшее различие обнаруживается по 24 и 25 ячейке (рис. 2.11 – 2.13) [184, 217, 218, 228].

S24 включает в себя вторую заднюю ячейку, которая относится к первому компартменту, в то время, как S25 включает в себя центральный участок крыла и относится к совершенно другому компартменту (рис. 2.14). В отношении второй задней ячейки прослеживается следующая закономерность.

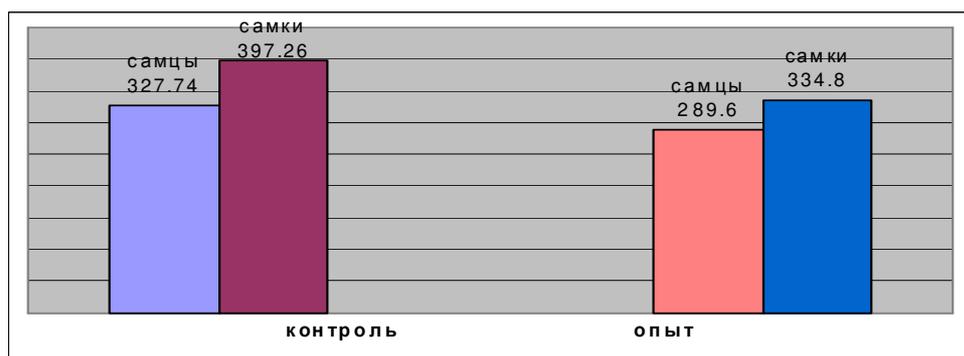


Рисунок 2.11 - Общая площадь крыла в контроле и в опыте ($1 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2$) (сост. автором)

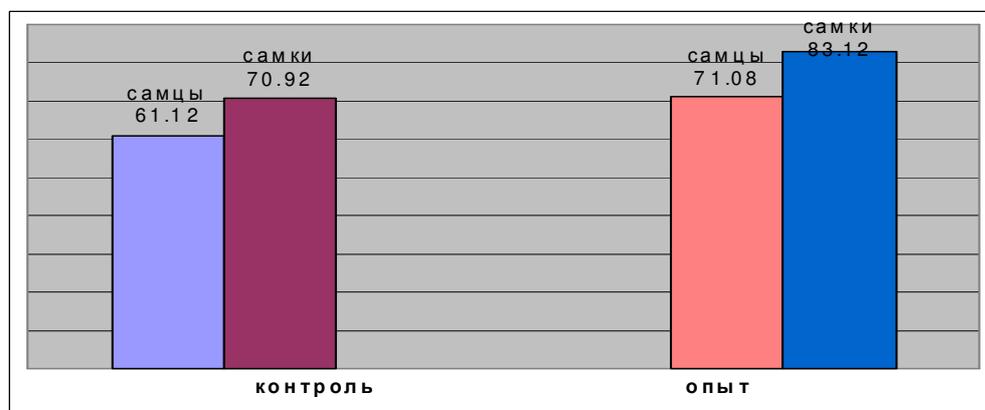


Рисунок 2.12 - Площадь S24 в контроле и в опыте ($1 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2$) (сост. автором)

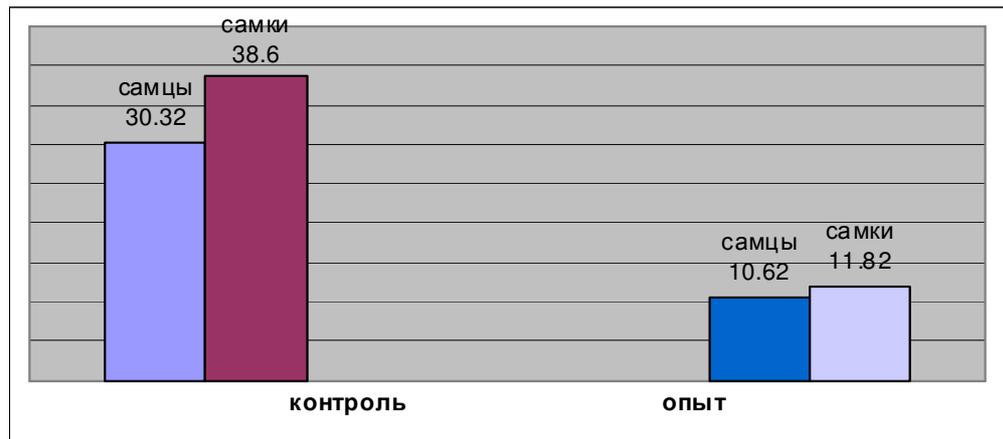


Рисунок 2.13 - Площадь S25 в контроле и в опыте ($1 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2$) (сост. автором)

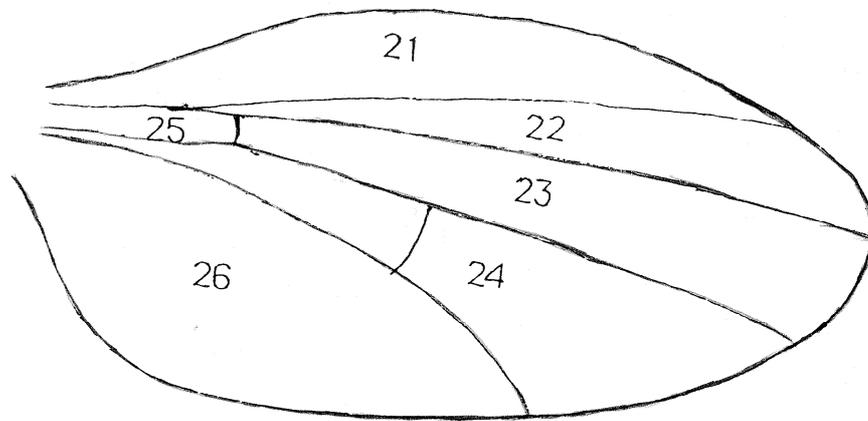


Рисунок 2.14 - Крыловая пластинка дрозофилы (сост. автором)

На фоне снижения общей площади крыла и большинства ячеек, в опыте наблюдается увеличение площади 24 ячейки, в то время как центральная зона крыла претерпевает почти трехкратное уменьшение [184, 217, 218, 228].

Такого рода изменения не были обнаружены, судя по данным лаборатории генетики, даже в случае анализа морфологических мутаций. Это свидетельствует о том, что соединение меди при концентрации $2,5 \text{ мг/дм}^3$ оказали влияние на морфогенез крыла еще в период детерминации, обуславливающий процесс компартментализации в процессе метаморфоза.

Можно высказать предположение о том, что подобного рода результаты базируются на молекулярно-генетической основе [184, 217, 218, 228].

Влияние меди на генеративные клетки. Результаты средней плодовитости в ряду поколений, при обработке личинок родительских форм различными концентрациями CuSO_4 , представлены на рисунке 2.15. Анализ рисунка показывает, что по сравнению с контролем обработка солями меди на стадии личинки максимальной концентрацией всегда приводит к достоверному снижению средней плодовитости. При минимальной концентрации CuSO_4 достоверных отличий между результатами эксперимента и контрольными данными не наблюдалось [184, 217, 218, 228].

Таким образом, прослеживается прогрессивное снижение плодовитости: чем выше концентрация меди, тем меньше плодовитость.

В I и II поколениях также наблюдается влияние меди, при максимальной концентрации, хотя средняя плодовитость значительно увеличилась. Такое стабильное проявление в ряду поколений отбора, изучаемого признака, после однократного воздействия солей меди, не может быть объяснено в рамках существующих представлений о модификационной изменчивости, но можно найти объяснение на уровне мобильно-генетической изменчивости, которая, как известно, оказывает влияние на плодовитость в ряду поколений [184, 217, 218, 228].

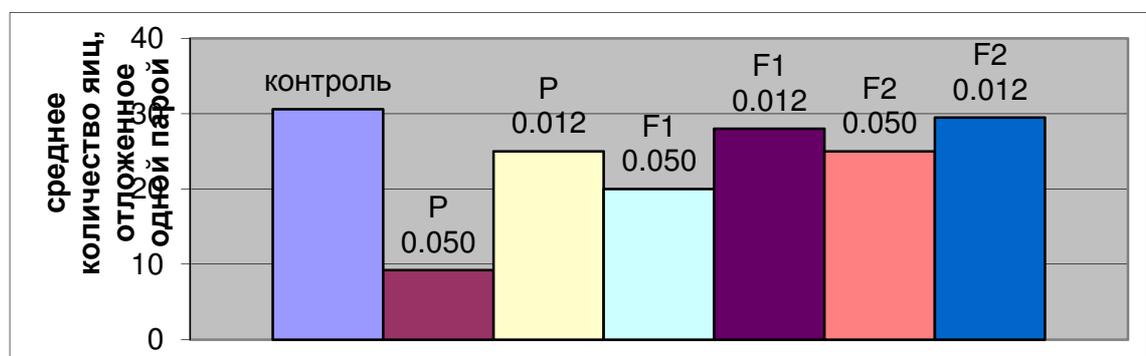


Рисунок 2.15 - Средняя плодовитость в ряду поколений при различной концентрации CuSO_4 (сост. автором)

Проявление мобильно-генетической изменчивости в ряду поколений может быть определено частотой возникновения эмбриональных и постэмбриональных леталей, поэтому изучено влияние различных концентраций CuSO_4 на генотоксический эффект частоты возникновения эмбриональных и постэмбриональных леталей, с использованием различных концентраций CuSO_4 в ряду поколений [184, 217, 218, 228].

Результаты этих исследований представлены на рисунках 2.16 – 2.25 [184, 217, 218, 228].

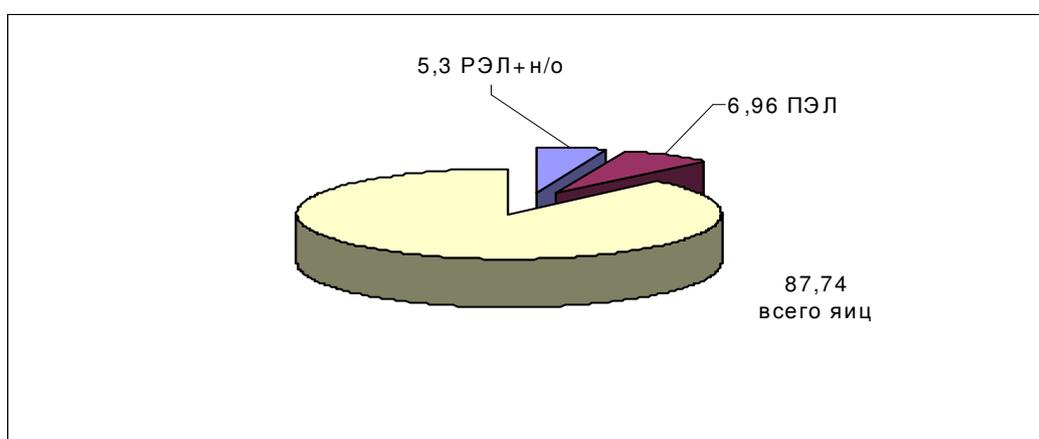


Рисунок.2.16 - Частота возникновения эмбриональных леталей в %, при концентрации CuSO_4 5 мг/дм³ (P) (сост. автором)

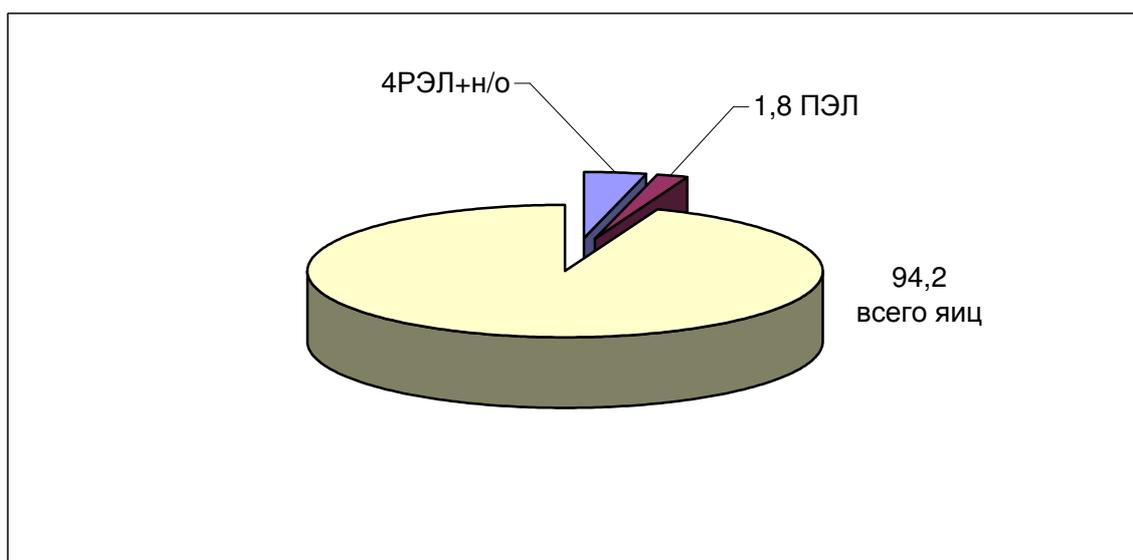


Рисунок 2.17 - Частота возникновения эмбриональных леталей в %, при концентрации CuSO_4 2,5 мг/дм³ (P) (сост. автором)

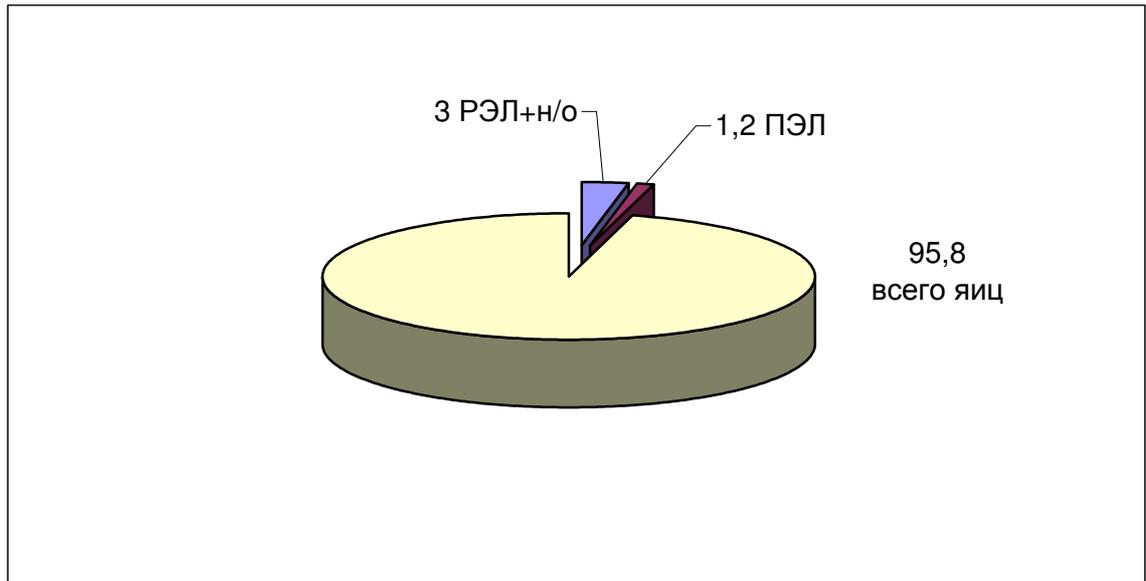


Рисунок 2.18 - Частота возникновения эмбриональных леталей в %, при концентрации CuSO_4 1,2 мг/дм³ (P) (сост. автором)

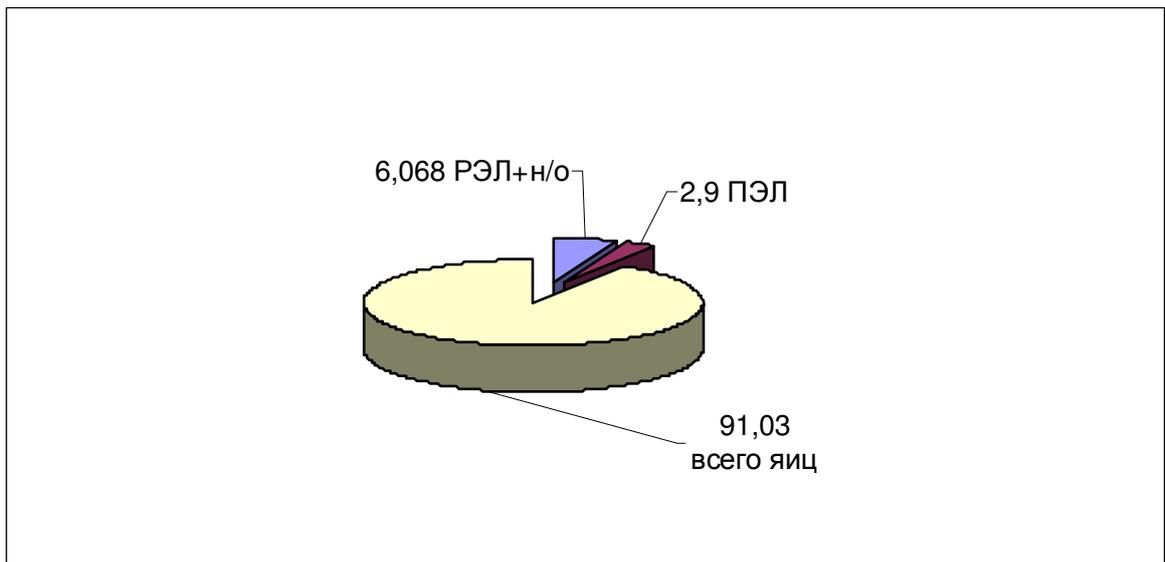


Рисунок 2.19 - Частота возникновения эмбриональных леталей в %, при концентрации CuSO_4 5 мг/дм³ (F1) (сост. автором)

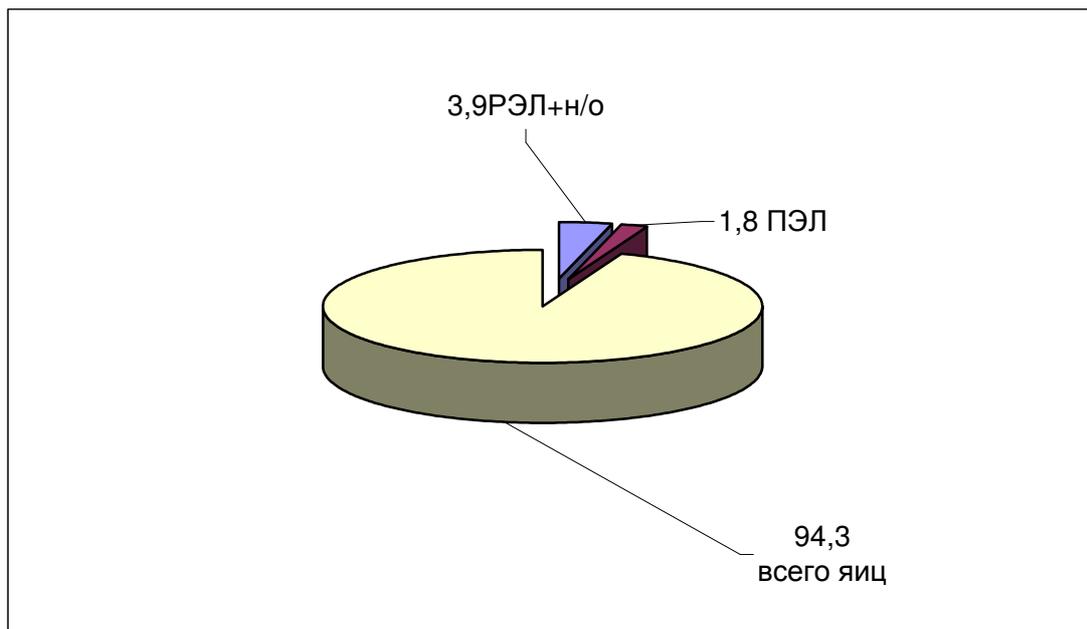


Рисунок 2.20 - Частота возникновения эмбриональных леталей в %, при концентрации 2,5 мг/дм³ (F1) (сост. автором)

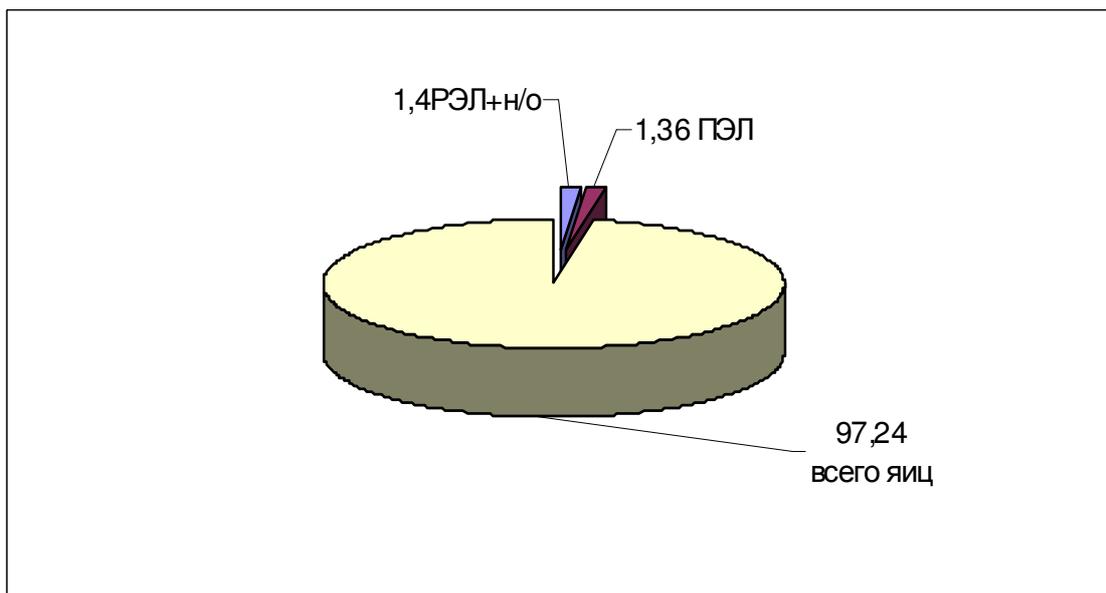


Рисунок 2.21 - Частота возникновения эмбриональных леталей в %, при концентрации CuSO_4 1,2 мг/дм³ (F1) (сост. автором)

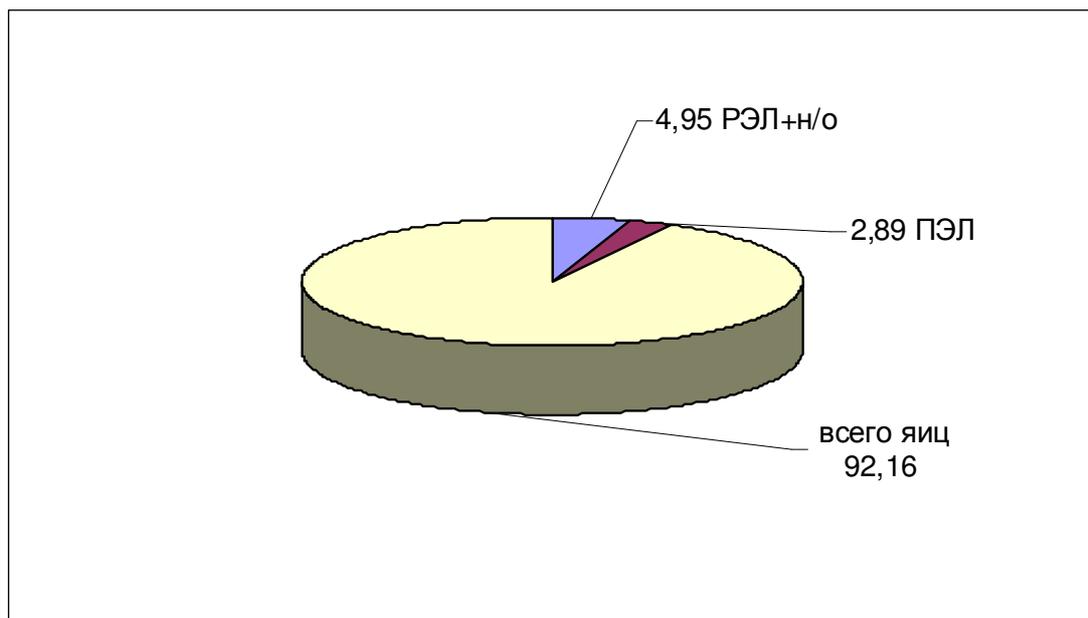


Рисунок 2.22 - Частота возникновения эмбриональных леталей в % при концентрации CuSO_4 5 мг/дм³ (F2) (сост. автором)

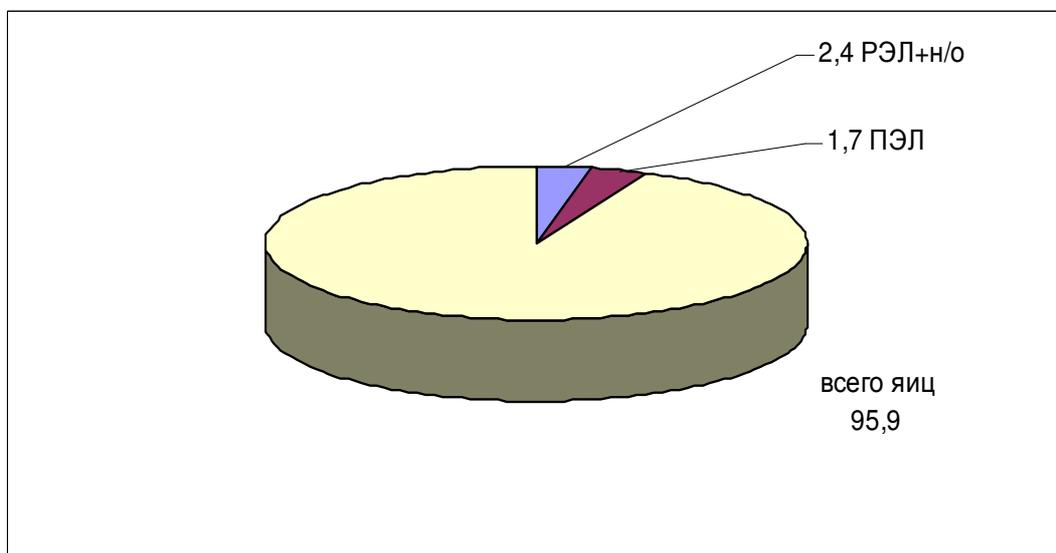


Рисунок 2.23 - Частота возникновения эмбриональных леталей в %, при концентрации CuSO_4 2,5 мг/дм³ (F2) (сост. автором)

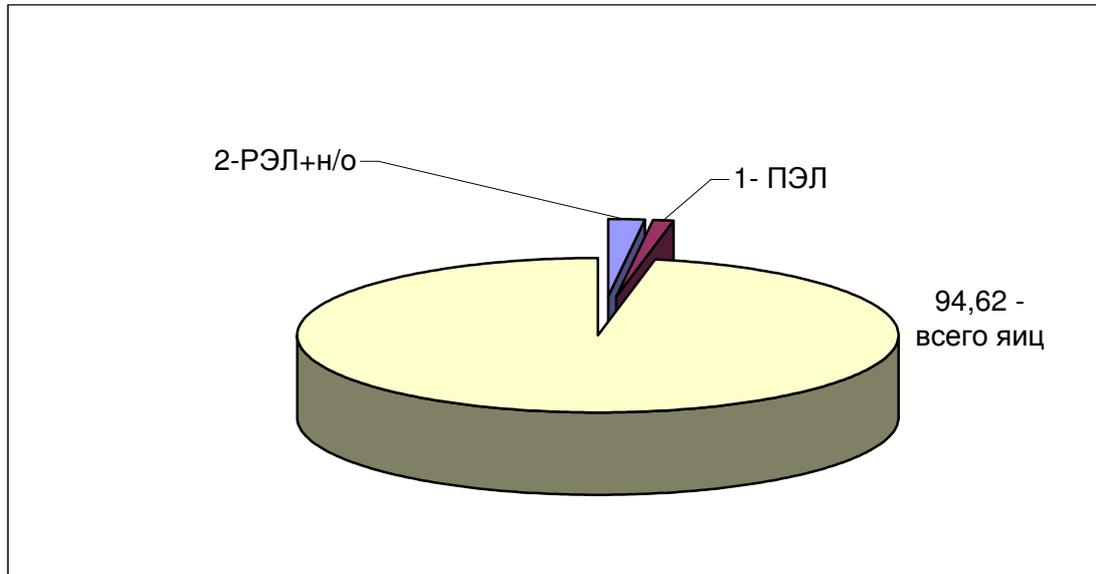


Рисунок 2.24 - Частота возникновения эмбриональных леталей в % при концентрации CuSO_4 1,2 мг/дм³ (F2) (сост. автором)

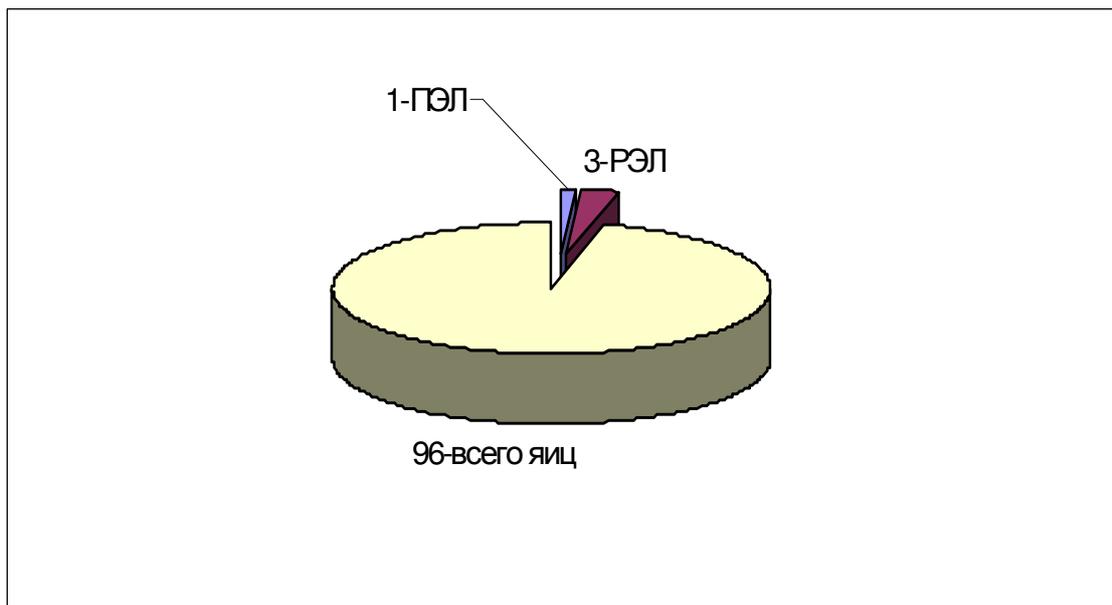


Рисунок 2.25 - Контроль (сост. автором)

Анализ частоты встречаемости неразвившихся яиц, осуществлялся как в контроле, так и в трех сериях с различной концентрацией CuSO_4 . Результаты, представленные на рисунках 2.16-2.25, свидетельствуют о том, что наибольшее количество неразвившихся яиц было получено при наивысшей концентрации

изучаемого агента и составила 12,26 %, то есть по сравнению с контролем увеличилась в 3 раза [184, 217, 218, 228].

Таким образом, можно утверждать, что соединение меди выступает как источник возникновения ранних и поздних эмбриональных леталей, поэтому можно говорить об его мутагенной природе, при концентрации 5 мг/дм³. При концентрации CuSO₄ 2,5 мг/дм³ частота возникновения ранних и поздних эмбриональных леталей незначительно выше контроля. При концентрации CuSO₄ 1,2 мг/дм³ результаты сопоставимы с контролем [184, 217, 218, 228].

Как видно из рисунков, в ряду поколений с уменьшением концентраций меди наблюдается уменьшение частоты встречаемости эмбриональных леталей, в I поколении отбора, хотя в опытах с максимальной концентрацией, частота возникновения РЭЛ и ПЭЛ все же продолжает оставаться на очень высоком уровне [184, 217, 218, 228].

Во втором поколении отбора, частота встречаемости неразвившихся яиц претерпевает в ряде случаев значительное уменьшение, тем не менее, при максимальной концентрации меди, в отношении РЭЛ и ПЭЛ можно сделать вывод, что этот тип повреждения эмбрионов продолжает достоверно отличаться от контроля [184, 217, 218, 228].

Таким образом, результаты второй серии эксперимента свидетельствуют о том, что с уменьшением концентрации меди, уменьшается и количество неразвившихся яиц как в родительском, так и в двух последующих поколениях. При концентрации CuSO₄ 2,5 мг/дм³ наблюдались различия между результатами опыта и контроля. Результаты опытов с минимальной концентрацией CuSO, которая составила 1,2 мг/дм³, сопоставимы с контролем [184, 217, 218, 228].

В третьей серии эксперимента рассматривался еще один показатель генотоксического эффекта, а именно частота возникновения

постэмбриональных леталей. Результаты этой серии эксперимента представлены на рисунках 2.26 – 2.34.

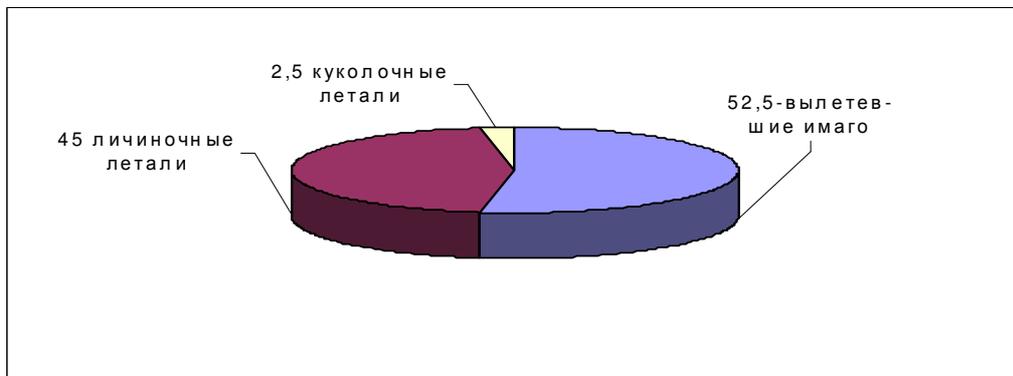


Рисунок 2.26 - Частота возникновения постэмбриональных леталей в % при концентрации CuSO_4 5 мг/дм³ (Р) (сост. автором)

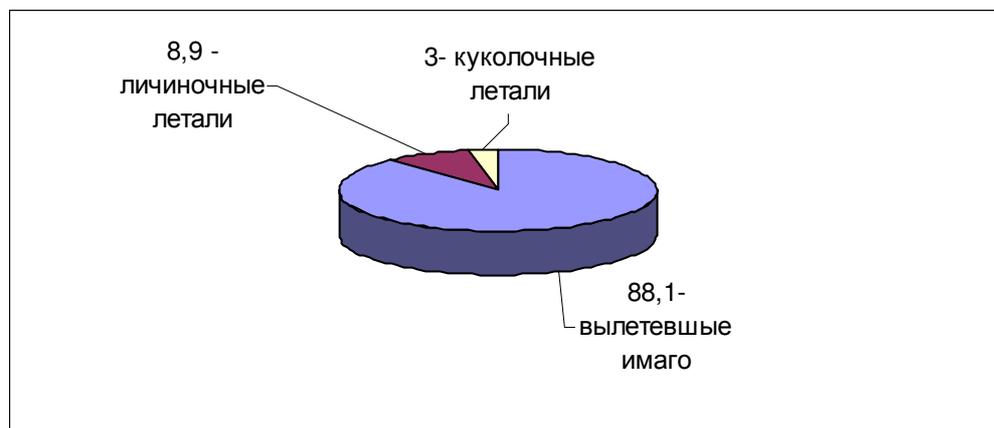


Рисунок 2.27 - Частота возникновения постэмбриональных леталей в % при концентрации CuSO_4 2,5 мг/дм³ (Р) (сост. автором)

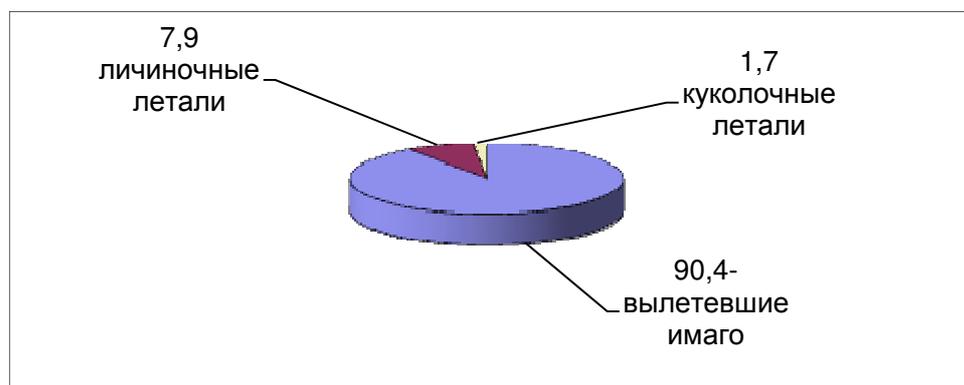


Рисунок 2.28 - Частота возникновения постэмбриональных леталей в % при концентрации CuSO_4 1,2 мг/дм³ (Р) (сост. автором)

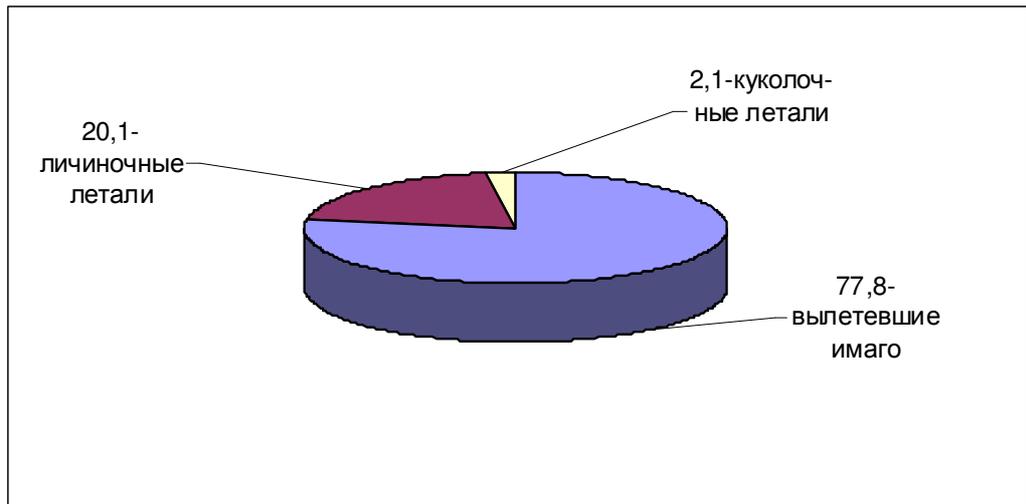


Рисунок 2.29 - Частота возникновения постэмбриональных леталей в % при концентрации CuSO_4 5 мг/дм³ (F1) (сост. автором)

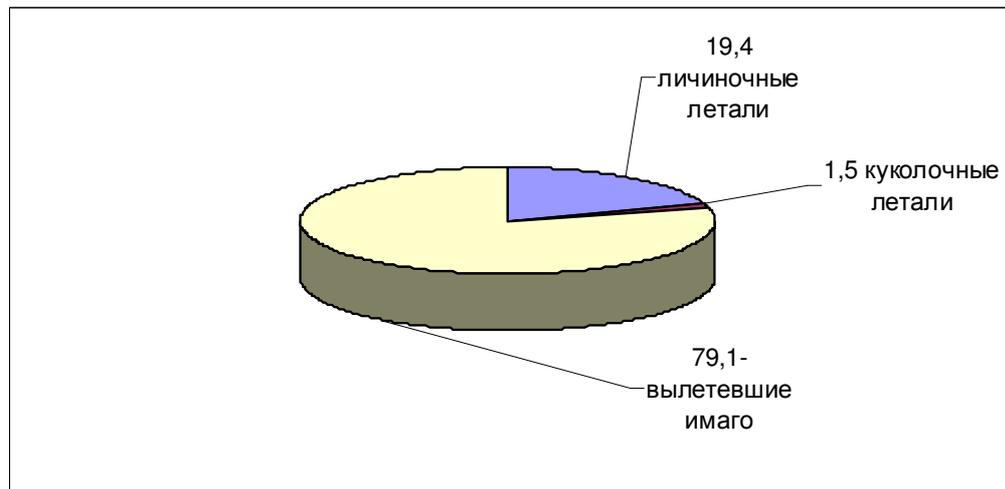


Рисунок 2.30 - Частота возникновения постэмбриональных леталей в % при концентрации CuSO_4 2,5 мг/дм³ (F1) (сост. автором)



Рисунок 2.31 - Частота возникновения постэмбриональных леталей в % при концентрации CuSO_4 1,2 мг/дм³ (F1) (сост. автором)

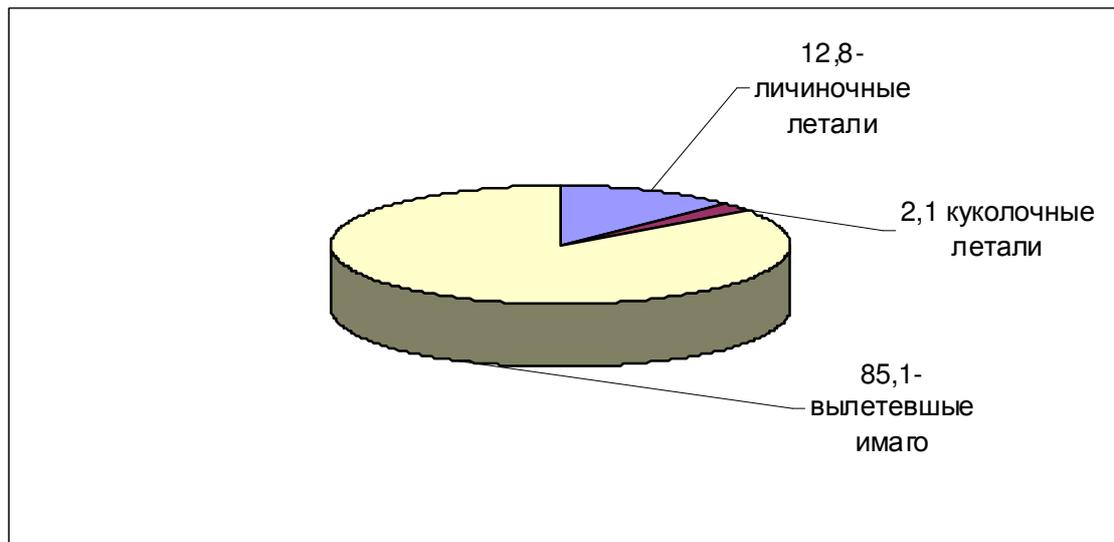


Рисунок 2.32 - Частота возникновения постэмбриональных леталей в % при концентрации CuSO_4 5 мг/дм³ (F2) (сост. автором)

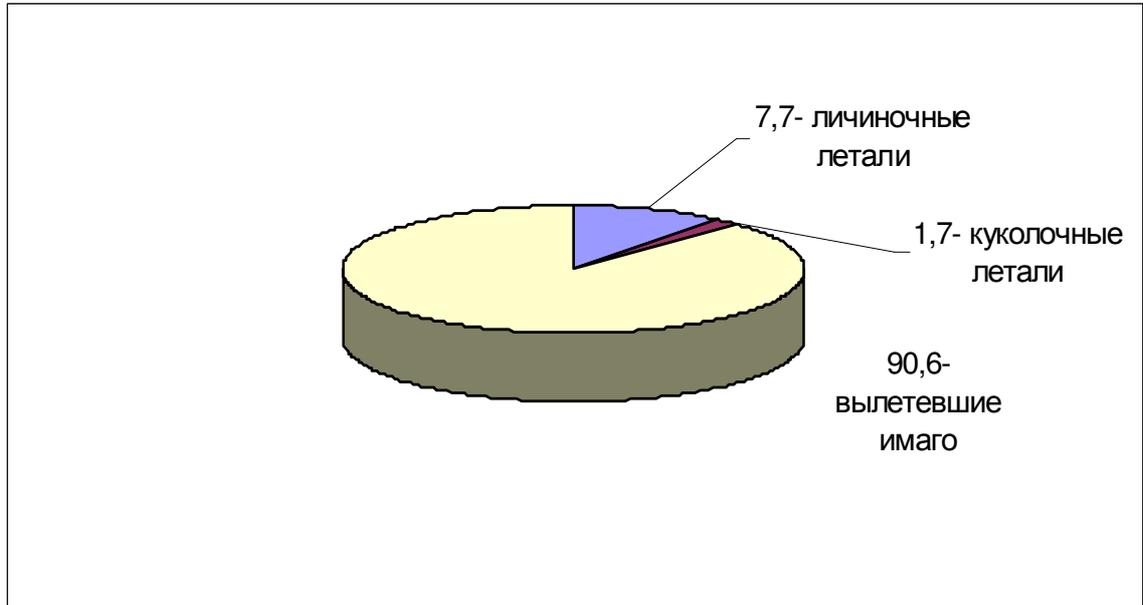


Рисунок 2.33 - Частота возникновения постэмбриональных леталей в % при концентрации CuSO_4 2,5 мг/дм³ (F2) (сост. автором)

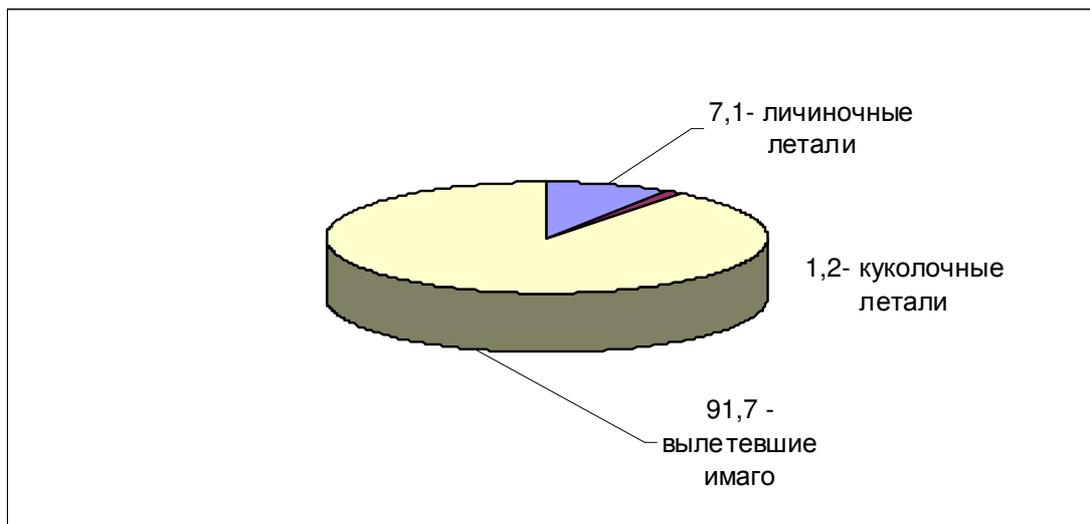


Рисунок 2.34 - Частота возникновения постэмбриональных леталей в % при концентрации CuSO_4 1,2 мг/дм³ (F2) (сост. автором)

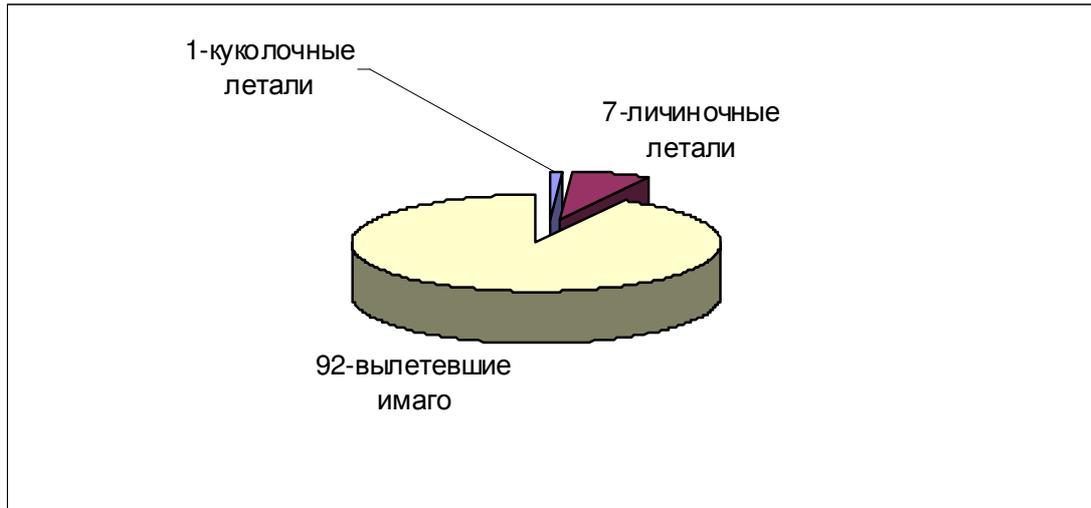


Рисунок 2.35 - Контроль (сост. автором)

Как видно из рисунков 2.26 – 2.28, 2.35, по сравнению с контролем родительские особи, подвергшиеся действию меди максимальной концентрации на стадии личинки, обнаруживают очень высокие значения частоты встречаемости неразвившихся особей. Имеется прямая зависимость от концентрации изучаемого агента. Наибольшее количество вылетевших имаго обнаружено при минимальной концентрации, которое составило в среднем 90% [184, 217, 218, 228].

Таким образом, соединения меди оказывают существенное влияние не только в эмбриональный период, но и в постэмбриональный период, при высоких концентрациях [184, 217, 218, 228].

В ряду поколений, в каждом опыте соответствующей концентрации CuSO_4 , нами было прослежено закономерное снижение частоты встречаемости поздних эмбриональных леталей. Во II поколении отбора, при низких концентрациях меди, частота встречаемости личиночных и куколочных леталей приближается к значениям близким к контролю, и фактически уже не отличается от контроля по данному показателю (рис. 2.29 – 2.34, 2.35). При низких концентрациях CuSO_4 , частота вылета имаго, от числа отложенных личинок, составила 90 %, что практически не отличается от контроля [184, 217, 218, 228].

Биологический эффект при использовании CuSO_4 , демонстрирует довольно сложную картину повреждения на разных этапах развития организма, в зависимости от концентрации и свидетельствует об определенной мутагенной активности данного соединения. При максимальной концентрации, превышающей ПДК по водам хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения в 2,4 раза, наблюдается существенное влияние меди на организм изучаемой тест-системы. При концентрации меди $1,19 \text{ мг/дм}^3$ наблюдаются определенные изменения в организме *Drosophila melanogaster*. При более низкой концентрации, которая составляет $0,57 \text{ мг/дм}^3$, таких изменений не обнаружено и результаты эксперимента максимально приближены к контролю [184, 217, 218, 228].

Таким образом, данная тест-система реагирует на изменение окружающей среды, по тем же критериям, что и человек. Поэтому, *Drosophila melanogaster*, как биологический тест-объект, возможен к применению для экологической оценки территории [184, 217, 218, 228].

Нами были установлены фоновые концентрации загрязняющих компонентов в биологической тест-системе *Drosophila melanogaster*. Данные концентрации необходимо было установить для дальнейшего использования в качестве критериев при оценки экологического состояния живых организмов.

С целью установления фона для *Drosophila melanogaster* по изучаемому району, в лаборатории генетики кафедры зоологии УрГУ были взяты имаго линии дикого типа «Север» в количестве 500 – 800 особей, которые культивировались на протяжении двух лет и претерпели более 50 поколений отбора. Данный биологический тест-объект нами был выбран для исследований, так как его биохимические параметры можно сопоставить с биохимическими параметрами человека [184, 217, 218, 228]. В таблице 2.12 приведены результаты количественного анализа исследуемых элементов в теле

имаго *Drosophila melanogaster*, которые в работе приняты в качестве критериев при оценке экологического состояния биологической тест-системы [228].

Таблица 2.12 - Содержание тяжелых металлов в теле имаго *Drosophila melanogaster* линии «Север» (сост. автором)

Элемент	Региональный фон, мг/кг
Cu	2,20
Zn	72,34
Pb	0,5
Cd	0,05

2.2. Горно-металлургический комплекс как техногенный элемент структуры природно-техногенной геосистемы III уровня

Наличие на Среднем Урале крупных месторождений, в том числе меди и железа, обусловило формирование здесь меднорудного и железорудного комплексов, включающих горнодобывающее и металлургическое производство, являющееся основой экономики региона. Современное состояние горно-металлургического комплекса Среднего Урала рассмотрено в работе [213].

Предприятия меднорудного комплекса

Урал – старейшая меднорудная база России [78]. В XVIII веке после указа Петра I о горной свободе существенно оживилось «медное дело», появились охочие люди, которые занялись поисками и добычей медных руд, и в 1702 г. С. Бабиным на Восточном склоне Среднего Урала было выявлено Гумешевское месторождение богатых окисленных медных руд скарнового типа. В 1823 г. впервые начали разрабатывать колчеданные месторождения. Резкий рост добычи медноколчеданных руд с начала XX века был вызван внедрением в производство метода пиритной плавки инже-

нера Г. Семянникова, т.е. плавки высокосернистых медных руд в ватержакетных печах с последующим бессемерованием [213].

ОАО «Кировградский медеплавильный комбинат» (ОАО «КМК»). Кировградский медеплавильный комбинат был пущен в 1914 году. Сырьем для него стали медные руды Калатинской группы месторождений. В начале XX века завод был оборудован двумя шахтными печами, двумя 15-тонными конвертерами и рафинированной печью. Производство меди в 1915 году составило 1993 т, а к 1930 году выпуск ее возрос более чем в 6 раз в сравнении с дореволюционным уровнем. С 1956 г. без снижения выплавки меди из первичного сырья завод начал перестраивать технологию и металлургическое оборудование для переработки вторичного сырья [213].

Плавка вторичного сырья ведется в шахтных печах, оборудованных электрообогреваемыми, передними горными и рукавными фильтрами для очистки технологических газов. Получаемая черная медь подвергается конвертированию на черновую медь. Технологическая схема производства обеспечивает получение продукции, выпускаемой комбинатом, – черновой меди, окиси цинка технической, кислоты серной технической, кислоты серной аккумуляторной, катализатора ванадиевого, купороса цинкового, концентрата цинкового [78,213].

ОАО «Среднеуральский медеплавильный завод» (ОАО «СУМЗ».)

Среднеуральский медеплавильный завод является химико-металлургическим предприятием с обширным циклом основных и вспомогательных технологических процессов, начиная от производства медьсодержащих концентратов на обогатительной фабрике до выплавки из них черновой меди в медеплавильном цехе и утилизации серы отходящих от металлургических агрегатов газов в сернокислотном цехе, включая использование серной кислоты для получения дополнительной химической продукции в цехе двойного суперфосфата [213].

К основным производствам ОАО «СУМЗ» относятся: обогащение шлака медеплавильного производства (медной руды); медеплавильное производство; сернокислотное производство; производство фосфатных удобрений и триполифосфата натрия; производство ксантогената калия [213].

Объемы выпуска основных видов продукции в ОАО «СУМЗ» представлены в таблице 2.13 [213].

Основным сырьем для получения черновой меди являются медные концентраты, поставляемые с обогатительных фабрик, а также концентраты, полученные на основе обогащения собственных отвальных шлаков отражательного и плавильного переделов [213].

Таблица 2.13 - Объемы выпуска основных видов продукции в ОАО «СУМЗ» [213]

Наименование выпускаемой продукции	Установленная мощность, тыс.т	Объемы выпуска по годам, тыс.т		
		2002 г.	2003 г.	2004-2005гг. (прогноз)
Черновая медь	132,1	106,2	84,95	105,0 ÷ 120,0
Серная кислота	610,0	410,6	446,1	475,0 ÷ 550,0
Фосфатное удобрение	91,5	6,5	5,2	30,0 ÷ 50,0
Триполифосфат натрия	40,0	36,6	47,8	50,0 ÷ 55,0
Ксантогенат калия	8,5	5,15	5,3	5,0

Медный концентрат является многокомпонентным материалом, медь в котором представлена в виде ее сульфидных минералов. Поэтому процесс выплавки черновой меди сопровождается также преобразованием другой важной составляющей сырья – серы – в готовую продукцию: серную кислоту, серу элементарную, соли серной кислоты и т.д. Помимо сульфидных минералов меди в сырье присутствуют, как правило в виде примесей, минералы других цветных металлов: свинца, цинка и др., а также оксиды железа и кремния. Состав медных концентратов приведен в таблице 2.14 [213].

Шлаки отражательного и плавильного переделов представляют собой расплавы оксидов, получаемых из порообразующих компонентов шихты и флюсов. Одной из основных функций шлаков плавильных процессов является ассимиляция пустой породы из состава сырья, то есть руды или концентратов, а конверторных шлаков – рафинирование за счет дальнейшего глубокого окисления железа и других цветных металлов, менее благородных, чем медь [213].

Таблица 2.14 - Состав медных концентратов [213]

Исходная руда	Содержание в концентрате, %						
	Cu	Zn	S	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO
Медистые колчеданы	11-20	4-7	35-43	32-37	3-5	3-7	0,5-2
Медно-цинковая	11-15	2-4	30-35	25-30	3-5	3-7	0,5-2
Вкрапленники	20-25	-	25-30	25-27	5-10	5-8	0,5-2
Порфировая	28-35	-	15-20	16-20	20-29	5-8	1-2

Шлаки цветной металлургии представлены в основном оксидом железа (II), диоксидом кремния и оксидом кальция, суммарное содержание которых достигает 80-90 % от общей суммы шлакообразующих компонентов [213].

Шлаки являются ценным сырьем, причем в зависимости от соотношения элементов шлаки могут иметь различные потребительские свойства. Поэтому в ОАО «СУМЗ» шлаки отражательного и плавильного отделений используют не только в качестве сырья для получения медного концентрата, но и после до извлечения меди и доводки шлака до требований, учитывающих разнообразные потребительские требования, – в качестве строительного материала [213].

Входящая в состав медных концентратов сера в процессе плавки в металлургических агрегатах в условиях активного окисления возгоняется в виде сернистого газа (SO₂), который является ценным исходным сырьем для производства серной кислоты. Серная кислота используется очень широко в химической промышленности в синтезе многих веществ, минеральных

удобрений. На СУМЗе серную кислоту применяют в производстве двойного суперфосфата и триполифосфата в цехе двойного суперфосфата [78, 213].

Предприятия железорудного комплекса

В настоящее время железорудный металлургический комплекс на Восточном склоне Среднего Урала включает в себя крупнейший на Урале Нижнетагильский металлургический комбинат и ряд мелких заводов [213].

ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат» (ОАО «НТМК»)

ОАО «НТМК» в настоящее время является одним из наиболее крупных металлургических предприятий Российской Федерации и крупнейшим в мире предприятием по переработке ванадийсодержащих титаномагнетитовых руд по специальным технологиям в доменном и конвертерном переделах (извлечение ванадия и выплавка природнолегированной ванадием стали) [213].

Комбинат в настоящее время производит весь основной сортаментный ряд металлопроката (рис. 2.36) для железнодорожного транспорта, включая наиболее износостойкие рельсы, колеса, бандажи локомотивов, осевую заготовку, несущие балки вагонов, вагонную стойку [213].

Таким образом, природно-техногенные геосистемы III уровня представляют собой совокупность природных элементов, находящихся в определенных пространственных и временных отношениях и взаимосвязях, имеющих общий базис естественного происхождения и испытывающих интенсивную техногенную нагрузку. Результат взаимодействия природной и техногенной составляющих – экологическое состояние ГС, связанное с поступлением загрязняющих веществ. Оно находит отражение в химическом составе снежного покрова, подземных и поверхностных вод, почвы, биоты.

Изучение этих элементов структуры природно-техногенной системы осуществлялось в пределах действия междорудной (ОАО «СУМЗ», Первоуральско-Ревдинский промузел, ОАО «КМК», Кировградский промузел) и железорудной (ОАО «НТМК», г. Н. Тагил) промышленности Среднего Урала. Оно включало в себя ретроспективную оценку и современную оценку состояния компонентов окружающей среды [213].

Изучение элементов структуры природно-техногенной системы проводилось с учетом климата и орографию территории, так как они определяют интенсивность миграции загрязняющих веществ в атмосфере и являются основными системообразующими факторами распределения химических элементов, поступающих от техногенных источников – промышленных предприятий – в природно-техногенную геосистему.

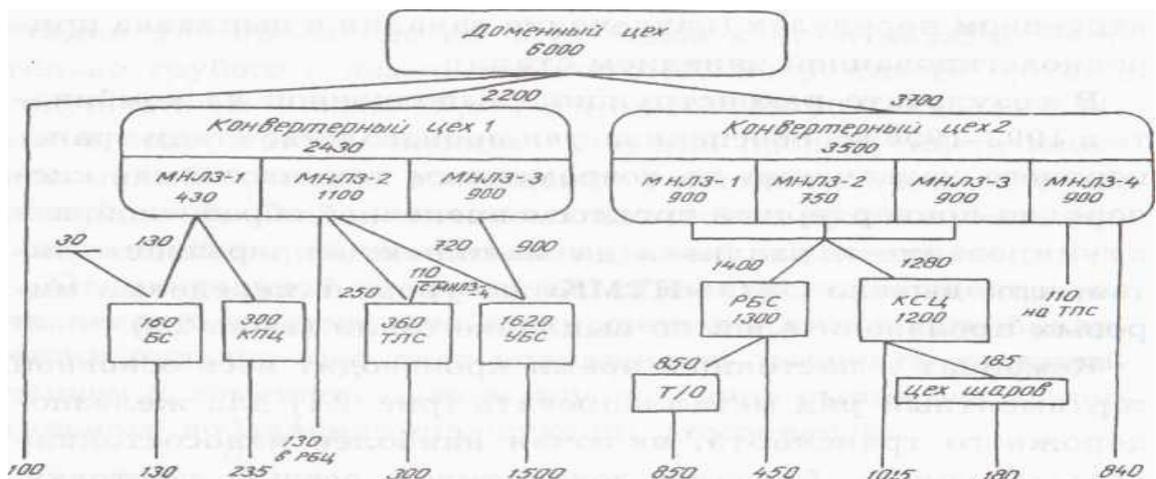


Рисунок 2.36 - Схема движения металла по ОАО «НТМК» (тыс. т в год) [213]:

МНЛЗ – машина непрерывного литья заготовок; БС – балочный стан; КПЦ – колесопрокатный цех; ТЛС – труболистовой стан; УБС – универсальный балочный стан; РБС – рельсобалочный стан; КСЦ – крупносортный цех; Т/О – термообработка.

2.2.1. Основные факторы распределения загрязняющих элементов в природно-техногенной геосистеме III уровня, поступающих от воздействия техногенных источников

Рассмотрим основные факторы распределения загрязняющих элементов в окружающей среде.

Климат

Теоретические и экспериментальные исследования по физике атмосферы показывают зависимость распределения и миграции загрязняющих элементов от ветрового режима территории, температурной стратификации атмосферы и режима атмосферных осадков, то есть от климатических особенностей района [277].

Климатические особенности района [2 47, 167, 194] обусловлены невысокими абсолютными отметками предгорий и их расположением на подветренном макросклоне тектогенной страны, в барьерной тени от ее горной полосы.

Климат района резко-континентальный, с продолжительной холодной зимой и умеренным коротким летом, с резкой сменой температуры дня и ночи [213, 231].

Ветровой режим у поверхности земли зависит в основном от распределения атмосферного давления, рельефа местности и других физико-географических особенностей района. Динамика полей давления и циркуляционных процессов определяет ветровой режим по времени года. Орографические условия часто вносят в этот режим заметные изменения. Географическое распределение различных направлений ветра и его скоростей связано с сезонными режимами барических образований. Зимой под влиянием западного отрога азиатского антициклона над исследуемым районом преобладают ветры южного и юго-западного

направлений. Летом режим ветра связан с воздействием отрога азорского антициклона [213].

Распределение повторяемости направлений ветра имеет очень сложный характер. Летом нередко намечается по два преобладающих направления: с севера и с запада. В целом в течение всего года в исследуемом районе преобладают ветры юго-западного направления, только в летний период преобладающее направление выражено слабо. Наибольшая повторяемость (39 %) юго-западных ветров наблюдается в зимнее время, но весной и осенью повторяемость тоже велика (27-30 %). Летний тип циркуляции характерен тем, что повторяемость ветров с западной и северной составляющей почти одинакова – 16-18 %, а с восточной и южной – в 2 раза меньше. Годовой ход различных направлений ветра выражен хорошо. Максимум повторяемости юго-западных ветров приходится на зимние месяцы (до 42 %), а минимум – на летние (13 %), северо-западные и северные ветры чаще наблюдаются в летние месяцы, чем в зимние. Ветры южные, юго-восточные и восточные в течение всего года редки (8-11 %). Повторяемость западных ветров во все месяцы года – 15-17 % и только в осенний период увеличивается до 27 % [213].

Кроме направления ветра, на содержание металлов в атмосфере влияет его скорость. Средняя скорость ветра – величина, довольно устойчивая во времени, мало меняющаяся от месяца к месяцу, из года в год. Средние месячные скорости ветра колеблются в пределах 2,7-4,1 м/с, минимальные наблюдаются летом, максимальные – в переходные сезоны. Суточный ход скорости ветра выражен хорошо. В течение всего года минимальные скорости ветра наблюдаются ночью и рано утром, а максимальные – в 13 ч (табл. 2.15) [213].

В разные годы средняя скорость ветра по месяцам и за год не остается постоянной. Возможные ее отклонения от нормы приводятся в табл. 2.15 [213].

Таблица 2.15 - Средняя месячная и годовая скорость ветра на Среднем Урале (м/с) в различные часы суток [213]

Часы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
1	3.4	3.6	3.7	2.9	2.5	1.9	1.7	1.6	2.7	3.9	3.9	3.7	3.0
7	3.4	3.6	3.5	3.3	3.6	3.3	2.9	2.4	2.8	3.7	4.0	3.7	3.3
13	3.8	4.5	5.1	5.0	5.4	4.8	4.3	4.3	4.7	4.8	4.5	3.8	4.6
19	3.4	3.8	4.1	3.7	4.0	3.5	3.2	2.6	3.0	4.0	4.0	3.6	3.6

В течение года наиболее вероятны ветры скоростью от 0 до 5 м/с. Наибольшее число слабых ветров вероятнее всего с апреля по сентябрь – 30-32 % случаев. Такие ветры бывают в размытых малоградиентных полях. В переходные периоды и в холодное время года более вероятны ветры скоростью 6-9 м/с. Ветры со скоростью выше 10 м/с сравнительно редки, вероятность их в летние месяцы около 1 %, а в переходные сезоны и в зимние месяцы при холодных вторжениях в тылу циклонов она возрастает до 2.5 % (табл. 2.16) [213].

Температурная стратификация атмосферы на исследуемой территории и ее годовой ход в значительной степени зависят не только от широты места, обуславливающей различия в поступлении солнечного тепла, но и от распределения облачности, удаленности от крупных водоемов, от высоты места, разнообразия ландшафтных комплексов. Влияние перечисленных факторов может нарушать зональное распределение температуры и создавать своеобразный температурный режим отдельных сезонов. Среднемесячные температуры воздуха в регионе следующие: 1 – (-16,4 °С), 2 – (-14,4 °С), 3 – (-8,5 °С), 4 – (1,4 °С), 5 – (8,3 °С), 6 – (14,2 °С), 7 – (16 °С), 8 – (13,8 °С), 9 – (8 °С), 10 – (0,2 °С), 11 – (-7,9 °С), 12 – (-14,4 °С). Наибольшая изменчивость температуры воздуха наблюдается в зимнее время. Средняя месячная температура меняется в пределах 2,7-3,6 °С, а с апреля по октябрь изменения не превышают 1,9 °С [213].

Таблица 2.16 - Средняя и максимальная скорость ветра на Среднем Урале (м/с) и отклонения от средней [213]

Мес яц	V _{сред}	V _{max}	Отклонение от среднего		
			среднее	наиболь- шее	наимень- шее
1	3.5	20	0.6	1.5	-1.7
2	3.8	20	0.5	2.1	-1.0
3	4.1	16	0.6	1.5	-1.4
4	3.8	18	0.4	1.5	-1.0
5	3.8	28	0.4	0.9	-0.9
6	3.4	25	0.3	0.8	-0.9
7	3.1	20	0.3	0.9	-0.9
8	2.7	16	0.4	1.4	-0.9
9	3.3	17	0.4	1.2	-0.8
10	4.1	20	0.5	1.8	-0.9
11	4.1	20	0.05	1.1	-1.7
12	3.7	20	0.6	1.2	-1.6
Год	3.6	28	0.2	0.8	-0.5

Режим атмосферных осадков характеризуется тем, что исследуемая территория относится к зоне достаточного увлажнения. За год в ее пределах выпадает 470-500 мм осадков. Распределяются осадки в течение года довольно неравномерно: максимум приходится на июль, минимум – на февраль (табл. 2.17) [213].

Таблица 2.17 - Среднее количество осадков на Среднем Урале по месяцам, мм [213]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Лет ние	Зим ние	Год
Среднее количество осадков по осадкомеру (без поправок)														
20	15	21	23	44	64	79	70	43	34	32	29	357	117	474
Среднее количество осадков с учетом поправок на смачивание														
22	17	23	25	48	69	84	74	47	27	34	32	384	128	512
Среднее количество осадков с поправками на смачивание, ветровой недоучет и испарение														
35	27	39	39	55	75	87	77	50	48	46	45	431	192	623

В теплый период осадков выпадает почти в 3 раза больше, чем в зимний, т.е. соответственно 357-375 и 117-123 мм. В годовой сумме на жидкие осадки приходится 66 %, твердые – 23 %, смешанные – 11 % [213].

Средняя дата появления снежного покрова отмечается 14 октября, образование устойчивого снежного покрова – 4 ноября. Число дней со снежным покровом составляет 176 [213].

Максимальная глубина промерзания почвы на оголенной поверхности составляет 320 см, под снежным покровом глубина промерзания почвы – 194 см [213].

Орогидрография

Изучаемый нами район расположен на Среднем Урале в пределах Восточных предгорий Урала.

В геоморфологическом отношении на исследуемой территории [3, 40, 242] выделяются два района: район приподнятых горных массивов (Главный Уральский водораздел) и район остаточных массивов мезозойской денудационной поверхности холмисто-увалистой полосы Восточного склона Урала. Первый, сложенный образованиями Тагильского массива, характеризуется эрозионными формами рельефа и маломощным покровом рыхлых отложений, второй выполнен преимущественно песчано-сланцевыми образованиями. В последнем четко выделяются две денудационные поверхности. Верхняя по уровню (Mz) расположена на повышенных водоразделах района и частично захватывает пологие склоны к речным долинам. Нижняя поверхность (Mn -Pg) образует большей частью увалы вдоль долин и ровные водоразделы. Водоразделы, к которым приурочена верхняя поверхность, обычно представляют гряды, протягивающиеся по простиранию пород приблизительно параллельно друг другу. Водораздельные гряды мягковолнистые, иногда очень ровные, в продольном профиле вершины их по высоте колеблются в среднем около 450 м. Местами водоразделы образуют участки с ровной, полого-вытянутой поверхностью. Ширина таких участков достигает 1-3 км, а в длину, прерываясь останцами и седловинами, они протягиваются на 10 км. Высоты их изменяются в небольших пределах (30-50

м). На таких же высотах или несколько ниже располагаются мягко вогнутые седловины, которые, чередуясь с повышенными участками, образуют вместе с ними единую, пологоволнистую поверхность, или разделяют более резкие повышения останцового характера. Нижняя денудационная поверхность распространена вдоль долин, проникая по разветвлениям эрозионной сети в виде длинных ровных склонов, где она постепенно сливается с верхней поверхностью [231].

Рассматриваемая территория характеризуется довольно густой гидрографической сетью, магистральными на этой территории являются реки Нейва, Чусовая и Тагил (85 – 90 % водосбора) с их многочисленными притоками (рис. 2.37) [133, 261].

Река Нейва располагается в восточной части территории и является правобережным притоком реки Ницы, впадающей в реку Туру; начало берет из озера Таватуй. Река Нейва имеет следующие притоки: Хомутовка, Исток, Шуралка, Белая, Быньга, Горелка, Посака и Ольховка. В ее верховье расположены крупные Верхненевьянский и Рудянский пруды. Воды в верховьях реки и названных водоемах имеют минерализацию 100 – 200 мг/л, состав их гидрокарбонатный магниевый-кальциевый, коэффициент сульфатности вод не превышает 0,15. Следует отметить, что водотоки, впадающие в названные выше пруды, часто имеют более высокую минерализацию. Ниже Рудянского пруда минерализация воды в р. Нейве не превышает 300 мг/л, лишь ниже левого притока (руч. Исток) минерализация воды 321 мг/л, а состав хлоридно-гидрокарбонатно-сульфатный кальциевый, коэффициент сульфатности 0,26. В Невьянском пруду минерализация вод 240 – 290 мг/л, в составе их преобладают гидрокарбонат-, сульфат-ионы и ион кальция. Коэффициент сульфатности достигает 0,27. Ниже Невьянского пруда минерализация воды в р. Нейва достигает 300 мг/л.

На левом борту водосбора р. Нейва располагается ряд водоемов и водотоков промзоны г. Кировграда, соединенные с рекой ручьями и малыми реками (руч. Исток, р. Северная Шуралка). Среди водоемов наиболее крупный – Чигирское озеро. Восточная, пониженная часть озера, отделена дамбой и является отстойником медеплавильного завода. Из него вытекает руч. Исток. Западная часть озера используется как водоем для забора воды на хозяйственно-питьевые нужды г. Кировграда. Воды западной части Чигирского озера, используемые для водоснабжения, сульфатно-гидрокарбонатные магниевые-кальциевые с минерализацией 270 мг/л. Коэффициент сульфатности их составляет 0,2. Воды рек Южная и Северная Шуралка и их прудов имеют минерализацию 200-400 мг/л, состав их сульфатно-гидрокарбонатный и гидрокарбонатно-сульфатный магниевые-кальциевый. Воды слабощелочные.

Река Чусовая является левым притоком реки Камы. Общая протяженность водотока 592 км. Площадь водосбора 23 тыс.км². Наиболее крупными притоками являются реки Ревда, Утка, Межевая Утка, Серебряная, Койва, Кумыш, Кунгурка, Лысьва, Сулем и Талица.

В районе города Ревды и города Первоуральска русло реки зарегулировано Волчихинским и Ревдинским водохранилищами.

Склоны долины реки Чусовая в районе расположения обсуждаемого объекта преимущественно пологие с перепадом высот до 15-20 метров. Ширина долины от 20 до 60 метров. Берега реки высотой от 1 до 30 м, местами обрывистые и скалистые. Пойма двухсторонняя, широкая, частично заросшая кустарниково-древесной растительностью. Русло реки умеренно извилистое, неразветвленное. Дно реки сложено на плесах песками, на перекатах галькой. Высота подъема уровня воды в половодье достигает 1-2 м. Межень часто нарушается дождевыми паводками. Площадь водосбора 23000 км². Минимальные средние месячные расходы воды в летне-осенний период (95% обеспеченность) – 1,76 м³/сек., в зимний – 1,71 м³/сек. Глубина русла реки при

минимальных расходах 0,2-0,3 м, ширина – 25-30 м, скорость течения 0,25-0,3 м/сек.

Формирование химического состава воды в реке происходит под влиянием многочисленных природных и антропогенных факторов [119]. Поверхностные воды гидрокарбонатно-кальциевые средне жесткие с общей жесткостью от 1,0 до 4,5 мг/экв.

Река Тагил является правобережным притоком реки Туры, несущей свои воды через реки Тобол, Иртыш и Обь в Северный Ледовитый океан. В пределах района р. Тагил принимает ряд притоков: слева – Вогулку, Хомутовку, Сибирку, Ломовку, Крестьянку, Слоновку, Шайтанку, Аблей, Левиху вторую и Осиновку; справа – Дедюху, Ключевку, Талую, Пачку и Аник. Река Тагил берет свое начало в горном массиве на юго-западе территории, сложенном ультраосновными породами, и течет в северном направлении. В верховьях минерализация ее вод не превышает 160 мг/л. Ниже по течению минерализация воды в реке то возрастает до 700 мг/л, то убывает до 300 мг/л у северной кромки района. Река имеет много притоков, в том числе искусственных. Большинство притоков берет начало в обрамляющих Тагильскую депрессию возвышенностях и имеют минерализацию воды 48-170 мг/л гидрокарбонатного и сульфатно-гидрокарбонатного кальциевого и магниевое-кальциевого состава. Коэффициент сульфатности этих вод не превышает 0,2 (отношение содержания сульфат-иона к минерализации воды) [263]. Вместе с тем в верхнем течении некоторых притоков (р. Сибирка, руч. Крестьянка) располагаются отстойники горно-технических объектов Левихинской группы месторождений. Воды как в самих отстойниках, так и в водотоках, впадающих в р. Тагил, имеют минерализацию от 1,24 до 4,17 г/л и сульфатный кальциевый и магниевое-кальциевый состав. Коэффициент сульфатности этих вод составляет 0,2-0,4 и более. Воды часто кислые, их рН достигает 3,9. Впадением в р. Тагил таких

разных по минерализации и составу вод можно объяснить вариации минерализации и состава самой реки (табл. 2.18) [213].

Реки Среднего Урала в основной массе относятся к малым, при этом их качество должно соответствовать высоким требованиям, предъявляемым к ним как к водотокам, относящимся к рыбохозяйственной категории. Известно, что основным процессом, контролирующим качество воды в водотоке, является

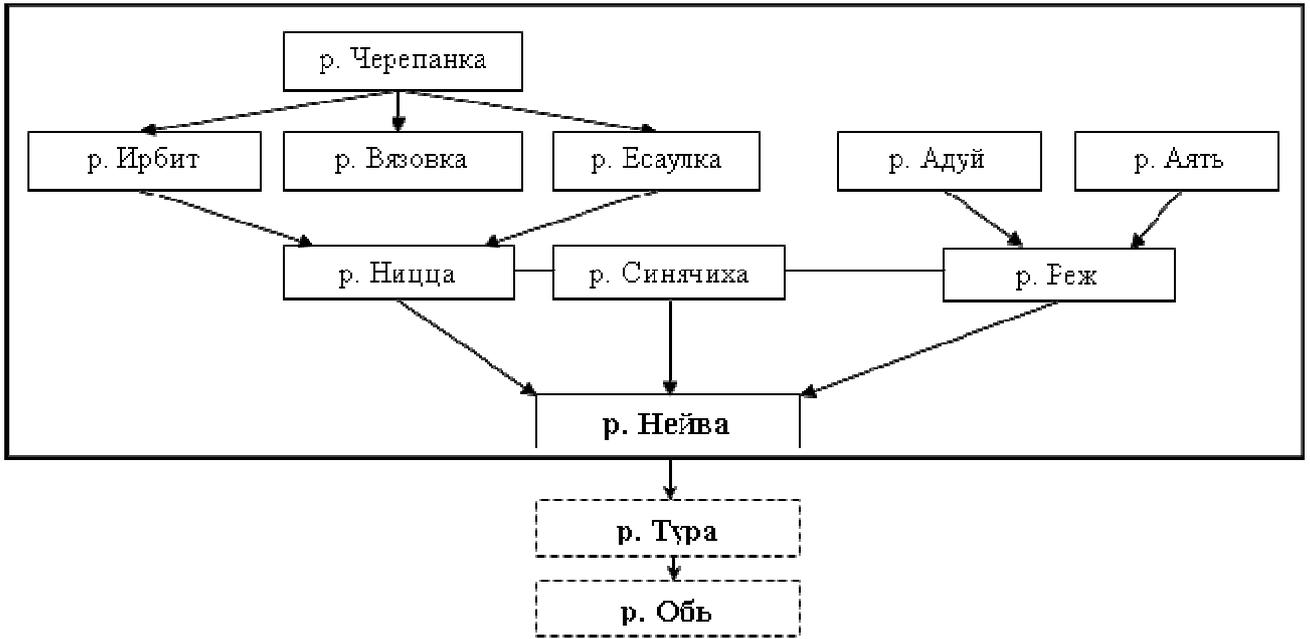
Таблица 2.18 - Вариации минерализации воды р. Тагил под влиянием воды притоков [213]

Направление изменения минерализации воды в р. Тагил вниз по течению от устья притока	Минерализация воды, мг/л			
	р. Тагил у устья притока		в притоках	
	выше по течению	ниже по течению	Сибирка	Шайтанка
Увеличение	340	660,0	1100	
Уменьшение	717	423		48-83

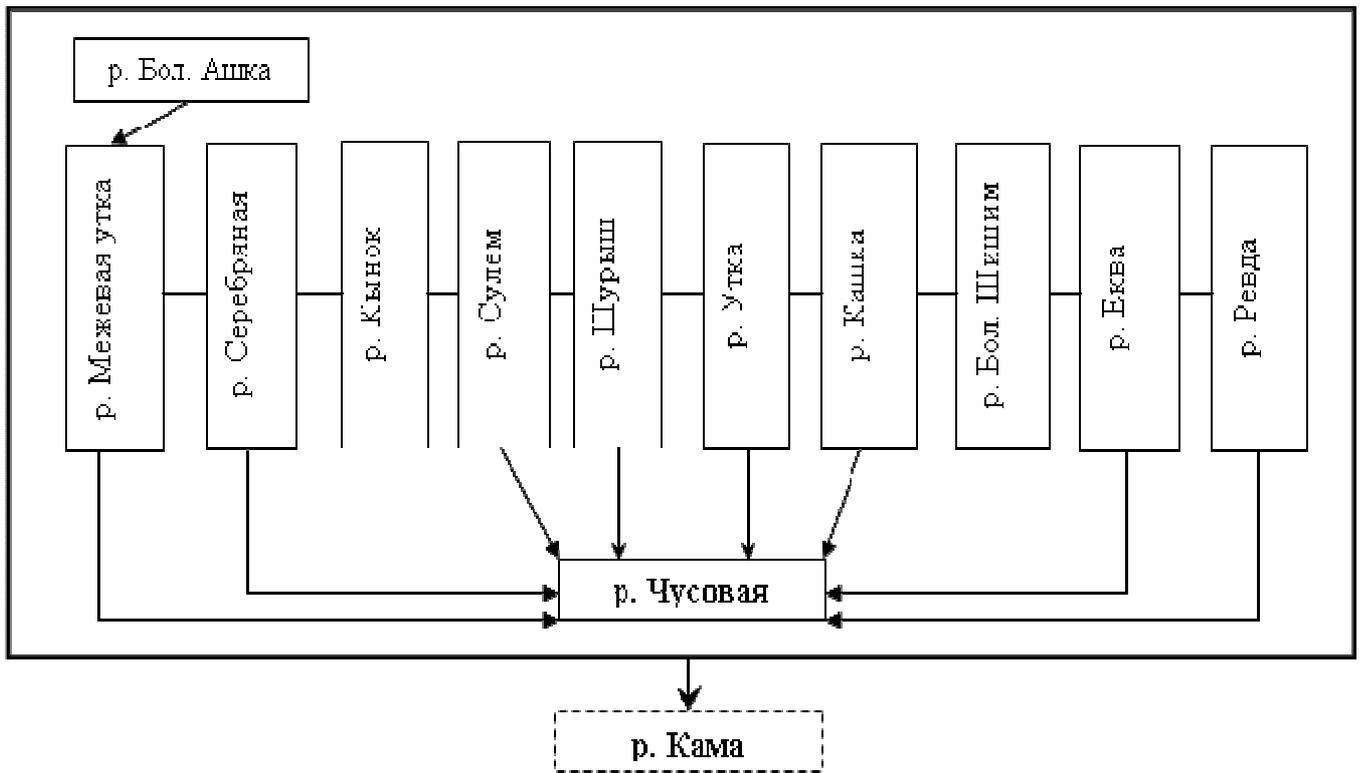
смешение, что особенно актуально для малых водотоков. Учитывая, что все реки Урала используются как приемники сточных вод различного состава и степени очистки (от неочищенных до недостаточно очищенных), их экологическое состояние в настоящее время оценивается как неудовлетворительное, т.е. большая их часть загрязнена и не соответствует требованиям, к ним предъявляемым.

Рассмотренные системообразующие факторы природной подсистемы – геолого-геохимическое строение территории и техногенной подсистемы – поступление загрязняющих элементов от техногенных источников – предприятий ГМК, климат и орографическая, распределяющие концентрации загрязняющих веществ от техногенных источников по поверхности территории по совокупности проявления отражаются в современном состоянии компонентов окружающей среды – элементов структуры природно-техногенной геосистемы III уровня.

**ТЕРРИТОРИЯ КИРОВГРАДСКОГО ПРОМУЗЛА
ОАО «КМК»**



**ТЕРРИТОРИЯ ПЕРВОУРАЛЬСКО-РЕВДИНСКОГО ПРОМУЗЛА
ОАО «СУМЗ»**



ТЕРРИТОРИЯ КИРОВГРАДСКОГО и НИЖНЕТАГИЛЬСКОГО ПРОМУЗЛОВ

ОАО «КМК», ОАО «НТМК»

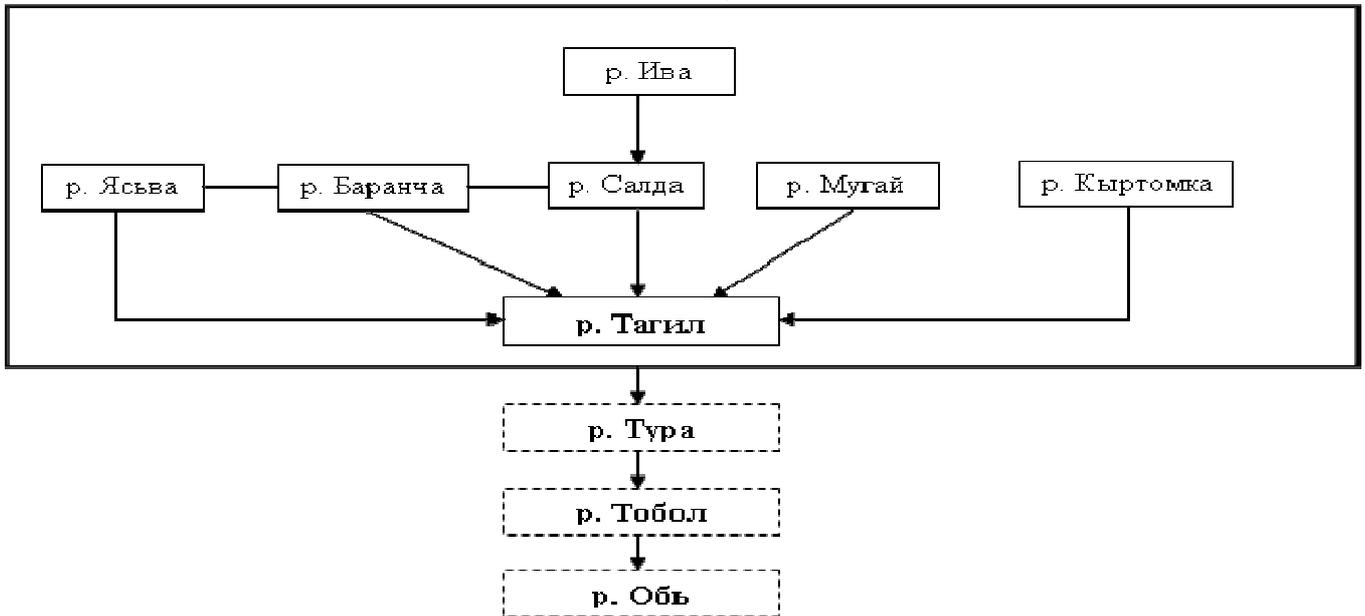


Рисунок 2.37 - Речная система изучаемой территории (сост. автором)

2.3. Современное состояние элементов структуры природно-техногенной геосистемы III уровня

Интенсивное развитие добывающей и перерабатывающей промышленности на Среднем Урале при существующем на сегодняшний день уровне технологий привело к запредельному накоплению тяжелых металлов в окружающей среде, которые имеют высокую миграционную способность и заражают собой окружающую среду. Это относится к состоянию всех элементов ландшафта, включающих снежный покров, почвенный слой, природные воды и живое вещество.

Исследование состояния компонентов окружающей среды нами проводилось на основе экологического мониторинга. Под мониторингом [25, 100, 126, 152, 214, 219, 226, 227, 231, 232, 243, 250, 251, 252, 268, 271] понимается система постоянных наблюдений, оценки, прогноза и управления средой или какой-либо ее частью, проводимых по заранее намеченной программе, в целях обеспечения оптимальных экологических условий для

человека в пределах рассматриваемой природно-техногенной системы. Проведенный нами экологический мониторинг включал полевые, лабораторные работы, камеральную обработку материалов, оценку экологического состояния компонентов окружающей среды (как элементов структуры), установление взаимосвязи между элементами структуры.

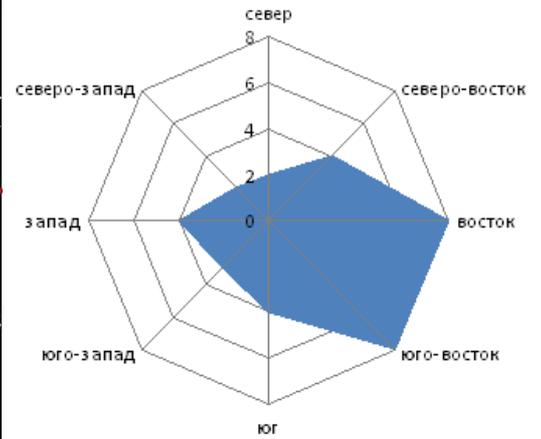
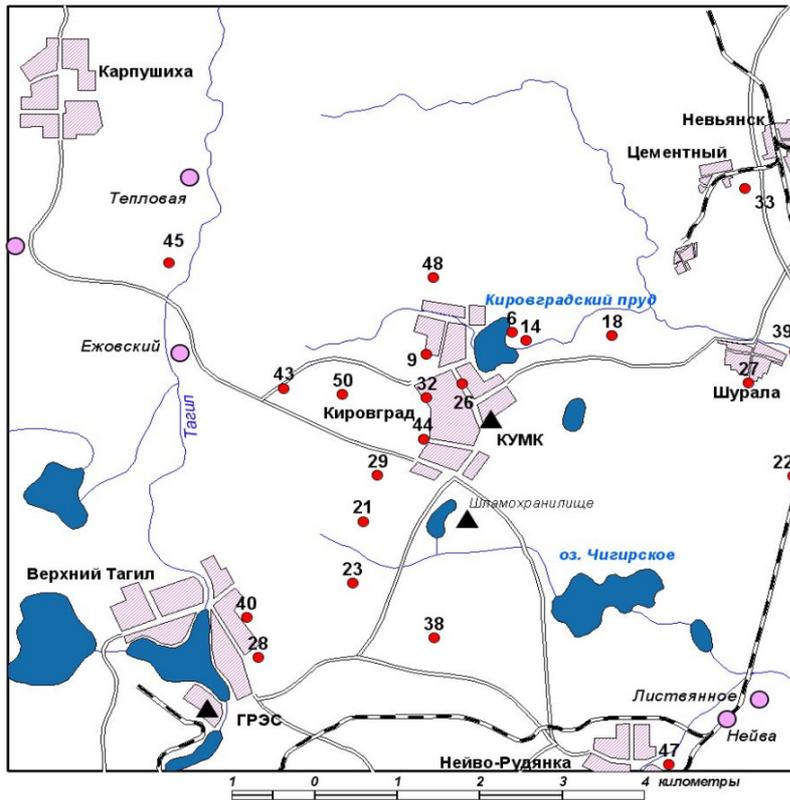
2.3.1. Методы исследований современного состояния элементов структуры природно-техногенной геосистемы III уровня

Полевые исследования

Исследования территории воздействия предприятий ГМК проводились на основе маршрутов по профилям, которые закладывались с учетом господствующего простирания геологических комплексов, основных элементов рельефа и розы ветров. Из числа природных элементарных ландшафтов выделялись: элювиальный, трансэлювиальный, трансэлювиально-аккумулятивный, аккумулятивный, аккумулятивно-элювиальный, трансупераквальный, субаквальный [242]. Учет розы ветров осуществлялся проведением маршрутов по основным румбам.

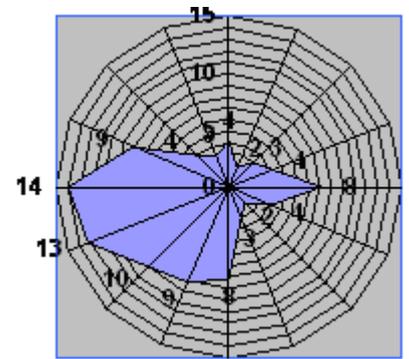
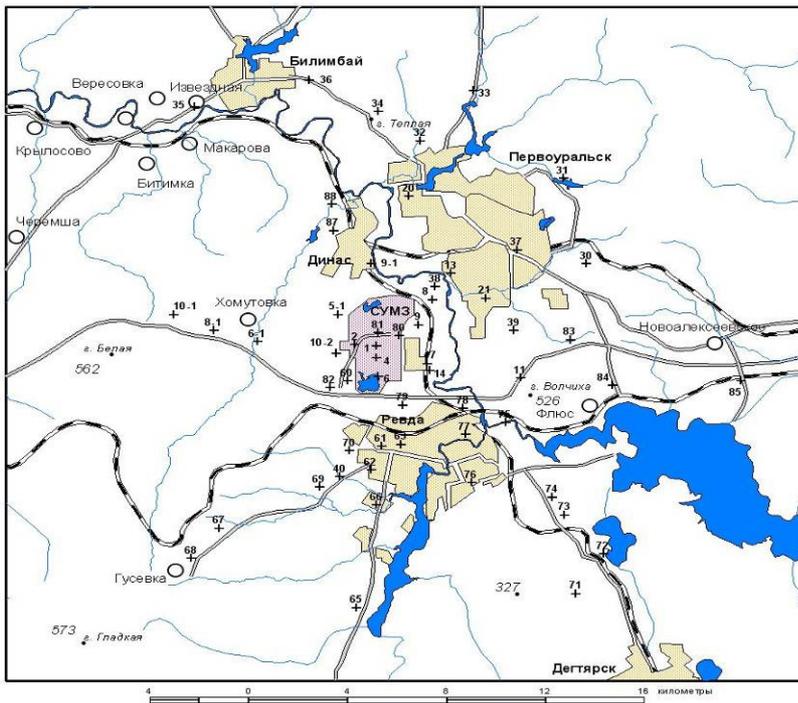
При проведении работ исследовались четыре природных компонента, наиболее информативных для решения поставленных задач: почвенный слой, древесная растительность (береза бородавчатая), насекомые (дрозофила чернотелая) и природные воды. Пункты опробования почв, растений, поверхностных и подземных вод представлены на рис. 2.38, 2.39.

Почвы. Отбирались пробы из первого генетического горизонта после лесной подстилки (это переходный грубогумусовый перегнойный горизонт А0А1, развитый на глубинах 2-8 см) методом «конверта» [40, 43, 51, 66, 138, 139]. Вес единичной пробы составлял 0,2 кг, объединенной - до 1 кг. При опробовании почв руководящим документом являлся ГОСТ 17.4.4.02-84.



Среднегодовая роза ветров

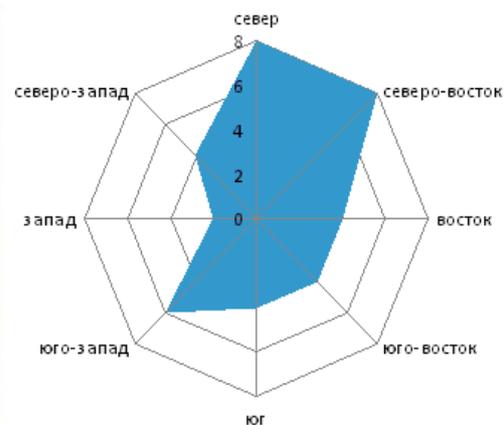
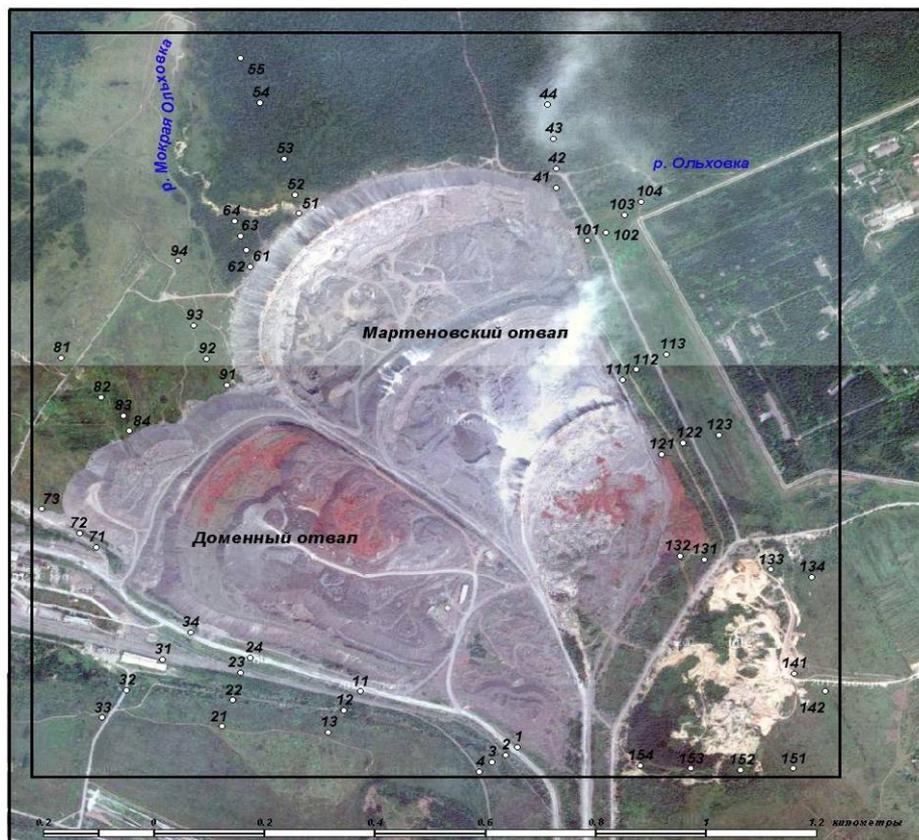
а)



Среднегодовая роза ветров

б)

Рисунок 2.38 - Опробование почв, растений, снежного покрова (а – Первоуральско-Ревдинский промузел), насекомых (б – Кировградский промузел) в районе меднорудной промышленности (сост. автором)



Среднегодовая роза ветров

Рисунок 2.39 - Опробование снежного покрова, почв, поверхностных и подземных вод под воздействием железорудной промышленности (шлаковые отвалы ОАО «НТМК») (сост. автором)

Природные воды опробовались и документировались по правилам и нормам гидрохимических исследований [40, 42, 143, 157, 206]. Пробы отбирались вручную бутылкой.

Для исследования вертикального профиля воды при ее слоистой структуре применялся цилиндр из нержавеющей стали, открытый с обоих концов. В точке отбора проб цилиндр перед поднятием на поверхность закрывался с обоих концов управляющим тросом.

Отобранные пробы готовились к химическому анализу путем фильтрования. Взвешенные вещества, осадки удалялись через фильтровальную бумагу. Фильтрование применялось также для разделения растворимых и

нерастворимых форм, подлежащих определению. Фильтр тщательно промывался перед применением.

Растения (Betula pendula – береза бородавчатая). С березы, как ведущего вида растительности, отбиралась листовенно-веточная проба – толщина веток, включая раздувы на них, не превышала 1 см (рис.2.40). Отбирались только молодые побеги (текущего года) с деревьев, растущих на открытых полянах, с признаками «морф». Вес пробы 250-300 г [186, 187, 219, 222, 231].



Рисунок 2.40 - Опробование растений (сост. автором)

Ветки срезались ножом или садовыми ножницами, промывались и высушивались [186, 187, 219, 222, 231].

В связи с тем, что влажные пробы не подлежат длительному хранению, все они, независимо от отобранного материала, подвергались сушке в помещениях или под навесом. Во избежание загрязнения не допускалась сушка

на земле, а во время ветра (в пыльных местах) и дождя пробы закрывались полиэтиленовой пленкой [186, 187, 219, 222, 231].

Сухие растительные пробы измельчались ножницами до фрагментов длиной 1-5 мм [186, 187, 219, 222, 231] и доставлялись в лабораторию. После дальнейшей подготовки пробы подвергались количественному и спектральному анализу.

Drosophila melanogaster (плодовая мушка). Площадные исследования территории работ проводились на основании проведения маршрутов по профилям, которые закладывались с учетом основных элементов рельефа и миграционной особенности изучаемой тест-системы.

Для привлечения и отлова насекомых использовались ловушки, в которых заливалась среда Альдерстона [254,272]:

глюкоза – 25г

дрожжи – 25г

агар-агар – 2 г

вода – 0,25 л

Вес одной усредненной пробы составил 40 – 60 г.

Подготовка проб к анализу. Пробы подвергались сушке в помещении. Навеску воздушно-сухого материала массой около 10 г помещали в сушильный шкаф, где при $t = 80$ в течение 2 часов доводили до постоянного веса. Навески помещались в беззольные фильтровые пакеты. После этого все пробы доставлялись в лабораторию и подвергались, после дальнейшей подготовки, количественному и спектральному анализу [219].

В ходе многолетних полевых исследований (2003 – 2012 гг.) было отобрано около 5000 проб компонентов окружающей среды на количественные химические анализы (табл. 2.19)

Таблица 2.19 - Количество проб, отобранных в ходе полевых исследований (2003 – 2013 гг.) (сост. автором)

№ п/п	Компонент окружающей среды	Количество проб
1	Почва	1200
2	Природные воды	1200
3	Растения	1200
4	<i>Drosophila melanogaster</i>	2500 особей

Лабораторные работы

Для определения содержания металлов использовались количественная атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно связанной плазмой и атомно-абсорбционный методы (табл. 2.20). При малых количествах микрокомпонентов применялось концентрирование. Лабораторные работы по исследованию компонентов окружающей среды выполнялись в аккредитованной химической лаборатории Института промышленной экологии УрО РАН.

В компонентах окружающей среды, находящихся под воздействием меднорудной промышленности, определялось содержание меди, цинка, свинца, а под воздействием железорудной промышленности – железа, марганца, ванадия, которые составляют наибольшую часть продуктов переработки (сырья).

Методика обработки информации

Обработка полученной в ходе полевых и лабораторных работ информации произведена в виде построения поэлементных карт и графиков

загрязнения снежного покрова, почв, растений, *Drosophila melanogaster* и природных вод с помощью компьютерных программ Surfer крайкинг методом, Exsel, ArcWie.

Результаты наблюдений и экспериментальных исследований, отраженные в количественных показателях, подвергались статистической обработке [55, 213 230], которая включала в себя определение статистических оценок, законов распределения содержания металлов в компонентах окружающей среды и проведение корреляционного анализа для установления взаимосвязи между компонентами [213, 230].

2.3.2. Современное экологическое состояние меднорудной геосистемы III уровня (на примере ОАО «КМК» и ОАО «СУМЗ»)

Результаты проведенных исследований показали, что под влиянием производственной деятельности в меднорудной промышленности Среднего Урала происходит изменение природной среды, которое связано с ее загрязнением. Техногенные воздействия на различные компоненты окружающей среды неравнозначны, что предопределяет необходимость оценки их экологического состояния. Это подтверждается оценкой экологического состояния компонентов окружающей среды (поверхностных вод, снежного покрова, почв, растительности) Первоуральско-Ревдинского промузла (зона воздействия ОАО «СУМЗ») и живых организмов в Кировградском промузле (зона воздействия ОАО «КМК»).

В качестве критериев экологической оценки состояния компонентов окружающей среды использованы установленные нами ранее фоновые концентрации.

Таблица 2.20 - Характеристика методик определения металлов в химической лаборатории (сост. автором)

№ п/п	Контролируемый показатель	Особенности отбора	Тип пробы	Пробоподготовка	Шифр НД на МВИ	Метод определения	Используемые СИ
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Вода природная поверхностная</i>							
1	Железо	Консервация (3 мл концентрированной соляной кислоты (до рН=2), срок хранения – до 2 суток)	Точечная	-	ПНД Ф 14.1:2.50-96; ПНД Ф 14.1:2:4.135-98	С сульфосалициловой кислотой, АЭС	Спектрофотометр
2	Медь	Консервация (3 мл концентрированной соляной кислоты (до рН=2), срок хранения – до 2 суток)	Точечная	-	ПНД Ф 14.1:2.50-96; ПНД Ф 14.1:2:4.135-98	С сульфосалициловой кислотой, АЭС	Спектрофотометр
3	Цинк	Консервация (3 мл концентрированной соляной кислоты (до рН=2), срок хранения – до 2 суток)	Точечная	-	ПНД Ф 14.1:2.50-96; ПНД Ф 14.1:2:4.135-98	С сульфосалициловой кислотой, АЭС	Спектрофотометр
4	Свинец	Консервация (3 мл концентрированной соляной кислоты (до рН=2), срок хранения – до 2 суток)	Точечная	-	ПНД Ф 14.1:2.50-96; ПНД Ф 14.1:2:4.135-98	С сульфосалициловой кислотой, АЭС	Спектрофотометр
5	Марганец	Консервация (3 мл концентрированной соляной кислоты (до рН=2), срок хранения – до 2 суток)	Точечная	-	ПНД Ф 14.1:2.50-96; ПНД Ф 14.1:2:4.135-98	С сульфосалициловой кислотой, АЭС	Спектрофотометр
6	Ванадий	Консервация (3 мл концентрированной соляной кислоты (до рН=2), срок хранения – до 2 суток)	Точечная	-	ПНД Ф 14.1:2.50-96; ПНД Ф 14.1:2:4.135-98	С сульфосалициловой кислотой, АЭС	Спектрофотометр

№ п/п	Контролируемый показатель	Особенности отбора	Тип пробы	Пробоподготовка	Шифр НД на МВИ	Метод определения	Используемые СИ
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Вода подземная</i>							
1	Железо	Консервация (3 мл концентрированной соляной кислоты (до рН=2) , срок хранения – до 2 суток)	Точечная	-	ПНД Ф 14.1:2.50-96; ПНД Ф 14.1:2:4.135-98	С сульфосалициловой кислотой, АЭС	Спектрофотометр
2	Медь	Консервация (3 мл концентрированной соляной кислоты (до рН=2), срок хранения – до 2 суток)	Точечная	-	ПНД Ф 14.1:2.50-96; ПНД Ф 14.1:2:4.135-98	С сульфосалициловой кислотой, АЭС	Спектрофотометр
3	Цинк	Консервация (3 мл концентрированной соляной кислоты (до рН=2), срок хранения – до 2 суток)	Точечная	-	ПНД Ф 14.1:2.50-96; ПНД Ф 14.1:2:4.135-98	С сульфосалициловой кислотой, АЭС	Спектрофотометр
4	Свинец	Консервация (3 мл концентрированной соляной кислоты (до рН=2), срок хранения – до 2 суток)	Точечная	-	ПНД Ф 14.1:2.50-96; ПНД Ф 14.1:2:4.135-98	С сульфосалициловой кислотой, АЭС	Спектрофотометр
5	Марганец	Консервация (3 мл концентрированной соляной кислоты (до рН=2), срок хранения – до 2 суток)	Точечная	-	ПНД Ф 14.1:2.50-96; ПНД Ф 14.1:2:4.135-98	С сульфосалициловой кислотой, АЭС	Спектрофотометр
6	Ванадий	Консервация (3 мл концентрированной соляной кислоты (до рН=2), срок хранения – до 2 суток)	Точечная	-	ПНД Ф 14.1:2.50-96; ПНД Ф 14.1:2:4.135-98	С сульфосалициловой кислотой, АЭС	Спектрофотометр

№ п/п	Контролируемый показатель	Особенности отбора	Тип пробы	Пробоподготовка	Шифр НД на МВИ	Метод определения	Используемые СИ
1	2	3	4	5	6	7	8
Почвы							
1	Ванадий	Методом конверта, поверхностная (глубина до 1м)	Точечная	пробу рассыпают на бумаге или кальке и разминают пестиком крупные комки; выбирают включения новообразования; растирают в ступке пестиком и просеивают через сито с Φ отверстий 1 мм	ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98; ПНД Ф 16.1:2.3:3.50-08	Спектрометрия с ИСП, потенциометрический	Атомно-эмиссионный спектрометр с ИСП, рН-метр/иономер
2	Железо	Методом конверта, поверхностная (глубина до 1м)	Точечная		ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98; ПНД Ф 16.1:2.3:3.50-08	Спектрометрия с ИСП	Атомно-эмиссионный спектрометр с ИСП
3	Марганец	Методом конверта, поверхностная (глубина до 1м)	Точечная		ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98; ПНД Ф 16.1:2.3:3.50-08	Спектрометрия с ИСП	Атомно-эмиссионный спектрометр с ИСП
4	Медь	Методом конверта, поверхностная (глубина до 1м); неметаллический или титановый пробоотборник	Точечная		ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98; ПНД Ф 16.1:2.3:3.50-08	Спектрометрия с ИСП	Атомно-эмиссионный спектрометр с ИСП
5	Свинец	Методом конверта, поверхностная (глубина до 1м); неметаллический или титановый пробоотборник	Точечная		ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98; ПНД Ф 16.1:2.3:3.50-08	Спектрометрия с ИСП	Атомно-эмиссионный спектрометр с ИСП
6	Цинк	Методом конверта, поверхностная (глубина до 1м); неметаллический или титановый пробоотборник	Точечная		ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98; ПНД Ф 16.1:2.3:3.50-08	Спектрометрия с ИСП	Атомно-эмиссионный спектрометр с ИСП

Поверхностные воды

Основными водными объектами на рассматриваемой территории являются река Чусовая с Волчихинским водохранилищем и река Ревда с Ревдинским прудом.

Практически со всех сторон территория завода окружена водотоками. Так, с запада и севера граница завода охватывается рекой Чусовая, вдоль южной границы протекает р. Ельчевка, вдоль северо-западной части проходит р. Караульный. Основной объем загрязняющих веществ с территории предприятия поступает в реку Чусовую через ручей Караульный (рис. 2.41).

Формирование химического состава воды в реке Чусовой происходит под влиянием многочисленных природных и антропогенных факторов. Степень влияния, оказываемого предприятиями промышленного комплекса на р. Чусовую, можно оценить путем сравнения химического состава реки до поступления в нее промышленных сточных вод и после. Анализ рисунков 2.42–2.43 показывает, что воздействие сточных вод на содержание загрязняющих веществ в р. Чусовой проявляется в увеличении содержания их после выпуска и зависит от источника загрязнения – сбросов сточных вод ОАО «СУМЗ». Наиболее сильно поверхностные воды загрязнены медью, цинком, где концентрация их может превышать фон в несколько раз.

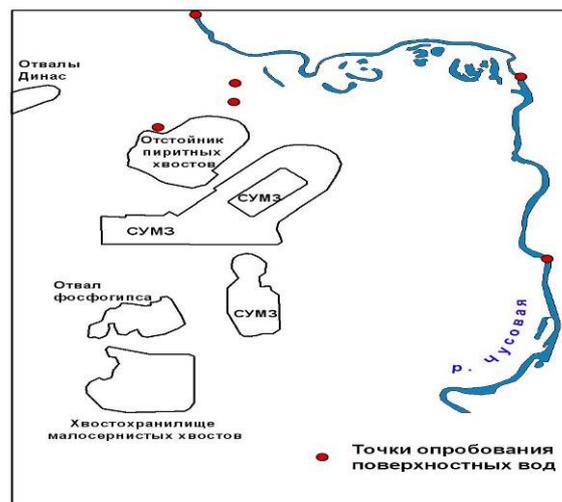


Рисунок 2.41 - Отробование поверхностных вод (сост. автором)

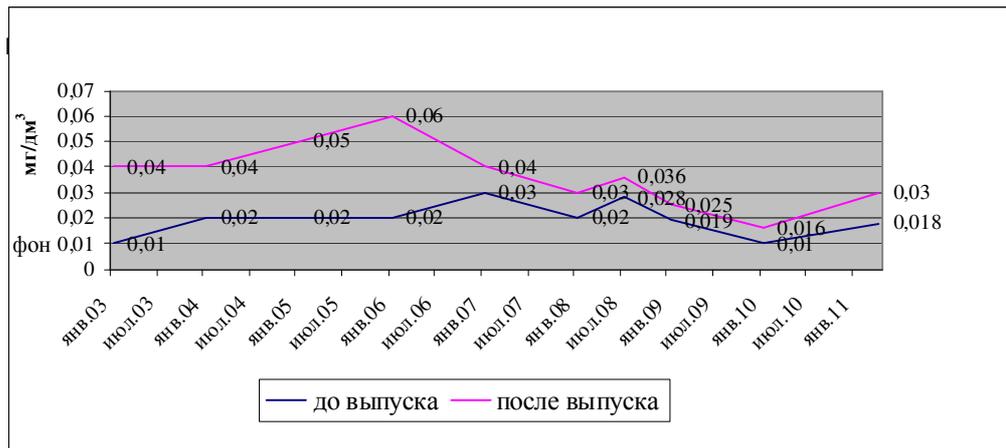


Рисунок 2.42 - Изменение концентрации меди до выпуска и после выпуска сточных вод ОАО «СУМЗ» (сост. автором)

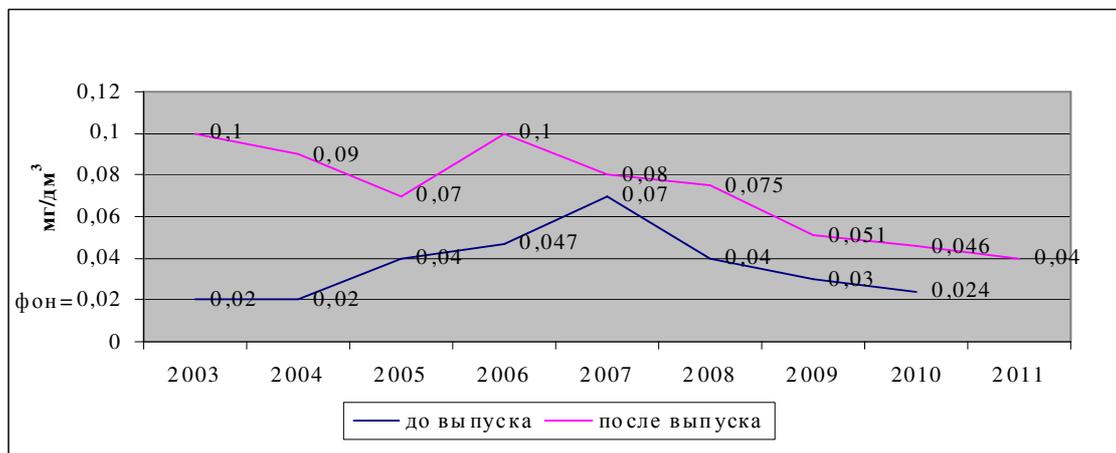


Рисунок 2.43 - Изменение концентрации цинка до выпуска и после выпуска сточных вод ОАО «СУМЗ» (сост. автором)

По меди концентрация ее в воде реки до выпуска превышает фон максимум в два раза, после же выпуска сточных вод превышения над фоном составляют от 4 до 6 раз. По цинку концентрация его в воде до выпуска сточных вод сопоставима с фоном, а после выпуска превышения составляют от 2 до 6 раз.

Почвы

Площадное загрязнение почв территории Первоуральско-Ревдинского промузла связано с основными загрязняющими элементами: медью и цинком. Характеристика распространения загрязняющих элементов в почве приведена на рисунках 2.44 – 2.45.

Медь. Этот элемент заслуживает в районе самого пристального внимания, так как почти повсеместно является основным загрязнителем окружающей среды. В то же время роль меди в процессах жизнедеятельности растений, животных и человека весьма существенна и многогранна, в зависимости от ее концентраций может быть или благоприятной или губительной.

В центральной части исследуемого района содержание меди в почве превышает фон в 2 – 4 раза. При этом основные очаги загрязнения расположены на территории промышленной площадки (рис. 2. 44). Этот ареал загрязнения занимает около 3/4 исследуемой площади. На остальной же площади Первоуральско-Ревдинского промузла концентрация меди в почве не превышает фон.

Цинк. Содержание цинка в почве колеблется от фона до 7 фон (рис. 2.45). Участок с таким содержанием занимает всю центральную часть исследуемого района. На этом фоне выделяется ареал, где концентрация цинка превышает 7 фон. Он занимает небольшую площадь и приурочен к территории промплощадки ОАО «СУМЗ».

Таким образом, общей закономерностью распространения меди и цинка в почве является более или менее четкое уменьшение их содержаний по мере удаления от зоны распространения пылевых выбросов медеплавильного завода.

Растения

Растения являются депонирующей средой для подвижных форм металлов, поступающих с почвенными растворами, и загрязнителей,

приносимых атмосферными потоками. Они обладает способностью избирательно их концентрировать [97]. С этих позиций и перейдем к оценке загрязненности биосубстратов растений (листьев и веток березы).

Проведенные исследования территории Первоуральско-Ревдинского промузла по загрязнению растений металлами дают достаточно четкое представление о его интенсивности и пространственной приуроченности (рис. 2.46– 2.47).

Медь. На рис. 2.46 представлена схема содержания меди в растениях. Около 2/3 изучаемой площади занимает контур, в пределах которого содержание меди изменяется от фона до 2фон. Участок максимального загрязнения расположен в центральной части, на промплощадке ОАО «СУМЗ», где содержание меди колеблется от 2 до 4 фон.

Цинк. Содержание цинка в растениях превышает 5 фон (рис. 2.47). Участок с таким содержанием находится также в центральной части исследуемого района, на территории промплощадки ОАО «СУМЗ». Этот ареал занимает небольшую часть исследуемой площади. Остальную ее часть занимают ареалы с концентрацией цинка от фона до 3фон.

Таким образом, для растений характерно более или менее четкое уменьшение концентраций таких элементов, как медь и цинк, по мере удаления от промплощадки Среднеуральского медеплавильного комбината, а максимальное их содержание приурочено к промплощадке этого предприятия.

Drosophila melanogaster (плодовая мушка)

Медь. На рис. 2.48 представлена схема содержания меди в теле насекомых. Около 2/3 изучаемой площади занимает контур, в пределах которого содержание меди составляет более 120 фон. Он незамкнутый и в некоторых местах выходит за рамки района исследований. Участки максимального загрязнения, где содержание меди колеблется от 720 до 840 фон, расположены на востоке, северо-востоке и юго-востоке от источника загрязнения – Кировградского медеплавильного комбината в зоне выпадения пыли.

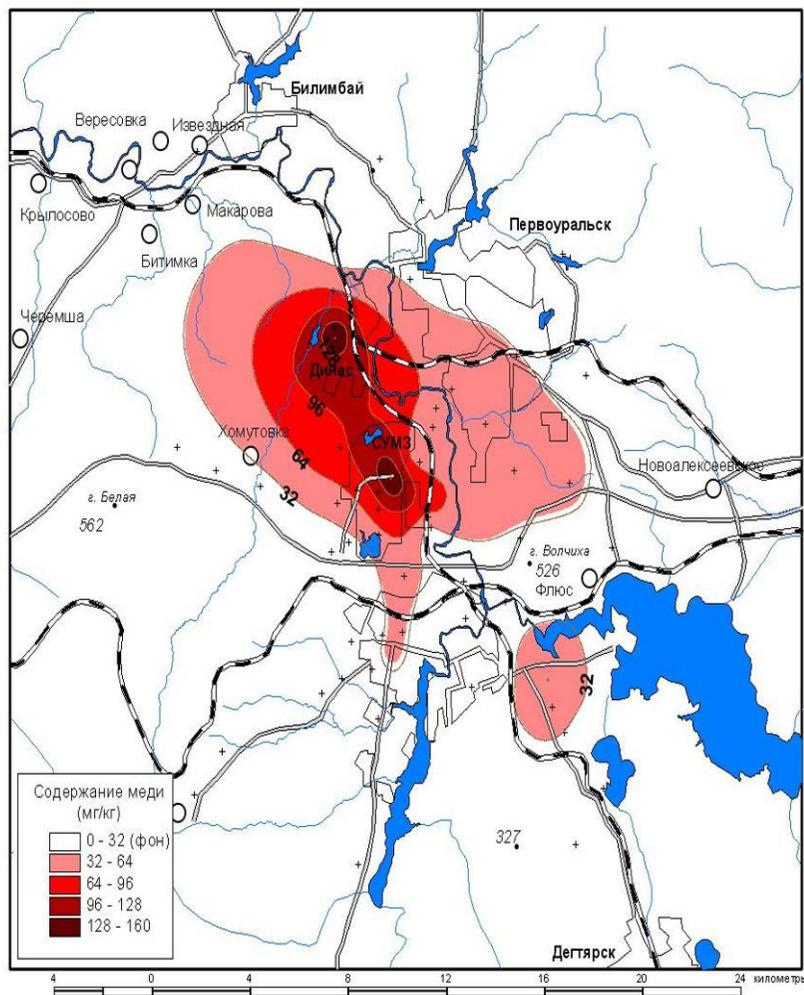


Рисунок 2.44 - Распределение меди в почве (сост. автором)

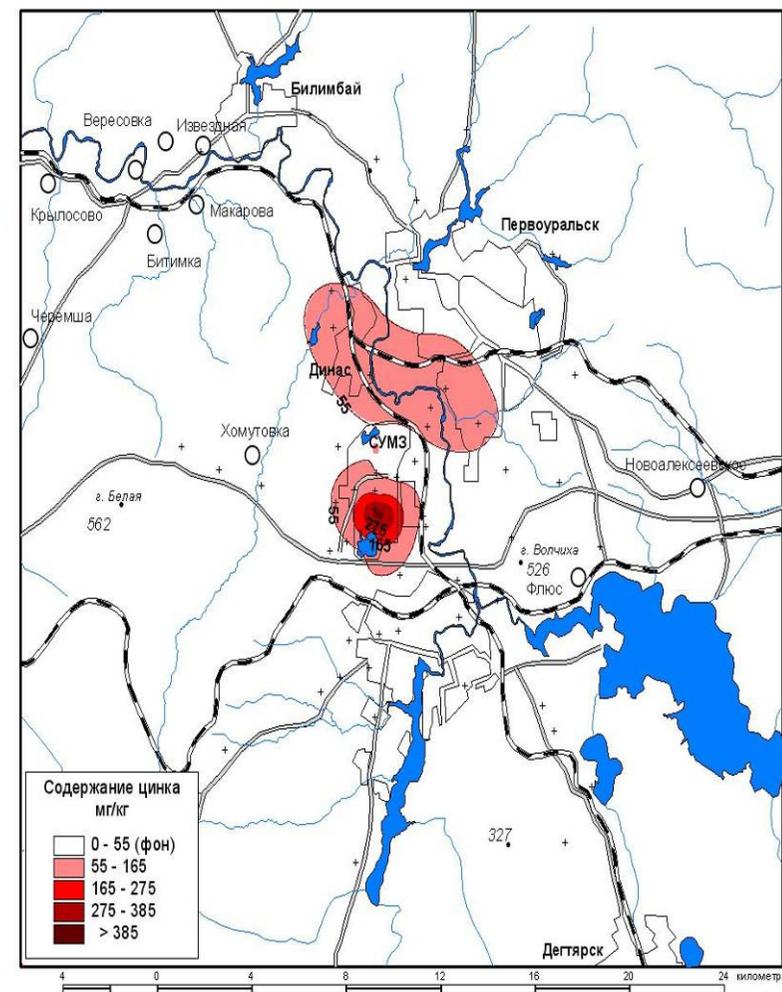


Рисунок 2.45 - Распределение цинка в почве (сост. автором)

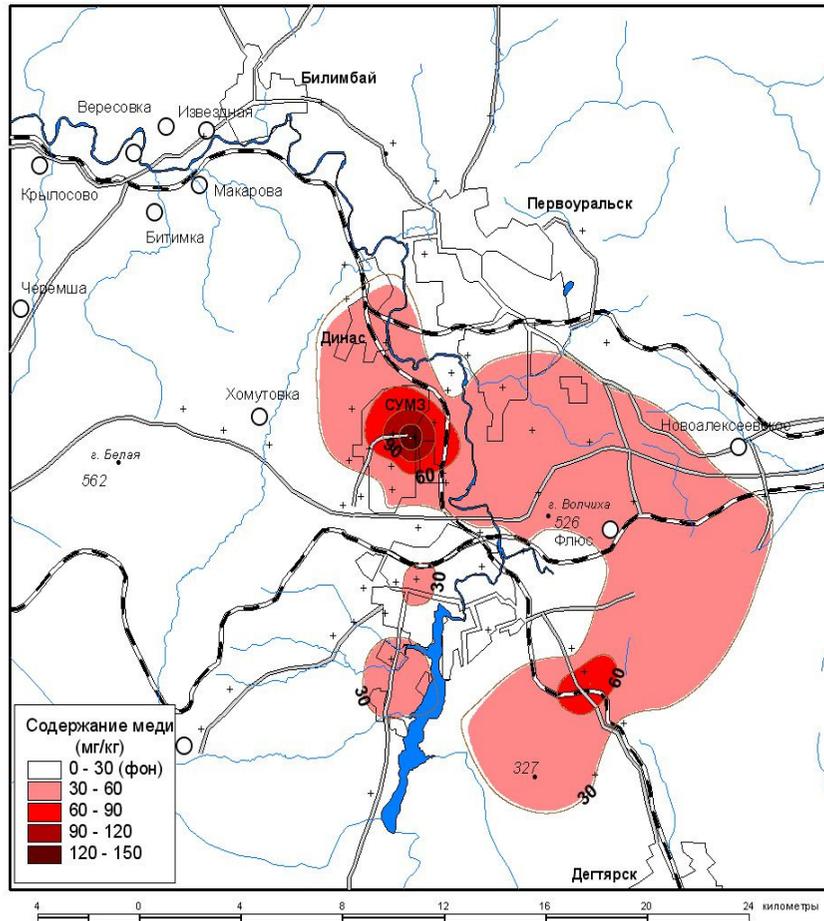


Рисунок 2.46 - Распределение меди в растениях (сост. автором)

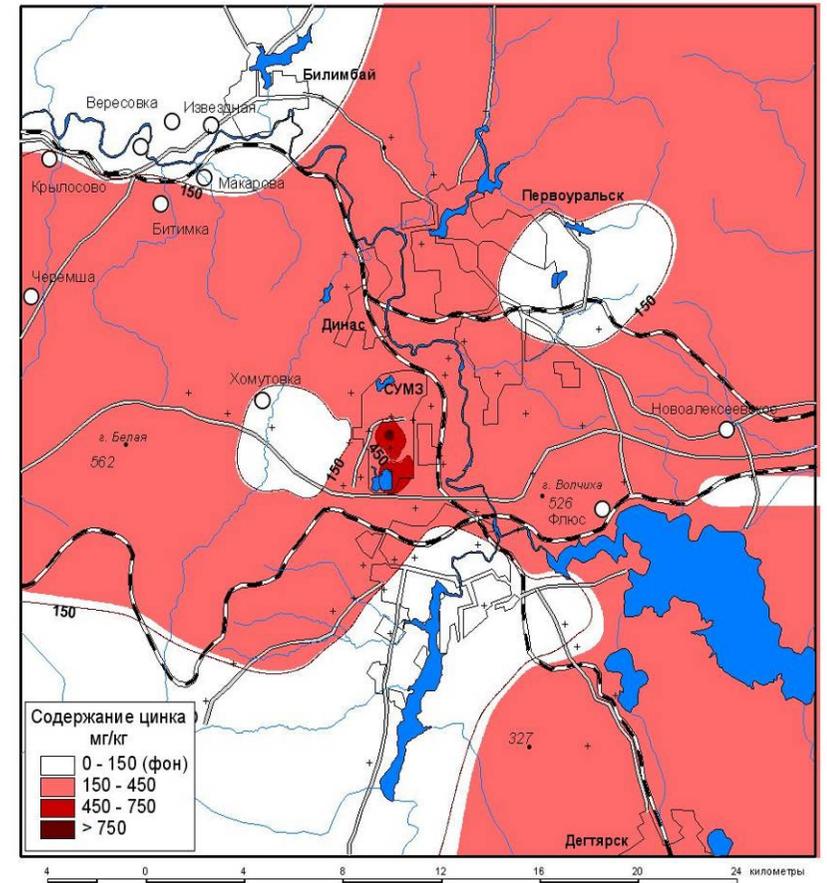


Рисунок 2.47 - Распределение цинка в растениях (сост. автором)

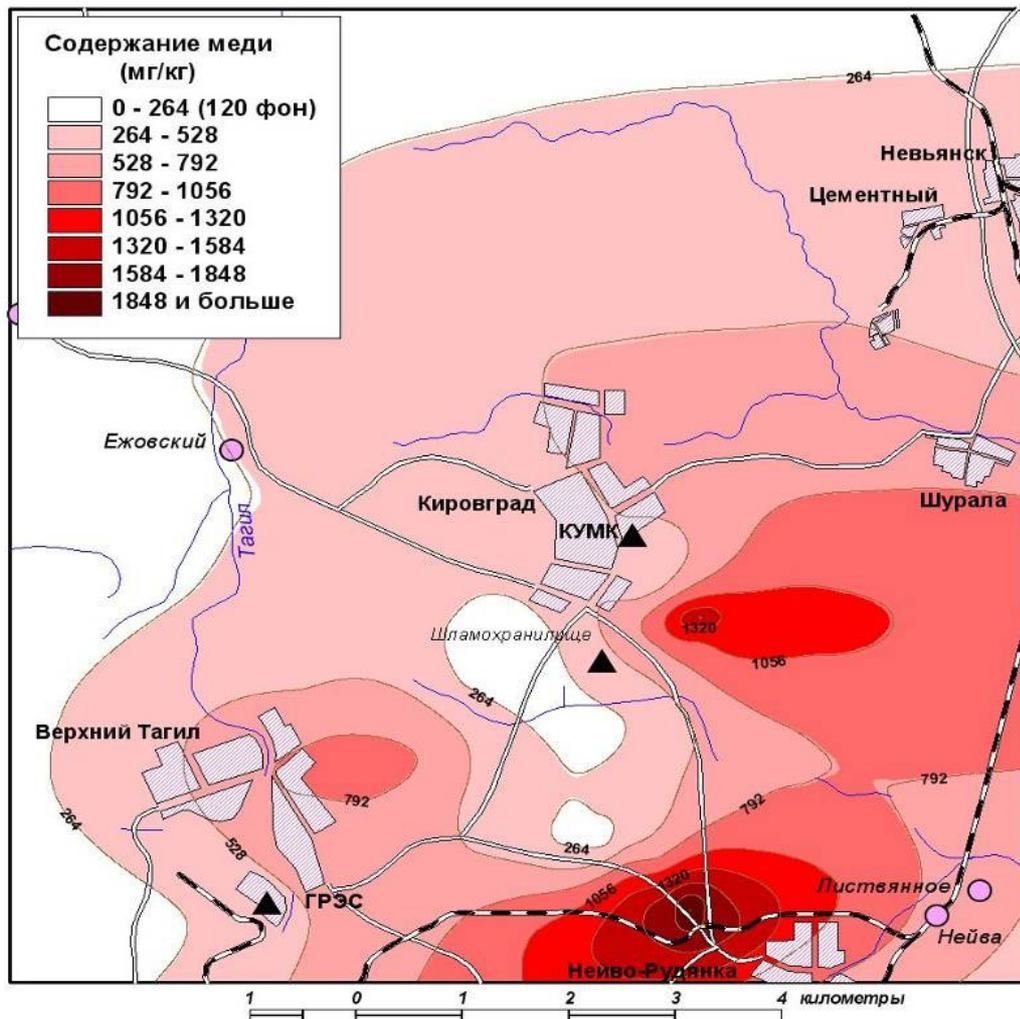


Рисунок 2.48 - Распределение меди в насекомых Кировградского промузла (сост. автором)

Цинк. Концентрации цинка в насекомых достаточно высоки и составляют от 7 до более 40 фон (рис. 2.49). На схеме отмечается несколько ареалов, расположенных в центральной и восточной частях района исследований. Первый, возможно, связан с деятельностью В. Тагильской ГРЭС, сжигание топлива на которой приводит к значительным выбросам цинка и его поступлениям в окружающую среду. Концентрации цинка в этом ареале достигают 3332 мг/кг, что соответствует более 40 фон. Ареалы, расположенные на востоке, приурочены к рассеянию выбросов Кировградского медеплавильного комбината юго-западными ветрами.

Концентрации в них достигают 1000-1500 мг/кг. Площади ареалов загрязнения достигают половины исследуемого района.

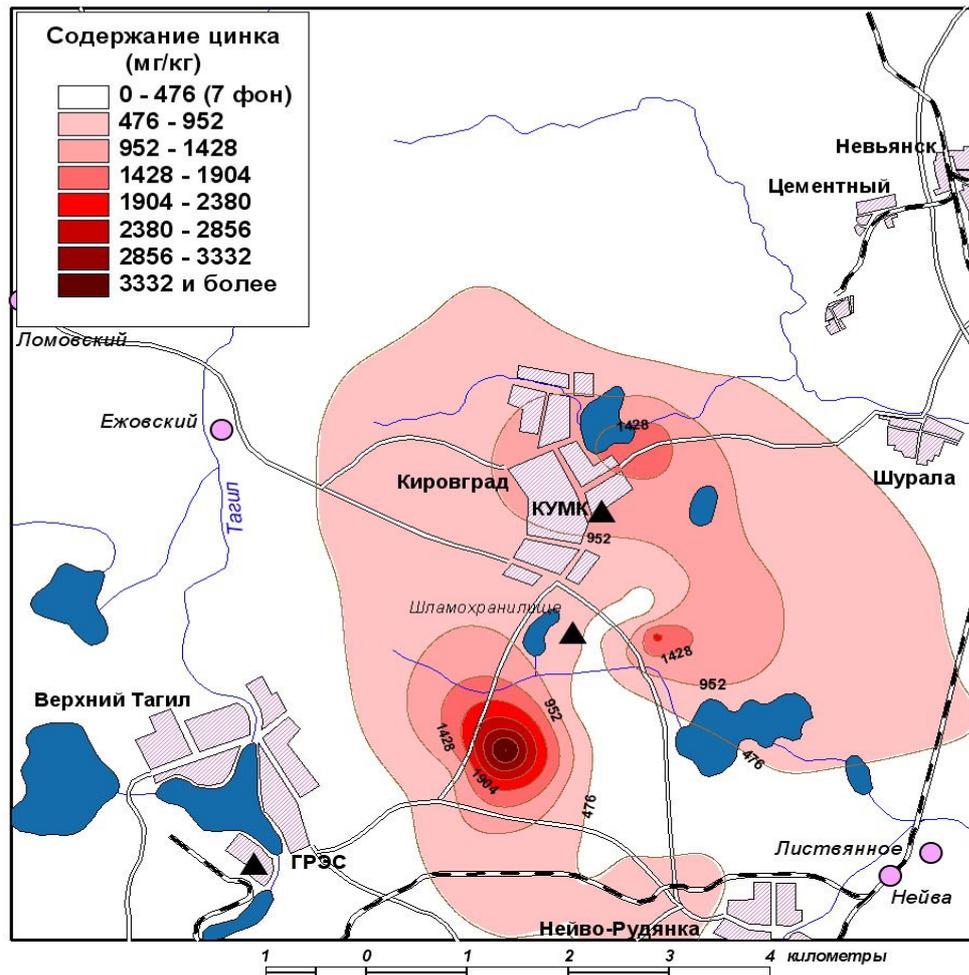


Рисунок 2.49 - Распределение цинка в насекомых Кировградского промузла (сост. автором)

Свинец. На рис. 2.50 представлена схема содержания свинца в теле насекомых. Весьма четко выделяется район восточных окрестностей г. Кировграда как огромный ареал техногенного загрязнения. Около 2/3 изучаемой площади занимает контур, в пределах которого содержание свинца составляет 0,9-45 мг/кг. Он незамкнутый и в некоторых местах выходит за рамки района исследований. На этом фоне наблюдаются участки максимального загрязнения. Такие участки расположены на востоке, северо-востоке и юго-востоке от Кировградского медеплавильного комбината. В пределах участка с максимальным загрязнением содержание свинца

колеблется от 20 до 45 мг/кг, что составляет от 40 до 90 фон. Названные участки расположены в зоне выпадения пыли от главного загрязнителя (Кировградского медеплавильного комбината).

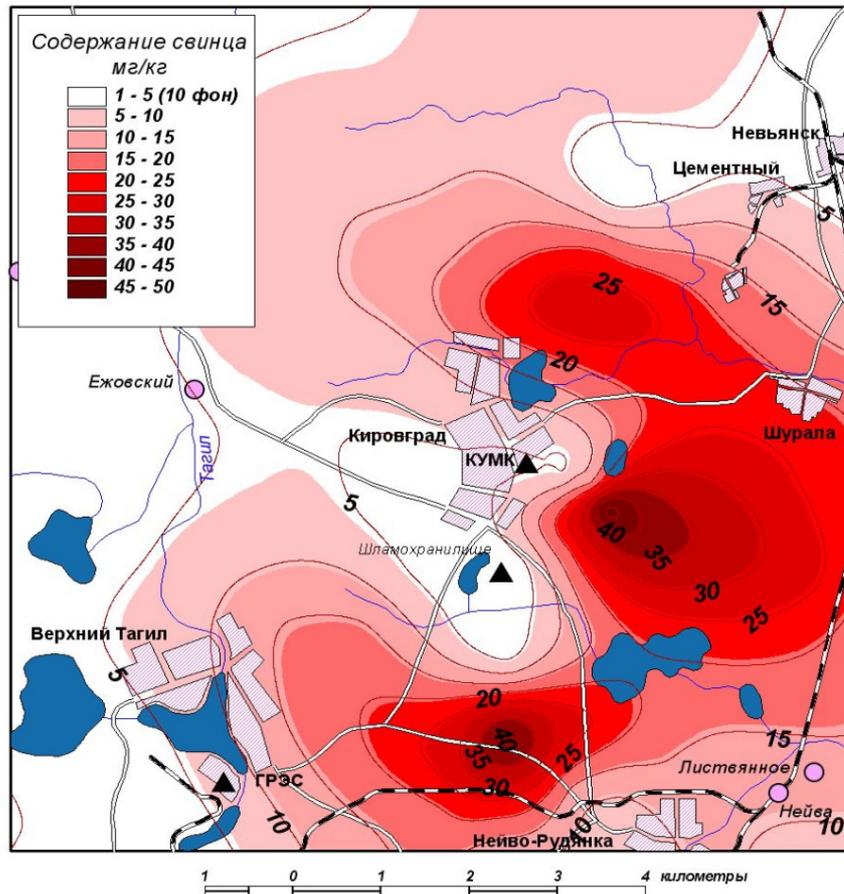


Рисунок 2.50 - Распределение свинца в насекомых Кировградского промузла (сост. автором)

Результаты полученных исследований показали, что аномалии распространения меди, цинка и свинца, т.е. элементов, в значительных количествах содержащихся в продуктах переработки (в сырье), во всех средах имеют пространственную приуроченность к промышленным площадкам заводов – ОАО «СУМЗ», ОАО «КМК». А наличие их в *Drosophila melanogaster* говорит о миграции элементов в живые организмы по трофической цепи воздух – почвы – растительность. Наиболее сильно загрязнены живые организмы, где концентрация загрязняющих элементов

достигает 840фон, затем поверхностные воды с максимальной концентрацией бфон, далее почвы и растительность.

2.3.3. Современное экологическое состояние железорудной геосистемы III уровня (на примере шлаковых отвалов ОАО «НТМК»)

Концентрации тяжелых металлов в отходах промышленного производства, в том числе шлаковых отвалах могут превышать кларковые и фоновые концентрации в сотни раз. Взаимодействуя с воздухом и водой, металлы выносятся из отвалов и оказывают интенсивное негативное воздействие на природную подсистему, включая и здоровье человека [231, 250].

Для оценки этого влияния проведено исследование районов складирования отходов железорудной промышленности – шлаковых отвалов ОАО «НТМК», расположенных в г. Н.Тагил в районе р. Сухая Ольховка.

Почвы

Загрязнение почв происходит, главным образом, пылью поступающей от шлаковых отвалов в первую очередь в атмосферу, и переносимую ветром на разные расстояния (в зависимости от его скорости и направления). Затем пыль осаждается на почву, образуя устойчивые ареалы загрязнения. Основную часть пыли составляют тяжелые металлы [231, 250].

Исследование загрязнения почв под влиянием шлаковых отвалов проводилось по гумусовому горизонту (0-20 см), так как здесь накапливается наибольшее количество тяжелых металлов, привносимое с пылью.

Анализ загрязнения почв в зоне влияния отвалов проводился по марганцу и ванадию (рис. 2.51 – 2.52).

Марганец. Концентрации марганца практически по всей территории не превышают фон. В северо-восточной части территории, примыкающей к отвалу, имеется небольшой ареал загрязнения. Данный ареал приурочен к месту выгрузки мартеновских шлаков и хорошо согласуется с преобладающим юго-западным направлением ветра.

Ванадий. Максимальное превышение этого элемента в почве над

фоном составляет 10 раз. Изучаемая территория по концентрации ванадия в почве колеблется от слабо до сильно загрязненной, и только в юго-восточной части имеются небольшие ареалы, где почва не загрязнена.

Таким образом, загрязнение почв тяжелыми металлами от шлаковых отвалов зависит от интенсивности пыления и метеорологического режима территории.

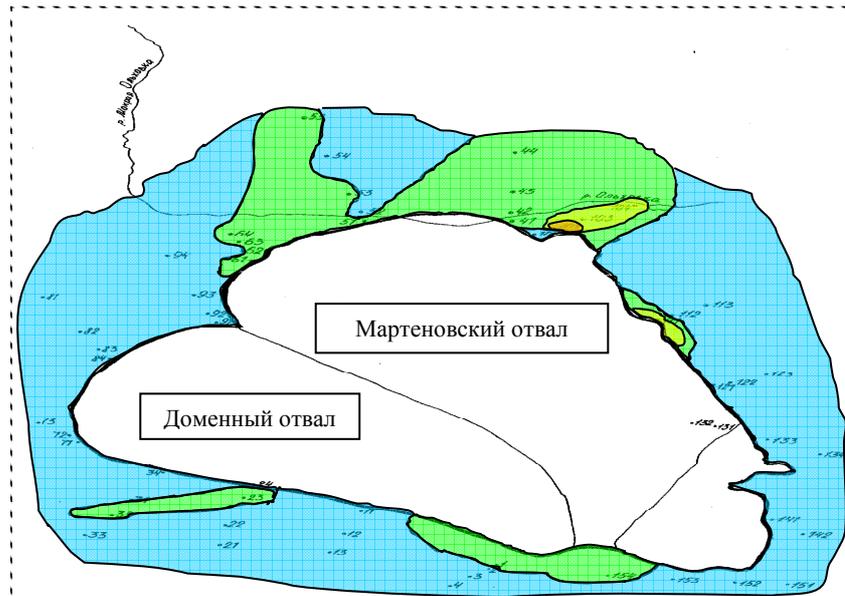
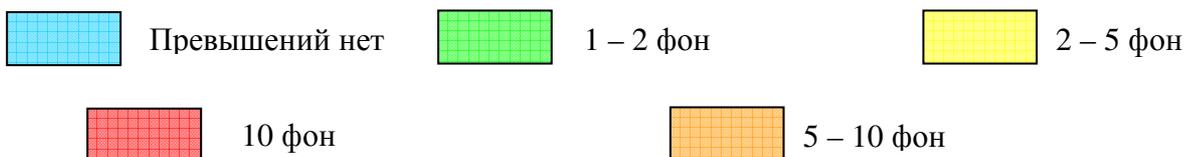


Рисунок 2.51 - Концентрации марганца в почве в районе расположения шлаковых отвалов ОАО «НТМК» (сост. автором)

Превышение над фоном:



Поверхностные и подземные воды

Шлак представляет собой смесь оксидов, в том числе окислов тяжелых металлов. При взаимодействии шлака с водой происходит процесс выщелачивания: растворение окислов, переход металлов в ионную форму и интенсивный их вынос с водным потоком, без нарушения структуры шлака [231, 250].

Поверхностные воды. В северной части территории, примыкающей к

отвалу, с востока на запад течет р. Ольховка, являющаяся временным водотоком VII порядка (Сухая Ольховка – Мокрая Ольховка – Салда – Тагил – Тура – Тобол – Обь). Расход реки изменяется в широких пределах от нуля в зимний меженный период (декабрь, январь, февраль, март) до 50-100 л/сек в весеннее половодье. Питание реки происходит в результате стока дождевых и талых снеговых вод. Русло реки на протяжении 200-300 м завалено отвалом мартезовских шлаков. Загрязнение р. Сухая Ольховка осуществляется при выщелачивании шлаков [213, 250].

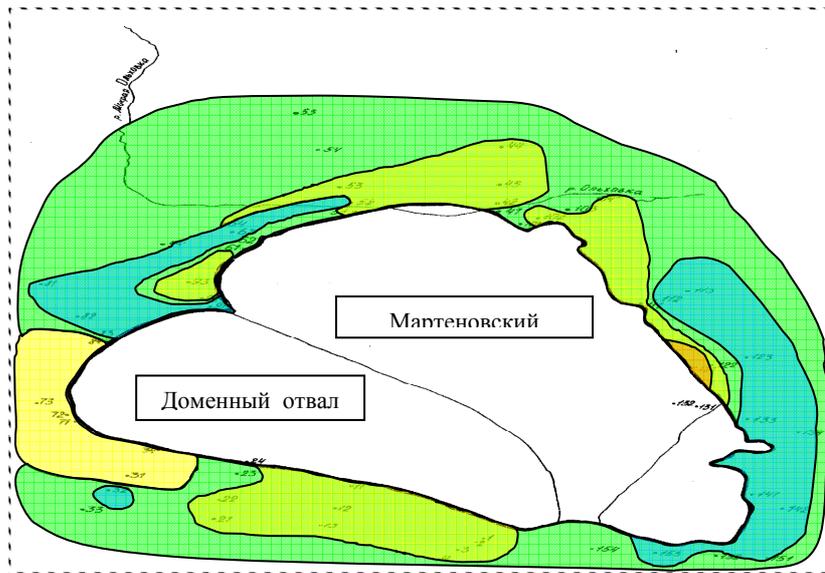
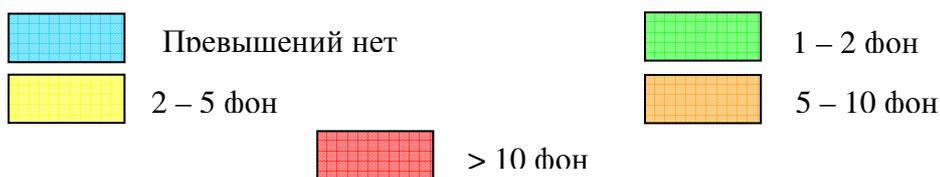


Рисунок 2.52 - Концентрации ванадия в почве в районе расположения шлаковых отвалов ОАО «НТМК» (сост. автором)

Превышение над фоном:



Результаты оценки представлены на рис. 2.53.

Марганец. Содержание марганца в воде р. Сухая Ольховка определялось в двух створах: до и после отвала. Установлено, что содержание марганца изменяется от 0.052 до 0.34 мг/дм³ и от 0.023 до 0.61 мг/дм³ соответственно. Наблюдается синхронное его изменение до и после отвала с коэффициентом корреляции 0,8.



Рисунок 2.53 - Изменение содержания марганца в р. Сухая Ольховка
(сост. автором)

Ванадий. Концентрации ванадия в реке до отвала составляют от ,003 до 0,7 мг/л., а после отвала – от 0,02 до 1,5 мг/л. Значение коэффициента корреляции между содержанием иона в воде реки до и после отвала составляет 0,9.

Таким образом, отвалы шлаков способствуют загрязнению воды р. Сухая Ольховка тяжелыми металлами, в результате процесса выщелачивания шлаков, при движении воды реки под отвалами.

Подземные воды. Основным водоносным горизонтом под шлаковыми отвалами является зона региональной трещиноватости эффузивных пирокластических пород: базальтовых, андезитобазальтовых, трахиандезито-базальтовых, диабазовых порфиритов и их туфов. Эти воды находятся на глубине 5-20 м. Движение подземных вод зоны осуществляется в северном направлении (рис. 2.54). Базисом дренажа является р. Ольховка. Режим фильтрации безнапорный. Источником пополнения подземных вод являются атмосферные осадки. Мощность водоносного горизонта зоны региональной трещиноватости составляет 30-50 м [213, 250].

Загрязнение подземных вод от отвала происходит в результате выщелачивания загрязняющих компонентов атмосферными водами и инфильтрации их через площадь отвала до уровня грунтовых вод. Интенсивность такого загрязнения зависит от способности элементов к выщелачиванию, фильтрационного расхода атмосферных вод и защитных

свойств зоны аэрации [213, 250].

Для исследования загрязнения подземных вод была создана режимная сеть скважин, включающая пять наблюдательных скважин: Ш.1, Ш.2, Ш.3, Ш.4, Ш.5 (см. рис. 2.38). Скважины пробурены колонковым способом, глубина составляет 35-40, диаметр - 160 мм. Для изоляции попадания загрязнения в подземные воды все скважины обсажены глухими трубами и оборудованы оголовками. Опробование подземных вод из скважин производилось ежеквартально с 2003 по 2014 гг.

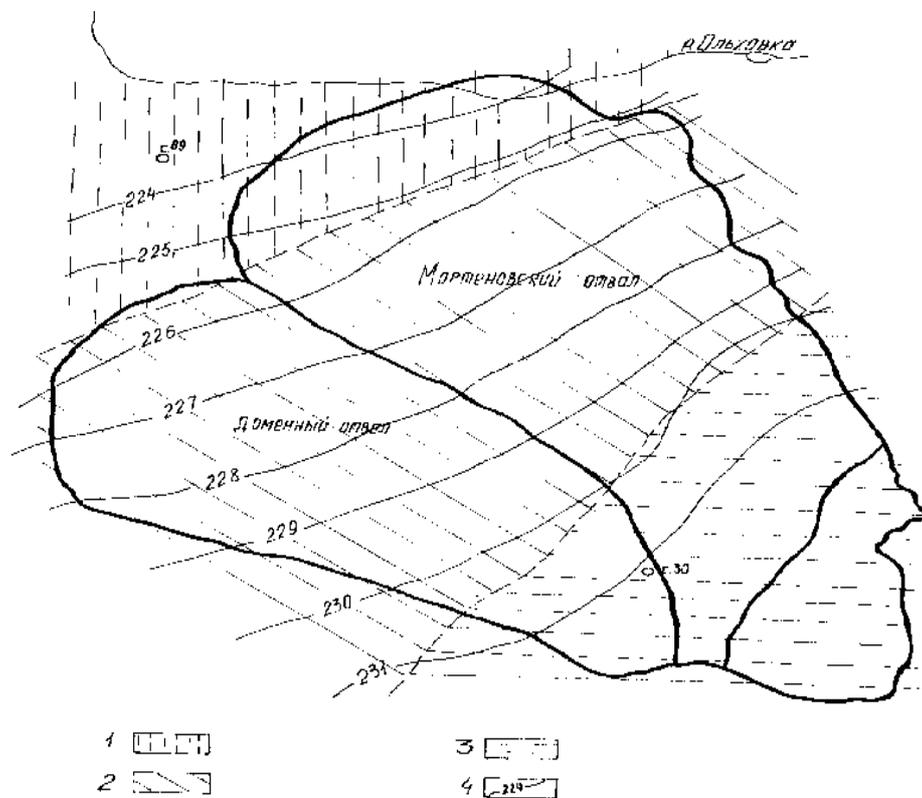


Рисунок 2.54 - Ситуационный план загрязнения подземных вод в районе шлаковых отвалов ОАО «НТМК» [213, 250]:

1- $H < 10$ м, $6 < t < 8$ м; 2 – $10 < H < 20$ м, $4 < t < 6$; 3 – $H > 20$ м, $t < 4$ м; 4 – гидроизогипсы

Концентрации тяжелых металлов по мере приближения к отвалу увеличиваются (табл. 2.21).

Таблица 2.21 - Средние концентрации тяжелых металлов в подземных водах (сост. автором)

Элемент	Фоновая концентрация, мг/дм ³	Средняя концентрация в подземных водах, находящихся под воздействием отвала, мг/ дм ³
Железо	0,36	0,6
Марганец	0,082	0,14
Ванадий	0,19	0,46

ВЫВОДЫ

Изучение структуры природно-техногенной геосистемы III уровня позволило: установить фоновые концентрации загрязняющих веществ в природных компонентах окружающей среды; исследовать и провести ранжирование основных техногенных источников по способу загрязнения и дать характеристику современного содержания тяжелых металлов в элементах структуры геосистемы.

Структура природно-техногенной геосистемы представляет собой триаду тесно связанных между собой элементов: природные (начальные) элементы, представленные фоновым содержанием загрязняющих веществ в компонентах окружающей среды; техногенные элементы, представленные предприятиями горно-металлургического комплекса и объединенные одним типом природопользования – получением металла, и, как следствие, взаимодействие природных и техногенных элементов – современное состояние компонентов окружающей среды, измененных под воздействием предприятий горно-металлургического комплекса.

Фоновые концентрации химических ингредиентов в природных элементах структуры характеризуются повышенным содержанием, обусловленным специфическим геологическим развитием региона (Fe, Mn, V, Cu, Pb, Zn, As), и обусловлены геолого-геохимическим строением территории. Их концентрации могут быть использованы в качестве

критериев оценки современного экологического состояния природно-техногенных элементов геосистем.

В качестве индикатора современного экологического состояния природных элементов может выступать и почвообразующий горизонт, ареалы загрязнения которого напрямую связаны с геохимией подстилающих материнских пород.

Исследования воздействия металлов на биологический тест-объект *Drosophila melanogaster* показали реакцию с проявлением мутагенного эффекта при тех же концентрациях, что и санитарно-гигиенические ПДК. Это предопределяет возможность использования данного тест – объекта для оценки экологического состояния биологической составляющей геосистемы, а установленные концентрации тяжелых металлов в теле имаго *Drosophila melanogaster* можно принять за региональный фон.

Исследования техногенных элементов (предприятий горно-металлургического комплекса Среднего Урала) и их ранжирование по видам и интенсивности загрязнения показывают на присутствие в геосистемах следующих ассоциаций загрязняющих компонентов: Cu, Pb, Zn, As от предприятий меднорудного ГМК (меднорудная геосистема III уровня), Fe, Mn, V – от предприятий железорудного ГМК (железорудная геосистема III уровня). При поступлении этих загрязняющих компонентов природные элементы образуют качественно новую структуру природно-техногенных геосистем, а распределение концентраций этих элементов по поверхности территории обусловлено климатом и орографией.

Современное экологическое состояние меднорудной и железорудной геосистем III уровня определяется высоким содержанием изучаемых химических элементов во всех компонентах окружающей среды: природных водах (поверхностных и подземных), почвах, растениях и живых организмах. Изучение современного экологического состояния этих геосистем показало, что наиболее сильно загрязнены живые организмы, где концентрация загрязняющих элементов достигает более 120 фон, затем поверхностные

воды с максимальной концентрацией 6-7 фон, далее почвы и растения. Общей закономерностью для всех компонентов окружающей среды по всем изучаемым химическим элементам является четкое увеличение их концентраций по мере приближения к техногенным источникам загрязнения.

3. ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОЙ ГЕОСИСТЕМЫ III УРОВНЯ

Функционирование природно-техногенной геосистемы III уровня представляет собой процесс, обусловленный постоянным поступлением загрязняющих элементов в геосистему в результате выбросов, сбросов и промышленных отходов, образующихся в результате деятельности предприятий горно-металлургического комплекса, миграции загрязняющих компонентов из одних элементов природно-техногенной геосистемы в другие, имеющий следствием изменение устойчивости природно-техногенной геосистемы (рис. 3.1) [73].

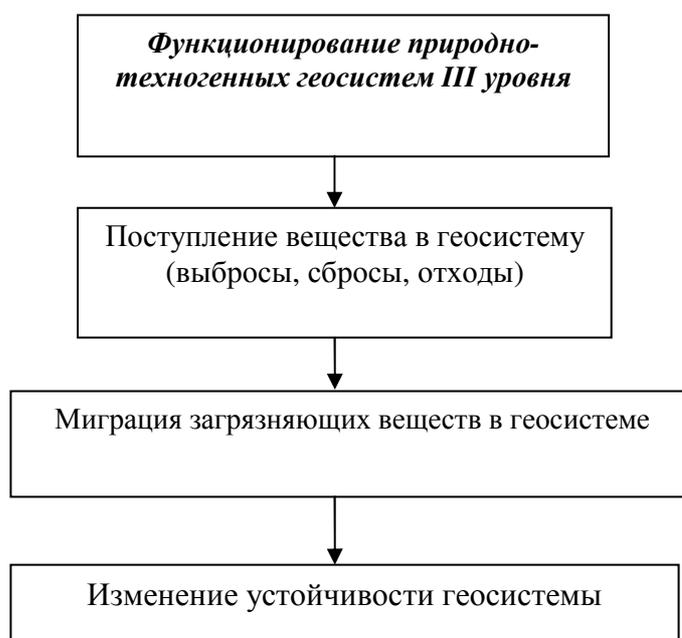


Рисунок 3.1 - Функционирование природно-техногенной геосистемы III уровня
(сост. автором)

3.1. Поступление загрязняющих веществ в природно-техногенную геосистему

Поступление загрязняющих веществ в природно-техногенную геосистему в районе воздействия предприятий горно-металлургического

комплекса происходит в виде воздействия пылевых выбросов, сбросов сточных вод и отходов производства в окружающую среду.

Интенсивность потоков загрязняющих веществ в окружающую среду зависит от объемов пылевого выброса, сброса сточных вод и концентрации в них металлов [198, 213].

Пылевые выбросы

Рассеяние загрязняющих веществ в составе пылевых выбросов в горно-обогатительном производстве происходит в результате следующих процессов [11, 22, 28, 54, 63, 120, 213, 234, 257, 262]:

- 1) ветровой эрозии открытых поверхностей горных выработок, отвалов и шламохранилищ;
- 2) выполнения технологических операций: бурения, взрывания, выемки, погрузки, транспортировки, дробления [213].

Процессы ветровой эрозии открытых поверхностей горных работ зависят от нескольких факторов: климата района, скорости ветра и характера его изменения у поверхности, турбулентности потока, связанности частиц породы, их гранулометрического состава. Основным параметром, характеризующим мобилизацию пыли, является ее удельная сдуваемость ($\text{кг}/\text{км}^2 \cdot \text{год}$). При скорости ветра в пределах 0-5 м/с удельная сдуваемость пыли крупностью до 100 мкм незначительна, и ее изменение носит прямолинейный характер. С возрастанием скорости ветра свыше 5 м/с удельная сдуваемость увеличивается по параболической зависимости [213].

Скорость образования пыли при бурении – 2-3.5 кг/с. Даже при оборудовании станков пылеуловителями запыленность воздуха у станка достигает $1.5-1.6 \cdot 10^4$ мкг/м³. При работе буровых станков снижение пылевыделения достигается путем применения технологических мер (бурение на оптимальных режимах и специальными долотами) и эффективных пылеулавливающих установок [213].

Количество пыли, образующейся при взрыве, зависит от исходной трещиноватости горных пород. Чем она интенсивнее, тем меньше образуется пыли. При взрыве нагретые газы, поднимаясь вверх, увлекают пылеватые частицы и формируют газопылевое облако первоначально сферической формы. Концентрация пыли в облаке достигает 510-4250 мг/м³. Ветер определяет направление, скорость движения этого облака и, в конечном счете, характер разноса пыли, мобилизованной взрывом. Взрывные газы при расширении передают энергию воздуху в виде волн сжатия и растяжения, которые в свою очередь могут мобилизовать некоторое количество пыли. Мелкие фракции (10⁻⁴ мкм) образуют очень медленно оседающую (витающую) пыль. Осаждение ее ускоряется при атмосферных осадках [213].

Всего на среднем по размерам карьере в течение года формируется (5-10)х10³ т пыли, в пропорции 1 т пыли на каждые 10000 т добытой горной массы. Грубые фракции распределяются в пределах карьера, часть пыли выносится за его пределы [213].

Деятельность горнодобывающих предприятий на Урале обычно охватывает и обогащение руд. На обогатительной фабрике в процессе дробления и обогащения руды выделяется неорганическая пыль, которая удаляется системой механической вентиляции. Помимо организованных источников на руднике имеются неорганизованные источники: хвостохранилище, склад руды и щебня, загрязняющие атмосферу неорганической пылью [213].

Таким образом, поступление загрязняющих веществ в окружающую среду в составе пылевых выбросов весьма значительно и определяется, главным образом, содержанием металлов в рудном сырье.

Сточные воды

Рассеяние загрязняющих веществ в составе сточных вод горнодобывающего и обогатительного производств происходит в результате сбросов рудничных (шахтных и карьерных) вод и сточных вод обогатительных

фабрик [147, 213, 257]. Металлы в сточных водах этих производств находятся в растворённой и взвешенной формах, при этом доля нерастворённой части металлов в сбросах составляет 10-30 % [213].

Превалирующее поступление металлов в растворенной форме связано с их высокими концентрациями в рудничных водах (табл. 3.1) [213]. Обогажительный цикл чаще всего имеет оборотное водоснабжение, однако на некоторых хвосто- и шламохранилищах вследствие несовершенной гидроизоляции и дебаланса вод производятся сбросы (табл. 3.2) с высокими концентрациями металлов в растворённой форме [213].

Рассеяние загрязняющих веществ в составе сточных вод металлургического производства происходит на всех этапах металлургического передела. Интенсивность его зависит от объема сточных вод и степени очистки. Суточный оборот воды на отдельных предприятиях может достигать нескольких миллионов кубических метров. Из этого количества на долю охлаждения оборудования приходится 48 %, очистку газов – 26 %, обработку и отделку металлов – 12 %, гидравлическую транспортировку – 11 %, прочие нужды – 2 % [213].

Воды, используемые для охлаждения металлургических агрегатов, являются условно чистыми и сбрасываются в водоемы обычно без очистки. Сточные воды систем газоочистки, гидравлической транспортировки, обработки и отделки металлов сильно загрязнены и поступают в шламонакопители с помощью гидро- и автотранспорта (табл. 3.3). После отстаивания в накопителях количество взвешенных частиц и растворённых металлов в водах значительно сокращается, однако, по некоторым элементам (ванадий и цинк) оно остаётся достаточно высокой [213].

Сточные воды цветной металлургии имеют большую концентрацию металлов. Как и в черной металлургии, это в основном воды охлаждения печей, конвертеров, разливочных машин. Загрязненные сточные воды медеплавильных заводов образуются в электролитных, редкометалльных и сернокислотных цехах и газоочистках. Выход сточных вод в металлургическом производстве составляет 41 %. Содержание металлов по цехам и переделам медеплавильного производства приведено в табл. 3.4 [213].

Таблица 3.1 - Содержание металлов (в мг/ дм³) в рудничных водах и объемы их сбросов на основных отработываемых месторождениях Среднего Урала [213]

Элемент	Железорудная					Меднорудная				
	Гороблаго- датское		Естю- нинское	Лебяжин- ское	Высоко- горское	Волко- вское	Лёвихи- нское	Ломовс- кое	Корпуши- хинское	Белоре- ченское
	сброс 1	сброс 2	сброс	сброс	сброс	сброс	сброс	сброс	сброс	сброс
Fe	0.2	0.46	0.25	0.29	0.28	0.119	0.059	0.209	0.21	0.249
V	0.1	0.01	0.13	0.22	0.28					
Mn	0.23	1.49								
Cu	0.02	0.012	0.004	0.024	0.018	0.144	0.066	0.077	0.099	0.18
Zn	0.006	0.04	0.04	0.083	0.12	0.06	0.075	0.179	0.18	0.12
As						0.019	0.001	0.0005	0.0005	0.0009
Взвешенные вещества	8.4	15.4	4.7	3.4	11.3	25.53	92.27	44.73	66.85	32.4
Объем сточных вод, м ³ /год	319740	127020	2814000	1093000	3914000	85000	3032000	357000	174000	258000

Таблица 3.2 - Содержание металлов (в мг/ дм³) в дренажных водах и объемы их сбросов со шламохранилищ обогатительных фабрик Среднего Урала [213]

Элемент	Железорудные			Меднорудные	
	Салдинское	Качканарское		Сорьинское	
		выпуск 1	выпуск 2	обводной канал, выпуск 1	станция нейтрализации, выпуск 2
Fe	0.25	0.5	0.1	12.86	0.39
V		0.006	0.005		
Mn	0.46			1.02	0.16
Cr		0.01	0.01		
Ni		0.01		0.95	0.58
Cu	0.022	0.004	0.003	2.3	0.146
Zn	0.07			2.95	0.123
As				0.06	0.066
Взвешенные вещества		11.4	6.2		
Объем сточных вод, м ³ /год	86000	7903000	1101000	105000	1538000

По данным таблицы 3.4 можно сделать вывод, что все цеха (кроме медеплавильного) имеют в сточных водах высокие концентрации металлов в растворённой форме [213].

Отходы производства

Накопление загрязняющих веществ, а затем постепенное рассеивание в ГМК происходит при складировании отходов производства [212]. Отходами производства являются вскрышные породы, вмещающие породы, забалансовые руды, шлаки, огарки, шламы мокрой газоочистки, пыль сухой газоочистки, шламы очистки сточных вод [12, 101, 124, 158, 208, 248]. Всего на территории Среднего Урала имеется 65 объектов, связанных с разработкой рудных месторождений, обогащением и металлургическим переделом (рис. 3.2). Интенсивность накопления загрязняющих веществ в составе отходов производства зависит от объемов складироваемых отходов и концентрации в них металлов [213].

Концентрации металлов зависят от типа месторождения и вида отходов. С увеличением уровня передела минерального сырья она возрастает. Высокая концентрация металлов отмечается в шлаках и в пыли газоочисток, причем здесь присутствуют как сидерофильные, так и халькофильные элементы [213].

Таблица 3.3 - Содержание металлов и объем сбросов сточных вод предприятий черной металлургии, мг/дм³ [213]

Элемент	Чистые оборотные циклы					Грязные оборотные циклы
	ОАО «Алапаевский металлургический завод»			ОАО «НТМК»		ОАО «НТМК»
	вып. 1	вып. 2	вып. 3	вып.1	вып. 2	вып. 3
Fe	0.47	0.54	0.48	0.67	0.74	0.227
V				0.022	0.0047	0.136
Mn				0.152	0.09	0.09
Cr		0.005				
Cu				0.014	0.012	0.0069
Zn		0.023		0.1	0.027	0.34
Взвешенные вещества	2.4	2.3	2.7	26.7	24.4	16.3
Объем сточных вод, м ³ /год	6905000	3687000	215000	12926000	8647000	709000

В цветной металлургии (меднорудная, никелевая, золоторудная отрасли) объемы накопленных отходов существенно меньше (около 100 млн т). Наибольшая концентрация металлов наблюдается в отходах, связанных с высокотемпературным пирометаллургическим процессом, а также в шлаках рудничных вод. Данные табл. 3.5 [213] позволяют оценить ресурсы металлов в отходах, а также определить интенсивность накопления металлов в составе отходов по различным отраслям [213].

Таблица 3.4 - Содержание металлов по цехам и переделам медеплавильного производства, мг/дм³ [213]

Цех	Медь	Цинк	Свинец	Мышьяк
Медеплавильный	0.3	0.1	-	-
Электролитный	520	1.3	2.4	120
Травильный	75	400	5.5	-
Редкометалльный	40	850	29	-
Сернокислотный	-	-	-	130
Шламовый	72	29	-	28

Анализ таблицы 3.5 показывает, что с железорудной отраслью связано накопление сидерофильных металлов в составе отходов, с меднорудной – халькофильных элементов.



Рисунок 3.2 - Шлаковые отвалы ОАО «НТМК» (сост. автором)

В целом в ГМК Среднего Урала наиболее интенсивно идет накопление металлов в составе отходов производства. Однако для легковозгоняемых элементов (кадмий, мышьяк) большое значение имеет пылевой выброс [213].

Таблица 3.5 - Среднемноголетнее накопление металлов в составе отходов по городам горно-металлургического профиля Среднего Урала [213]

Элемент	Ежегодное накопление, т	Запас в техногенных образованиях, т			
		Горно-добывающий комплекс (вскрышные и вмещающие породы)	Обогатительный комплекс (хвосты- и шламохранилища)	Металлургический комплекс (шлак, пыль)	Общий запас
1	2	3	4	5	6
г. Н. Тагил					
Fe	181565	6777932	2759898	2849988	12387818
Mn	10018	163800	174241	288437	626478
Cr	6314	-	-	260017	260017
V	6335	5923	-	252142	258065
Ni	-	124	-	-	124
Co	230	1.7	5042	4528	9571.7
Cu	4728	25286	100554	7428	133268
Zn	1743	13043	-	48501	61544
Pb	112	70	2338	-	2408
Cd	-	43	-	-	43
г. Кировград					
Fe	2767	128938	7434181	5182756	6055112
Mn	9	-	1808	32719	34527
Cr	-	-	-	263938	263938
V	-	-	384	1995	2379
Co	8	-	1620	-	1620
Cu	252	7894	74828	93685	176407
Zn	350	6634	85659	546905	639198
Pb	14	2268	3218	130793	136279
Cd	3	585	747	148.7	1480.7

3.2. Снежный покров как индикатор поступления загрязняющих веществ в природно-техногенную геосистему III уровня

В качестве индикатора поступления загрязняющих веществ в природно-техногенную геосистему от пылевых выбросов и отходов производства возможно использовать снежный покров, так как он характеризует среднегодовые выпадения загрязняющих веществ на дневную поверхность (в кг/км²) под воздействием техногенеза [22,144, 184, 197].

Формирование химического состава снежного покрова происходит в два этапа [28]. Во-первых, во время образования снежинок в облаке и выпадения на местность – так называемое влажное выпадение загрязняющих веществ со снегом. Во-вторых, это загрязнение уже выпавшего снега в результате сухого выпадения поллютантов из атмосферы [213].

Взаимоотношения между сухими и влажными выпадениями зависят от ряда факторов, главными из которых являются: длительность холодного периода, в течение которого сохраняется снежный покров, частота снегопадов и их интенсивность, физико-химические свойства загрязняющих веществ, размер аэрозолей [213].

Нами проведены исследования экологического состояния снежного покрова в районе Кировградского (район расположения ОАО «КМК»), Первоуральско-Ревдинского (район расположения ОАО «СУМЗ»), Нижнетагильского (район расположения ОАО «НТМК») промузлов Среднего Урала. Оценка состояния снежного покрова проводили по растворенной форме химических элементов в талой воде, отражающей возможность загрязнения вод, а также по содержанию элементов в пыли, поступающей на поверхность снежного покрова и характеризующей возможность загрязнения почв [186, 219, 220]. За критерий оценки принят фоновый показатель. При отборе проб снега проведена снеговая съемка указанных территорий. Снежный покров отбирался в тех же точках, что и почвы, растительность и насекомые (см. главу 2, рис. 2.14 б, 2.15). Всего было отобрано 1200 проб снега.

Применяемая в ходе проведения снеговой съемки методика стандартная и в полном объеме соответствует требованиям РД 52.04.186-89 ч.2 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы». Работы по опробованию снегового покрова проводились в первой декаде марта.

Таяние снега осуществлялось при комнатной температуре. Объем талой воды замерялся с помощью мерного сосуда с точностью до 0,001 дм³. Для

определения нерастворимой формы проводилось фильтрование талой воды. Вес твердого фильтрата (взвеси) определялся с точностью до 0,01 мг.

Количественный химический анализ проводился с применением высокочувствительной атомно-адсорбционной аппаратуры [40,219,228,231] в аккредитованной химической лаборатории Института промышленной экологии УрО РАН. В снежном покрове под воздействием меднорудной промышленности определялись следующие элементы – загрязнители: медь, цинк, под воздействием железорудной – марганец, ванадий.

Меднорудная геосистема III уровня (зона воздействия ОАО «КМК»)

Медь. Концентрации меди в снеговой воде в растворенной форме достаточно высоки, максимум составляет 0.8 мг/дм³ (рис. 3.3), что превышает фон в 800 раз. Ареал загрязнения вытянут по розе ветров в северо-восточном направлении и хорошо согласуется с основными источниками загрязнения. Максимальная концентрация меди в пыли – более 100 мг/кг (рис.3.4). На рисунке отмечается ареал загрязнения, расположившийся по всему промышленному узлу, за исключением юго-запада. Местоположение ядер ареалов в растворенной форме и содержания меди в пыли совпадают.

Цинк. Схема содержания цинка в растворенной форме (рис. 3.5) показывает, что наибольшие концентрации сосредоточены в восточной части рисунка. Максимум – 6 мг/дм³, что превышает фон в 120 раз. Ареал загрязнения имеет овальную форму, занимает значительную часть территории и связан с промлощадкой КМК. Схема содержания цинка в пыли (рис. 3.6) показывает, что очаги загрязнения выходят за пределы источников загрязнения. Ареалы расположены по всей площади исследуемой территории, имеют различные формы. Максимум более 100 мг/кг.

Меднорудная геосистема III уровня (зона воздействия ОАО «СУМЗ»)

Медь. Распределение меди в талой воде и содержание меди в пыли, поступающей на снежный покров, показано на рис. 3.7–3.8. На рис. 3.7 ареал

техногенного загрязнения занимает всю изучаемую площадь, где концентрация меди колеблется от 0,01 до 0,1 мг/дм³, что превышает фон в 10 – 100 раз. Участки с максимальным загрязнением расположены в центральной части изучаемой территории, где расположена промплощадка ОАО «СУМЗ». Содержание меди на этих участках превышает фон в 100 раз.

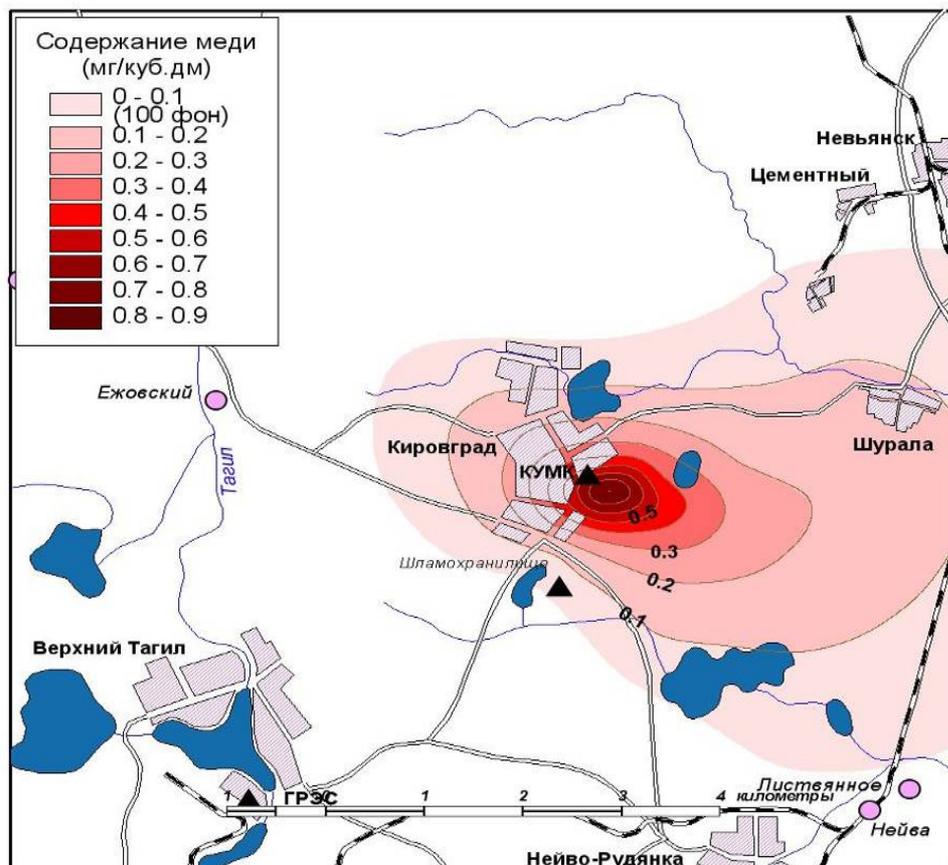


Рисунок 3.3 - Содержание меди (растворенная форма) в снежном покрове от воздействия ОАО «КМК» (сост. автором)

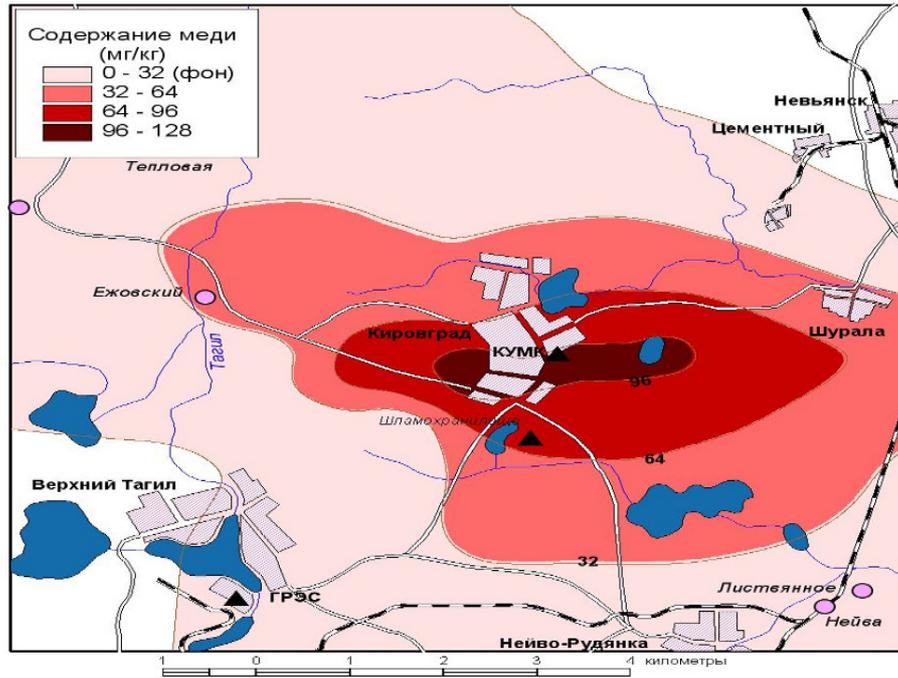


Рисунок 3.4 - Содержание меди в пыли, поступающей на снежный покров от воздействия ОАО «КМК» (сост. автором)

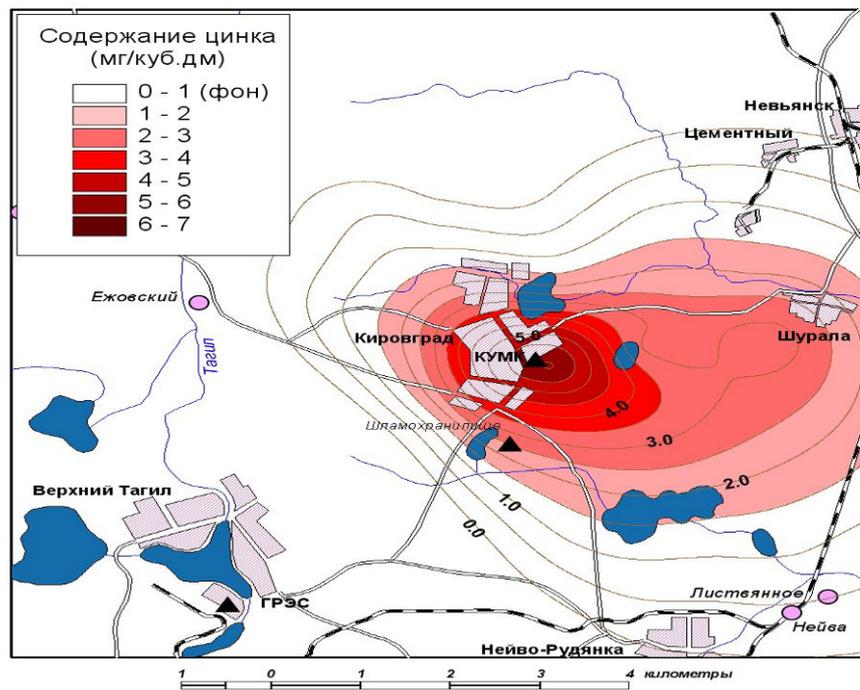


Рисунок 3.5 - Содержание цинка (растворенная форма) в снежном покрове от воздействия ОАО «КМК» (сост. автором)

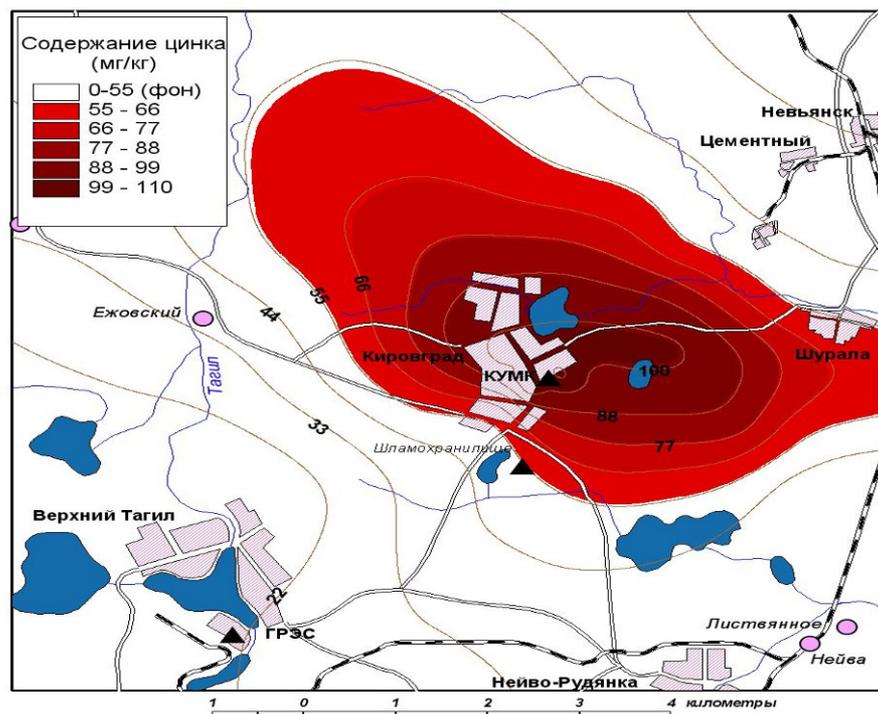


Рисунок 3.6 - Содержание цинка в пыли, поступающей на снежный покров от воздействия ОАО «КМК» (сост. автором)

Максимальная концентрация меди в пыли – более 300 мг/кг (рис. 3.8). На схеме отмечается ареал загрязнения, расположившийся в районе промплощадки ОАО «СУМЗ». Местоположение ядер ареалов в растворенной форме и содержания меди в пыли совпадают.

Цинк. Содержание цинка в снежном покрове изменяется по площади (рис. 3.9 – 3.10). Ареал загрязнения занимает всю площадь изучаемой территории. Концентрация цинка здесь колеблется от фона до 190 фон. Участок с максимальным загрязнением 190 фон расположен на территории промплощадки ОАО «СУМЗ».

Содержание цинка в пыли, поступающей на снежный покров, превышает 4 фон. Участок с таким содержанием находится (рис. 3.10) в центральной части исследуемого района. На рисунке видно, что основные очаги загрязнения расположены на территории источника загрязнения – ОАО «СУМЗ».

Железорудная геосистема III уровня

(зона воздействия шлаковых отвалов ОАО «НТМК»)

В результате пыления со шлаковых отвалов в приотвальной части формируется поток рассеяния шириной около 1 км со средней пылевой нагрузкой около 1500 кг/км² в сутки, что примерно в 75-150 раз превышает фоновую (табл. 3.6) [213].

Таблица 3.6 - Пылевая нагрузка, кг/(км²·сут) [213]

В зоне отвалов	Фоновая в 1 км от отвала у садов на р. Ольховке	Фоновая у деревни Естюниха севернее Н.Тагила (данные Уралгидро-экспедиции)	Фоновая для Европейской части России (данные Ю.Е. Саета)
1508	24.6	25.0	10.0

Особенностью потока рассеяния от отвала является его динамичность, неустойчивость состава и концентрации. Наибольшая пылевая нагрузка приурочена к местам выгрузки шлаков и мартеновской пыли, т.е. в северной и восточной части отвала, которая превышает здесь 1000 кг/ (км² · сут). Поток рассеяния имеет наибольшую протяженность в северо-восточном направлении, так как преобладают юго-западные ветры. Пылевая нагрузка и ее дисперсия уменьшаются в удалении от отвала (табл.3.7) [213].

По химическому составу пыль состоит на 90-95 % из окислов кремния, кальция, магния и алюминия. Тяжелые металлы Fe, Ti, Mn, V, Cr, Zn, Cu находятся в виде примесей и составляют единицы или доли процента, но являются здесь главными «загрязнителями» окружающей среды [213].

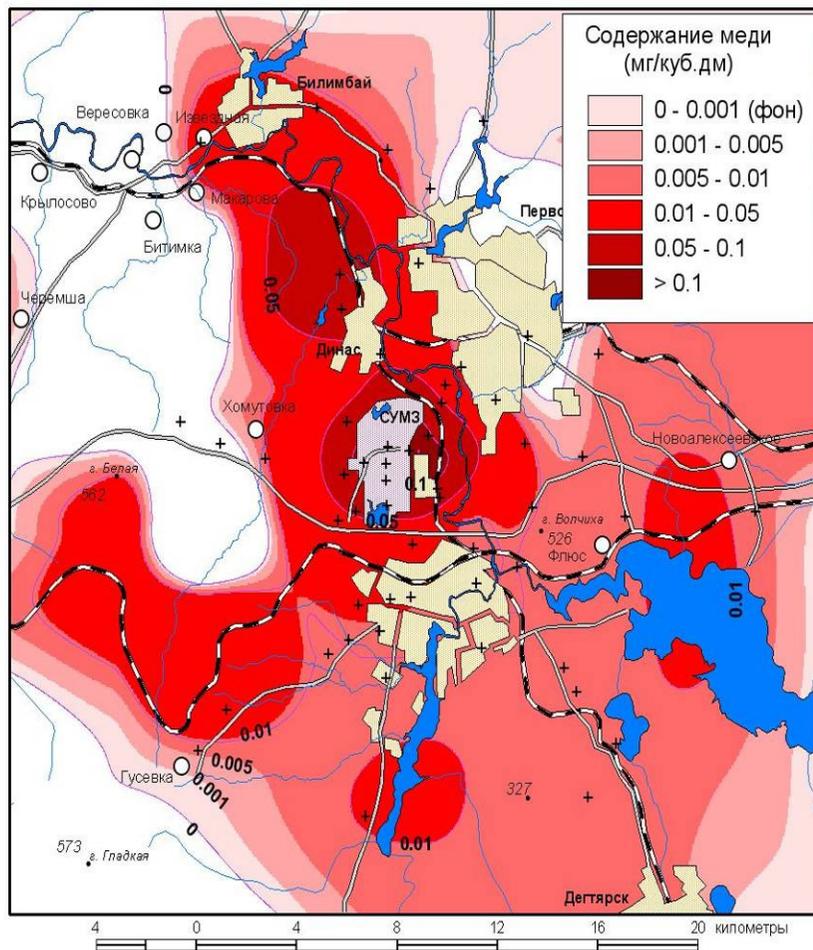


Рисунок 3.7 - Содержание меди в снежном покрове (растворенная форма) (сост. автором)

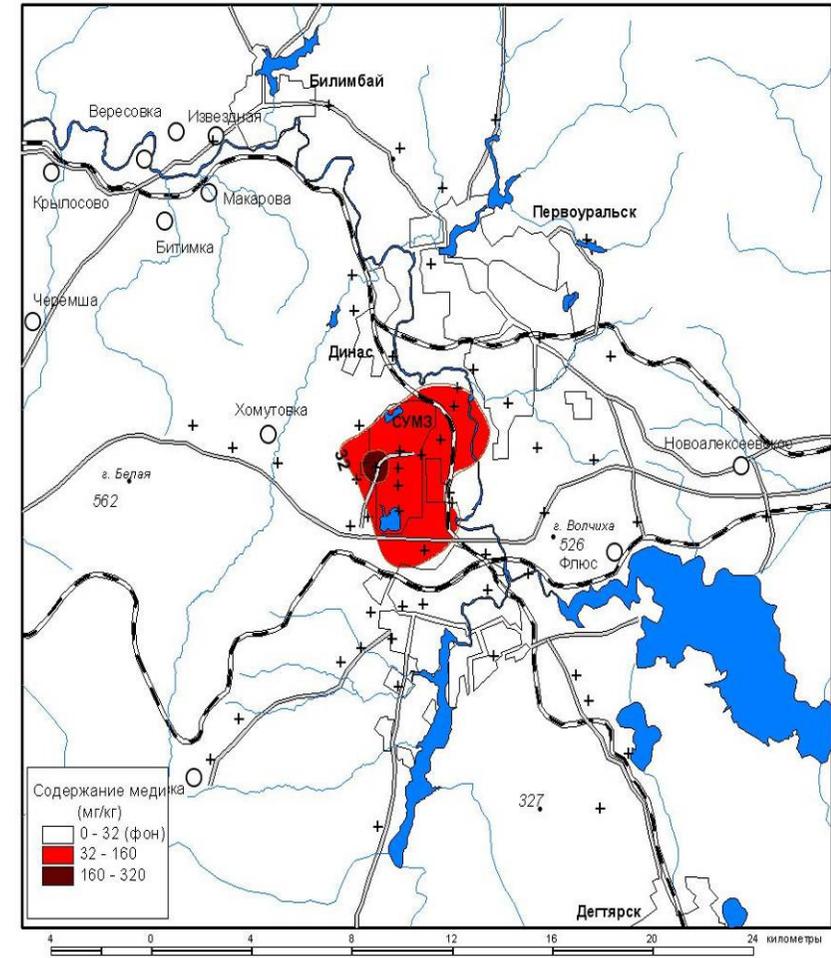


Рисунок 3.8 - Содержание меди в пыли, поступающей на снежный покров (сост. автором)

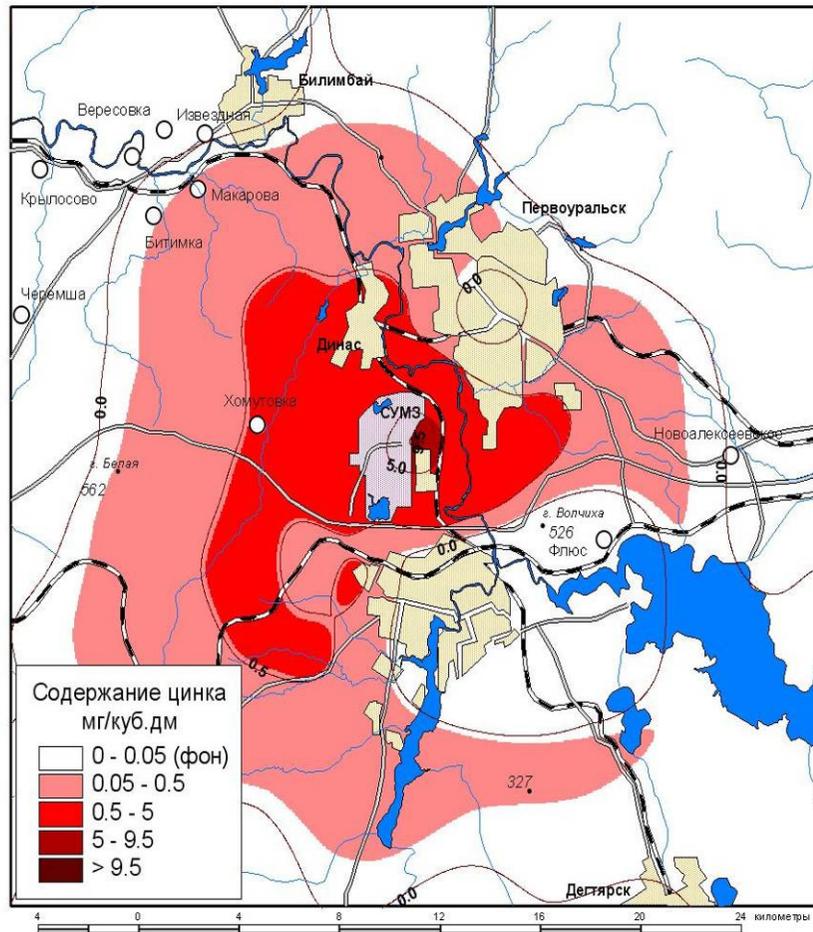


Рисунок 3.9 - Содержание цинка в снежном покрове (растворенная форма) (сост. автором)

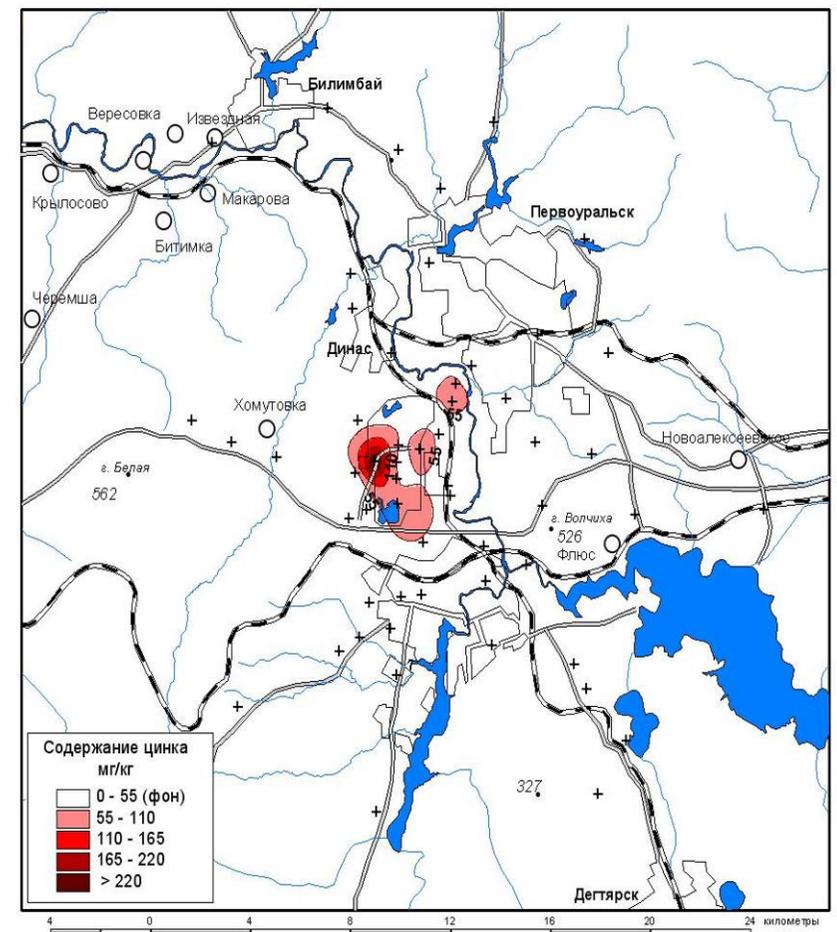


Рисунок 3.10 - Содержание цинка в пыли, поступающей на снежный покров (сост. автором)

Таблица 3.7 - Изменение пылевой нагрузки в удалении от отвала [213]

Расстояние	0-50, м	50-100, м	100-200, м
Пылевая нагрузка, кг/(км ² · сут)	1768	925	810
Стандартное отклонение пылевой нагрузки, кг/(км ² · сут)	1697	632	562

Концентрации исследуемых химических элементов в пылевых выпадениях из атмосферы в зоне влияния отвалов представлены в таблице 3.8 [213]. Ее данные показывают, что содержание тяжелых металлов в пыли отвалов превышает содержание их в среднем по Европейской части России в 10-50 раз, а нагрузка этих элементов увеличивается более чем в тысячу раз.

Повторяемость южных и юго-восточных ветров, средняя скорость которых минимальна (3.3-3.5 м/с), достигает 20 %. Наибольшее загрязнение территории происходит при юго-западном ветре, повторяемость которого в зимний период – 40 %, а в летний – 30 %, средняя скорость – 3.8 м/с. При ветре этого направления загрязняется территория к северо-востоку от отвала, а также возможно загрязнение пылью и территории коллективных садов на р. Ольховке, особенно пылью доменного отвала, которая имеет меньший удельный вес и большую дальность рассеяния [213].

Марганец. Ареал загрязнения марганцем занимает всю южную, западную и восточную части территории (рис. 3.11 а, б). Концентрация марганца здесь составляет 0,02 мг/дм³, что превышает фон в два раза. Имеются участки с максимальными концентрациями марганца. Они расположены на северо-востоке от мартеновского отвала (100 – 300 м от него), а также на юго-западе от доменного отвала (50 – 200 м от него). Концентрация марганца здесь составляет от 0,06 до 0,12 мг/дм³ и превышает фон в 6 – 12 раз.

Таблица 3.8 - Концентрации тяжелых металлов в пылевых выпадениях из атмосферы [213]

Элемент	У отвалов на р.Ольховке		В среднем по Европейской части России (по Ю.В.Саеу)	
	Содержание в пыли, мг/кг	Среднесуточная нагрузка, кг/км ²	Содержание в пыли, мг/кг	Среднесуточная нагрузка, кг/км ²
Железо	86200	113.13	-	-
Ванадий	1300	2.6	64	0.00064-0.00128
Титан	10800	13.45	-	-
Марганец	3700	5.57	570	0.0057-0.0114
Хром	2700	3.67	50	0.0005-0.001
Кобальт	200	0.38	7	0.00007-0.00014

Ванадий. Содержание ванадия в снежном покрове изменяется по площади (рис. 3.12 а, б). Ареал загрязнения находится в северной части изучаемой территории, где концентрация ванадия составляет 10 фон. Но в его пределах имеются участки с максимальным загрязнением, где концентрация ванадия превышает фон в 20 – 70 раз. Они расположены в западной части территории, в районе сопряжения доменного и мартеновского отвалов в 50 – 300 м от них, а также в северо-западной и северной части, на расстоянии 300 и 400 м от мартеновского отвала соответственно.

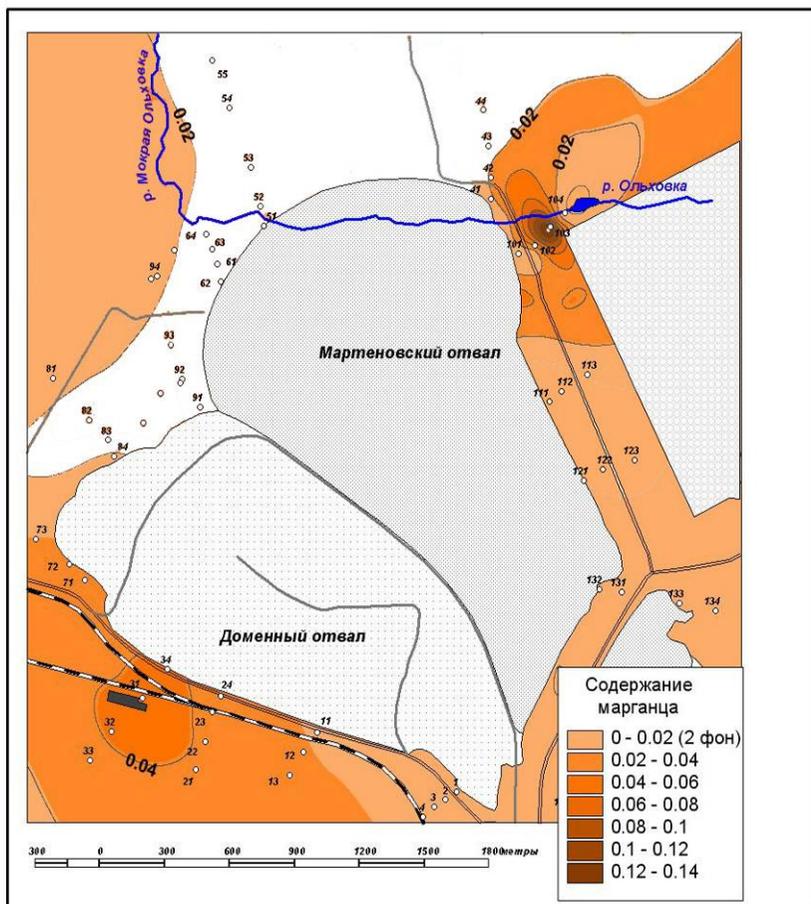
Таким образом, на формирование геохимического состояния снежного покрова основное влияние оказывают техногенные источники загрязнения – промплощадки ОАО «КМК», ОАО «СУМЗ», шлаковые отвалы ОАО «НТМК».

3.3. Миграция загрязняющих веществ в природно-техногенной геосистеме III уровня

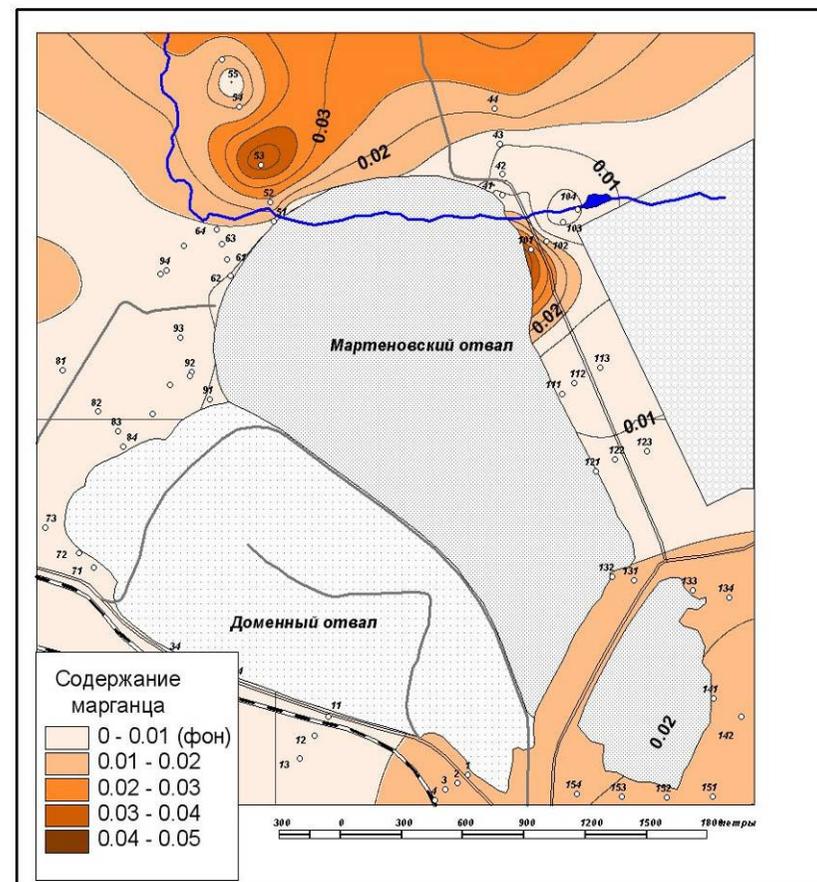
Загрязнение окружающей среды в природно-техногенной геосистеме отражается на всех ее компонентах, но далеко не в одинаковой степени. Почвенный горизонт принимает нагрузку – природную из почвообразующего слоя и техногенную из атмосферы в виде рудной пыли, дымовых выбросов и прочих загрязнителей, разносимых ветром на большие расстояния. Затем со стоком ливневых и талых вод они попадают в поверхностные воды. Частично загрязняющие вещества через корневую систему поступают в растительность и по трофическим цепям в организмы животных и человека (рис. 3.13) [114, 217, 228].

Рассмотрим закономерности миграции загрязняющих элементов в компонентах окружающей среды на примере воздействия предприятий меднорудной промышленности Среднего Урала: ОАО «СУМЗ» (Первоуральско-Ревдинский промышленный узел) и ОАО «КМК» (Кировградский промышленный узел).

Почва – это мощный геохимический барьер. В то же время в почве происходит дифференциация форм металлов и перераспределение их с внутripочвенным и поверхностным стоками с образованием в подчиненных ландшафтах вторичных аномалий [51, 98].

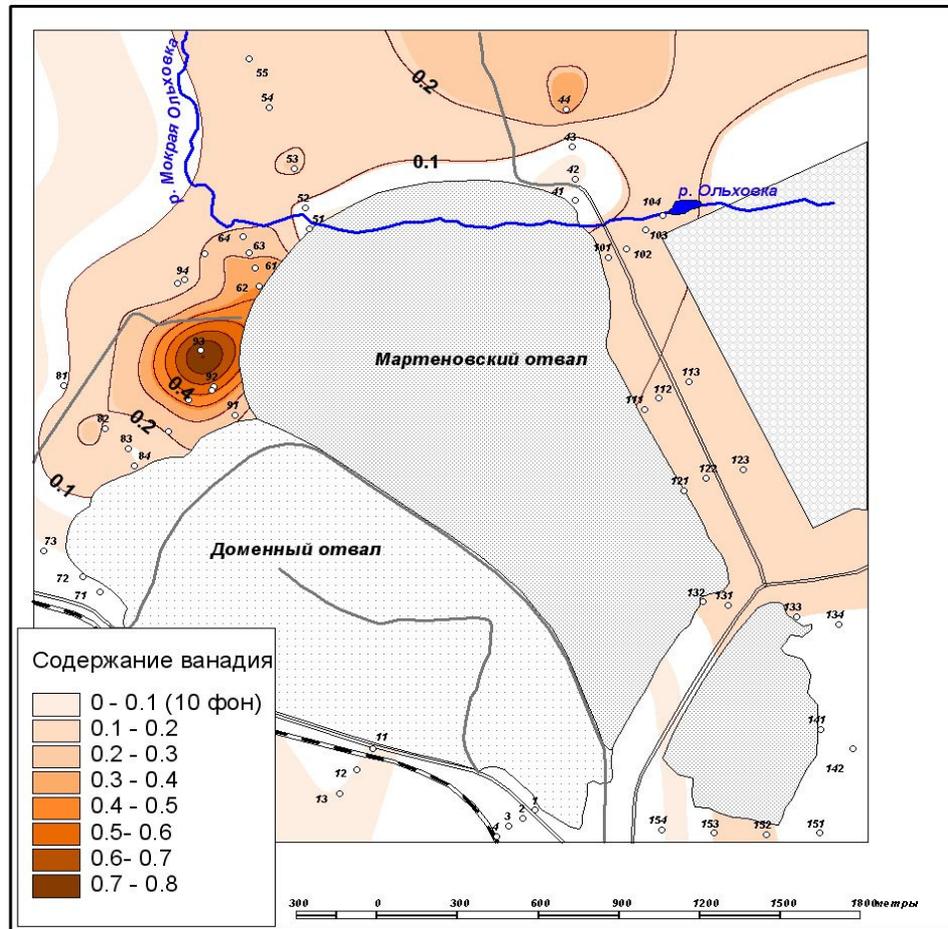


а)

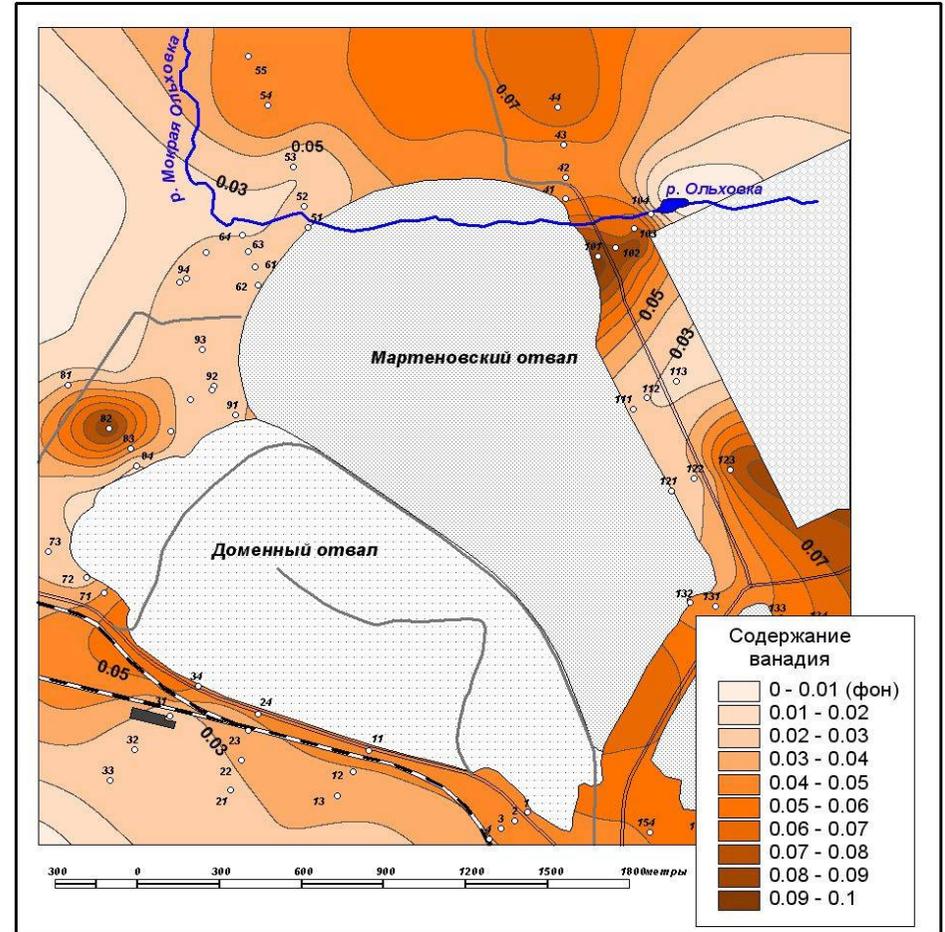


б)

Рисунок 3.11 - Загрязнение снежного покрова по марганцу от шлаковых отвалов ОАО «НТМК»: а) за 2007 г., б) за 2010 г. (сост. автором)



а)



б)

Рисунок 3.12 - Загрязнение снежного покрова по ванадию от шлаковых отвалов ОАО «НТМК»: а) за 2007 г., б) за 2010 г. (сост. автором)

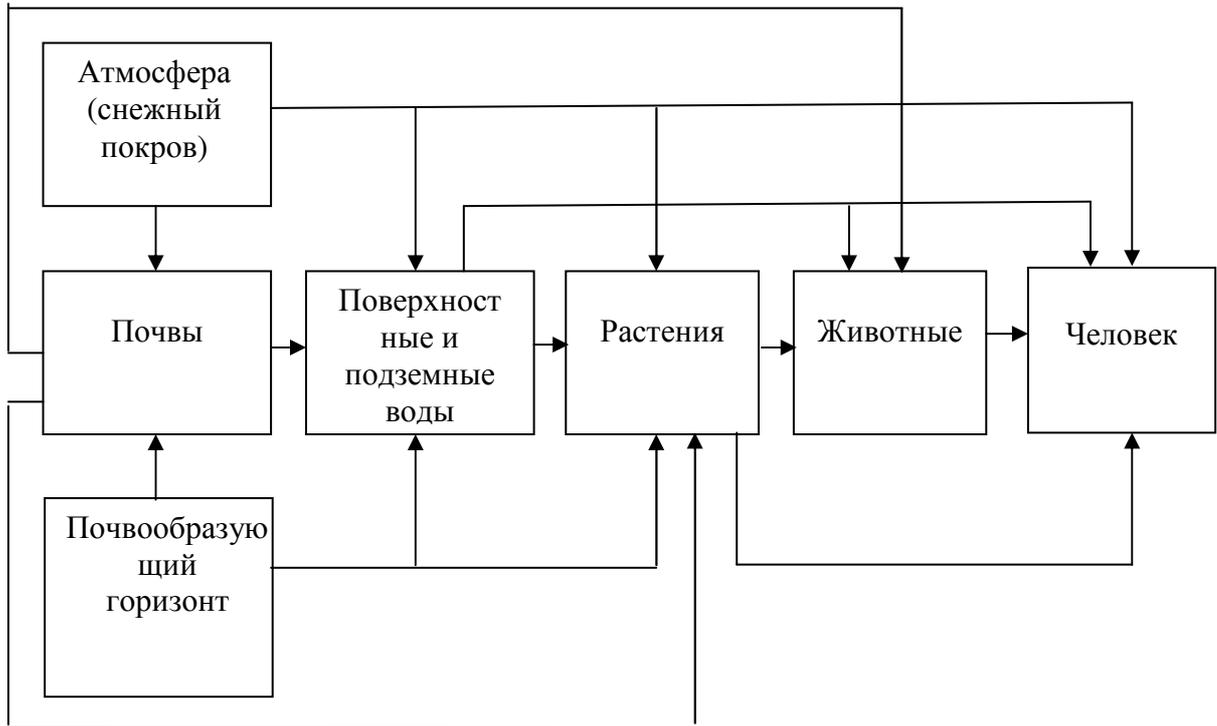


Рисунок 3.13 - Схема миграции загрязняющих веществ в природно-техногенной геосистеме (сост. автором)

В работе П.В. Елпатьевского [82] описаны результаты фракционирования концентратов водорастворимых органических веществ лизиметрических вод из-под генетических горизонтов иллювиально-гумусового бурозема в условиях аэротехногенного загрязнения экосистемы. Основу таких веществ составляют фульвокислоты полидисперсные по молекулярной массе. Свинец и медь тяготеют к высокомолекулярным водорастворимым органическим веществам, что определяет их соосаждение в горизонт В и более полное выведение их миграционными потоками. Цинк и кадмий связаны со среднемолекулярными водорастворимыми органическими веществами, что обеспечивает их частичный вынос за пределы почвенного профиля. Образование органоминеральных комплексов металлов и миграция с почвенным раствором по профилю – основной механизм их удаления из верхнего слоя почвы. Установлено, что чем ниже емкость поглощения почвы,

тем глубже мигрируют загрязняющие вещества [213].

В результате трансформации атмосферных выпадений в почвах, а также природных особенностей почвенного субстрата, сформировавшегося в почвообразовательном процессе, металлы в почвах находятся в нескольких формах [99]. Для оценки форм нахождения или форм связывания металлов в почвах существуют аналитические методики с использованием последовательной экстракции. Все эти методики основываются на предположении, что в почвах присутствуют следующие формы металлов: водорастворимые, обменные, связанные в органические соединения, захваченные в оксиды железа и марганца, собственные минералы (например, карбонаты и сульфиды металлов), связанные в структуре силикатов. Исследование взаимосвязи концентрации металлов в почве в различных формах показало их высокую корреляцию ($r > 0.9$) [213]. Мобилизация металлов из этих форм или трансформация подвижной фракции металлов в неподвижную – обычно процесс очень медленный, контролирующийся в основном кинетическими факторами [213].

При таянии снега часть талой воды непосредственно стекает по поверхности почв [133]. Другая часть талых вод, просочившаяся через пористый почвенный слой, достигает первого от поверхности водоносного горизонта. Еще одна часть талых вод остается в почве, пополняя ее влажность до полной влагоемкости.

Водный баланс талых вод может быть представлен следующим образом [82]:

$$h_{\text{в}} = P_{\text{сн}} - x - u - z - h_{\text{ак}}, \quad (3.1)$$

где $h_{\text{в}}$ – слой весеннего стока; $P_{\text{сн}}$ – запасы воды в снеге; x – часть инфильтровавшихся талых вод, достигшая водоносного горизонта; u – часть инфильтровавшихся талых вод, для пополнения почвенной влаги; z – испарение

со снега минус конденсация; $h_{ак}$ – слой талых вод, аккумулировавшихся на поверхности бассейна [213].

Увлажненность почв определяет в основном значения коэффициента стока талых вод – a . Средняя увлажненность почв имеет зональное распределение, и поэтому значения коэффициента весеннего стока закономерно уменьшаются с севера на юг по мере изменения увлажненности. Для исследуемого района он равен 0.7 – 0.8 [213].

Оставшееся в почве количество вещества, поступившего из снежного покрова ($Q_{сн}^{осм}$), определяется их физико-химическими свойствами и коэффициентом стока, а его пространственное распределение по поверхности бассейна зависит не только от распределения влагозапаса и концентрации загрязняющего вещества в снежном покрове, но и от особенностей стока, свойств почв и рельефа. С учетом этого оно может быть определено по формуле [82]:

$$Q_{сн}^{осм} = b (1 - a) c P_{сн} S, \quad (3.2)$$

где b – параметр физико-химического взаимодействия почв и загрязняющего вещества; S – площадь водосбора; c – концентрация загрязняющего вещества в снеговой воде [213].

Вынос элементов из верхних горизонтов почв в более глубокие горизонты и подземные воды происходит обычно крайне медленно, и требуются, по меньшей мере, многие десяти- или даже столетия, пока этот процесс приобретет широкий размах. В исследуемом районе проникновению загрязнения вглубь почв существенно препятствует тяжело- и среднесуглинистый состав. Это свойство имеет двойное значение. Суглинки, являясь слабопроницаемыми породами, резко ограничивают нисходящие потоки почвенных растворов, а обилие глинистых минералов способствует сорбции из них химических элементов. Капиллярный подъем, деятельность травянистых растений, относительно небольшое количество

атмосферных осадков и ряд других факторов также препятствуют выносу элементов из гумусового горизонта [213].

Кроме рассматриваемых загрязняющих веществ в меднорудной промышленности необходимо рассмотреть миграцию соединений серы. Это определяется непрерывно возрастающей глобальной эмиссией антропогенной серы. 65 % всей серы находится в виде сульфата и серной кислоты в аэрозоле, около 33 % – в виде газообразной двуокиси серы и 12 % в виде сероводорода.

Двуокись серы является серосодержащим ингредиентом, поступающим в атмосферу. Вопрос о фоновом содержании двуокиси серы в атмосфере изучался А.Г. Рябошапко и Д. Паком [77]. По их данным, оно составляет $0,07 \text{ мкг/м}^3$. В атмосфере двуокись серы может быть окислена до серного ангидрита, который, растворяясь, образует серную кислоту. Скорость ее образования зависит от влажности воздуха, концентрации двуокиси серы и наличия в атмосфере других поллютантов.

Антропогенная сера, выделяющаяся в основном в виде SO_2 , на 20-50 % окисляется до сульфата, который остается в атмосфере 3-5 дней и может переноситься на расстояние до 3000 км от источника [16].

Двуокись серы и серный ангидрит хорошо растворимы в воде, что приводит к образованию в атмосферных осадках серной кислоты. Последняя сильно понижает pH незабуференного дождя. При нормальном парциальном давлении CO_2 в атмосфере pH дождя равен 5,6. Для понижения pH до 4 достаточно присутствия в воде $0,4 \text{ мг/м}^3 \text{ SO}_2$. В результате попадания в дожди окислов серы в ряде районов могут выпадать осадки с pH от 4,0 до 2,8. Такие кислые дожди вызывают сильные, подчас необратимые процессы в почве и растительности. В промышленных районах, каким является Первоуральско-Ревдинский, содержание серы превышает фоновое до 40 раз.

Почвы способны сорбировать различные соединения серы, как находящиеся в растворенном виде, так и из атмосферы. Самые сильные

сорбционные свойства присущи почвам с содержанием глины до 26 % . Такие почвы сорбируют в верхнем 15-сантиметровом слое до 10 мг сульфатов на 100 кг почвы.

Процесс сорбции, противоположный процессу миграции [160], является определяющим для элементов, так как переводит его в статичное состояние и лишает возможности в дальнейшем участвовать в гидрогео- и биогеохимическом потоках рассеяния [213].

Фиксация меди, цинка, свинца, мышьяка, кадмия и других вредных компонентов происходит на различных геохимических барьерах. Среди них особое значение имеет сорбционный, обусловленный обилием гидроксидов и оксидов железа, которые обеспечивают в болотах исключительно высокие (более 100) коэффициентные концентрации меди и ее спутников. Очень высокая сорбционная способность и у самого органического вещества, главного компонента торфов. Обилие сульфатной серы, поступающей в болота из атмосферы или водными потоками, создает крайне благоприятные условия для жизнедеятельности сульфатредуцирующих бактерий, что приводит к возникновению восстановительного сероводородного барьера. Сероводород отлагает из растворов все халькофильные элементы, присутствующие в них в виде катионов. Токсичные элементы отлагаются в болотах и на других геохимических барьерах, но, как правило, имеют там относительно невысокие коэффициентные концентрации [161].

Процессы сорбции исследуемых элементов широко развиты также в гумусовом горизонте, пахотном слое и подстилающих их почвах. Основная масса сорбированных элементов связана в них с глинистыми минералами, но концентрация их невысокая и редко представляет опасность окружающей среде. Гидроксиды и оксиды, точнее их коллоиды, наоборот, очень богатые, особенно медью. Но основная доля свинца, цинка и меди в гумусовом горизонте и пахотном слое связана с сильноминерализованным органическим

веществом. Образование водорастворимых, низкомолекулярных органических комплексов способствует увеличению их подвижности [82].

Миграция загрязняющих веществ в поверхностные воды происходит с неканализованных участков снеговых и почвенных геохимических аномалий в составе взвесей и в растворенной форме. Мощность потока в составе снеговых вод ($Q_{сн}$) определяется выражением [82]:

$$Q_{сн} = a \ v c P_{сн} S, \quad (3.3),$$

а в составе ливневых вод ($Q_{л}$) [82]:

$$Q_{л} = a \ v c P_{л} S, \quad (3.4)$$

где v – параметр взаимодействия талых и ливневых вод с почвогрунтами [213].

Концентрация взвешенных веществ в стоке с городских территорий зависит от их благоустройства [26, 133]. Поверхностный сток металлов в составе талых и ливневых вод с атмосфероно загрязненных территорий может быть определяющим в загрязнении поверхностных вод [213].

При измерении содержания тяжелых металлов в компонентах окружающей среды известно их валовое значение «на входе» в экосистемы. Дальнейшая их судьба в реальных биогеоценозах сильно зависит от форм нахождения элементов [18], растворимости соединений, их миграционной способности, усвояемости растениями и животными, их способности передаваться по трофическим цепям питания и накапливаться в организмах, способности образовывать органические комплексы.

Для всех халькофилов характерна высокая токсичность [7], но это понятие весьма условное. В течение длительной эволюции растения и животные, а также человек, приспособились к постоянному присутствию в среде обитания всех химических элементов в количествах, близких к их кларку в земной коре. Такие содержания, как правило, являются оптимальными для

существования подавляющего большинства живых организмов и поэтому не вызывают у них отклонений от нормального развития.

В то же время существует ряд низших живых организмов, которые адаптировались к жизни в условиях повышенного фона халькофилов и имеют короткий период релаксации после принятия краткосрочных ураганных доз токсикантов. Продолжительное воздействие высоких доз всех без исключения микроэлементов приводит к нарушению многих жизненно важных физиологических процессов, а в случаях тяжелого отравления нередко к гибели живых организмов. Предельно допустимые концентрации токсичных элементов колеблются в широких пределах и зависят как от самого организма (вид, органы, стадия развития и т.д.), так и от элемента-загрязнителя среды обитания (токсичность и подвижность). Самыми чувствительными к отравлению являются, как правило, генетические и иммунные системы, и поэтому повышенное содержание вредных элементов в подвижной форме отражается, в первую очередь, на внешнем облике растений и животных [7, 18, 184].

Присутствие химических элементов в окружающей среде в повышенных концентрациях обуславливает многочисленные неблагоприятные изменения в жизнедеятельности растений, животных и человека. Вышеприведенные закономерности миграции загрязняющих веществ в изучаемых природных срезах Первоуральско-Ревдинского и Кировградского промузлов относятся в полном объеме ко всем халькофильным элементам.

Однако по вышеприведенным уравнениям рассчитывается миграция загрязняющих веществ, при отсутствии данных наблюдений. В нашем случае такие данные есть, поэтому об их миграции из одной природной среды в другую можно судить по наличию (или отсутствию) корреляционной связи между содержанием загрязняющих веществ в природных средах и в воде изучаемого объекта. Это позволяет сделать корреляционно-регрессионный анализ.

Основные задачи корреляционного анализа относятся к области обоснования прогнозов, т. е. определения с заранее заданной надежностью пределов, в которых будет находиться одна величина, если известна другая величина (парная корреляция) или несколько величин (множественная корреляция), с ней связанных. Величины, используемые для прогноза, называют независимыми, или предсказывающими, величины, получаемые в результате прогноза – зависимыми, или прогнозируемыми [230].

Меднорудная геосистема III уровня (зона воздействия ОАО «СУМЗ»)

В начальный этап определялись корреляционные связи между элементами природно-техногенной геосистемы района расположения промплощадки ОАО «СУМЗ» (рис. 3.14): атмосферным воздухом, поверхностными водами, сточными водами, сбрасываемыми в реку, по основному загрязнителю от меднорудной промышленности – меди. Расчет коэффициента корреляции показал, что между изучаемыми средами существует сильная взаимосвязь, а изучаемый химический ингредиент медь интенсивно мигрирует по средам.

The figure contains two correlation matrices. The top matrix shows the correlation between copper concentration in surface water (Cu_{вода}) and wastewater (Cu_{сточ}). The bottom matrix shows the correlation between copper concentration in atmospheric air (Cu_{воздух}) and surface water (Cu_{вода}). Both matrices indicate a significant positive correlation with a p-value less than 0.05000.

		Корреляции (Spreadsheet1) Marked correlations are significant at p < ,05000	
Переменная		Cu _{вода}	Cu _{сточ}
Cu _{вода}		1,00	0,74
Cu _{сточ}		0,74	1,00

		Корреляции (Spreadsheet1) Marked correlations are significant at p < ,05000	
Переменная		Cu _{воздух}	Cu _{вода}
Cu _{воздух}		1,00	0,71
Cu _{вода}		0,71	1,00

Рисунок 3.14 - Корреляционные матрицы взаимосвязи меди в различных компонентах окружающей среды (сост. автором)

В качестве зависимых переменных использованы концентрации меди в поверхностных водах р. Чусовой, протекающей в районе исследования, а

независимых – в сточных водах предприятия, сбрасываемых в реку, и атмосферном воздухе района.

По меди выявлены прямые зависимости содержания ее в воде после выпуска сточных вод от ее содержания в сбросе сточных вод предприятия в р. Чусовую (рис. 3.15), коэффициент корреляции 0,74.

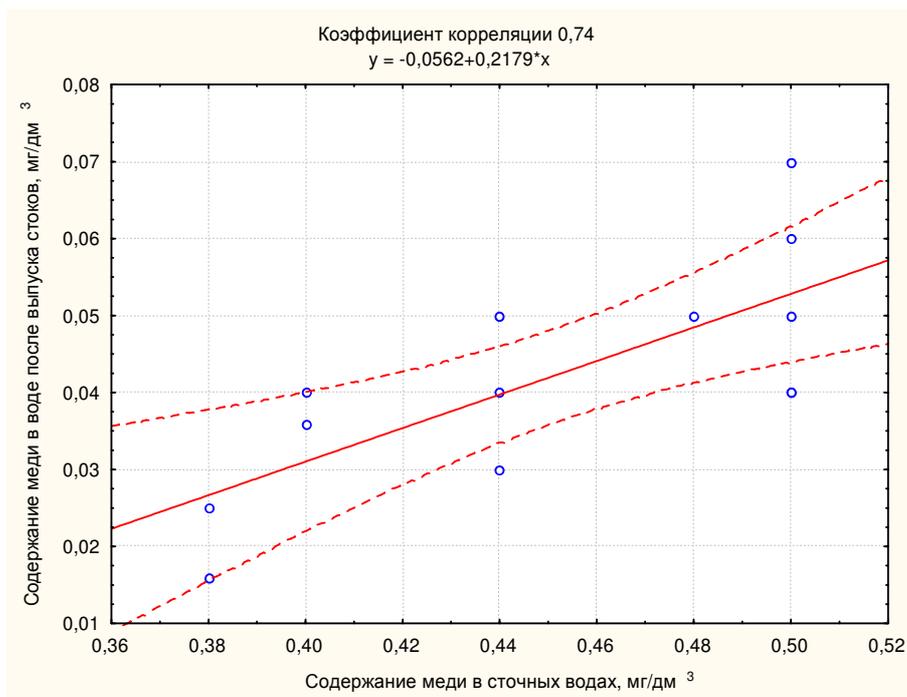


Рисунок 3.15 - Зависимость содержания меди в р. Чусовой (района расположения ОАО «СУМЗ») после выпуска сточных вод от ее содержания в сбросах в р. Чусовую (сост. автором)

Проверка значимости коэффициента корреляции (здесь и далее) осуществлялась с помощью t- распределения Стьюдента.

За основную была принята следующая гипотеза: между содержанием меди в атмосферном воздухе, сточных водах (x) и поверхностных водах (y) существует тесная корреляционная зависимость.

Коэффициент корреляции r признается значимым, если $t > t_{кр.}(a, n-2)$, где

$$t_{сп} = \frac{|r| \times \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (3.5),$$

n – количество опытов ($n-2$ – число степеней свободы); a – уровень значимости, $t_{табл.}$ – критерий Стьюдента, $t_{кр.}$ – расчетное.

По заданному уровню значимости a и числу степеней свободы $n-2$ по таблице (В.Е. Гмурман, 1998) находим $t_{кр.}(a, n-2)$.

В нашем случае, $r = 0,74$, $n = 12$, $a = 0,05$. Тогда, исходя из формулы 3.5, $t = 3,2$; $t_{кр.}(0,05;10) = 1,81$. Имеем $t > t_{кр.}(a, n-2)$, следовательно, между содержанием меди в сточных и поверхностных водах существует корреляционная зависимость.

Таким образом, на поверхностные воды р. Чусовой влияют сбросы предприятия, то есть в формирование экологического состояния реки значительный вклад вносят техногенные факторы. Это подтверждается и высоким значением коэффициента корреляции между содержанием меди в атмосферном воздухе и поверхностных водах р. Чусовой (после выпуска сточных вод): $r = 0,71$, при $n = 20$, $a = 0,05$. Тогда $t = 4,3 > t_{кр.}(0,05;18) = 1,73$ (рис. 3.16)

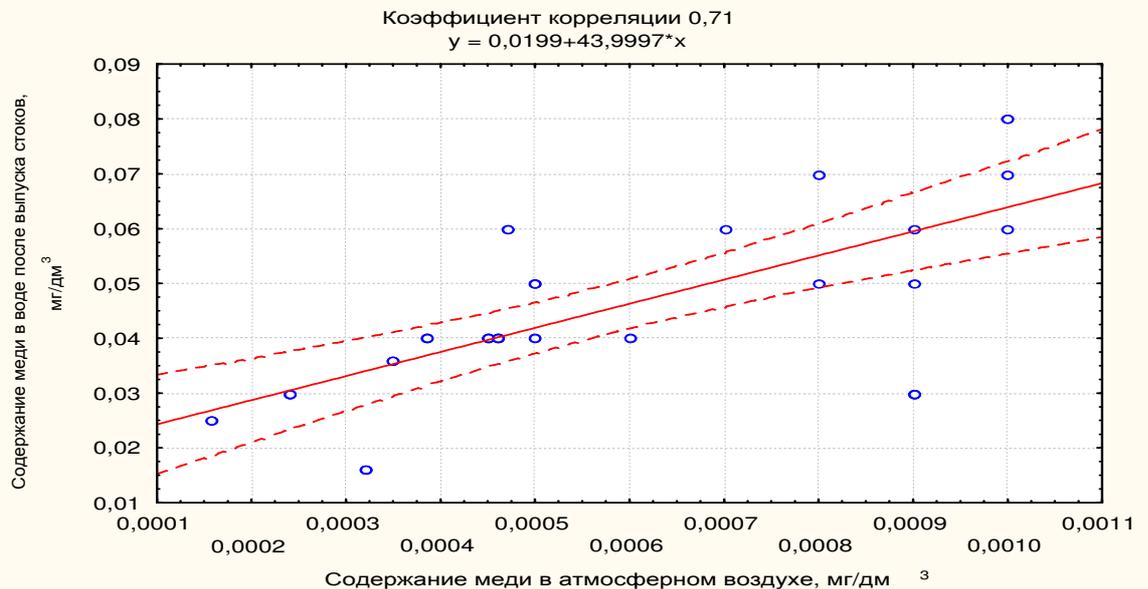


Рисунок 3.16 - Зависимость содержания меди в поверхностных водах р. Чусовой от ее содержания в атмосферном воздухе (сост. автором)

Таким образом, построенные математические модели и уравнения регрессии:

Сu в стоках ($x_{ст}$) – Сu в
поверхностных водах после
выпуска стоков ($y_{пв}$) $y_{пв} = -0,0562 + 0,2179 * x_{ст}$

Сu в атмосферном воздухе ($x_{атм}$) – $y_{пв} = 0,0199 + 43,9997 * x_{атм}$
Сu в поверхностных водах после
выпуска стоков ($y_{пв}$)

возможно использовать как прогнозные для оценки содержания меди в поверхностных водах, зная ее концентрации в сточных водах или в атмосферном воздухе.

Или, на основе суммирования этих уравнений, получаем:

$$y_{пв} = - 0,02 + 0,11 x_{ст} + 20 x_{атм}$$

Меднорудная геосистема III уровня (зона воздействия ОАО «КМК»)

На территории воздействия ОАО «КМК» (Кировградский промузел) на основании корреляционно-регрессионного анализа изучалась взаимосвязь по меди между компонентами окружающей среды, а, следовательно, и ее миграционная подвижность, начиная с выпадения ее в результате выбросов на снежный покров, затем перехода в почву и до попадания в живые организмы.

В качестве зависимых переменных использованы содержания меди в растениях и почве, независимых – в снеге и почве.

За основную была принята следующая гипотеза: между содержанием меди в снежном покрове, почве (x) и растениях (y) существует тесная корреляционная зависимость.

Анализ рисунков 3.17, 3.18 показал, что происходит миграция меди из снежного покрова в почву, а затем из почвы в растения.

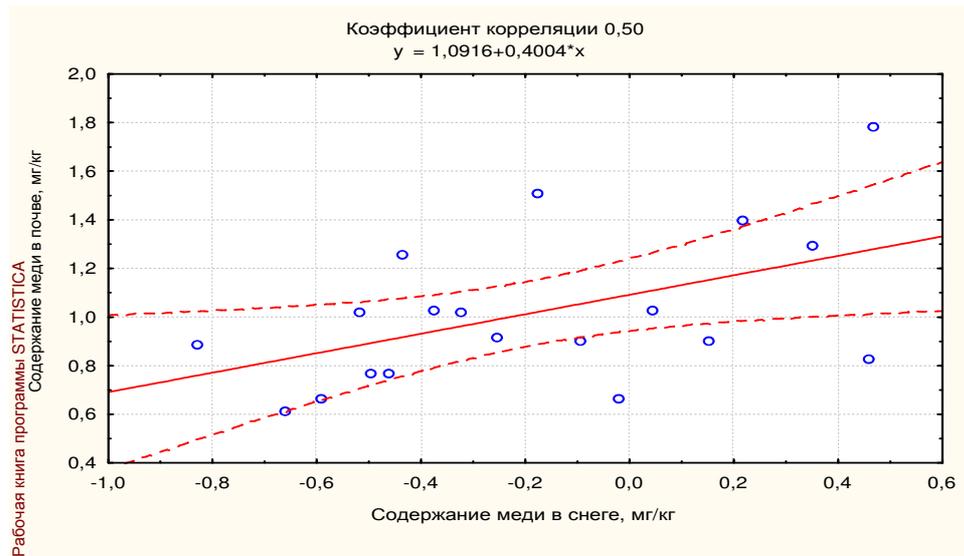


Рисунок 3.17 - Зависимость содержания меди в почве от ее содержания в снежном покрове (сост. автором)

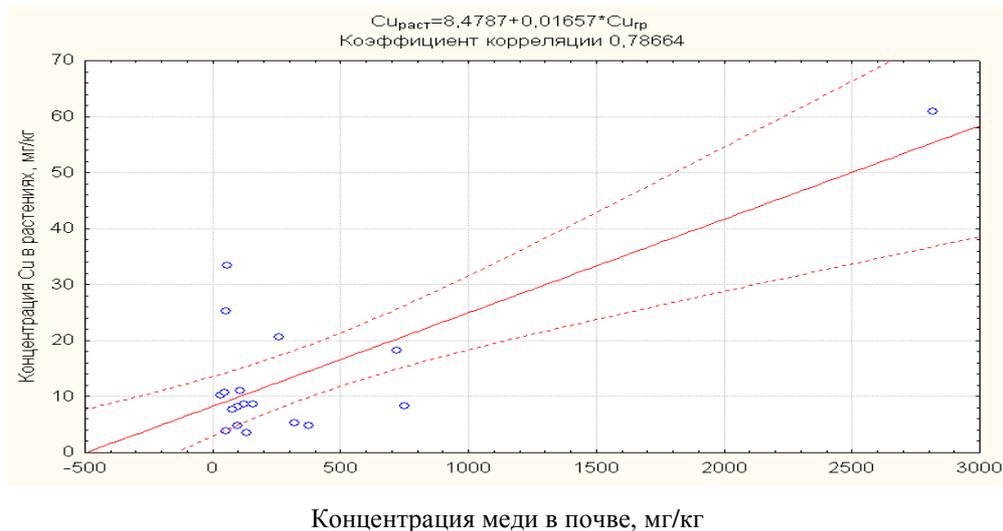


Рисунок 3.18 - Зависимость содержания меди в растениях от ее содержания в почве (сост. автором)

Коэффициенты корреляции значимые:

$R = 0,5$, $n = 19$, $\alpha = 0,05$. Тогда $t = 2,4 > t_{кр.}(0,05;17) = 1,74$;

$r = 0,78$, $n = 19$, $\alpha = 0,05$. Тогда $t = 5,36 > t_{кр.}(0,05;17) = 1,74$.

Таким образом, между содержанием меди в снежном покрове и почве, почве и растениях существуют корреляционные зависимости.

На рисунке 3.19 прослежен полный цикл миграции по меди от ее техногенного привноса, в результате выбросов предприятиями в атмосферу

загрязняющих веществ и пыления с отвалов, до выпадения ее на снежный покров, а затем через почву в организмы растений.

Расчет показал, что коэффициент корреляции значимый: $r = 0,55$, $n = 19$, $a = 0,05$, $t = 2,8 > t_{кр.}(0,05;17) = 1,74$, то есть между содержанием меди в снеге и растениях существует корреляционная зависимость.

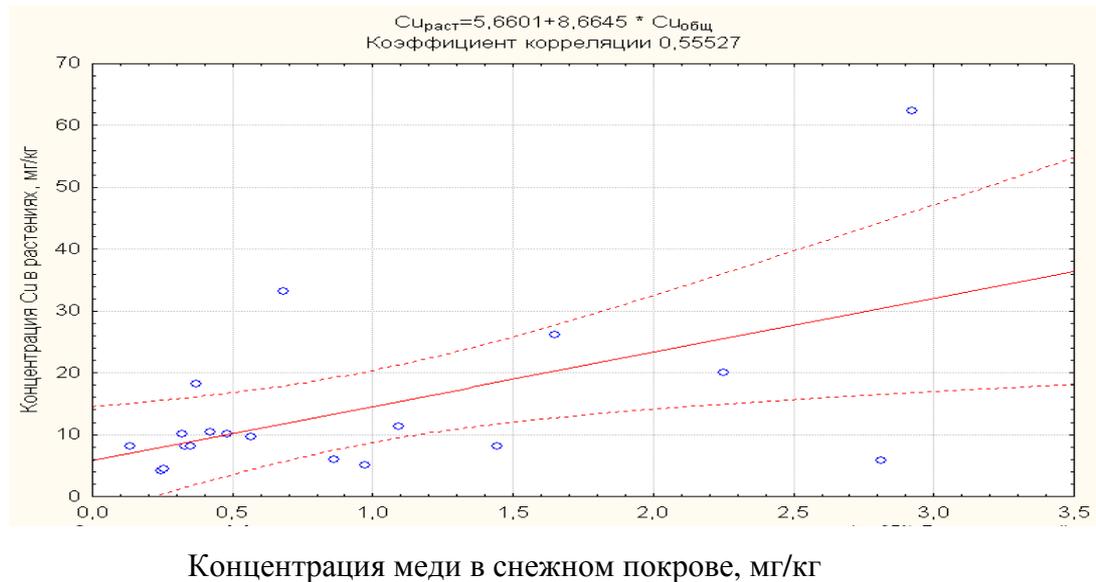


Рисунок 3.19 - Зависимость содержания меди в растениях от ее содержания в снежном покрове (сост. автором)

Построенные математические модели и уравнения регрессии:

$$\text{Си в снеге}(x_c) - \text{Си в почве}(y_n) \quad y = 1,0916 + 0,4004 * x$$

$$\text{Си в почве}(x_n) - \text{Си в растениях}(y_p) \quad y_p = 8,4787 + 0,01657 * x_n$$

$$\text{Си в снеге}(x_c) - \text{Си в растениях}(y_p) \quad y_p = 5,6601 + 8,6645 * x_c$$

$$(\text{или: } y_p = 7,05 + 0,01x_n + 4,33x_c)$$

можно использовать как прогнозные, что подтверждено данными натурных исследований.

Таким образом, установленные зависимости говорят о том, что загрязнение абиотических компонентов системы приводит за счет миграции к изменению концентраций тяжелых металлов в биотических компонентах, где они накапливаются. А как говорилось раньше (см. главу 1), количественные

изменения в конечном итоге приводят к качественному изменению. И, по нашему мнению, этот переход связан с изменением устойчивости ГС. Конечным звеном миграции в этом случае является биота.

3.4. Изменение устойчивости природно-техногенной геосистемы III уровня

Термин «устойчивый» обозначает, что нечто (может быть система) способно реагировать на изменения в окружающей среде (возмущения, случайные помехи) и по-прежнему сохранять приблизительно то же самое поведение на протяжении определенного (возможно бесконечного) периода времени.

Устойчивость природных геосистем определяется как характером техногенных воздействий, так и свойствами самих природных систем. Характер техногенных воздействий может быть совместим или несовместим с современным направлением развития геохимических процессов.

Одним из наиболее информативных показателей устойчивости природно-техногенной геосистемы является состояние биоты [278], поэтому нами для оценки устойчивости изучаемой геосистемы выбран тест-объект – рыжая полевка, достаточно информативный, вследствие физиологической, биохимической и трофической близости к человеку и позволяющий оценивать качество среды его обитания [148, 238, 264]. Известно, что выбросы медеплавильных заводов являются одними из наиболее токсичных для биоты, так как сочетают действие тяжелых металлов и сернистого ангидрида, который подкисляя среду, увеличивает подвижность и биологическую активность ионов металлов [7, 238].

3.4.1. Оценка состояния населения рыжей полевки (на примере района расположения ОАО «СУМЗ»)

Рыжая полевка (*Clethrionomys glareolus* Schreber, 1780) является доминирующим видом среди мелких млекопитающих, на изучаемой

территории, что представляет собой удобство при использовании данного вида в качестве тестового [150].

Многолетние исследования населения рыжей полевки проведены Мухачевой С.В. [148, 149, 150, 238].

Для характеристики населения рыжей полевки в окрестностях ОАО «СУМЗ», был заложен топоэкологический профиль, разделенный на три зоны: на расстоянии 1-3 км от промплощадки завода (импактная зона), 3-12 км (буферная зона) и 20-30 км (фоновая зона) (рис. 3.20). Выбранные территории характеризовали серию местообитаний животных в градиенте техногенного воздействия [148, 149, 150].

По стандартным методикам изучалась динамика численности населения, а также концентрации токсических элементов в органах-депо (свинца в скелете, кадмия – в почках) особей рыжей полевки [148, 149, 150].

Численность населения рыжей полевки. Степень благополучия существования вида в данных условиях среды отражает показатель общего обилия. В исследованиях, касающихся реакции сообществ и отдельных видов мелких млекопитающих на техногенные воздействия, показано, что факторы техногенной природы (независимо от их генезиса) оказывают отрицательное воздействие на общее обилие животных: при приближении к источнику эмиссии оно существенно сокращается [148, 238].

Данные о численности населения рыжей полевки в градиенте техногенного загрязнения среды, полученные в ходе отловов животных, приведены в табл. 3.9. Из таблицы видно, что техногенные нарушения приводят к существенному снижению индекса общего обилия рыжей полевки. Вблизи медеплавильного комбината значения этого показателя в целом за сезон в 4,3 раза ниже фоновых значений, в буферной зоне снижение менее ощутимо – зарегистрированы двукратные отличия по сравнению с ненарушенными участками [238].

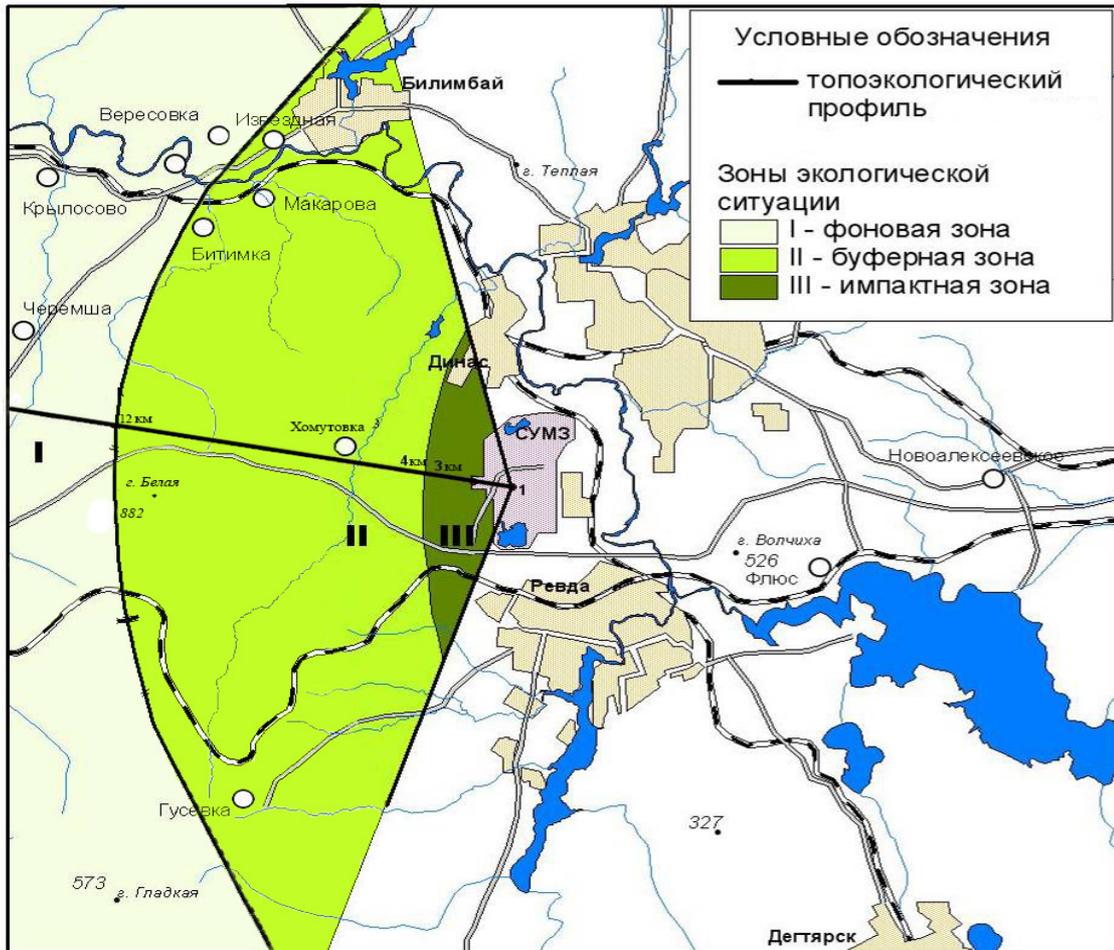


Рисунок 3.20 - Расположение экологической трансекты в окрестностях района расположения ОАО «СУМЗ» (сост. по материалам отчета о научно-исследовательской работе: Состояние компонентов окружающей среды..., 2006 [238] с уточнениями автора)

Основной причиной существенного снижения общего обилия полевок, является опережающее уменьшение числа участков, пригодных для обитания, нежели ухудшение защитных и кормовых показателей этих микроместообитаний [149]. В условиях промышленного воздействия животные сосредоточены на ограниченном количестве микроучастков, где они достигают высокого уровня обилия. В импактной зоне заселяется от 2 до 14% общей площади обследованной территории (в зависимости от фазы популяционного

цикла и сезонной динамики), тогда как на фоновых участках рыжие полевки занимают от 8 до 53% соответственно [148, 149, 238].

Таблица 3.9 - Относительное обилие рыжей полевки (особей на 100 ловушко-суток) в окрестностях ОАО «СУМЗ» и на фоновых территориях (по результатам отловов за 2006 г.) [238]

Исследованный показатель	Зона исследования		
	Фоновая (20-30 км)	Буферная (5 км)	Импактная (1 км)
Отработано ловушко-суток	475	250	325
Отловлено зверьков	57	14	9
Относительное обилие животных	12.0	5.6	2.8

По многолетним данным, полученным Мухачевой С.В., зарегистрированные значения соответствуют уровню численности, характерному для фазы популяционного роста [148, 149, 238].

Содержание тяжелых металлов в организме животных. Поллютанты, поступающие в организм, накапливаются в органах и тканях. Уровни накопления загрязнителей определяются рядом факторов, в том числе интенсивностью их потребления, длительностью экспозиции, интенсивностью обменных процессов и т.д. [148, 238].

На примере рыжей полевки были рассмотрены особенности накопления загрязнителей животными, принадлежащими к разным возрастным субпопуляционным группировкам. Полученные в ходе сравнительного анализа данные показывают, что в условиях хронического воздействия токсиканты (свинец и кадмий) имеют тенденцию накапливаться с возрастом в органах-депо в больших количествах (табл. 3.10) [148]. Результаты исследования свидетельствуют о том, что неполовозрелые сеголетки независимо от расстояния до источника эмиссии характеризуются минимальным содержанием кадмия в почках, свинца – в скелете. Половозрелые прибылые и перезимовавшие особи концентрировали металлы в больших количествах (1,5-3,5 раза) [148, 150].

В литературе имеются данные о гистопатологических изменениях в почках рыжих полевок при хронической интоксикации кадмием, а критические концентрации кадмия оцениваются как 35-40 мкг/г и выше. Данные об уровнях накопления кадмия в почках позволяют предположить, что у значительной части населения рыжей полёвки (даже среди молодняка) вероятно наличие токсических эффектов поражения [148, 238].

Таблица 3.10 - Уровни накопления свинца в скелете и кадмия в почках рыжих полевок, отловленных в окрестностях СУМЗ и на фоновых территориях [150]

Функционально-возрастная группа	Зона исследования		
	Фоновая	Буферная	Импактная
Свинец в скелете, мкг/г сухого веса			
Перезимовавшие особи	12,75±1,44	42,70±5,07	66,00±7,50
Половозрелые прибылые	20,27±3,11	48,03±4,20	57,93±5,47
Неполовозрелые прибылые	19,48±1,53	36,92±2,14	50,78±6,12
Кадмий в почках, мкг/г сухого веса			
Перезимовавшие особи	10,88±0,90	35,97±3,28	55,69±9,52
Половозрелые прибылые	7,20±1,34	34,04±6,22	22,64±3,11
Неполовозрелые прибылые	3,06±1,27	22,87±2,17	24,34±3,54

Такая тенденция подтверждена и данными, полученными Михеевой Е.В., Байтимировой Е.А. в ходе исследований концентраций тяжелых металлов (Ni, Co, Cr) в наземной фитомассе вейника тростниковидного, содержанием желудков и печени рыжей полёвки в районе посёлка Уралец Нижнетагильского промузла и фоновой территории - участка Висимского государственного биосферного заповедника.

Михеевой Е.В., Байтимировой Е.А. установлено, что содержание никеля и хрома в надземной фитомассе вейника тростниковидного (семейство Злаки) на аномальном участке выше, чем на фоновом (табл. 3.11) [145].

Анализ концентраций никеля, кобальта и хрома в содержимом желудков рыжих полевок выявил более значительное поступление тяжелых металлов в

организмы животных на аномальном участке по сравнению с фоновым (табл. 3.11). Более высокие концентрации металлов в содержимом желудков животных по сравнению с их содержанием в анализируемой фитомассе, объясняются широтой спектра питания рыжей полевки, куда помимо сосудистых растений входят грибы, лишайники, мхи, которые характеризуются безбарьерным типом накопления химических элементов [145].

В результате оценки накопления тяжелых металлов в печени рыжих полевок установлено, что содержание кобальта и хрома, обитающих в районе Нижнетагильского промузла, статистически значимо выше по сравнению с содержанием данных элементов в печени животных фонового участка (табл. 3.11) [145].

Таким образом, изучение биотической составляющей геосистемы горно-металлургического комплекса, в качестве показателей ее устойчивости, показало, что при сравнении трех зон – импактной, буферной и фоновой – выявлены следующие особенности:

1. Импактная территория характеризуется малой численностью, повышенным содержанием в живых организмах загрязняющих элементов [148, 149, 150] по сравнению с фоном.

2. Буферная зона является переходной между фоновой и импактной территориями. Здесь наблюдается увеличение относительного обилия животных, а также уменьшение концентрации загрязняющих компонентов во внутренних органах [148, 149, 150].

3. Фоновая территория в течение всего периода наблюдений характеризовалась наибольшим относительным обилием особей, во внутренних органах содержание тяжелых металлов соответствует уровню регионального фона [148,149,150].

Таблица 3.11 - Содержание тяжелых металлов в вейнике тростниковидном, содержимом желудка и печени животных в районе Нижнетагильского промузла (над чертой) и на фоновом участке (под чертой), мкг/г воздушно-сухого веса [145]

Объект	n	M±m			lim		
		Ni	Co	Cr	Ni	Co	Cr
Вейник тростниковидный	<u>9</u>	<u>4.4±0.71*</u>	<u>0.16±0.05</u>	<u>1.14±0.08*</u>	<u>2.37-9.3</u>	<u>0.01 - 0.42</u>	<u>0.92 - 1.71</u>
	9	1.76±0.09	0.11±0.02	0.66±0.06	1.28-1.99	0.03-0.22	0.42 - 0.88
Содержимое желудка рыжей полевки	<u>18</u>	<u>6.22±0.64*</u>	<u>0.85±0.14*</u>	<u>3.05±0.71*</u>	<u>2.64-11.93</u>	<u>0.05 - 2.04</u>	<u>0.94-14.88</u>
	16	1.69±0.1	0.48±0.08	0.82±0.14	0.92-2.33	0.05-1.01	0.05 - 1.98
Печень рыжей полевки	<u>37</u>	<u>0.87±0.16</u>	<u>0.47±0.08*</u>	<u>1.39±0.2*</u>	<u>0.05 – 5.91</u>	<u>0.05 – 2.55</u>	<u>0.09 – 4.1</u>
	33	0.55±0.05	0.18±0.03	0.56±0.08	0.03 – 1.29	0.02 – 0.88	0.02 – 1.79

Примечание: * - различия между аномальным и фоновым участками статистически значимы ($p \leq 0.05$).

На основе полученных данных можно утверждать, что устойчивость биотической составляющей по мере приближения к источнику загрязнения нарушается. Но можно ли утверждать, что в связи с этим уменьшается устойчивость и всей изучаемой геосистемы? Для ответа на этот вопрос нами рассчитан биогеохимический баланс. Мы исходили из того, что если приходная (в систему) и расходная (из системы) части загрязняющих элементов равны, то их аккумуляция в геосистеме не наблюдается, устойчивость сохраняется. В случае, если приходная часть больше расходной, наблюдается аккумуляция загрязняющих веществ, в противном случае (приход меньше расхода) преобладает вынос, и в том и другом случае наблюдается деградация геосистемы.

Изучение биогеохимического баланса проведено для предприятий меднорудной и железорудной промышленности.

3.4.2. Выявление механизма устойчивости природно-техногенной геосистемы III уровня на основе биогеохимического баланса

Природно-техногенная геосистема III уровня имеет, с одной стороны, довольно существенное природное воздействие (в результате повышенного фонового содержания загрязняющих веществ в компонентах окружающей среды), а с другой стороны, сильнейшее техногенное воздействие в результате деятельности предприятий горно-металлургического комплекса. В силу воздействия двух этих подсистем происходит накопление загрязняющих веществ в элементах природно-техногенной геосистемы. Однако элементы природно-техногенной геосистемы не могут бесконечно накапливать неспецифические им вещества. В таком случае природно-техногенная геосистема должна была бы перейти на какой-либо качественно новый уровень либо деградировать. Однако, как показали проведенный экологический мониторинг (глава 2) и оценка состояния мелких млекопитающих, находящихся под воздействием крупного промышленного предприятия, при достаточно

высоких концентрациях загрязняющих веществ и при постоянном и интенсивном природном и техногенном воздействии на элементы природно-техногенной геосистемы, в том числе и на живые организмы, система длительное время находится в относительно устойчивом состоянии. Поэтому, возможно, здесь, наряду с привносом загрязняющих веществ в геосистему действуют механизмы «разгрузки» или выноса загрязняющих веществ из геосистемы. Происходит смыв загрязняющих веществ со всей водосборной территории, находящейся под воздействием предприятий горно-металлургического комплекса. Под водосборной территорией в данном случае понимаются элементы природно-техногенной геосистемы III уровня – приземная атмосфера, почвы, поверхностные и подземные воды, растительность, живые организмы. Смыв загрязняющих веществ с водосборной территории происходит поверхностным стоком в водные объекты этой же природно-техногенной геосистемы, а затем по речной системе загрязняющие вещества выносятся за ее пределы.

Оценку поступления и выноса загрязняющих веществ под воздействием предприятий горно-металлургического комплекса возможно выполнить с помощью биогеохимического баланса.

В целом геохимический баланс по В.М. Гольдшмидту – это баланс между массой химических элементов, поступивших в океан при выветривании изверженных горных пород (пропорционально их кларкам) за время существования Земли, и массой химических элементов, слагающих осадочные горные породы (с учетом воды и углекислого газа) в совокупности с массой химических элементов, сохранившихся в морской воде.

Анализ балансовых уравнений систем является одним из главных средств их познания. Основное назначение балансового метода – изучение и количественная характеристика динамических явлений, связанных с перемещением вещества и энергии внутри систем и между ними. Основными

балансами, описывающими процессы функционирования систем, являются энергетический, водный, а в настоящее время, в связи с интенсивной техногенной нагрузкой, технолого-геохимический и биогехимический, учитывающий техногенные, абиотические и биотические факторы.

В работе представлен расчет биогехимического баланса загрязняющих веществ природно-техногенной геосистемы III уровня, выполненный на основе экологического мониторинга за состоянием компонентов окружающей среды и технолого-геохимического баланса металлов в горно-металлургическом комплексе, который рассматривает расход и накопление загрязняющих веществ в техногенной системе [213].

Технолого-геохимический баланс элемента в горно-обогатительном производстве представлен следующим уравнением [213]:

$$V_{г.м.} * C_i + V_{р.} * C_i + V_{п.в.} * C_i + V_{р.в.} * C_i = (V_{с.п.} * C_i + V_{п.от.} * C_i + V_{др.в.} * C_i) + (V_{об.} * C_i + V_{щебня} * C_i) + (V_{хвостов} * C_i + V_{пыл.} * C_i + V_{др.в.} * C_i) + V_{пыл.об.} * C_i + (V_{шлама} * C_i + V_{сточ.вод} * C_i), \quad (3.6)$$

где $V_{г.м.}$ – объем выработанной горной массы; $V_{р.}$ – объем рудной массы; $V_{п.в.}$ – объем пылевых выбросов при разработке; $V_{р.в.}$ – объем рудничного водоотлива, $V_{с.п.}$ – объем складированных пород в отвал; $V_{п.от.}$ – объем пыления с отвалов; $V_{др.в.}$ – объем откачанных дренажных вод; $V_{об.}$ – объем произведенного продукта обогащения (концентрата); $V_{щебня}$ – объем побочных продуктов, например щебня; $V_{пыл.}$ – объем пылевых выбросов с хвостохранилища; $V_{др.в.}$ – объем дренажных вод с хвостохранилища; $V_{пыл.об.}$ – объем пылевых выбросов с обогатительной фабрики; $V_{шлама}$ – объем шлама, образовавшегося на очистных сооружениях; $V_{сточ. вод}$ – объем сточных вод, попадающих в гидрографическую сеть; C_i – содержание i -го компонента; в металлургическом производстве – следующим уравнением:

$$V_{шл.от.} * C_i + V_{доб.} * C_i = V_{металла} * C_i + V_{у.пыл.} * C_i + V_{пыл.выб.} * C_i + V_{ст.в.} * C_i + V_{в.мигр.} * C_i + V_{пыл.р} * C_i \quad (3.7),$$

где V сырья – объем используемого сырья; V доб. – объем используемых добавок; $V_{\text{металла}}$ – объем выпуска металла; $V_{\text{пыл.выб.}}$ – объем пылевых выбросов; $V_{\text{у.пыл.}}$ – объем уловленной пыли системой газоочистки и вывезенной на шламохранилище; $V_{\text{ст.в.}}$ – объем сточных вод в металлургическом производстве; $V_{\text{шл.от.}}$ – объем складироваемых шлаков; $V_{\text{пыл.р}}$ – объем пылевого рассеяния от шлаковых отвалов; $V_{\text{в.мигр.}}$ – объем водной миграции от шламохранилища; C_i – содержание i -го компонента.

Представленные балансовые уравнения содержат учтенные и неучтенные источники загрязнения окружающей среды. Учтенные источники учитываются в отчетах предприятия, а регламентирующие дозы внесения в окружающую среду загрязняющего вещества определяются при разработках ПДС и ПДВ. Неучтенные источники – пыление с отвалов и хвостохранилищ, поступление из них сточных вод в подземные и поверхностные воды [213].

Биогеохимический баланс учитывает объемы накопления загрязняющих элементов во всех компонентах окружающей среды: снежном покрове, почвах, почвообразующем горизонте, природных водах, растительности и живых организмах.

Расчет биогеохимического баланса загрязняющих веществ

Исходя из определения В.М. Гольдшмидта, биогеохимический баланс – баланс между массой химических элементов, поступивших в компоненты природной среды (атмосферный воздух, снежный покров, почвы, почвообразующий горизонт, растительность, биоту) в результате воздействия техногенного фактора (выбросы, сбросы, отвалы), и массой химических элементов, находящихся в водном объекте.

Приведем расчет биогеохимического баланса (БГБ) загрязняющих веществ, аккумулирующихся на водосборной территории, находящейся под воздействием предприятий горно-металлургического комплекса:

$$\text{БГБ}_i = V_{\text{в.а.}} + V_{\text{с.р.}} + V_{\text{о.о.}} + V_i * V_{\text{о.н.и}} - V_{\text{в.в.}} * C_{\text{в.в.}} \quad (3.8),$$

где i – компонент окружающей среды;

$V_{в.а.}$ – среднегодовые выбросы металлов в атмосферу, мг/дм³;

$V_{с.р.}$ – среднегодовые сбросы металлов в реки, мг/дм³;

$V_{о.о.}$ – объем складироваемых отходов в отвалах, мг/дм³;

V_i – объем пробы компонента окружающей среды, дм³;

C_i – средняя концентрация загрязняющего элемента в компоненте окружающей среды, мг/дм³;

$V_{в.в.}$ – объем пробы поверхностных вод, дм³;

$C_{в.в.}$ – средняя концентрация загрязняющего элемента в поверхностных водах, мг/дм³.

По результатам ранжирования источников загрязнения (промышленных предприятий) были выявлены концентрации загрязняющих веществ в выбросах, сбросах, промышленных отходах (табл. 3.12–3.14).

Таблица 3.12 - Среднемноголетние выбросы металлов в атмосферу, т/г (сост. автором)

Элемент	ОАО «КМК»	ОАО «СУМЗ»
Cu	106	120,1
Zn	383,6	418,3
Pb	248,9	253,9
Cd	15,7	6,2
As	63,3	51,2

Таблица 3.13 - Среднемноголетние сбросы металлов в реки, т/год (сост. автором)

Элемент	ОАО «КМК»	ОАО «СУМЗ»
Cu	4,4	0,5
Zn	4,55	1,4
Pb	-	-
Cd	-	-
As	0,03	0,06

Таблица 3.14 - Концентрации тяжелых металлов в пылевых выпадениях их из атмосферы у отвалов ОАО НТМК на р. Ольховка, т/год (сост. автором)

Элемент	Отвалы ОАО «НТМК»
Mn	3700
V	1300

На основании результатов исследования современного состояния природно-техногенной геосистемы, представленных в Главе 2, были установлены средние концентрации загрязняющих веществ в различных компонентах окружающей среды (табл.3.15–3.17).

На основании установленных концентраций загрязняющих веществ, был рассчитан биогеохимический баланс поступления загрязняющих веществ с водосборной площади предприятий горно-металлургического комплекса (табл. 3.18 –3.20).

Таблица 3.15 - Количество химических элементов в различных областях накопления район расположения ОАО «КМК», Кировградский промузел), мг/кг (сост. автором)

Область накопления	Химические элементы				
	Cu	Zn	Pb	Cd	As
Снег	1174,13	1859,84	1081,96		
Почва	2659,75	2715,08	803,52	27,45	152,36
Растения	3912,3	45321,75	1909,013	456,39	3963,6
Насекомые	93235,46	96730,39	2388,76		
Почвообразующий горизонт	1840,41	1428,68	216,32	21,84	83,17

Таблица 3.16 - Количество химических элементов в различных областях накопления (район расположения ОАО «СУМЗ», Первоуральско-Ревдинский промузел), мг/кг (сост. автором)

Область накопления	Химические элементы				
	Si	Zn	Pb	Cd	As
Снег	820,93	669,96	768,46	140,675	102,11
Почва	349,12	366,036	280,944	-	-
Растения	5555,25	75262,5	12144,36	-	-
Подземная вода, мг/дм ³	0,35	0,41	-	-	0,0082

Таблица 3.17 - Количество химических элементов в различных областях накопления (шлаковые отвалы ОАО «НТМК», Нижнетагильский промузел), мг/кг (сост. автором)

Область накопления	Химические элементы	
	Mn	V
Снег	158,67	77,36
Почва	263,8	187,3
Почвообразующий горизонт	20,80	37

Таблица 3.18 - Среднегодовой биогеохимический баланс, Кировградский промузел (сост. автором)

Элементы	Компоненты природной среды					Сумма Σ , т/год
	Снежный покров, %	Почвы, %	Почвообразующий Горизонт, %	Растения, %	Насекомые, %	
Cu	1,14	2,59	1,79	3,8	90,68	102822,05
Zn	1,26	1,8	0,96	30,6	65,33	148055,79
As		3,63	1,98	94,39		4199,13
Cd		5,09	4,06	84,55		539,78
Pb	16,9	12,56	3,38	29,8	37,33	6399,57

Таблица 3.19 - Среднегодовой биогеохимический баланс, Первоуральско-Ревдинский промузел (сост. автором)

Элементы	Компоненты природной среды				Сумма Σ , т/год
	Снежный покров, %	Почвы, %	Растения, %	Подземная вода, %	
Cu	6,67	2,8	45,14	0,003	12307,71
Zn	0,87	0,48	48,5	5,3	76725,71
As	33,89			2,7	301,28
Cd	5,81				2420,29
Pb	5,63	2	88,9		13654,85

Таблица 3.20 - Среднегодовой биогеохимический баланс, шлаковые отвалы ОАО «НТМК», Нижнетагильский промузел (сост. автором)

Элементы	Компоненты природной среды			Сумма Σ , т/год
	Снежный покров, %	Почвы, %	Почвообра-зующий горизонт, %	
Mn	35,80	59,51	4,69	443,27
V	25,64	62,1	12,27	301,66

Анализ таблиц 3.18–3.20 показывает, что при воздействии предприятий ГМК на окружающую среду наибольшая часть загрязняющих веществ депонируется в биоте, где процент их накопления в несколько десятков выше, чем в абиотических компонентах.

Таким образом, расчет биогеохимического баланса показал, что наряду с интенсивным техногенным накоплением загрязняющих элементов в компонентах природно-техногенной геосистемы происходит и интенсивный вынос этих элементов из системы, поэтому, казалось бы, данная геосистема должна быть устойчива к техногенному воздействию. Однако не из всех компонентов геосистемы идет вынос загрязняющих элементов, или техногенная нагрузка и миграция загрязняющих элементов настолько интенсивны, что компоненты природно-техногенной геосистемы просто не успевают «разгрузиться». Это касается биоты: гумусового слоя почвы, растительности и живых организмов, где вещества накапливаются, что, несомненно, должно привести к нарушению устойчивости геосистемы. Как показала оценка состояния мелких млекопитающих, определенные нарушения устойчивости уже происходят, что приведет к неизбежному нарушению функционирования, без которого невозможно дальнейшее развитие геосистемы. Для сохранения устойчивости биотической составляющей, то есть способности реагировать на изменения в окружающей среде и по-прежнему, сохранять приблизительно то же самое поведение на протяжении

определенного (возможно бесконечного) периода времени, а значит функционирования и развития системы в целом, необходимы природоохранные мероприятия. Так как биота получает техногенную нагрузку опосредованно, через абиотические компоненты, то и природоохранные мероприятия необходимо направить на улучшение экологического состояния абиотической составляющей: атмосферного воздуха и(или) природных вод. Для этого необходимо, учитывая технологические особенности того или иного промышленного предприятия, изучить экологическую ситуацию, создавшуюся в районе расположения данного предприятия, и в зависимости от того, какой абиотический компонент испытывает наибольшую техногенную нагрузку, разработать природоохранные мероприятия по улучшению его экологического состояния или разработать и внедрить систему мониторинга за состоянием окружающей среды.

ВЫВОДЫ

Функционирование природно-техногенной геосистемы III уровня представляет собой процесс, состоящий из трех взаимосвязанных частей:

1. *Постоянное и интенсивное поступление* загрязняющих веществ в природно-техногенную геосистему происходит в результате выбросов, сбросов и образования отходов от предприятий горно-металлургического комплекса. В результате постоянного и интенсивного поступления загрязняющих веществ происходит накопление их в компонентах окружающей среды. Индикатором такого накопления может служить снежный покров, характеризующий степень воздействия техногенных элементов на окружающую среду. Снежный покров характеризуется повышенным содержанием загрязняющих веществ от техногенного воздействия.

2. *Миграция загрязняющих веществ в геосистеме*, анализ которой показал высокую миграционную способность загрязняющих элементов в геосистеме. Теснота связи между содержанием загрязняющих элементов в

различных компонентах окружающей среды указывает на их высокую миграционную подвижность, протекающую по цепочке: техногенное поступление – абиотические – смешенные – биотические компоненты.

3. *Изменение устойчивости геосистемы* происходит за счет постоянного и интенсивного поступления загрязняющих веществ, а также их миграции внутри геосистемы. Одним из наиболее информативных показателей устойчивости природно-техногенной геосистемы является состояние биоты. Оценка состояния населения рыжей полевки в районе воздействия крупного металлургического предприятия, показала, что по мере приближения к источнику эмиссии происходит деградация живых организмов: уменьшается относительное обилие животных, значительно увеличивается концентрация загрязняющих веществ во внутренних органах по сравнению с фоновыми значениями.

Выявлен механизм устойчивости природно-техногенной геосистемы с помощью биогеохимического баланса, на основании которого можно сделать вывод, что наряду с постоянным и интенсивным привнесением загрязняющих веществ в геосистему действуют и механизмы выноса данных веществ из геосистемы. Биогеохимический баланс показал, что наибольшая часть загрязняющих веществ депонируется в растительности и живых организмах, в меньшей степени в почвах, из остальных же компонентов окружающей среды (снежный покров, подземные и поверхностные воды) происходит интенсивный вынос загрязняющих веществ в соседние геосистемы подземным и поверхностным стоком. Для предотвращения загрязнения других геосистем, а также для снижения техногенной нагрузки на живые организмы, и, следовательно, для дальнейшего развития природно-техногенной геосистемы необходимы природоохранные мероприятия, направленные на сохранение или улучшение экологической ситуации.

4. РАЗВИТИЕ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОЙ ГЕОСИСТЕМЫ III УРОВНЯ

Развитие изучаемой природно-техногенной геосистемы (как говорилось ранее) зависит от ее структуры и функционирования, которые в свою очередь определяют сложившуюся здесь экологическую ситуацию. В результате развития природно-техногенной геосистемы происходит переход ее в качественно новое состояние, где возникают новые или уничтожаются старые элементы структуры и, соответственно, повышается или уменьшается эффективность ее функционирования. В зависимости от складывающейся вследствие этого экологической ситуации геосистема может развиваться как в сторону регресса (деградация природной составляющей), так и в сторону прогресса (сохранять или приближаться к естественному состоянию компонентов природной среды). Чтобы не допустить деградации геосистемы, необходимо ею управлять. Управление, с точки зрения сохранения естественных свойств природной составляющей [164], связано с внедрением природоохранных мероприятий [74,185].



Рисунок 4.1 - Развитие природно-техногенной геосистемы горно-металлургического комплекса (сост. автором)

Из схемы (рис. 4.1) следует, что изучение направленности развития должно начинаться с оценки сложившейся экологической ситуации, после чего нужно переходить к мероприятиям по ее улучшению или стабилизации (управлению), причем важно учитывать такой фактор, как эколого-экономическая или экологическая оценка этих мероприятий. Такая последовательность действий позволит оптимально управлять развитием геосистемы (экологической ситуацией). Для территории предприятия меднорудной промышленности это выбор природоохранного мероприятия, для территории предприятия железорудной промышленности – разработка системы мониторинга на основе СДМ.

4.1. Изучение развития меднорудной геосистемы III уровня (на примере ОАО «УРАЛГИДРОМЕДЬ»)

В качестве модельного объекта выбрано предприятие ОАО «УРАЛГИДРОМЕДЬ» как типичное предприятие горно-металлургического комплекса. Оно расположено на Гумешевском месторождении медистых глин. Гумешевское месторождение было открыто в 1702 году по следам древних разработок и отходов плавки медных руд. Археологические раскопки датируют древний металлургический комплекс VI–IV веками до н.э. Разработка месторождения с перерывами осуществлялась с 1735 года. В 3,0 км на северо-запад от Гумешевского месторождения находится п. Зюзельский, в 2,0 км на северо-восток расположен п. Северский, с южной стороны промплощадки участка подземного выщелачивания на расстоянии 1 км расположен г.Полевской.

Гидрографическая сеть района месторождения (рис 4.2) представлена бассейном р. Чусовая и ее притоков: р. Полевая, р. Северушка, р. Железянка. Гумешевское месторождение медистых глин расположено на водоразделе рек Северушка и Железянка. С севера и востока основную часть рассматриваемой территории ограничивает Северский пруд и р. Северушка, а с юга и юго-

востока – р. Железянка и созданный на ней Нижнежелезянский пруд. Северушка (длина 25 км) – левый приток р. Чусовой, Железянка – левый приток Северушки. Отметка Северского пруда – 339-340 м, Нижнежелезянского – 349 м.

Река Северушка – левобережный приток р. Чусовой. Она берет свое начало с восточного склона Уфалейского кряжа, являющегося водоразделом между бассейнами рек Ревды и Чусовой, и впадает в последнюю на 529 км от устья. Общая площадь водосбора р. Северушки составляет 254 км², залесенность водосбора 82 %, заболоченность 47%. Средневзвешенный уклон реки колеблется от 5,9 до 8,8 промилле. Средняя высота водосбора р. Северушки составляет 410 мБС.

Река Железянка берет начало на северном склоне горы Азов (3-4 км выше п.Зюзельский). Длина реки – 7,8 км. В рассматриваемом районе река протекает в искусственном русле, проложенном южнее шламоохранилища фторогипса ОАО «ПКЗ» от шахты № 2 Гумешевского рудника до Северского пруда. В межень естественного стока практически не имеет, ее сток в устье формируется в основном попусками из Нижнежелезянского пруда в объеме поступления очищенных стоков хозяйственной канализации южной части г. Полевской. Средняя высота водосбора р. Железянки составляет 430 мБС. Средний уклон реки – около 6 промилле, водосбора – 39 промилле. Залесенность водосборной площади равна 85%. Несмотря на малую величину реки, она активно используется для нужд народного хозяйства. По данным РосНИИВХ (1995 г.), в год 95%-ной обеспеченности расход воды в реке составляет 0,001 м³/с, скорость – 0,11 м/с. Максимальные расходы реки 1% обеспеченности при весеннем и дождевом паводке составляют соответственно 4,8 и 15,5 м³/с. В настоящее время р. Железянка ниже плотины Нижне-Железянского водохранилища протекает в искусственном русле. Отвод реки в новое русло был осуществлен в 1959 г. как мера борьбы с увеличивающимся

водопритоком в подземные горизонты шахт Гумешевского рудника. Старое русло находится в 300-400 м севернее нового, пересекая рудное тело месторождения у его южного края, и попадает в ранее существовавшую зону депрессионной воронки рудника.

Ширина старого (естественного) русла р. Железянки на участке, прилегающем к месторождению, составляет около 2,5 м при максимальной глубине до 1 м. Русло в летний период сильно зарастает высшей водной растительностью из-за малых скоростей течения (менее 0,03 м/с). Дно гравелисто-песчаное, местами заилено. Пойма двухсторонняя, шириной до 10 м, повсеместно заболочена. Ширина нового (искусственного) русла тоже в среднем составляет 2,5 м при средних глубинах 0,35 м и скорости течения в межень 0,05 м/с. В настоящее время р. Железянка практически не имеет естественного меженного стока. Ее меженный сток формируется за счет выпусков из Нижне-Железянского водохранилища и дренажа фильтрационных вод многочисленных отстойников.

Нарушенная южной зоной обрушения и сдвижения бывшего Гумешевского рудника заболоченная пойма естественного русла реки Железянки занимает всю южную часть геологического отвода Гумешевского месторождения – в 0,3-0,4 км от границы зоны аварийных утечек. Интенсивная заболоченность и обвалованные провалы, заполненные водой, на территории поймы гидравлически взаимосвязаны с подземными горными выработками Гумешевского рудника и поверхностной гидросетью.

Северское водохранилище построено в 1727 г. Его плотина располагается в 7 км от устья р. Северушки. Площадь водосбора реки к створу плотины составляет 167 км². Впоследствии плотина неоднократно реконструировалась, последний раз в 1960-е годы. Водоохранилище предназначено для обеспечения производственного водоснабжения промпредприятий г. Полевской, для нужд рыбного хозяйства и культурно-

бытовых целей. В течение большей части года уровень воды в водохранилище поддерживается на нормальном подпорном уровне НПУ – 339,2 мБС. Площадь водохранилища при НПУ составляет 3,64 км², объем воды равен 12,5 млн. м³, из них полезный объем составляет 8,99 млн м³. Водоохранилище имеет два обособленных участка: южный, в который впадают рр. Полевая и Железянка, и северный, в который впадают рр. Северушка и Гремиха. Максимальная длина водохранилища относительно невелика – 4,5 км при средней ширине 0,6 км и средней глубине 3,5 м. На данной территории два типа поверхностных вод: гидрокарбонатные и сульфатные магниевые-кальциевые, а также воды смешанного типа.

В настоящее время на Гумешевском месторождении работает система опытно-промышленного подземного выщелачивания (ПВ) с использованием серной кислоты в качестве реагента для извлечения меди. Она действует с 24 января 2004 г. Добыча полезных компонентов, главным из которых является медь, на участке подземного выщелачивания Гумешевского месторождения реализуется через подачу в систему разноуровневых откачных и закачных скважин потоков рабочих выщелачивающих растворов (ВР), представляющих собой водный раствор серной технологической кислоты с концентрацией 10-30 г/дм. Глубина откачных скважин больше, чем закачных, и составляет от 50-70 до 100 м в зависимости от мощности коры выветривания.

Для блоков, в которых часть руды расположена выше уровня подземных вод, в состав технологической схемы входят инфильтрационные траншеи. Подъем продуктивных растворов (ПР), из которых производится извлечение меди, осуществляется из откачных скважин насосами. Маточные растворы после извлечения меди и доукрепления серной кислотой снова подаются на выщелачивание. Восстановление ионов меди происходит на металлическом железном скрапе. В отстойнике осаждается восстановленная медь и отправляется потребителю.

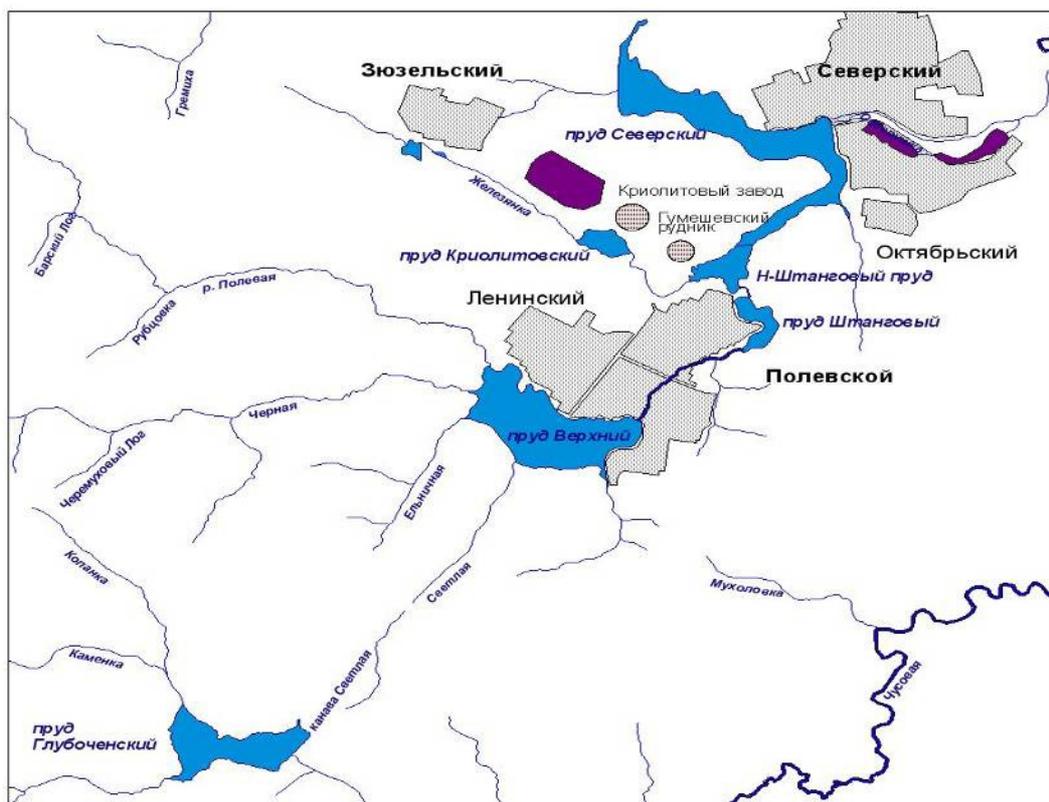


Рисунок 4.2- Гидрографическая сеть и схема расположения ОАО «УРАЛГИДРОМЕДЬ» (сост. автором)

В результате описанного технологического процесса формируются отходы, представленные сточными водами. Сточные воды поступают в Южный залив Северского пруда, образовавшегося в пойме р. Железьянки и окруженного техногенной территорией. При разгрузке скважин и естественном потоке подземных вод образуются три основных загрязняющих стока в Северское водохранилище: новое русло р. Железьянки, старое русло р. Железьянки, шахтный водоотлив (рис 4.3).

Сточные воды, поступая в водные объекты, изменяют их естественный состав, влияя тем самым на экологическое состояние поверхностных вод и определяя развитие системы.



Рисунок 4.3 - Расположение стоков в Северское водохранилище (сост. автором)

- Ст.1 – новое русло р. Железянки.
 Ст.2 – старое русло р. Железянки.
 Ст.3 – шахтный водоотлив.

4.1.1. Современное экологическое состояние района расположения ОАО «УРАЛГИДРОМЕДЬ»

Современная экологическая ситуация сформировалась на территории, которая ранее уже испытывала техногенное воздействие благодаря добыче полезных ископаемых. В связи с тем, что Гумешевское месторождение было открыто еще в 1702 году и добыча меди велась с того же времени, на данном участке действовало еще до ОАО «УРАЛГИДРОМЕДЬ» большое количество предприятий. Эти предприятия осуществляли добычу меди различными, в том числе и открытыми, способами, о чем свидетельствуют многочисленные

заброшенные карьеры, выемки, отвалы. Открытые способы добычи полезных ископаемых, как известно, оказывают влияние на все компоненты окружающей среды [75,213,219,231], поэтому и в изучаемом районе компоненты окружающей среды, в том числе поверхностные воды, почвы, растительность, оказывались под интенсивным техногенным воздействием в течение длительного времени.

Следовательно, в пределах изучаемой геосистемы может наблюдаться загрязнение всех компонентов природной среды. Для определения степени их загрязнения в районе расположения ОАО «УРАЛГИДРОМЕДЬ» были проведены исследования состояния элементов структуры геосистемы: поверхностных вод (230 проб), почв (60 проб), растительности (60 проб).

Степень загрязнения этих элементов геосистемы оценивается путем сопоставления концентраций содержащихся в них загрязняющих веществ с нормативными значениями.

В качестве критериев экологического состояния компонентов окружающей среды могут выступать различные нормативные показатели (санитарно-гигиенические и экологические), характеризующие меру возможного воздействия человека на природу, и исходные (фоновые) характеристики [14,38,56,57,91,92,93,94,131,140,153,160,162,165,273]. В настоящее время в качестве нормативов используются предельно допустимые концентрации (ПДК) веществ и фоновые характеристики. Использование только ПДК не всегда возможно. Это объясняется тем, что некоторые естественные геосистемы имеют фоновые характеристики, в некоторых случаях превышающие предельно допустимые. Использование в этом случае в качестве нормативных показателей фоновых характеристик тоже связано с некоторой неоднозначностью: они могут быть глобальными, региональными и локальными (табл. 4.1). Возникает вопрос: какими характеристиками пользоваться? Для ответа на него нами предложен критерий оценки (КО),

который, в зависимости от обстоятельств, позволяет использовать и ПДК, и фон. КО экологического состояния компонентов окружающей среды основаны на сочетании предельно допустимых и фоновых концентраций (табл. 4.1). Если значения ПДК и фоновых характеристик близки, то в качестве критериев используются ПДК. Если ПДК и фоновые характеристики значительно отличаются друг от друга, то в качестве критериев принимаются последние (табл. 4.1), так как фоновые характеристики отражают геологическую спецификацию конкретного региона, а ПДК приняты для территории РФ в целом, часто не учитывают региональный фон. В каждом районе существуют повышенные или пониженные содержания тех или иных элементов, определяемые геологическим строением. Например, на Среднем Урале наблюдаются повышенные естественные содержания тяжелых металлов (см. главу 2), и даже если бы здесь не было развито промышленное производство, то содержание элементов (тяжелых металлов) все равно бы было выше, чем, например, в компонентах окружающей среды Московской области).

Поэтому в некоторых случаях, когда нельзя нормировать содержание элементов по ПДК ввиду повышенного или пониженного фона, за критерий оценки целесообразно принимать фон, а если ПДК и фоновые концентрации близки, то за критерий оценки принимаются утвержденные ПДК. Такой подход возможно использовать при оценке экологического состояния как всех компонентов территории, так и одного из них.

Экологическое состояние почвенно-растительного слоя начало формироваться уже в 1702 г. Об этом свидетельствует наличие здесь множества старых заброшенных выемок, затопленных карьеров, заросших отвалов, старых карьеров Гумешевского рудника. Поступление загрязняющих веществ (тяжелых металлов) продолжается и в настоящее время. Наши исследования показали, что среди тяжелых металлов, загрязняющих территорию, главное место принадлежит меди: 2-3 КО (рис. 4.4, 4.5).

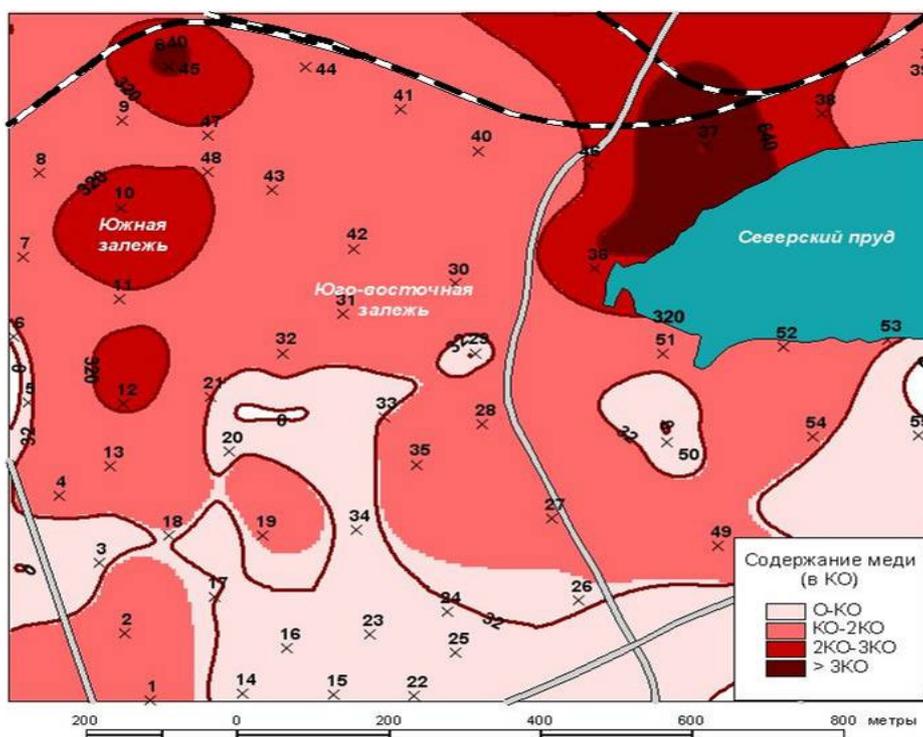


Рисунок 4.4 - Содержание меди в почвах (мг/кг) (сост. автором)

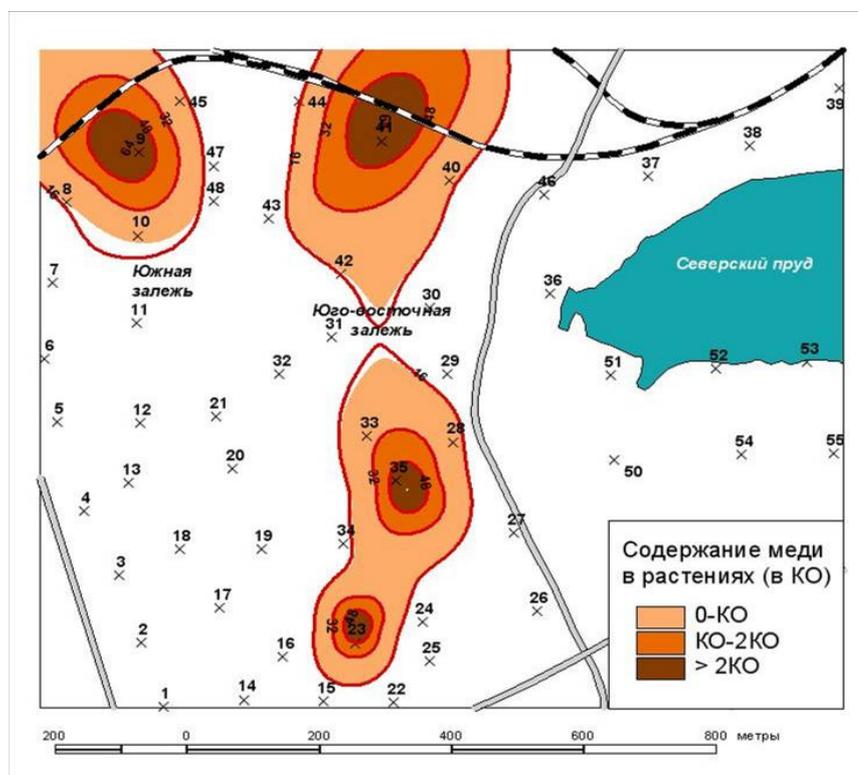


Рисунок 4.5 - Содержание меди в растениях (мг/кг) (сост. автором)

Анализ рисунков 4.4, 4.5 показывает, что по почвам ареал с содержанием меди от КО до 2КО занимает практически всю изучаемую территорию, однако участок с максимальным содержанием меди (более 3КО) приурочен к Железянскому заливу Северского водохранилища. По растительности содержание меди по всей территории не превышает КО, несколько небольших ареалов, в которых содержание меди составляет от КО до 2КО, расположены хаотично, но в большей степени тяготеют к расположению Южной и Юго-Восточной залежей меди.

Поверхностные воды, испытывающие загрязнение от деятельности Гумешевского рудника, представлены Южным заливом Северского пруда, образовавшимся в пойме р. Железянки (рис. 4.3). Как сказано выше, загрязняющие вещества попадают сюда с промышленными стоками, сформировавшимися в результате процесса подземного выщелачивания. Химический анализ 154 проб воды, отобранных нами из 7 створов Южного залива (рис. 4.9), показал превышения над КО по следующим компонентам: сульфат-ион – 1,16КО, медь – 100КО, цинк – 5КО, марганец – 1,9КО, а в 76 пробах, взятых из трех стоков, поступающих в Железянский залив (рис. 4.9), превышения загрязняющих элементов над КО составляют: по меди – 2140КО, цинку – 4604КО (табл. 4.2).

Таблица 4.2 - Среднее многолетнее количество веществ, поступающих в Южный залив со стоками (мг/дм³) (сост. автором)

Ингредиент	КО	Объединенный сток загрязняющих веществ (мг/дм ³)	Превышение в стоках над КО (разы)	Концентрация загрязняющих элементов в заливе (мг/дм ³)	Превышение в заливе над КО (разы)
Cu	0,001	2,14	2140	0,1	100
Zn	0,005	23,02	4604	0,025	5

Полученные данные позволяют заключить, что Железянский залив (часть Южного залива Северского водохранилища, сформировавшаяся в

русловой пойме р. Железянки) является фактически техногенным водоемом, качество воды в котором формируется техногенными локализованными стоками.

Совместный анализ содержания тяжелых металлов в компонентах природной составляющей ГС (табл. 4.3) показывает, что наибольшее влияние на формирование неблагоприятной экологической ситуации оказывают поверхностные воды, КО для которых равно 100 (по почвам 3КО, по растительности 2КО). Согласно «Критериям оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия»[202], если для веществ 1-2 класса опасности[64]в поверхностных водах КО = 1, то водный объект (или территория) относится к относительно удовлетворительной ситуации, при КО от 5 до 10– к чрезвычайной экологической ситуации, при КО более 10 – экологическое бедствие. В данном случае загрязнение поверхностных вод во много раз превышает загрязнение почв и растительности и может быть охарактеризовано как экологическое бедствие.

Таблица 4.3 - Максимальные превышения тяжелых металлов в компонентах окружающей среды над КО (сост. автором)

Компонент природной среды	Максимальное превышение над КО (разы)
Почвы	3
Растения	2
Поверхностная вода	100

Если наблюдается экологическое бедствие геосистемы, то все компоненты находятся в критическом состоянии, и природоохранные

мероприятия не дадут положительного результата(пример – оз. Арал).В этом случае нужно вывести систему из объектов природопользования и дать возможность природе самой восстановиться, а затем, если будут положительные результаты, разработать природоохранные мероприятия с учетом направленности восстановления геосистемы. Если экологическое бедствие связано с одним компонентом окружающей среды, например, сильно загрязнен атмосферный воздух, то можно внедрить очистные сооружения, тем самым переводя территорию из одного экологического состояния в другое.

В изучаемой нами природно-техногенной геосистеме наибольший вклад в формирование неблагоприятной экологической ситуации вносят поверхностные воды, и если здесь сложилась экологическая ситуация, квалифицируемая как «бедствие», то это не может не сказаться на состоянии ихтиофауны. Для выяснения этого нами совместно с лабораторией популяционной экологии Института экологии растений и животных УрО РАН (ИЭРиЖ УрО РАН) были проведены эколого-гидробиологические исследования Южного залива Северского водохранилища (рис.4.6). В задачи работы входило изучение видового состава, развития рыб, а также содержание тяжелых металлов в костной ткани.

Методика исследований

Отлов рыб проводился ставными жаберными сетями с ячейей от 30 до 50 мм, а также любительскими снастями. Проводился внешний осмотр, определялись вес с точностью до 1 г, длина тела (в мм), пол каждой особи.

Определение возраста рыб проводилось по чешуе. Для всех рыб также рассчитывалась упитанность по Фультону. Всего было поймано и обработано особей: окуня – 24, леща – 14, щуки – 13, плотвы – 5, язя – 2 и карася – 1. Обработка всех гидробиологических проб и рыб проводилась с использованием стандартных, общепринятых методик.

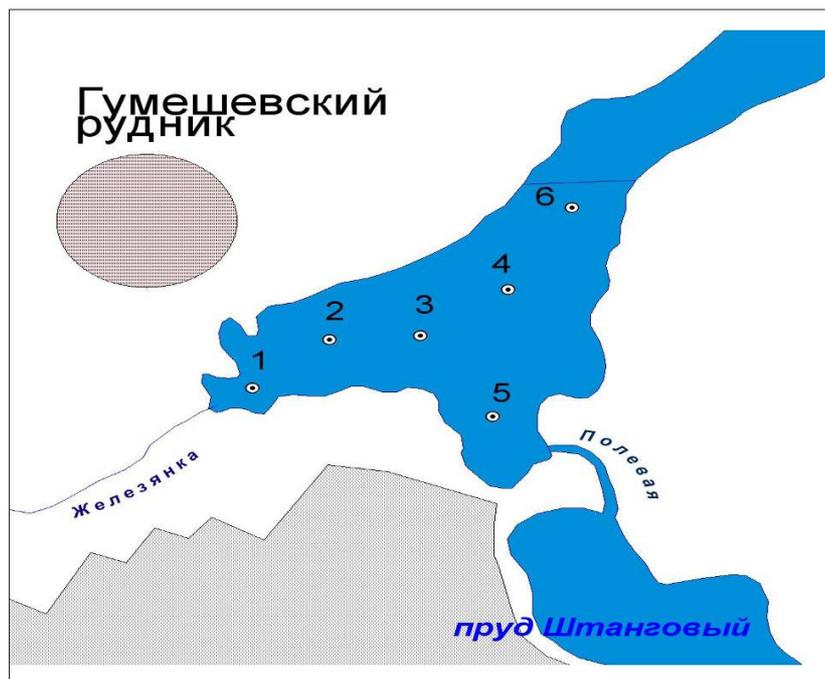


Рисунок 4.6 - Расположение точек отбора гидробиологических проб (сост. автором по данным лаборатории популяционной экологии ИЭРиЖ УрО РАН, 2007)

Содержание меди определялось в костной ткани рыб. Анализы на содержание меди в пробах проведены в аналитической лаборатории Уральского государственного горного университета по аттестованным методикам.

Результаты исследований

По результатам контрольных уловов было установлено, что в заливе обитает 6 видов рыб, относящихся к 3 семействам. Наибольшим числом видов (4) представлены карповые: лещ, плотва, карась, язь. Окуневые и щуковые представлены по 1 виду (щука и окунь речной). Возможно, что все перечисленные виды обитают в пруду не постоянно и присутствуют только в отдельные сезоны года (в периоды размножения и нагула). Группировки рыб отдельных видов в основном представлены особями 2-3 генераций и не могут рассматриваться как самостоятельные популяции. Состав этих группировок периодически обновляется за счет миграций рыб из Северского водохранилища и выше расположенных прудов. Так, в июньской выборке рыб отсутствовала

щука и был отловлен только 1 окунь. В осенней выборке эти виды были наиболее многочисленными. Единственным постоянным обитателем пруда, вероятно, является только карась.

Отсутствие в июньских уловах плотвы, щуки и крупных половозрелых особей других видов, общая невысокая численность рыб в уловах указывают на вероятность активного ухода части рыб после нереста в Северское водохранилище. Нерестовое стадо следующего года, вероятней всего, формируется из впервые созревающих рыб, мигрирующих из водохранилища. Потенциальные нерестилища довольно значительны по площади и располагаются в прибрежье, вдоль берегов пруда по обе стороны от дамбы и в заливе стока р. Полевой. Массовые скопления личинок карповых рыб отмечены на мелководье у зарослей макрофитов вдоль юго-западного берега пруда. Молодь окуня и щуки не отмечена в контрольных уловах сачком. Появление значительного количества окуня и щуки в конце нагульного сезона обусловлено формированием для хищников кормовой базы из молоди карповых рыб.

Изучение биологических характеристик относительно многочисленного в уловах леща показало, что по биологическим показателям (длина и вес одновозрастных рыб, упитанность) рыбы из пруда отличаются от лещей из Северского водохранилища, уступая в росте северским лещам в младшем возрасте и немного превосходя их в размерах в старших возрастных группах. Упитанность лещей в пруду невысокая (табл. 4.4). В выборке преобладали рыбы в возрасте 6+ лет (50% всех лещей).

Все отловленные лещи были неполовозрелыми, в выборке преобладали самки (10 из 14).

Окунь характеризовался меньшими размерами тела, чем северские особи, кроме старших рыб (6+ лет). Основная часть выборки была представлена окунями в возрасте 4+ и 5+ лет (37,5 и 41,7% всех отловленных рыб). По

упитанности рыбы из пруда и водохранилища не отличалась друг от друга (табл. 4.5).

Таблица 4.4 - Характеристика роста леща (сост. автором по данным лаборатории популяционной экологии ИЭРиЖ УрО РАН, 2007)

Показатель	Возраст, лет			
	2+	4+	5+	6+
Масса тела, г	51	142	260	417
	95	218	306	348
Длина, см	13,6	19,1	24,6	27,0
	15,5	20,6	23,7	24,9
Упитанность по Фультону	2,03	2,04	1,75	2,12
	2,55	2,49	2,30	2,25

Примечание: в верхнем ряду каждой строки приведены данные по Южному заливу, в нижнем – по Северскому водохранилищу.

Таблица 4.5 - Характеристика роста окуня (сост. автором по данным лаборатории популяционной экологии ИЭРиЖ УрО РАН, 2007)

Показатель	Возраст, лет			
	3+	4+	5+	6+
Масса тела, г	18	34	48	81
	26	48	55	69
Длина, см	10,5	12,4	14,3	16,8
	11,6	13,6	14,4	15,8
Упитанность по Фультону	1,63	1,89	1,84	1,75
	1,67	1,91	1,84	1,75

Примечание: в верхнем ряду каждой строки приведены данные по Южному заливу, в нижнем – по Северскому водохранилищу.

Щуки, отловленные осенью, в основном (12 из 13) имели возраст 3+ лет. Их средняя длина составляла 32,4 см, масса тела – 289 г. Единственная 5-летняя особь имела длину тела 38,8 см и массу 496 г. По данным А.В. Лугаськова показатели роста щуки из залива незначительно превосходят одновозрастных рыб из Северского водохранилища в выборках 1986-1989 гг. Большинство выловленных щук (84,6%) оказались впервые созревающими самцами. В желудках 3 особей обнаружены остатки молоди плотвы.

Характеризуя собранный ихтиологический материал в целом, можно отметить, что, несмотря на достаточно хорошую кормовую обеспеченность рыб в пруду, темп их роста можно оценить как средний или низкий. Язь, плотва и карась из контрольных уловов также не отличаются высокими размерными показателями для своего возраста. Малое количество особей этих видов в уловах не позволяет дать детальную характеристику их биологических показателей. Можно отметить, что плотва в пробе была представлена половозрелыми особями 3 возрастных групп (3-5 лет). Вероятно, этот вид является самым многочисленным в период нереста и нагула рыб. Присутствие в обследованном водоеме золотого карася, ранее не отмечавшегося в водохранилище, подтверждает факт интенсивного заболачивания и накопления значительного количества органики в водоеме.

В костной ткани лещей определено содержание меди, равное 5,35 мкг/г. Эта концентрация превышает содержание меди в тканях рыб других водоемов (Глубоченский пруд – 4 мкг/г).

Загрязнение Южного залива Северского водохранилища явилось основной причиной появления токсикозов и нарушений развития у рыб. Среди окуней пораженными оказались 70,2% всех особей (рис.4.7).

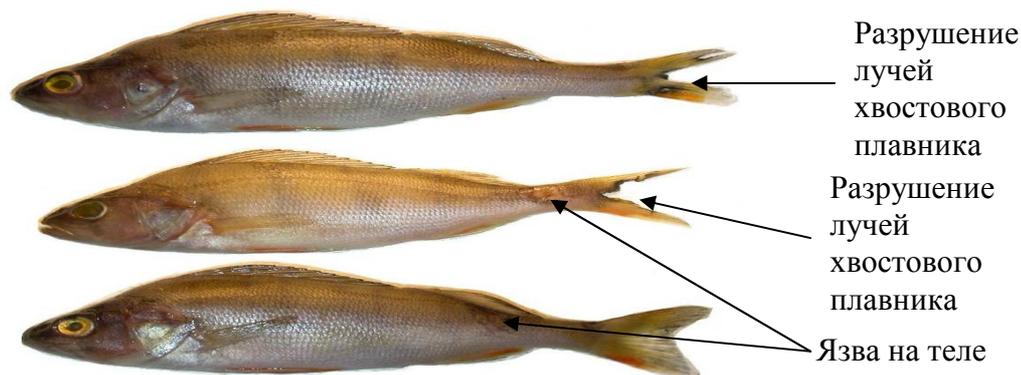


Рисунок 4.7- Окунь Южного залива Северского водохранилища с различными проявлениями токсикоза (сост. автором по данным лаборатории популяционной экологии ИЭРиЖ УрО РАН, 2007)

У окуней токсикоз проявился в разрушении лучей хвостового плавника и появлении язв на теле. Среди лещей поражения имели 2 особи, у плотвы и щуки – по одной.

Полученные данные указывают на достаточно высокую токсичность среды для рыб (табл. 4.6).

Таблица 4.6 - Результаты эколого-гидробиологических исследований Южного залива Северского водохранилища (сост. автором по данным лаборатории популяционной экологии ИЭРиЖ УрО РАН, 2007)

№ п/п	Показатель	Результат
1	Видовой состав	Малый
2	Масса тела	Низкая
3	Длина тела	Низкая
4	Упитанность	Низкая
5	Содержание меди в теле рыб	Превышение в сравнении с другими водоемами в 1,5 раза
6	Наличие токсикоза	У 70% особей

Проведенное обследование Южного залива Северского водохранилища позволяет говорить если не об экологическом бедствии, то о его неблагоприятном экологическом состоянии.

Видимо, судить о степени неблагополучия экологической ситуации только природно-техногенной геосистемы или ее компонентов по величине критериев, приведенных в табл. 4.1, возможно только с учетом

продолжительности и комплексности существующего загрязнения, но говорить о возникновении необратимых изменений уже можно. В нашем случае, чтобы предотвратить превращение экологической ситуации в «бедствие», необходимо прибегнуть к управлению – к внедрению природоохранных мероприятий, которые в первую очередь должны быть направлены на улучшение состояния водного компонента системы (в настоящее время существует большой выбор очистных сооружений, например, дамба с водопропускным отверстием, отгораживающая залив от основной акватории пруда, система струенаправляющих дамб, напорные фильтры с плавающей загрузкой, напорные фильтры с сорбционной загрузкой и т.д.).

4.1.2. Обоснование возможности использования биогеохимического барьера как природоохранного мероприятия и его эколого-экономическая оценка

Выбор в качестве природоохранного мероприятия создания биогеохимического барьера основан на том, что Железянский залив является практически обособленным участком Северского водохранилища, принимающим на себя три локализованных стока загрязненных вод (рис. 4.2), а также обладающий высокой самоочищающей способностью от загрязнения тяжелыми металлами.

4.1.2.1. Обоснование использования биогеохимического барьера для управления экологическим состоянием Северского водохранилища

В барьерных системах действует совокупность процессов: физических, физико-химических, химических, биологических (на уровне растительности, микрофлоры, простейших и других звеньев биоты) [182]. Подобные барьеры действуют практически во всех экосистемах – как водных, так и наземных [195, 196]. По существу формируется эффективная система, использующая свой ресурс для восстановления равновесия, самовосстанавливающаяся и саморегулируемая. Использование таких систем позволит получать

положительный результат (улучшенный водный объект) при сравнительно низких затратах и с высокой экологической эффективностью.

Предпосылкой выбора именно биогеохимического барьера как природоохранного мероприятия данного объекта явились некоторые косвенные признаки, указывающие на самоочищающую способность Железянского залива. Данные признаки были выявлены на первоначальном этапе исследовательской работы. Нами проведены визуальная оценка, описание и картографирование высшей водной растительности, населяющей данный водный объект, а именно ее видовой состав, обилие, численность, жизненность по стандартной методике [175].

Результаты предварительных исследований показали, что залив имеет равномерный тип зарастания с площадью зарастания 28%. В заливе было условно выделено 6 участков (рис. 4.8), отличающихся по интенсивности и плотности зарастания, видам высшей водной растительности. Описание биологических показателей высшей водной растительности приводится ниже (табл. 4.7).

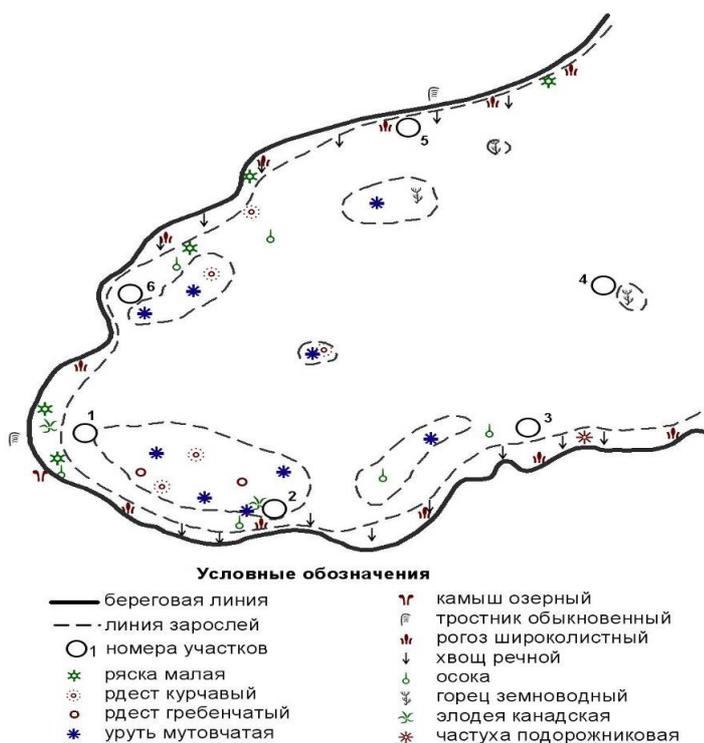


Рисунок 4.8 - Распределение высшей водной растительности на акватории Железянского залива Северского пруда (сост. автором)

Таблица 4.7 - Биологические показатели высшей водной растительности в Железянском заливе Северского пруда (сост. автором)

№ участка	Названиевида	Оби лие	Числен ность, экз/м ²	Жизнен ность	Фитомасса, г/м ²	
					Сырой вес	Воздушно- сухойвес
1	Typhalatifolia	6	46	3		
	Scirpuslacustris	2	7	3		
	Lemna minor	6		2		
	Carex	2	6	1		
	Elodea canadensis	1	* 3	1		
	Phragmitesaustralis	2	4	2		
2	Carex	2	6	1		
	Equisetum fluviatile	6	34	2		
	Myriophyllumverticullatum	4	12	2		
	Potamogetonpectinatus	3		2		
	Potamogetoncrispus	4	9	2		
	Lemna minor	4		2		
	Elodea canadensis	1	3	1		
	Typhalatifolia	6	44	3		
	Equisetum fluviatile	6	29	2		
	Carex	2	6	1		
	Typhalatifolia	6	42	3		
	Alismaplantago-aquatica	1	2	2		
	Polygonumamphibium	6	24	3	3168	460
	Equisetum fluviatile	6	33	2	5280	960
	Phragmitesaustralis	2	4	2		
	Typhalatifolia	6	40	3		
	Lemna minor	3		2		
	Polygonumamphibium	4	24	3		
	Myriophyllumverticullatum	4	12	2	2900	580
	Typhalatifolia	6	42	3	5656	3012
	Lemna minor	4		2		
	Equisetum fluviatile	6	37	2		
	Potamogetoncrispus	4	9	2	1200	220
Carex	2	6	1			

Немаловажным фактором для произрастания высшей водной растительности в заливе является практически незаметное течение, а также относительно плавное понижение дна и небольшая глубина.

В результате изучения высшей водной растительности в Железянском

заливе Северского пруда было выявлено, что среди полупогруженной растительности доминирует хвощ речной (*Equisetum filvatile*), а среди прибрежной – водной рогоз широколистный (*Typhalatifolia*). Эти виды образуют массивные заросли практически вдоль всей прибрежной линии залива, подавляя развитие других видов высшей водной растительности. Ширина зарослей рогоза в отдельных местах достигает 25 м, а хвоща – до 20 м. Такие мощные сообщества растений, имеющих высокую жизненность и находящихся в активной фазе вегетации, являются серьезным биологическим фактором самоочищения водоема. Кроме того, прибрежная растительность является удобным субстратом для поселения микроорганизмов (бактерий и грибов), которые принимают активное участие в процессах самоочищения водоема от загрязнения.

На акватории пруда (участки 4 и 5) были отмечены сообщества горца земноводного (*Polygonum amphibium*), произрастающего на глубине около 1 м. Сообщества имеют высокую жизненность и обилие, но поскольку произрастают только в двух точках на акватории пруда, не могут считаться доминирующими, хотя их вклад в самоочищение водоема, вероятно, высок благодаря большой плотности произрастания.

Погруженная растительность развита слабо, произрастает небольшими (до 1 м) куртинами, имеет явные признаки угнетения и, по всей видимости, не играет заметной роли в самоочищении водоема. Наибольшее обилие среди погруженной растительности имеют рдест курчавый (*Potamogeton crispus*) и уруть мутовчатая (*Myriophyllum verticillatum*).

Среди плавающей растительности необходимо отметить ряску малую (*Lemnaminor*), которая на отдельных участках (1 и 2) акватории залива образует сплошную полосу шириной до 2 м и полностью покрывает поверхность воды. Имея высокое обилие, ряска, несомненно, становится

мощным фактором, влияющим на процессы самоочищения в исследуемом водоеме.

Большинство растений имеют достаточно высокую жизненность и полный цикл развития – от вегетирования до цветения и образования семян.

Таким образом, предварительное изучение высшей водной растительности Железянского залива Северского водохранилища говорит о возможной высокой самоочищающей способности залива. Более детальное и комплексное изучение самоочищающей способности даст возможность определить, будет ли биогеохимический барьер эффективным природоохранным мероприятием для данной природно-техногенной системы или нет.

4.1.2.2. Характеристика самоочищающей способности Железянского залива

Для определения самоочищающей способности воды в заливе нами произведено 23 отбора проб воды с замером расходов в 4 створах при каждом отборе. Количество створов в заливе – десять: 1 – новое русло р. Железянки; 2 – старое русло р. Железянки; 3 – шахтный водоотлив; 4 – переток в Северское водохранилище; 5, 6, 7 – точки на выходе из залива; 8,9 – точки в центре залива; 10 – поступление из Штангового пруда. Таким образом, за отчетный период из залива отобрано и проанализировано 230 проб воды на содержание 21 ингредиента. Расположение створов отбора проб представлено на рис. 4.9.

Самочищающая способность залива проанализирована по 4 основным загрязняющим ингредиентам – сульфаты, цинк, медь, железо – и рассчитана по уравнению [182]:

$$CC = (C_1 - C_2) * 100 / C_1, (4.1)$$

где C_1 – максимальная концентрация ингредиента в тт. 8,9;

C_2 – максимальная концентрация в тт. 5,6,7;

CC –самоочищающая способность, %.

Сравнение данных, представленных на рис. 4.10 и 4.11 показывает, что отмеченная самоочищающая способность Железянского залива от сульфатов гарантированно позволяет снижать концентрацию ингредиента до ПДК общесанитарного (500 мг/л) от значительных исходных величин. В 60% случаев достигается концентрация ингредиента, равная или ниже ПДК рыбохозяйственного (100 мг/л).

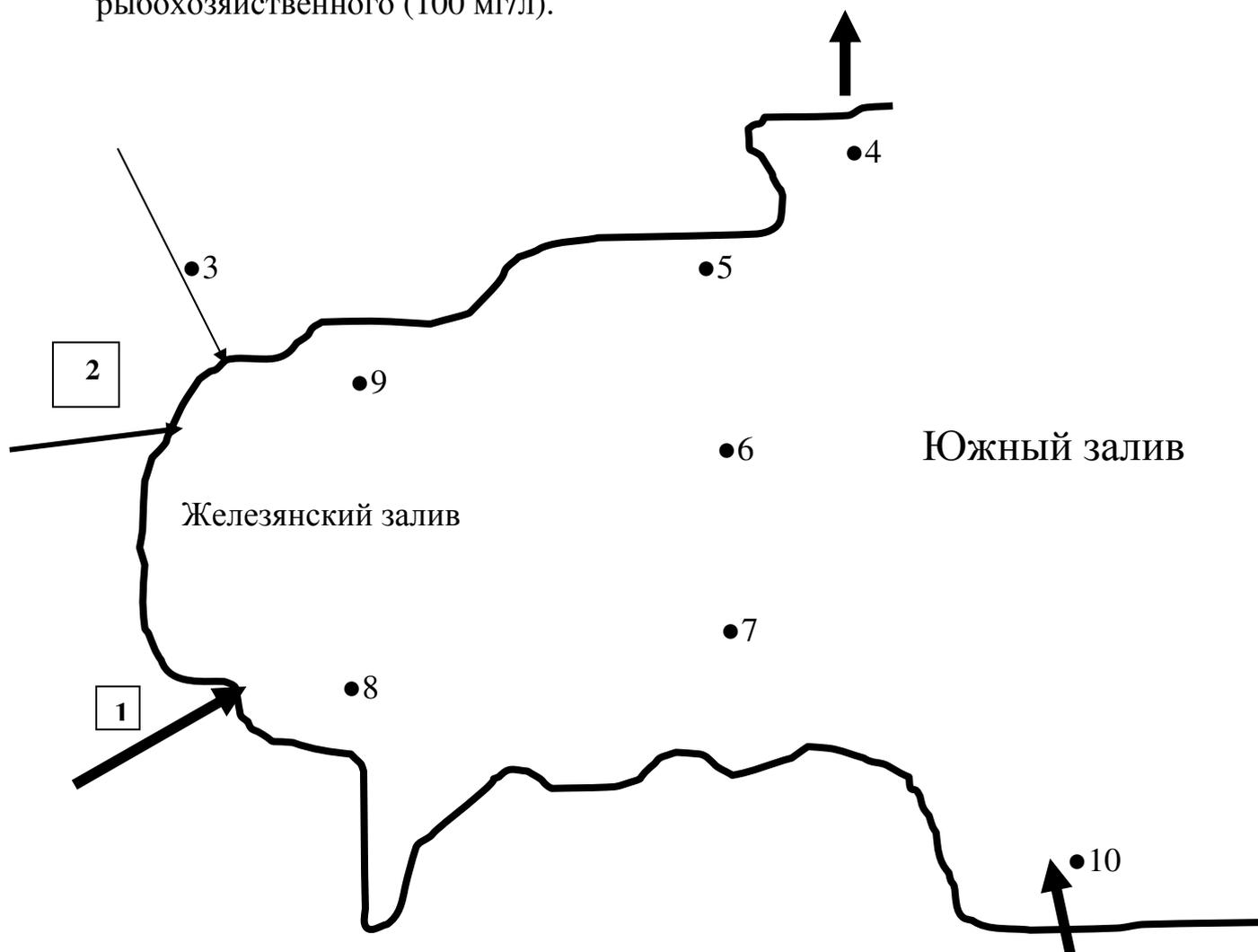


Рисунок 4.9 - Расположение створов отбора проб и замера расходов
(сост. автором)

- Ств.1 – новое русло р. Железянки (отбор проб, замер расходов).
- Ств.2 – старое русло р. Железянки (отбор проб, замер расходов).
- Ств.3 – шахтный водоотлив (отбор проб, замер расходов).
- Ств.4 – сток в Северское водохранилище (отбор проб, замер расходов).
- Ств. 10 – сток из Штангового пруда (отбор проб, замер расходов).
- Ств. 5,6,7 – условный выход из Железянского залива (отбор проб).
- Ств.8,9 – зоны смешения вод, поступающих из 1,2,3 источников (отбор проб)

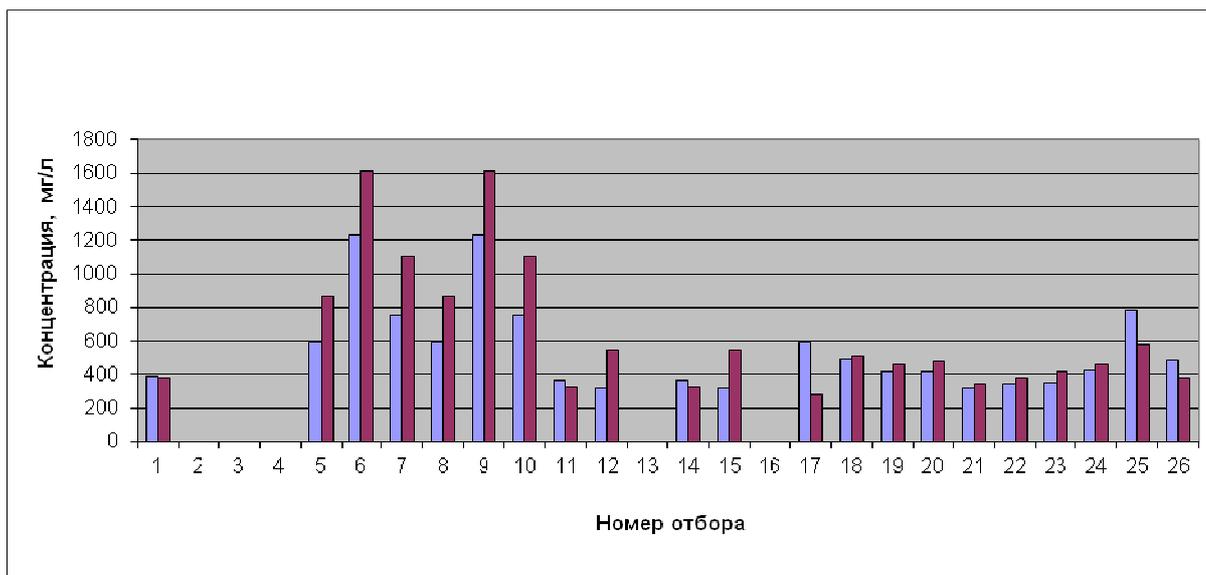


Рисунок 4.10 - Концентрация сульфатов в ств. 8,9 (сост. автором)

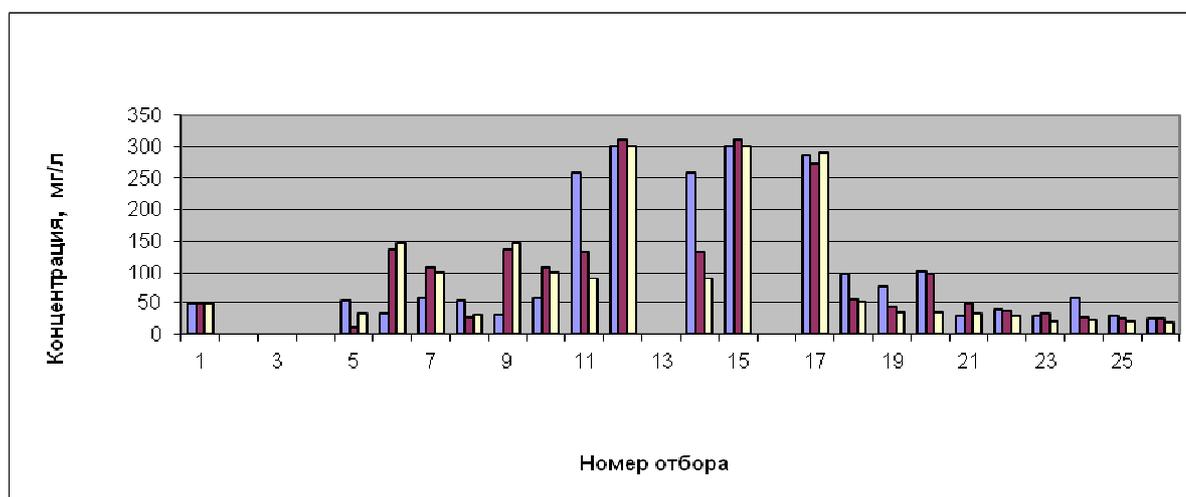


Рисунок 4.11 - Концентрация сульфатов в ств. 5,6,7 (сост. автором)

Из общей суммы поступающих в водоем сульфатов 79 % поступает с водами р. Железянки (новое русло), 4% – по старому руслу, 4,4% – с шахтным водоотливом, остальное – с водами Штангового пруда.

На рис. 4.12 представлены результаты, позволяющие сравнить концентрации в т.1 (основной поставщик сульфатов) с содержанием компонента в т.5,6,7 и 4 (выход из Железянского залива и Южного залива – т.4).

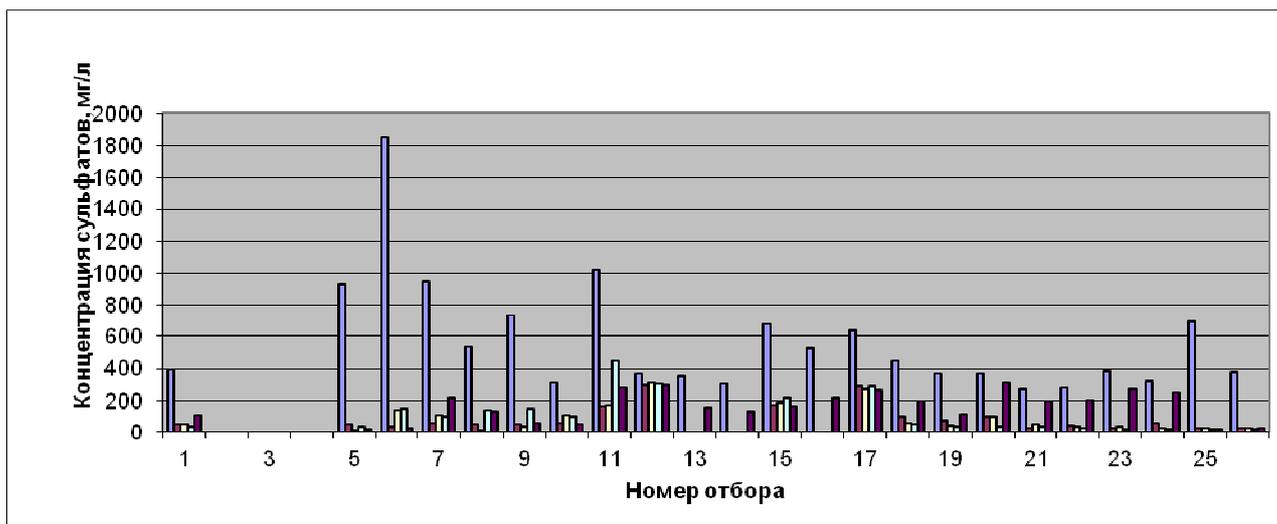


Рисунок 4.12 - Концентрация сульфатов в ств.1,5,6,7,4 (сост. автором)

На выходе из Железянского залива (т. 5,6,7) концентрации ингредиента постоянно ниже, чем в основном потоке, формирующем сток в залив, что говорит о протекании процессов, снижающих количество ингредиента в водной массе. Поскольку разбавление менее концентрированной водой в Железянском заливе исключено, причиной снижения концентрации и количества ингредиента можно считать внутриводоемные процессы, основную роль среди которых играют физико-химические процессы. Роль высшей водной растительности не очень значительна, поскольку ее в водоеме сравнительно мало. Снижение концентрации сульфатов на выходе из Железянского залива по отношению к содержанию сульфатов в стоке р. Железянки колеблется в пределах 84 – 92%.

Результаты определения концентраций цинка в воде различных источников, балансовых расчетов и сопоставления концентраций в различных створах представлены на рис. 4.13 – 4.20.

Концентрации ионов цинка в воде р. Железянки (новое русло) колеблется в пределах 0,014 – 0,257 мг/л, в воде старого русла Железянки – в пределах 0,381 – 4,92 мг/л, в шахтном водоотливе – в пределах 6 – 35 мг/л.

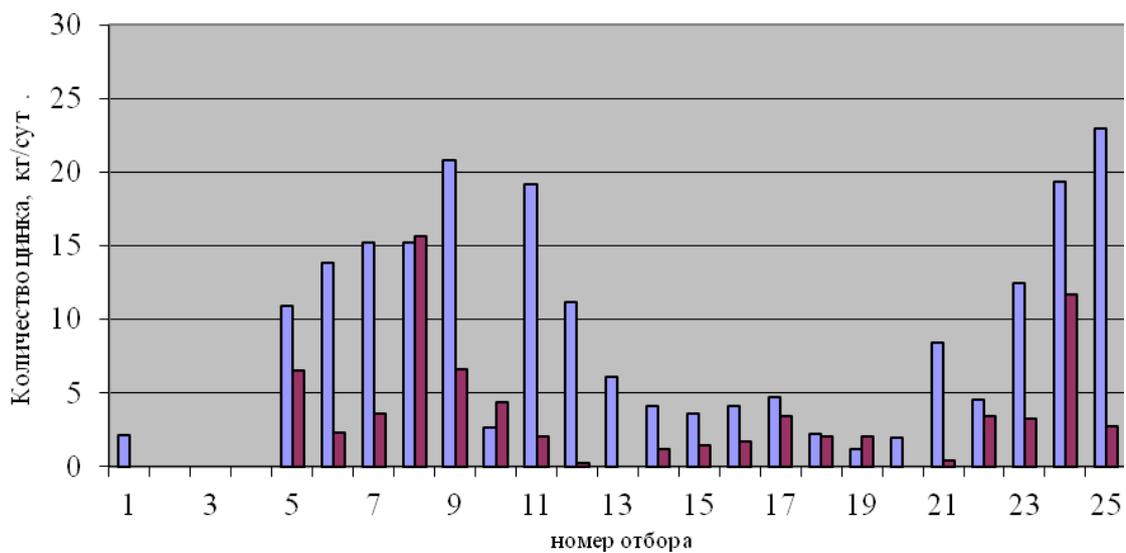


Рисунок 4.13 - Поступление цинка в Южный залив (ряд 1) и сток из него (ряд 2) в периоды отбора проб (сост. автором)

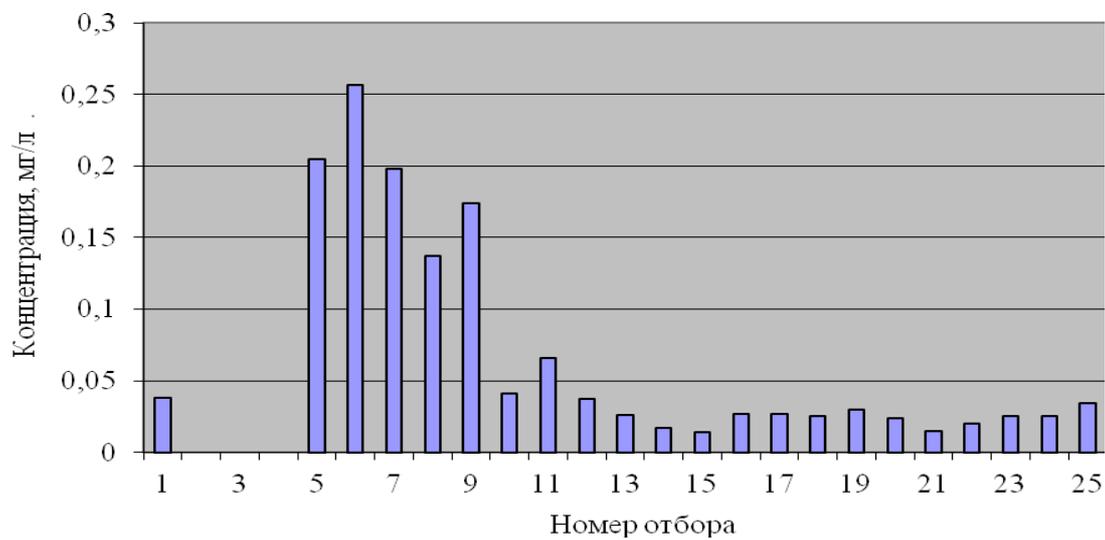


Рисунок 4.14 - Концентрация цинка в ств.1 (сост. автором)

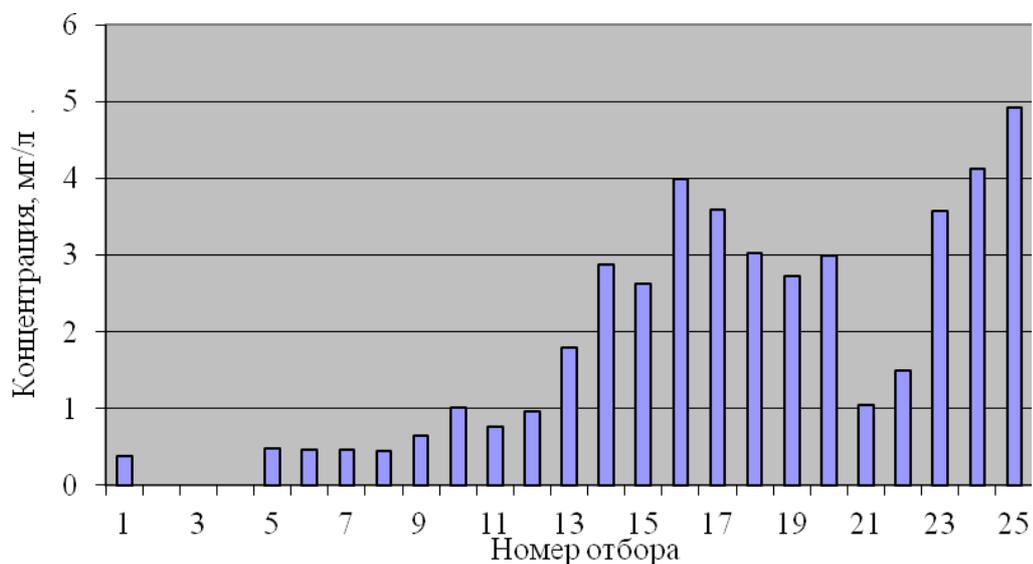


Рисунок 4.15 - Концентрация цинка в воде старого русла (сост. автором)

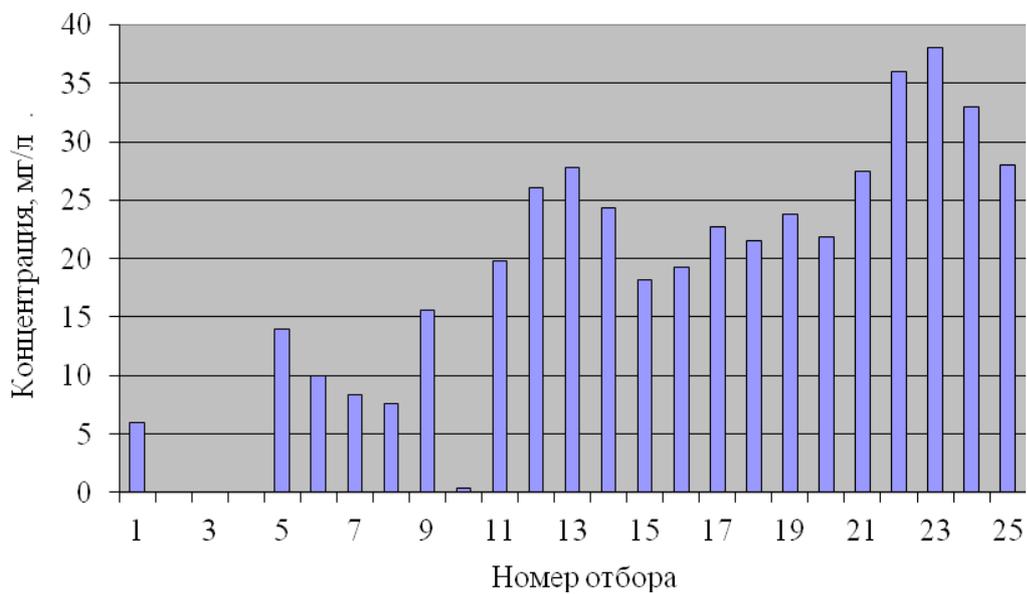


Рисунок 4.16 - Концентрация цинка в воде шахтного водоотлива
(сост. автором)

На рис. 4.17 представлены концентрации цинка на выходе из Железянского залива (ств.5, 6, 7).

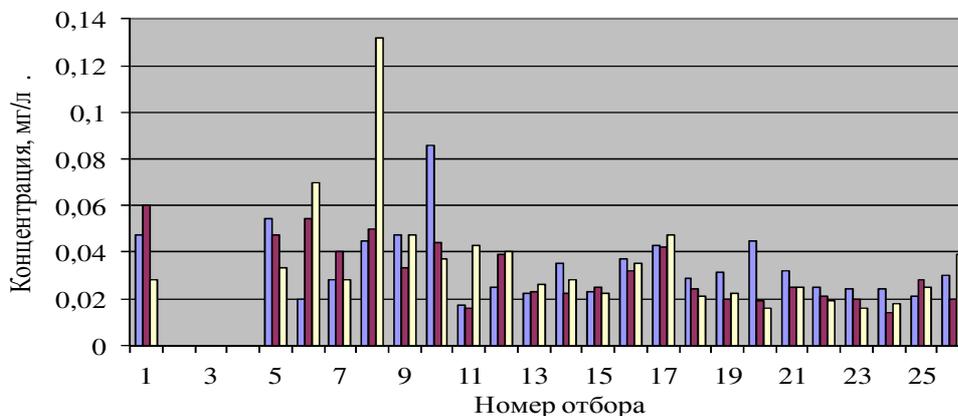


Рисунок 4.17 - Концентрации цинка на выходе из Железянского залива (ств. 5, 6, 7) (сост. автором)

Концентрация цинка в воде на выходе из Железянского залива (тт.5,6,7) колеблется в пределах 0,014 – 0,132 мг/л.

На рис. 4.18 представлены концентрации цинка в воде в 4-м створе (выход в Северское водохранилище), в стоке Штангового пруда (ств. 10) и концентрации в воде р. Железянки (новое русло).

Представленные данные натурных исследований показывают однозначное влияние антропогенной деятельности на концентрацию ионов цинка в воде. Это прослеживается в увеличении концентрации цинка (2+) в воде в ств.4 (выход в Северский пруд) по отношению к концентрации в воде Штангового пруда (ств.10) – фонового в данном случае. Шахтный водоотлив заметно влияет на поставку ионов цинка в периоды повышенного водоотлива, в последующие за весенним паводком месяцы.

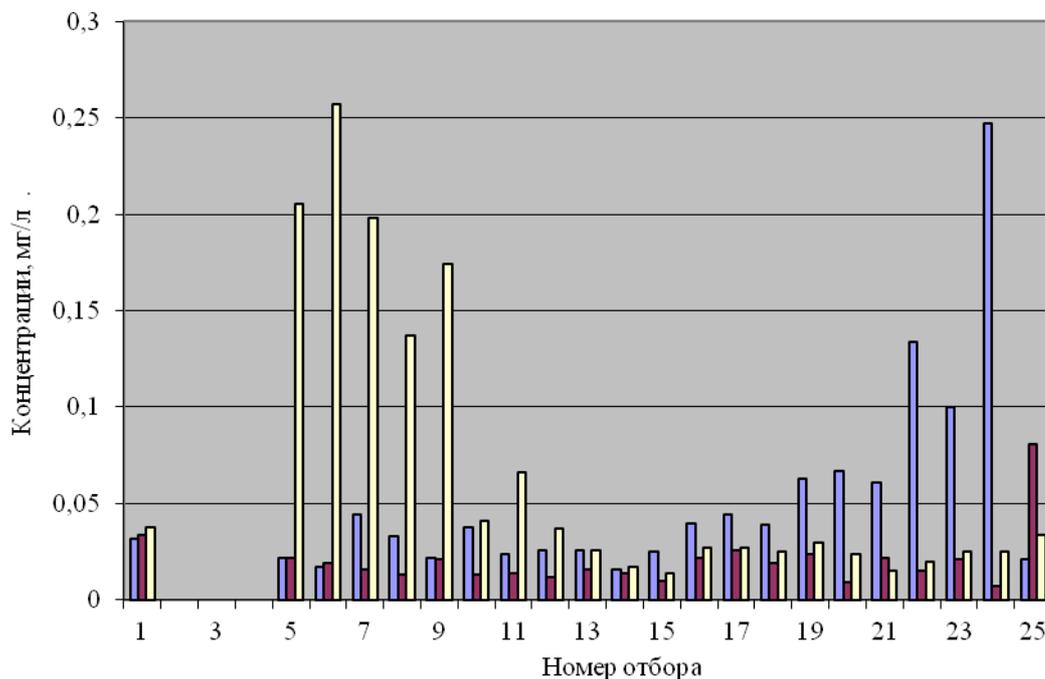


Рисунок 4.18 - Концентрации цинка в ств. 4, 10, 1 (сост. автором)

Из всего количества ионов цинка, поступающих в залив, 31 % поступает по новому руслу р. Железянки, 16 % - по старому, 39 % - с водой шахтного водоотлива, остальное (14%) – из Штангового пруда.

Общая самоочищающая способность Южного залива, определенная на основе балансовых расчетов, составляет 66,66 %. Снижение концентраций цинка (2+) на выходе из Железянского залива по отношению к содержанию его в воде р. Железянки (новое русло) колеблется в пределах от 0 до 92% (рис. 3.24). Явное снижение концентраций ингредиента в ств. 5, 6, 7 по отношению к содержанию его в воде р. Железянки (новое русло) прослеживается в период с марта по июль. В дальнейшие периоды приоритет поступления цинка переходит к другим источникам (шахтный водоотлив). Сравнить концентрации в ств. 5, 6, 7 с концентрацией цинка в шахтном водоотливе

нецелесообразно, поскольку вследствие малых расходов последнего происходит его значительное разбавление водами р. Железянки.

Целесообразнее определить самоочищающую способность Железянского залива, на основе сравнения максимальных концентраций, в ств. 8, 9 (створы смешения поступающих загрязненных вод) и ств. 5, 6, 7 (выход из Железянского залива).

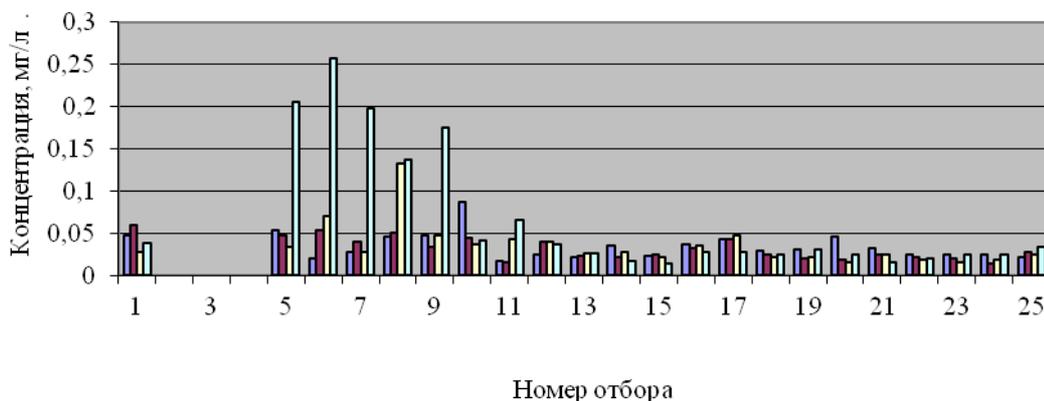


Рисунок 4.19 - Концентрации цинка на выходе из Железянского залива (ств. 5, 6, 7) и в ств. 1 (сост. автором)

На рис. 4.20 представлены данные по определению самоочищающей способности Железянского залива в даты отбора проб. Они показывают, что самоочищающая способность Железянского залива от ионов цинка колеблется в пределах 0 – 96 %. (расчет произведен по уравнению 4.1) Минимум самоочищающей способности приходится на минимум поступления ингредиента и перестройку экосистемы (осенний период).

Современной самоочищающей способности Железянского залива недостаточно для достижения концентраций цинка (2+), регламентируемых рыбохозяйственным значением водоема. Однако, фоновые концентрации, за которые приняты содержания ионов цинка в воде Штангового пруда, также заметно выше ПДК рыбохозяйственных, т.е. повышенное содержание цинка в

воде местной гидрографической сети может определяться и геохимической обстановкой района.

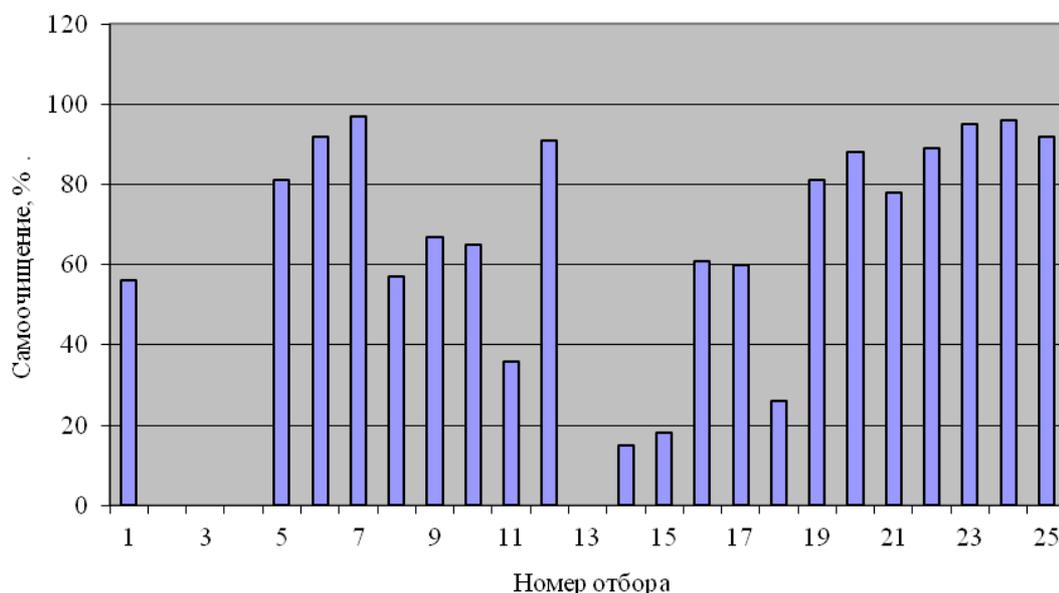


Рисунок 4.20 - Самоочищение Железянского залива от ионов цинка
(сост. автором)

Исходя из того, что растительность занимает всего 25 % акватории, располагается, в основном, вдоль берегов и достаточно угнетена, и наибольшее самоочищение водоема происходит во вневегетационное время, можно считать основными процессами, приводящими к снижению количества ионов цинка в воде, химические и физико-химические.

Однако развитие биоты, которая способствует стабилизации физико-химических параметров в системе совместно с возможностями растительности к поглощению ионов цинка, приведут к увеличению самоочищающей способности Железянского залива от него.

Поскольку в исследуемом районе производилось и производится добыча медных руд, вполне естественно ожидать поступление солей меди в

поверхностные водоисточники. Учитывая ее (меди (2+)) высокую токсичность по отношению к гидробионтам, необходимо оценить эффективность сформировавшегося биогеохимического барьера, что позволит далее определить рациональные мероприятия для предотвращения загрязнения водных объектов ингредиентом. Необходимая для определения эффективности самоочищения залива от ионов меди информация представлена на рис. 4.21 – 4.24.

На рис. 4.21 представлена информация о суточном поступлении ионов меди в Южный залив и стоке из него в периоды отбора проб.

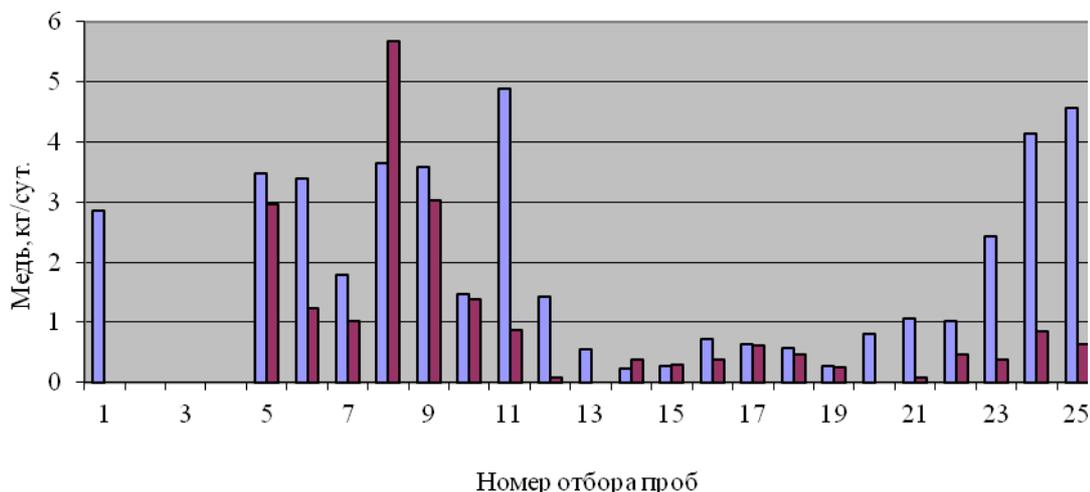


Рисунок 4.21 - Поступление меди в Южный залив и сток из него в периоды отбора проб (Ряд 1 - приход, ряд 2 – выход) (сост. автором)

Практически во все даты наблюдений приход меди превалировал над выходом, за исключением отбора от 6 мая 2007 года, что может быть связано с высоким расходом воды из Южного залива в Северское водохранилище.

Самоочищающая способность Южного залива от меди за весь период исследований, рассчитанная по общему балансу ингредиента, составляет 32,5%.

Самоочищение Железянского залива в периоды отбора проб, рассчитанное по уравнению (4.1), представлено на рис. 4.22.



Рисунок 4.22 - Самоочищение Железянского залива в периоды отбора проб от ионов меди (сост. автором)

Самоочищающая способность Железянского залива изменяется в пределах 17 – 96 %. В 30 % случаев самоочищение находится в интервале 17 - 22 %, в остальных случаях – от 43 до 96 %. Наблюдаются 3 минимума самоочищения. Один из них приходится на период перестройки экосистемы. Причины других на настоящий момент не определены.

На рис. 4.23 представлены концентрации ионов меди во входных створах.

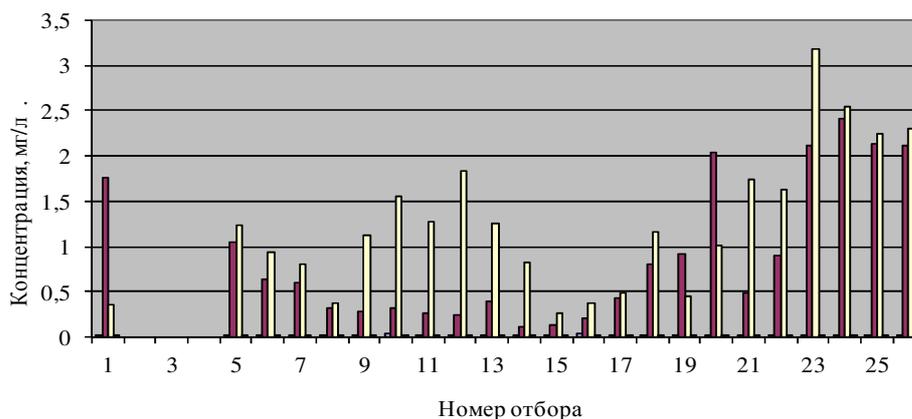


Рисунок 4.23 - Концентрации меди в ств.1,2,3,10 (сост. автором)

(Ряд 1 – створ 1; ряд 2 – створ 2; ряд 3 – створ 3; ряд 4 – створ 10)

На рис. 4.24 представлены данные о содержании меди в воде Желзянского залива в зоне смешения загрязненных вод (ств. 8 ,9) и на выходе из залива (ств. 5, 6).

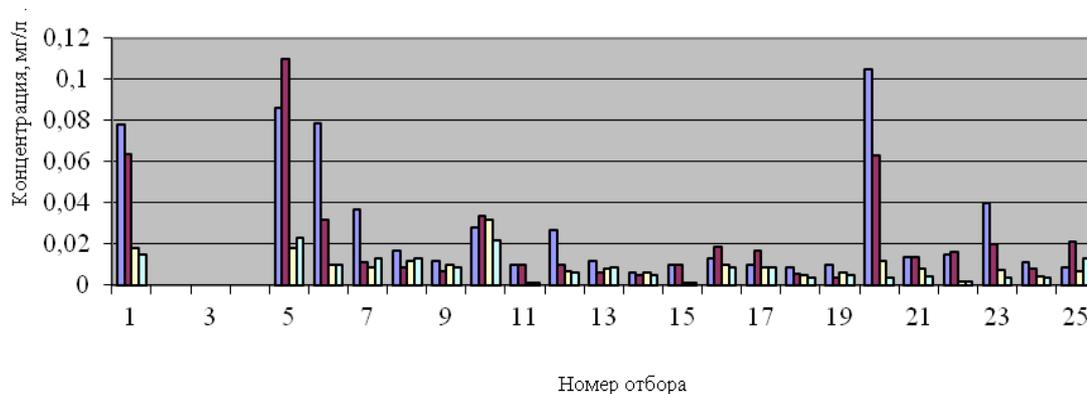


Рисунок 4.24 - Концентрация меди в ств. 9, 8, 5, 6 (сост. автором)

Видно, что происходит практически постоянное снижение концентрации ионов меди на выходных створах (5, 6, 7), достигающее 96 % .

Самоочищение вод Железянского залива происходит вследствие протекания физико-химических и химических процессов, переводящих соединения меди в нерастворимое состояние. Роль высшей водной растительности при существующих на настоящий момент условиях ее обитания незначительна. В то же время однозначно доказана способность высшей водной растительности поглощать из воды значительное количество ионов меди, депонируя их в биомассе без последующего вторичного загрязнения [175].

Одной из особенностей района, где расположен исследуемый водный объект, является значительное содержание ионов железа в поверхностном и грунтовом стоке, формирующемся на некоторых частных водосборах.

Примером этого является р. Железянка, аккумулирующая сток с водосбора, обогащенного железосодержащими минералами. Помимо этого, поступление железа происходит со сточными водами, т.е. наблюдается весьма

высокое воздействие на экосистему водоема соединениями железа. В этих условиях необходимо оценить эффективность залива как биогеохимического барьера по отношению к соединениям железа.

На рис. 4.25 представлены результаты определения поступления ионов железа (общ.) в Южный залив из различных источников.

Из всего количества железа (общ.), поступившего в залив, 24,7 % приходится на Новое русло р. Железянки, 7,8 % - на старое русло. С шахтным водоотливом поступает 21,9 % железа, со стоком из Штангового пруда – 45,3%.

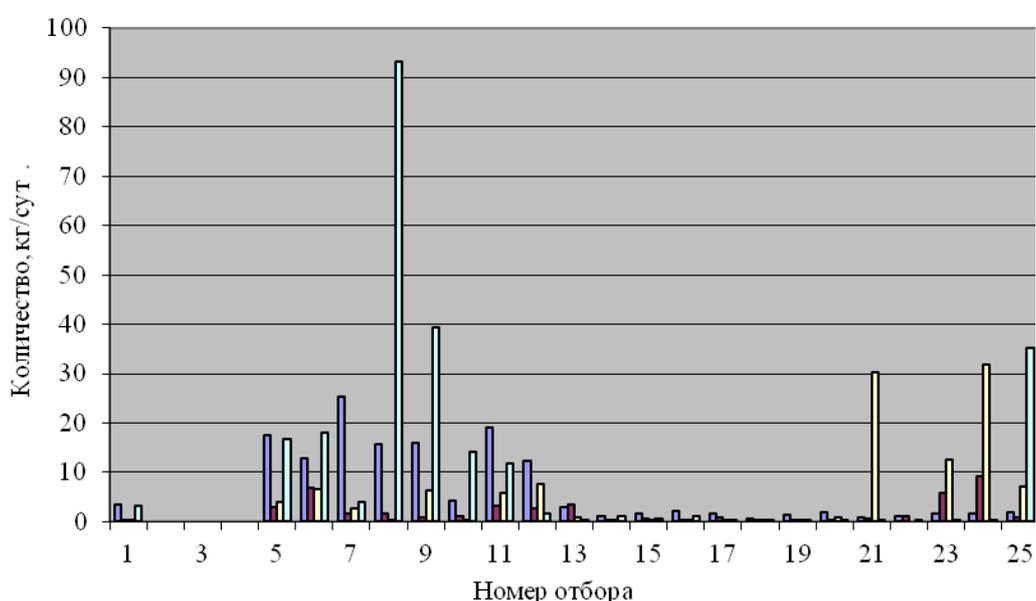


Рисунок 4.25 - Сток железа в Южный залив из разных источников в периоды отбора проб (ств. 1, 2, 3, 4 – 10) (сост. автором)

На рис. 4.26 представлены концентрации ингредиента в створах 1, 2, 10. Антропогенное влияние на формирование концентраций ионов железа в Железянском заливе прослеживается явно. Это подтверждают данные, представленные на рис. 4.26.

На рис. 4.27 представлены концентрации железа в воде на выходе из Железянского залива (ств. 5, 6, 7) и из Южного залива в Северское водохранилище (ств. 4). Концентрация ионов железа в фоновом створе

(Штанговый пруд, ств. 10) достаточно высока. Иногда она выше, чем на выходе из Железянского залива, иногда на том же уровне.

При сравнительно больших расходах данный сток составляет конкуренцию всем остальным источникам по внесению железа в Южный залив.

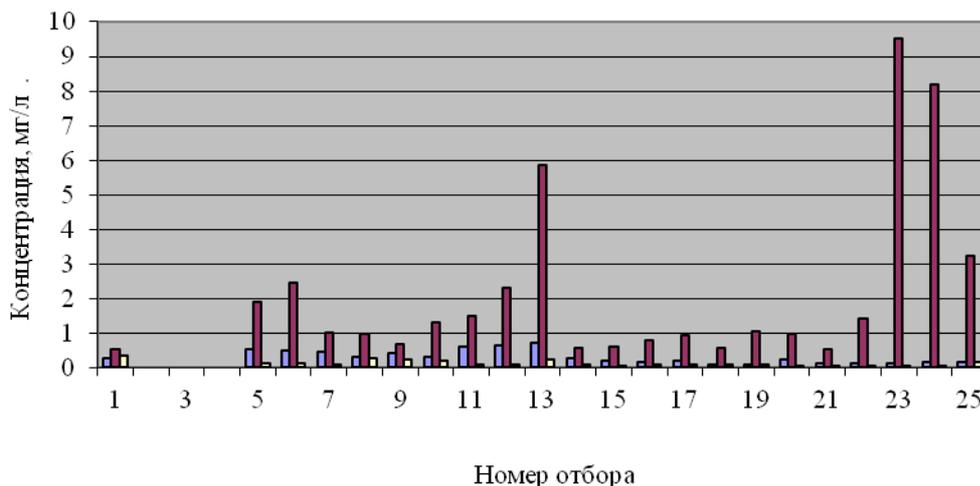


Рисунок 4.26 - Концентрации железа (общ.) в ств. 1, 2, 10 (сост. автором)

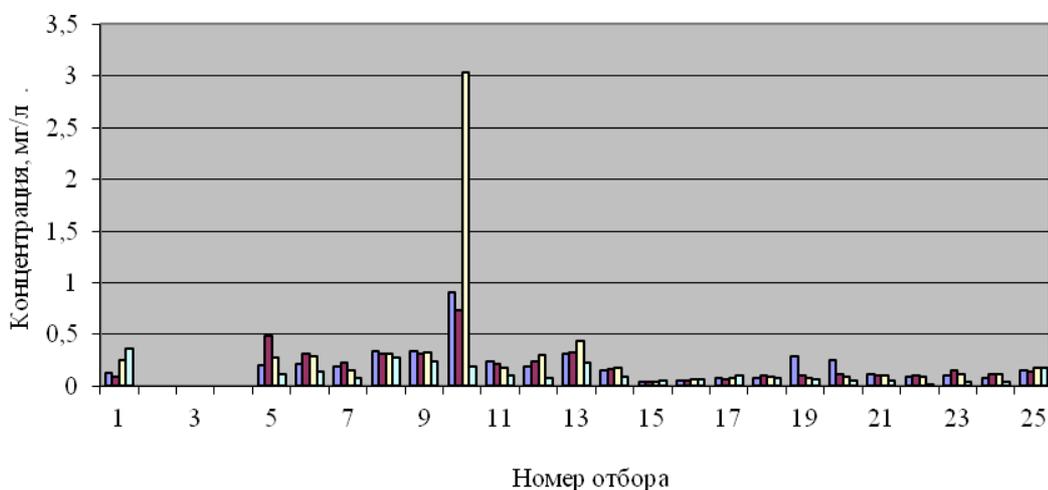


Рисунок 4.27 - Концентрация ионов железа в ств. 5, 6, 7, 10 (сост. автором)

На рис. 4.28 – 4.29 представлены данные по балансу ингредиента в периоды отбора. Видно, что очень часто вынос железа выше, чем приходная часть. В целом в разрезе наблюдаемого периода выход железа из системы

превышает его поступление на 15,6 %. Причиной подобного явления может быть поступление ионов железа с грунтовым и подземным стоком, поскольку подобное явление здесь отмечалось изначально при освоении территории (река названа Железянкой не случайно).

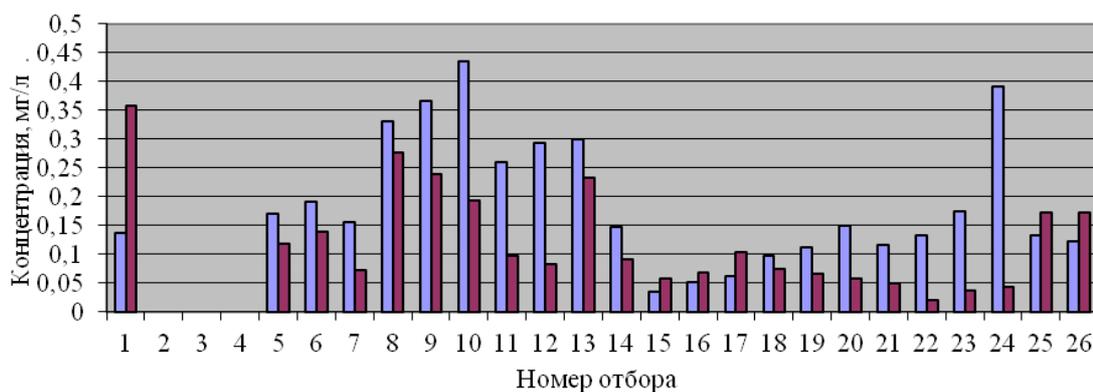


Рисунок 4.28 - Концентрация железа (общ.) в ств. 4 (ряд 1) и ств. 10 (ряд 2) (сост. автором)

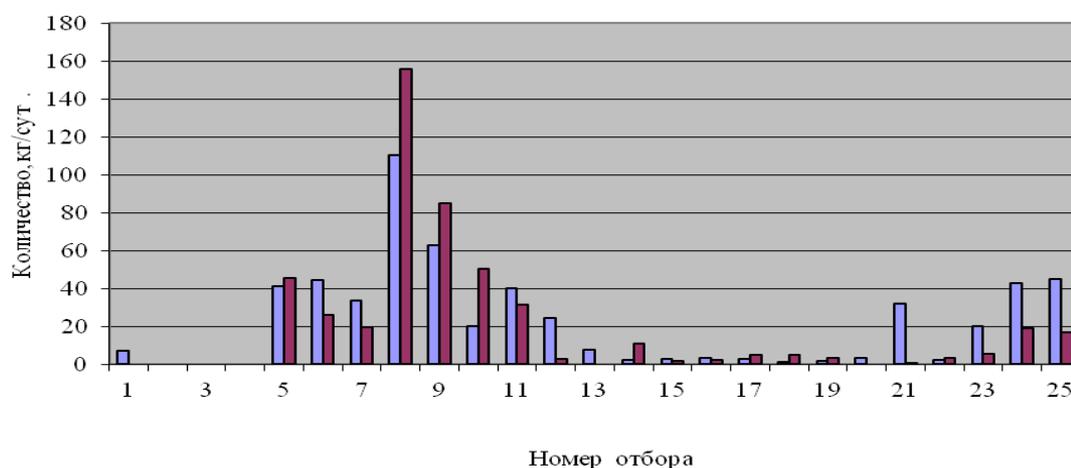


Рисунок 4.29 - Сток и вынос железа в Южный залив в периоды отбора проб

(Ряд 1 – сток; ряд 2 – вынос) (сост. автором)

Самоочищение Железянского залива в периоды отбора проб представлено на рис. 4.30.

Самоочищающая способность изменяется от -211% до 95 %, т.е. наблюдается как загрязнение воды по мере продвижения ее к выходу из залива, так и ее самоочищение. Загрязнение наблюдается в 35 % случаев. В остальных случаях наблюдается самоочищение вод залива в интервале от 9 до 95 %. Можно отметить ту же цикличность в процессе самоочищения, что и в случае с медью (2+).

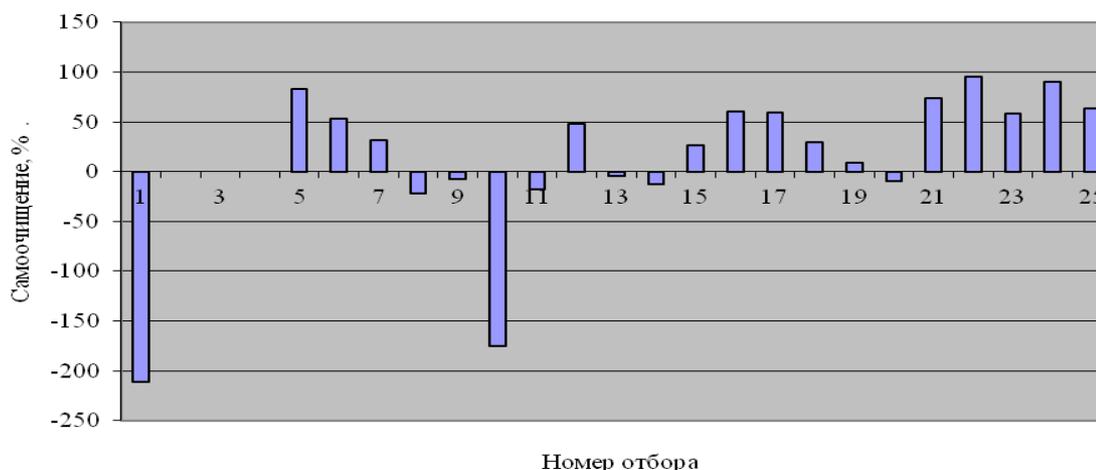


Рисунок 4.30 - Баланс железа в Южном заливе за период наблюдений (сост. автором)

Однако, если в случае с медью (2+) при стабилизации уровня режима Железянского залива можно ожидать существенное общее повышение самоочищающей способности, то в случае с железом уверенно говорить о существенном (по отношению к современному уровню) снижении концентрации ингредиента в ств. 5, 6, 7 не представляется возможным, поскольку достоверно неизвестна подземная составляющая поступления железа в залив. Даже при высокой самоочищающей способности (а такая наблюдалась – 95 %) концентрации железа (общ.) оставались достаточно высокими именно из-за неучтенного поступления.

Этим поступлением железа объясняется достаточно высокая самоочищающая способность залива от остальных компонентов при

незначительной роли биоты, поскольку в этом случае в силу вступают физико-химические процессы соосаждения и сорбции ингредиентов на нерастворимых соединениях железа (табл. 4.8).

Таблица 4.8 - Результаты исследований самоочищающей способности Железянского залива (сост. автором)

Химический элемент	ПДК хозяйственного, питьевого и бытового назначения, мг/л	Среднегодовая концентрация, мг/л		Разница концентраций, вход-выход, мг/л	Самоочищение, %	Достигнута/не достигнута ПДК
		На входе	На выходе			
Сульфаты	500	4613,72	492,27	4121,45	100	Достигнута
Цинк	5	23,02	0,15	22,87	66,66	Достигнута
Медь	1	2,14	0,04	2,1	32,5	Достигнута
Железо	0,3	22,39	0,9	21,49	95	Не достигнута

Таким образом, основная роль в процессах самоочищения Железянского залива принадлежит химическим и физико-химическим процессам, в результате которых основная часть загрязняющих веществ депонируется в донных отложениях.

Действительно, анализ донных отложений Железянского залива при полном их вскрытии показал следующее содержание ингредиентов (мг/кг):

Медь	3384
Кадмий	14,85
Цинк	2417
Свинец	162
Никель	154
Марганец	4443
Железо	71594
Кобальт	103

т.е. значительное количество поступающих в залив с поверхностными и шахтными водами ингредиентов депонируется в донных отложениях. Это подтверждается и анализом взвешенных веществ, отобранных в заливе и формирующих донные отложения, при полном вскрытии взвеси содержат те же самые ингредиенты, но в еще больших концентрациях.

В связи с этим возникает вопрос о возможном влиянии донных отложений на формирование качества воды.

Для оценки влияния минеральной части донных отложений на формирование качества воды был проведен следующий эксперимент:

Донные отложения объемом 300 мл были тщательно перемешаны в течение 30 минут с 1,5 л дистиллированной воды. После отстаивания была отобрана проба воды на анализ.

Результаты анализа воды:

pH – 7,38

ПО – 13,2 мг/л

Fe – 0,538 мг/л

Mn – 6,39 мг/л

Cu – 0,003 мг/л

Zn- 0,017 мг/л

Следовательно, в воду из 1 кг донных отложений при активном перемешивании перейдет в растворимой форме:

органического вещества (ПО) – $13,2 * 1,5 * 1000 / 300 = 66$ мг

Fe – $0,538 * 5 = 2,69$ мг

Mn – $6,39 * 5 = 31,95$ мг

Cu – $0,003 * 5 = 0,015$ мг

Zn- $0,017 * 5 = 0,085$ мг

Таким образом, минеральная составляющая донных отложений не является значимым источником вторичного загрязнения воды Железянского залива исследуемыми ингредиентами.

В целом, по результатам выполненных исследований, можно утверждать, что в Железянском заливе созданы естественные условия, которые говорят о возможности создания здесь биогеохимического барьера, который будет выполнять роль очистного сооружения на пути локализованных стоков. Однако для создания биогеохимического барьера и усиления эффекта самоочищения необходимо внедрение водной растительности и усиление ее роли в процессе самоочищения.

4.1.2.3. Регулирование содержания загрязняющих элементов в поверхностных водах с использованием звеньев водных экосистем

В природных водах отдельные звенья биоценоза (например, высшая водная растительность) способны создавать условия, при которых происходит снижение концентрации ингредиентов в воде за счет различных физико-химических процессов. Известна способность некоторых звеньев биоты поглощать загрязняющие компоненты [17,34,62,87,176,177,178,179,180,181, 195, 200]. Вот эта совокупность воздействия отдельных звеньев биоты является, по нашему мнению, одним из возможных факторов, которые могут быть использованы для регулирования качества природных вод непосредственно в самом водном объекте.

Поглощение и накопление ионов веществ, не включающихся в процесс метаболизма, растительностью осуществляется пассивно в соответствии с градиентом концентрации (точнее – электрохимического потенциала) и проницаемостью плазмолеммы. В связи с этим избирательность к поглощению ограничена, что в принципе означает поглощение практически всех имеющихся в воде веществ. Процесс протекает в 2 этапа: собственно поглощение, или метаболическая (активная) абсорбция, и предшествующая ей неметаболическая

абсорбция. Поглощение одного отдельно взятого иона не происходит, потому что при поглощении катионов возникает разность потенциалов, вызывающая одновременное поглощение анионов [17,34,62,87,176,177,178,179,180,181,200].

Белки протоплазмы заряжены преимущественно отрицательно, что является главной причиной их гидратации вследствие обладания каждой аминокислотой по крайней мере одной кислой и одной основной диссоциирующими группировками (аминокислоты представляют собой амфолиты). В присутствии сильных кислотаминокислоты ведут себя как основания и при диссоциации поставляют в раствор определенные анионы. Присутствующие в воде катионы адсорбируются коллоидной частицей, разряжают ее и, таким образом, оказывают дегидратирующее действие. Двухвалентные ионы (Zn, Cu, Pb и др.) оказывают более сильное действие, чем одновалентные. Кроме того, размер собственной гидратной оболочки ионов оказывает решающее влияние на характер их действия. Чем меньше диаметр иона, тем больше плотность зарядов на его поверхности, и, следовательно, больше насыщение; плотность зарядов не снижается под влиянием низких температур или ингибиторов дыхания.

Неметаболическое поглощение происходит вне диффузных барьеров, в свободном пространстве, в которое входят в основном клеточные стенки и межклетник. В свободном пространстве ионы перемещаются в соответствии с электрохимическим потенциалом и удерживаются благодаря адсорбции и распределению Доннана. Последнее устанавливается тогда, когда по одну сторону мембраны или внутри нее имеются неподвижные ионы. В месте расположения неподвижного аниона накапливаются подвижные катионы, но при этом происходит не уравнивание электрохимических потенциалов, а возникновение разности потенциалов, в соответствии с потенциалом Доннана, в месте нахождения неподвижного аниона; вследствие преобладания анионных

носителей зарядов в свободном пространстве адсорбируются по преимуществу катионы.

Передвижение ионов по растительности происходит по симпласту, т.е. присоединенной при помощи плазмодем протоплазмы всех вакуолей. Транспорт по симпласту достигает скорости 1-6 см/час. Механизм этого процесса в настоящее время неясен: здесь имеют значение и диффузия, и конвекция, основывающиеся на непонятных пока субмикроскопических эффектах перемешивания, возможно при участии эндоплазматической сети. Таким образом, поглощение и усвоение компонентов происходит довольно быстро, и определяет количество поглощенного иона биомасса растительности. Следует учитывать и физиологическое состояние растительности, так как при снижении скорости роста усвоение замедляется. Следует учитывать и другое обстоятельство: поглощение повышается при увеличении концентрации ингредиентов, но при этом возрастает угнетающее влияние компонентов на метаболизм растительности.

Опираясь на закон действующих масс, согласно которому происходит поглощение компонентов, можно сказать, что для того, чтобы достичь максимального усвоения, необходимо осуществлять процессы поглощения растениями, содержащими минимальное количество поглощаемых ингредиентов.

Обычно растительность рассматривается в симбиозе с другими звеньями экосистем: в одних случаях она является необходимым партнером в процессе жизнедеятельности микроорганизмов, ассимилирующих, например, нефтепродукты, в других – и сама потребляет ингредиенты, в-третьих – регулируя реакцию среды, способствует снижению их концентрации за счет других процессов.

В случае регулирования концентрации соединений металлов в воде необходимо обратить особое внимание на возможность реализации третьего

варианта – регулирование с помощью растений величины рН и, следовательно, фазовых переходов ингредиентов. Используя такие особенности, на наш взгляд, можно достичь максимального эффекта. В частности, предполагается, что в случае высоких концентраций фактор регулирования рН (растения его чаще всего повышают) будет способствовать выведению ингредиентов из системы в виде малорастворимых соединений, а кондиционирование воды до уровня, отвечающего, скажем, требованиям, предъявляемым к воде водоемов рыбохозяйственного назначения, будет проходить за счет уже непосредственного поглощения растениями. Следовательно, в системе необходимо рассмотреть два основных процесса, регулирующих снижение концентрации ингредиентов: поглощение растительностью и фазовые переходы компонентов (чаще всего осаждение оксигидратов с сорбцией на них).

В связи с предполагаемой возможностью реализации процесса очистки природных вод от загрязняющих ингредиентов при помощи и с участием звеньев биоты возникает ряд вопросов (помимо основного – о возможности кондиционирования), связанных и с другими проблемами, в частности:

1. Не будет ли происходить вторичное загрязнение при распаде биомассы отмирающего звена биоты, участвующего в процессе, и что делать с последней, если такое загрязнение будет происходить?

2. Каким образом и насколько эффективно будет происходить процесс в зимний период, поскольку река будет поставлять те же компоненты, что в осенний и весенний периоды?

Рядом работ установлено [170,171,172,174,175,176,177,178,179,180,181], что при прохождении воды через заросли высшей водной растительности в ней заметно снижаются концентрации ингредиентов. Так, содержание железа уменьшается в 125-700 раз., меди – в 1,5-8 раз, цинка – в 1,6-6 раз, мышьяка – до 10 раз, свинца – до 3 раз, кадмия – в 3-6 раз. В данных работах использовались следующие виды высшей водной растительности: рогоз узко-

лиственный, тростник обыкновенный, частуха подорожниковая, сосенка водяная, камыш озерный и хвощ болотный, характерные для зоны Среднего Урала. В работах также установлено, что наиболее высокие пределы токсичности по различным металлам из всех перечисленных видов растительности наблюдаются для рогоза узколистного и хвоща болотного: предельно токсичные концентрации мышьяка в растворе для рогоза узколистного составляют 10-12 мг/дм³, для хвоща болотного предельно токсичные концентрации мышьяка – 12-14 мг/дм³. Предельно токсичные концентрации ионов цинка для рогоза узколистного и хвоща болотного составляют 80-85 мг/дм³, меди – 24-28 мг/дм³.

Следует отметить, что реальные концентрации всех изучаемых ингредиентов, наблюдаемые в водотоках, ниже заданных в лабораторных экспериментах.

Анализ литературных источников показал также, что предел токсичности данных видов растительности не снижается при различных значениях рН от 3 до 9, так как за счет поглотительной деятельности корней происходит сдвиг рН в нейтральную сторону. В литературе есть данные о том, что корневые выделения создают благоприятную среду для развития микрофлоры, способствуя образованию селективных гидробиоценозов, определенно влияющих не только на поглотительную способность корневой системы, но и на реакцию окружающей среды, в частности на рН.

На основании существующего опыта и опубликованных результатов лабораторных исследований нами при моделировании биогеохимического барьера в Железянском заливе в качестве основного звена биоты использовались рогоз узколистный и хвощ болотный.

Эксперимент был проведен на экспериментальной ботанической площадке в 100 м², объем – 100 м³, в три летне-осенних сезона. Его цель – установление характера процесса очищения воды: поглощение

растительностью и фазовые переходы компонентов (чаще всего осаждение оксигидратов с сорбцией на них). В первом сезоне происходила закачка воды в ботаническую площадку при реакции рН воды 3,5 – 4, во втором сезоне – с реакцией 9,0, в третьем сезоне – с реакцией, близкой к нейтральной.

I сезон. В таблице 4.9 представлены данные наблюдений за развитием рогоза на ботплощадке и динамика накопления в нем загрязняющих ингредиентов. Количество растений на площадке – 1000 шт. Натурные исследования показали, что при проведении экспериментов растения не испытывали угнетающего влияния при величинах рН 3,5-4.

Таблица 4.9 - Динамика биомассы рогоза узколистного на ботанической площадке (сост. автором)

Дата отбора	Кол – во растений на 1 м	Вес наземной части, кг	Вес подземной части, кг	Примечание
26.06	16	0,35	0,94	Растения зеленые
25.07	24	1,22	2,18	Растения зеленые
25.09	20	1,21	2,015	Растения засыхают

Анализ явлений, происходящих на опытной площадке (табл.4.10), показал, что снижение концентрации ингредиентов происходит не только за счет непосредственного поглощения растительностью, но и за счет смещения реакции гидролиза вправо, поскольку растительность в данном конкретном случае способствует повышению величины рН. В целом на ботплощадке количество удаленных из воды ингредиентов оказалось выше, чем способна поглотить растительность, примерно в 2 раза. Тщательная проверка баланса и анализ ситуации на площадке в конце вегетационного периода показали, что недостающая часть металлов либо находится в виде оксигидрата, либо сорбирована оксигидратом железа и осаждена на дне площадки и на стеблях растений. Анализ этих осадков показал, что они состоят в основном из оксигидрата железа, обогащенного другими элементами, т.е. в системе налицо процессы образования оксигидратов, сорбции и соосаждения.

Таблица 4.10 - Изменение концентрации ингредиентов на экспериментальной ботанической площадке (рН исх= 3,4) (сост. автором)

Ингредиент	Исходная конц., мг/дм ³	Конц. через 2 суток, мг/дм ³	Конц. через 10 суток, мг/дм ³	Выведено из системы за 10 суток, г	Поглощено растительностью, г
Fe ³⁺	40,5	1,5	0,02	4030	1856
	61,4	3,2	1,6	5980	1984
Cu ²⁺	4,5	2,01	0,7	380	156
	10,0	2,2	1,1	890	160
Zn ²⁺	21,3	12,2	6,05	1480	156
	38,4	13,1	7,5	3090	500
Pb ²⁺	0,05	0,03	0,0001	5	3,8
	0,05	0,04	0,00	5	3,7
Cd ²⁺	0,1	0,025	0,012	8,8	3,9
	0,07	0,03	0,021	4,9	2,3
As ³⁺	0,02	0,00	0,00	2	1,8
	0,03	0,00	0,00	3	2,4

Изменение условий, в частности, величины рН среды, должно привести к изменению эффективности работы ботанической площадки.

II сезон. Эксперимент с водой, имевшей исходную величину рН = 8-9, был проведен во второй год исследований. К этому времени площадь рогоза составляла 30%, площадь хвоща – 30,7%. Их биомасса составила соответственно: рогоз узколистный – 4781,6 кг, хвощ болотный – 3547,4 кг. Концентрация ингредиентов, как и ожидалось, незначительна. Поскольку исходное содержание Fe³⁺ в воде было небольшим, практически не отмечено осаждения его оксигидрата и соосаждения с ним других элементов. В целом абсолютная утилизация ингредиентов значительно ниже, чем в предыдущем эксперименте, что объясняется, во-первых, значительно более низкой концентрацией компонентов, во-вторых, реализацией в данных условиях только процессов поглощения ингредиентов растительностью.

Получено стабильное снижение концентрации ингредиентов за 6 суток; Fe³⁺ – с 0,7 до 0,5 мг/дм³, Cu²⁺ – с 0,3 мг/дм³ до следовых значений, Zn²⁺ – с 3,4 до 1,3 мг/дм³. Величина рН при этом уменьшилась до 7,6. Физиологическое состояние растений в конце экспериментирования было нормальным.

Количество компонентов, поглощенное растительностью на ботанической площадке в этих условиях (июль), составило: Fe– 1,6 кг, Cu–2,4 кг, Zn– 9,4 кг при внесении столь же незначительных их количеств: Fe– 5,6 кг, Cu– 2,4 кг, Zn– 27,2 кг.

Накопление компонентов на дне в виде пленки оксигидратов за весь период практически не наблюдалось.

III сезон. Дальнейший этап исследования проводился в следующий летне-осенний период и осуществлялся при рН, близких к нейтральной.

Площадь ботанической площадки к этому периоду, наряду с рогозом узколистным, заросла на 42 % хвощом болотным (*Agrostis Palustris*), который, обладая большой биомассой (918 г на 1 м² сухого вещества), почти равной биомассе рогоза, имеет довольно высокую дисперсию органического вещества в воде (в водном объекте находится более 200 растений диаметром 5-7 мм на 1 м², против 40 у рогоза узколистного). Все это способствует усреднению равномерности живого сечения потока, выравниванию его скоростей и выпадению взвешенных и влекомых частиц. К тому же, поверхность хвоща болотного, в отличие от рогоза узколистного, не имеет восковой кутикулы, а покрыта жесткими бороздками, на которых осаждаются оксигидраты металлов и другие соединения. Присутствие в структуре тканей кремния в виде SiO способствует агдезии выпадаемых солей к поверхности хвоща болотного. Кроме того, при деструкции его в осеннее время и на следующий год осаждающаяся на дне кремневая кислота прекрасно сорбирует развитой поверхностью компоненты.

Хвощ болотный имеет те же пределы токсичности, что рогоз, и также успешно выдерживает как сильно кислую среду (рН – 3,1), так и щелочную (рН – 9,0).

Учитывая, что хвощ болотный образует мощные заросли, как и рогоз, но по некоторым показателям превосходит его (так, он сорбирует на поверхности

на порядок больше ингредиентов), рекомендуется введение хвоща болотного в качестве биофильтра, используемого в мелководной зоне ботанической площадки на первой ступени при осаждении оксигидратов металлов.

В летне-осенний сезон проводилось четырехкратное закачивание воды в ботаническую площадку. Активная реакция воды была близка к нейтральной. Первый эксперимент проведен в июне. Результаты эксперимента представлены в таблице 4.11. Следующее закачивание воды проведено в июле, экспозиция составила 13 суток. Этот период очистки приходится на максимальный рост и жизнедеятельность биоты. При этом произошло снижение концентрации почти всех ингредиентов до ПДК. Результаты эксперимента представлены в таблице 4.12.

Таблица 4.11 - Изменение концентрации компонентов в очищаемой воде (июнь, время экспозиции 10 суток), рН – 6,7 (сост. автором)

Показатель	Fe	Cu	Zn	Pb	Cd	As	SO ₄ ²⁻
Исх. содержание мг/л	2,72	0,05	1,12	0,1	0,02	0,203	420
Конеч. сод. мг/л	0,34	0,02	0,22	0,00	0,006	0,04	336

Таблица 4.12 - Изменение концентрации компонентов в очищаемой воде (июль, время экспозиции 10 суток), рН – 6,8 (сост. автором)

Показатель	Fe	Cu	Zn	Pb	Cd	As	SO ₄ ²⁻
Исх. сод. мг/л	4,09	0,34	4,21	0,00	0,022	0,04	400
Конеч. сод. мг/л	0,18	0,02	0,07	0,00	0,00	0,004	300

Результаты экспериментов свидетельствуют, что полнее и быстрее других компонентов снижается концентрация железа (3+). Медь хорошо утилизируется в процессе контактирования вод с высшей водной растительностью. Благополучно обстоит дело с As, конечная концентрация которого после экспозиции не превышает ПДК.

В целом исследования работы полупромышленной ботанической площадки по очистке воды в весенне-осенний сезон говорят о высокой эффективности предлагаемого метода регулирования качества воды. Достигается стабильное снижение концентрации компонентов до уровней, соответствующих требованиям, предъявляемым к воде водных объектов питьевого и общесанитарного назначения.

Для условий Урала немаловажен и вопрос об эффективности работ такого сооружения в зимнее время. Анализ литературы показывает возможность организации эффективной очистки природных вод от ингредиентов и в зимнее время [175,178], так как реки, находящиеся вблизи промышленных предприятий и являющиеся приемниками сточных вод, не промерзают до дна, поэтому водная растительность может работать здесь как природный фильтр круглый год.

На основании выполненных исследований можно заключить, что на акватории Железянского залива может быть создан биогеохимический барьер в виде одной из разновидностей ботанической площадки – биоплато (рис. 4.31).

Биоплато – часть водоема, находящаяся вблизи поступления загрязнения, заросшая высшей водной растительностью, не отделенная от общей площади водного объекта никаким устройством. Загрязненный сток проходит через нее в силу морфометрических характеристик. Может применяться как на реках, так и на водохранилищах и озерах [182].

Таким образом, для улучшения экологического состояния поверхностных вод территории ОАО «УРАЛГИДРОМЕДЬ», а соответственно и всей природно-техногенной геосистемы в целом, необходимо организовать на части территории Южного залива биогеохимический барьер, а именно превратить Железянский залив в биоплато, экологическая эффективность которого доказана проведенными выше исследованиями.

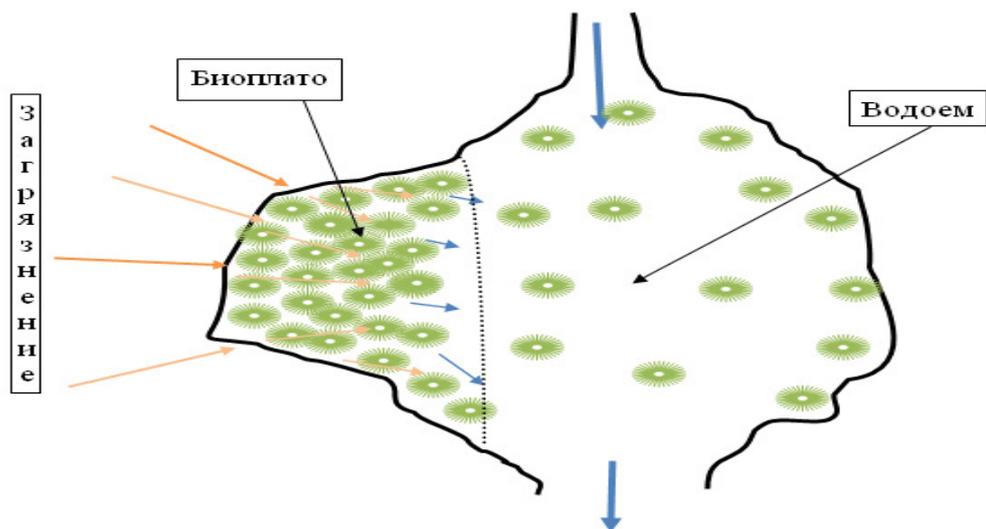


Рисунок 4.31 - Схема биоплато (сост. автором)

Однако возникает вопрос об экономической эффективности этого вида биоинженерного сооружения. С этой целью проведена экономическая оценка использования биогеохимических барьеров для ОАО «УРАЛГИДРОМЕДЬ».

Экономическая оценка использования биогеохимических барьеров

Определение размера ущерба от загрязнения водных объектов осуществляется по уравнению 4.2:

$$Y = K_{во} * \sum_{i=1}^n H_i * P_i \quad (4.2)$$

где Y – суммарный ущерб от загрязнения водных объектов от сброса со сточными водами загрязняющих веществ с концентрациями, превышающими ПДК водоприемника;

$K_{во}$ – коэффициент, учитывающий категорию водного объекта (определяется по табл.4.13);

H_i – удельный показатель затрат для определения ущерба от сброса i -го загрязняющего вещества, тыс. руб./т (определяется исходя из Постановления Правительства РФ от 12.06.2003 № 344 «О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные

водные объекты, размещение отходов производства и потребления» и Постановления Правительства РФ от 01.07.2005 № 410 «О внесении изменений в приложение N 1 к Постановлению Правительства РФ от 12 июня 2003 г. № 344»);

P_i – масса i -го загрязняющего вещества, сброшенного в водный объект,
т;

i – загрязняющее вещество;

n – количество загрязняющих веществ, по которым исчисляется ущерб.

Таблица 4.13

Значение коэффициента, учитывающего категорию водного объекта ($K_{\text{во}}$)

№ п/п	Категория водных объектов	$K_{\text{во}}$
1	Поверхностные и подземные водные объекты, имеющие преимущественное значение для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, имеющие важное рыбохозяйственное значение, рекреации, а также водные объекты, содержащие природные лечебные ресурсы, и особо охраняемые водные объекты	1,5
2	Прочие водоемы (озера, пруды), болота	1,3
3	Прочие водные источники	1

Определение размера предотвращенного ущерба:

$$Y_{\text{пр}} = Y - Y_{\text{ост}}, \quad (4.3)$$

где $Y_{\text{пр}}$ – предотвращенный ущерб; $Y_{\text{ост}}$ – остаточный ущерб.

Предотвращенный ущерб рассчитан для предприятия ОАО «УРАЛГИДРОМЕДЬ», где могут быть внедрены биогеохимические барьеры для очистки Северского водохранилища. На строительство данных технологий предполагается затратить 5 млн. руб.

Рассчитанные по концентрациям загрязняющих веществ в створах, суммарный и остаточный ущербы составляют:

$$Y = 108,62 \text{ млн руб.}$$

$$Y_{ост} = 13,51 \text{ млн руб.}$$

Предотвращенный ущерб составит:

$$Y_{пр} = 108,62 - 13,51 = 95,11 \text{ млн руб.}$$

Таким образом, предотвращенный ущерб от строительства биогеохимических барьеров, при укрупненных расчетах на их строительство в 5 млн. руб., составляет 95,11 млн. руб., что указывает на высокую экологическую и экономическую эффективность от их использования.

4.2. Изучение развития железорудной геосистемы III уровня (на примере шлаковых отвалов ОАО «НТМК»)

Управление экологической обстановкой в геосистеме базируется на выявлении степени изменения природной среды в результате техногенных воздействий. Характеристикой этого изменения служат наличие тяжелых металлов в съедобных растениях (кормовых растениях, грибах, плодах). Накопление загрязняющих веществ в этих растениях зависит от ряда причин: ареала распространения, времени воздействия, поэтому загрязняющие вещества распределены неравномерно по территории изучаемой ГС. Для разработки природоохранных мероприятий необходим комплексный анализ пространственно-временного распределения загрязнения. По нашему мнению, такой анализ можно дать на основе карты районирования территории по степени загрязнения.

4.2.1. Методика районирования территории расположения шлаковых отвалов ОАО «НТМК»

При районировании использованы данные геохимических съемок территории, прилегающей к шлаковым отвалам ОАО «НТМК» (см. главу 2, рис. 2.38), проведенных в период 2012-2014 гг. При осуществлении геохимических съемок было проведено сквозное опробование по профилям следующих

компонентов окружающей среды: снежного покрова, почв, съедобных растений (кормовые растения, грибы, плоды). Методики исследования данных компонентов приведены в главах 2, 3.

Так как основными загрязняющими веществами, рассеивающимися в компоненты окружающей среды, являются тяжелые металлы V, Cr, Mn, Co, характеризующие производственную деятельность предприятия, то в основу районирования территории по степени загрязнения нами положены поля рассеяния этих элементов в компонентах окружающей среды по суммарному показателю загрязнения Zс, с целью выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия.

Районирование предполагает: 1 – метод членения исследуемой территории на такие таксономы, которые должны отвечать хотя бы двум критериям: критерию специфики выделяемых территориальных ячеек и критерию взаимосвязанности насыщающих их элементов; 2 – способ дифференциации единого мероприятия по существующим районам с учетом специфики последних (Географический ...,1988).

Под геосистемным районированием мы понимаем выделение индивидуальных территориальных единиц, сходных по любому системообразующему признаку. Естественно, это районирование попадает в разряд частного, основным показателем которого являются вещества, загрязняющие компоненты окружающей среды за счет пыления с отвалов. Эти вещества имеют качественную (химический состав) и количественную (концентрация) характеристики, в связи с чем, можно говорить об использовании двух таксономических единиц районирования: более крупного района, выделяемого по качественному признаку, и более мелкого (участка), выделяемого по количественным показателям.

В поставленной перед нами задаче – выделение участков рассеивания загрязняющих элементов в компонентах окружающей среды– применение

дробных таксономических единиц (геосистем разного порядка) не представляется возможным, так как большая часть загрязняющих элементов не имеет четко выраженных границ рассеивания за счет переноса ветровыми потоками. В связи с этим районирование территории проводилось только по одной таксономической единице – участку, который выделялся в зависимости от величины концентрации элементов.

При этом использованы следующие принципы: объективность районирования, однородность компонентов, учет закономерностей дифференциации (осуществляется на основе применения расчетных полей рассеяния).

Принцип объективности заключается в выделении объективно существующих ГС. Этот принцип пользуется среди географов всеобщим признанием. Он трактуется как наличие жестких объективно существующих границ геокомплексов. В рассматриваемом случае сам физический принцип рассеяния загрязняющих элементов в окружающей среде отрицает существование жестких границ и говорит о субъективности их выделения, что в географии встречается довольно часто (Арманд А.Д., 1975). Однако принятый нами принцип выделения участков по возможным интервалам загрязнения в пределах четко очерченных расчетных изолиний позволяет утверждать, что в пределах выделенных границ качество компонентов окружающей среды характеризуется объективно. Кроме того, этот принцип районирования «нельзя рассматривать слишком прямолинейно, исключая возможность некоторых субъективных, точнее – условных решений, которые неизбежны при районировании» (Прокаев В.И., 1983).

Принцип однородности отражает главное специфическое свойство единиц районирования, позволяющих отличать их друг от друга. В этом случае однородность – это сложная однородность, выражающаяся в закономерном повторении или чередовании разнородных (в качественном и

количественном отношении) элементов загрязняющих веществ. Кроме того, однородность единицы районирования – это однородность лишь в смысле преобладания в ее пределах набора каких-то показателей (здесь Mn и V), в то же время внутри такой единицы могут быть участки с иной природой, что обуславливается их генетическими особенностями (Прокаев В.И., 1983).

Методика районирования не может не содержать некоторых условных решений, так как при ее разработке нельзя учесть всего разнообразия проявлений геосистемной дифференциации. Любая система районирования неизбежно схематизирует географическую действительность, выделяет главное, существенное, определяемое постановкой задачи. Однако условные решения не должны быть случайными, а должны выявлять закономерности в развитии геосистем III порядка, что находит свое отражение в легенде карты районирования.

При расчете рассеяния загрязняющих элементов должны быть учтены: объем образующейся пыли, интенсивность пыления с отвалов, местные метеоусловия – повторяемость, скорость и направления ветров, температурные стратификации, количество осадков и сезон года, в который они выпадают, характер подстилающей поверхности. Все эти параметры рассмотрены в главах 2, 3 и заложены в основу расчета полей загрязнения.

В качестве основного метода выделения районов принят метод ведущего фактора. В качестве ведущего фактора использовался суммарный показатель загрязнения Z_c тяжелых металлов V, Cr, Mn, Co. Физиономичными индикаторами ведущих факторов служат сами изолинии, а основной фактор – источник загрязнения (шлаковые отвалы ОАО «НТМК»).

Полученная карта районирования по степени загрязнения территории является расчетной, так как положенные в ее основу поля загрязнения получены расчетным путем на основе непосредственных наблюдений, в

результате геохимических съемок территории.

4.2.2. Результат районирования территории расположения шлаковых отвалов ОАО «НТМК»

На территории Нижнетагильского промышленного узла имеются многочисленные горные и металлургические предприятия, оказывающие негативное влияние на природную среду. Такое влияние проявляется в повышенном содержании, например, тяжелых металлов: V, Mn, Co, Ti, Cu, Zn, Fe и др. во всех компонентах окружающей среды (атмосферном воздухе, природных водах, почвах, биоте) по сравнению с нормативными значениями. Данные концентрации тяжелых металлов устойчивы и наблюдаются в течение длительного периода времени [231, 250].

При районировании использованы данные геохимических съемок территории расположения шлаковых отвалов ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат» (ОАО «НТМК») на р. Сухая Ольховка, проведенных нами в период 2010-2014 гг.

Шлаковые отвалы ОАО «НТМК» состоят из отвала доменных шлаков и отвала сталеплавильных шлаков. Оба отвала являются действующими, функционируют с 1949 года. В настоящее время в отвалах содержится более 60 млн. тонн отходов. Отвалы ОАО «НТМК» на р. Сухая Ольховка, по-сути, являются "техногенными месторождениями" черных и цветных металлов. По данным А.И. Семячкова, А.А. Фоминых, особенно высоко превышение содержания элементов в отвале, по сравнению с кларковыми значениями их в литосфере, по ванадию (в 111 раз), хромю (60 раз), марганцу (14 раз), кобальту (8 раз) [231, 250].

Оценку состояния снежного покрова, почв и растительности территории расположения шлаковых отвалов ОАО «НТМК» произведем по суммарному показателю загрязнения Z_c с целью выяснения зон чрезвычайной

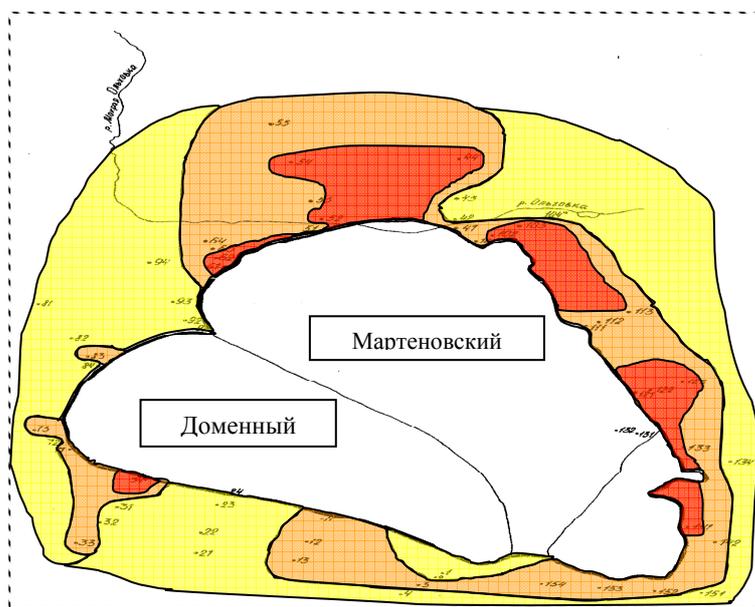
экологической ситуации и зон экологического бедствия. Z_c вычислен по формуле:

$$Z_c = K_{\text{ПДК}_i} \cdot (n - 1), \quad (4.4),$$

$$K_{\text{ПДК}_i} = \frac{C_i}{\text{ПДК}_i},$$

где ПДК_i - предельно допустимая концентрация i -го элемента, C_i - концентрация i -го элемента в пробе, ПДК_i - предельно допустимая концентрация элемента.

Суммарный показатель загрязнения вычислен по концентрации следующих элементов: V, Cr, Mn, Co и представлен на рисунках 4.32–4.34.



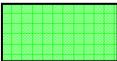
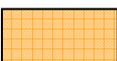
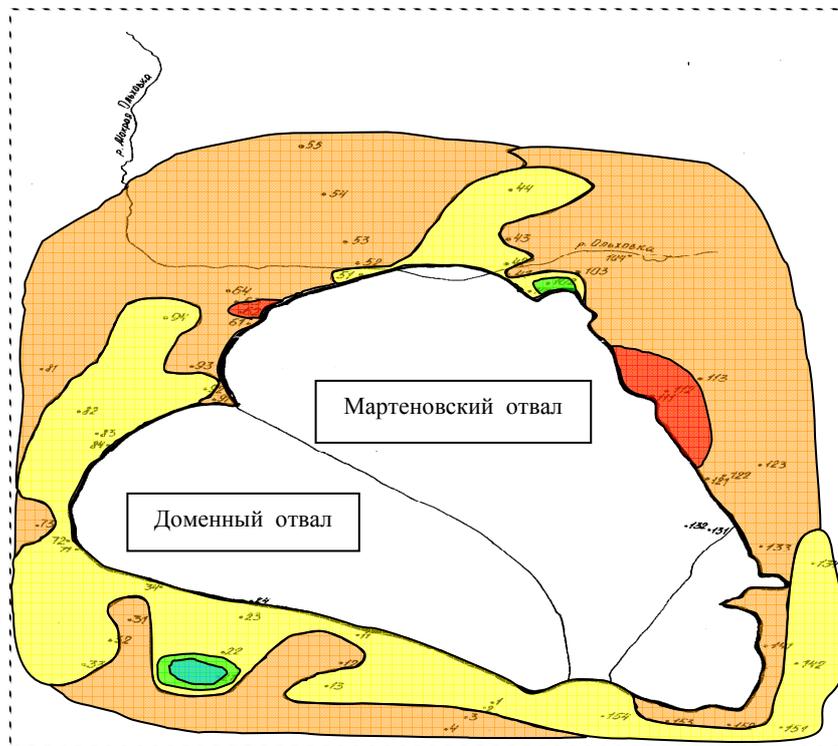
-  – категория загрязнения допустимая (менее 16)
-  – категория загрязнения умеренно опасная (16-32)
-  – категория загрязнения опасная (32-128)
-  – категория загрязнения чрезвычайно опасная (более 128)

Рисунок 4.32 - Суммарный показатель загрязнения снежного покрова

(сост. автором)



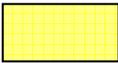
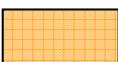
-  – категория загрязнения допустимая (менее 16)
-  – категория загрязнения умеренно опасная (16-32)
-  – категория загрязнения опасная (32-128)
-  – категория загрязнения чрезвычайно опасная (более 128)

Рисунок 4.33 - Суммарный показатель загрязнения почв (сост. автором)

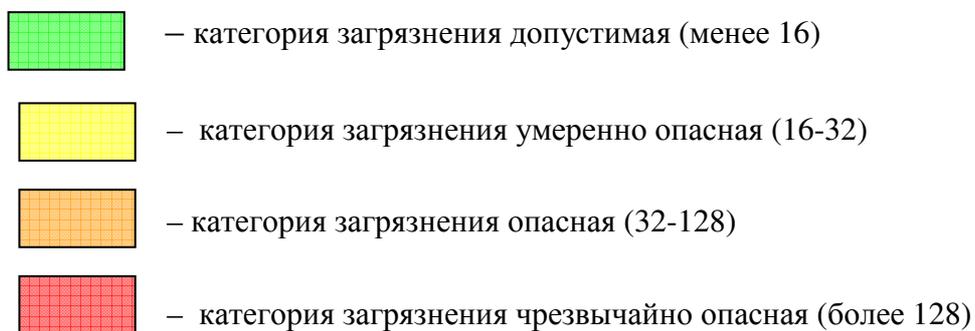
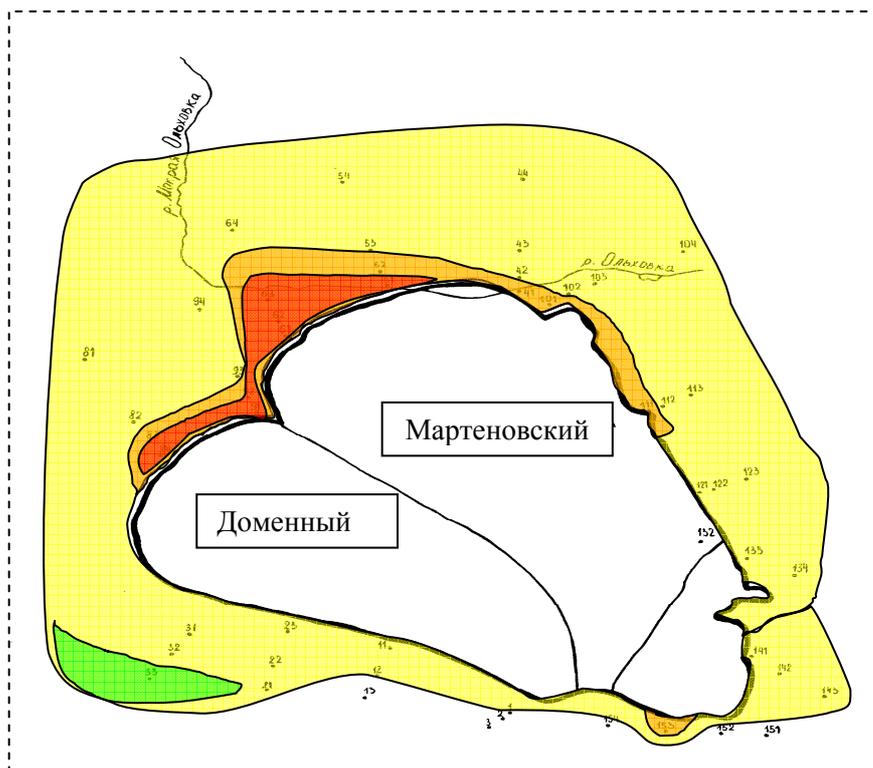


Рисунок. 4.34 - Суммарный показатель загрязнения растительности
(сост. автором)

Анализ рисунка 4.32 показывает, что по снежному покрову содержание тяжелых металлов очень высокое. Восточная часть территории имеет категории загрязнения «опасная» и «чрезвычайно опасная». Западная часть имеет умеренно опасное загрязнение. Это совпадает с повторяемостью направления

ветров и местом выгрузки мартеновских шлаков, содержащих высокие концентрации изучаемых элементов.

Почва (рис. 4.33) имеет «пятнистое» загрязнение. Более загрязнены северная, восточная и западная части территории. Большую часть территории занимает ареал с категорией загрязнения «опасная». С восточной стороны от мартеновского отвала также имеется участок с категорией загрязнения «чрезвычайно опасная».

По растительности с экологической точки зрения в первую очередь подлежат геохимическому изучению и опробованию пищевые, кормовые и лекарственные растения (их отдельные части). В качестве объектов опробования были выбраны съедобные грибы как наиболее используемые и характерные пищевые продукты лесного биоценоза. Также грибы аккумулируют многие загрязняющие вещества. Съедобные грибы срезались ножом, промывались и высушивались. В качестве пищевых и лекарственных биологических объектов были выбраны плоды древесной растительности (рябины, калины, яблони, шиповника), а вблизи садовых участков – томаты. В качестве кормовых культур были выбраны вейник наземный (*Calamagrostis epigeios* L.), овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds.), мятлик луговой (*Poa pratensis* L.) семейства Злаки, как наиболее характерные кормовые культуры лугового биоценоза.

Анализ рисунка 4.34 показывает, что по растительности территория относится к категории загрязнения «умеренно опасная», то есть характеризуется уровнем увеличения общей заболеваемости. На этом фоне имеются участки с категориями загрязнения «опасная» и «чрезвычайно опасная», примыкающие непосредственно с северной и восточной стороны к доменному и мартеновскому отвалам.

Таким образом, территория расположения шлаковых отвалов ОАО «НТМК» по суммарному показателю загрязнения и по всем изучаемым средам

– снежному покрову, почвам, съедобной растительности – характеризуется от умеренно опасной до чрезвычайно опасной.

По результатам выполненных работ построена результирующая карта районирования по суммарному показателю загрязнения Z_c (рис. 4.35).

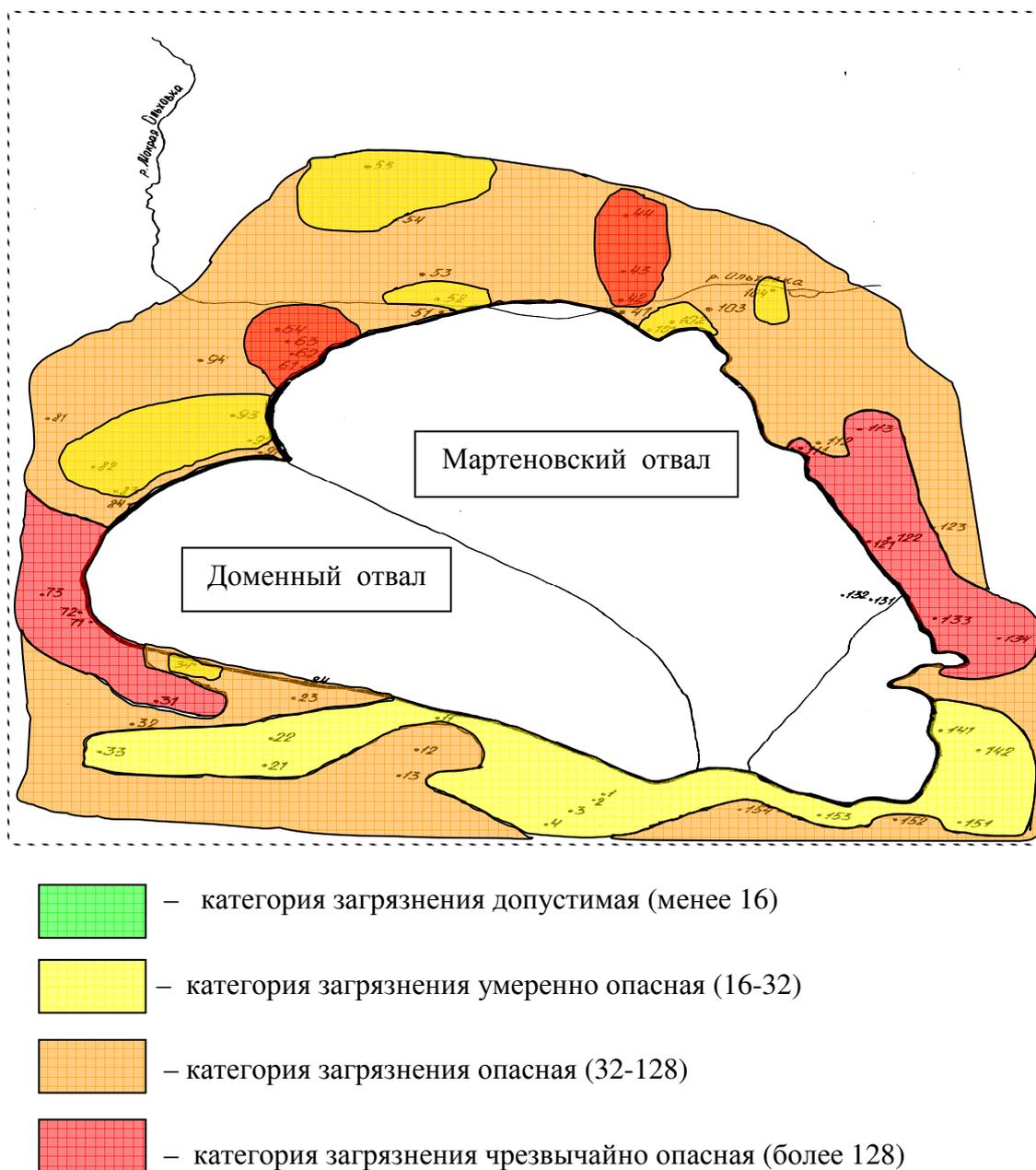


Рисунок 4.35 - Районирование территории по суммарному показателю загрязнения (сост. автором)

Анализ рисунка 4.35 показывает, что практически вся территория относится к категории загрязнения «опасная». Такое значение суммарного

показателя загрязнения характеризуется увеличением уровня общей заболеваемости, числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушением функционального состояния сердечно-сосудистой системы. На этой территории расположены участки с категорией загрязнения «умеренно опасная» и «чрезвычайно опасная». Наибольший участок с категорией загрязнения «умеренно опасная» находится с южной стороны отвала, в районе расположения коллективных садов. Участки с категорией загрязнения «чрезвычайно опасная» находятся с юго-восточной (в местах расположения коллективных садов), восточной, северной и западной сторон отвала (в местах выгрузки доменных и мартеновских шлаков).

Таким образом, проведенное районирование территории расположения шлаковых отвалов ОАО «НТМК» показало необходимость внедрения экологически эффективных природоохранных мероприятий для улучшения экологического состояния природной подсистемы. Для того чтобы правильно выбрать эти мероприятия, необходим мониторинг состояния природной подсистемы. На начальном этапе, по результатам районирования территории, можно сделать вывод, что мониторинг должен включать наблюдения за состоянием атмосферного воздуха, поверхностных водных объектов (р. Сухая Ольховка), почв, биоты. Мониторинг за этими компонентами окружающей среды необходимо проводить регулярно и ежегодно: снежный покров, почвы, биоту необходимо опробовать 1 раз в год, поверхностные воды – ежеквартально по установленной нами сети (см. главу 2, рис. 2.13).

Также необходим мониторинг геологической среды – почвообразующего горизонта, подземных вод, чтобы была возможность анализа техногенного воздействия на недра и прогноза опасных процессов.

Для расширения сети мониторинга и его совершенствования необходимо использовать основные требования СДМ, то есть целесообразна структуризация организации мониторинга (табл. 4.14).

Таблица 4.14 – Организация мониторинга (сост. автором)

Структура организации мониторинга			Система сбора информации			Система представления информации		
Вид наблюдений (измерения)	Анализ (оценка)	Прогноз	Местоположения	Время измерений (периодичность)	Средства измерений	Протоколы первичной полевой и лабораторной информации	Информационные системы	Отчеты, доклады, в соответствии с действующей нормативной базой

Полная реализация действий по организации системы мониторинга позволит автоматически учитывать ее результаты при изучении развития железорудной геосистемы III уровня, даст информацию для прогноза и определит третью часть блока «развитие» – управление геосистемой, то есть разработку и внедрение эффективных природоохранных мероприятий.

Однако по результатам проведенных исследований в районе расположения шлаковых отвалов ОАО «НТМК» уже можно сделать вывод, что в настоящее время территория испытывает высокую техногенную нагрузку в результате интенсивного пыления, содержащего тяжелые металлы, с отвалов. Поэтому на этом этапе исследований можно сказать, что природоохранные мероприятия в первую очередь должны быть направлены на уменьшение пылевой нагрузки на данную территорию.

Прогноз развития изучаемой геосистемы возможно осуществлять с помощью аппарата нейронных сетей, т.к. отличительной чертой всех геоэкологических исследований является необходимость учета в процессе выработки и принятия решений изменений, происходящих в окружающей среде, обусловленных движением воздушных масс, колебаниями метеохарактеристик, особенностями переноса и распространения различных загрязняющих веществ и т.д.

Таким образом, специфика исследуемой предметной области обуславливает необходимость интегрированного подхода к построению моделей принятия решений, позволяющего рационально сочетать логическое мышление и интуицию субъекта, принимающего решения, с использованием численных математических методов и вычислительных экспериментов при формировании моделей и выработке решений.

При реализации такого подхода возникает необходимость решения ряда научных проблем, связанных с согласованием количественных значений, получаемых в процессе численных расчетов, с качественными субъективными оценками, вырабатываемыми экспертами, приведением данных, имеющих различную природу происхождения, к единой числовой системе.

Последние научные исследования показали, что синтез методов, основанных на аппарате нейронных сетей, является мощным средством диагностирования качественной информации, используемой при управлении сложными объектами и процессами [205].

Нами решалась проблема восстановления зависимости между концентраций металлов в различных компонентах окружающей среды.

Для решения поставленной задачи использовался аппарат нейронных сетей, подробно описанный у Саймона Хайкина [205]. В основе этого метода лежит понятие нейрона.

Нейроны объединяются в слои, а нейронная сеть может состоять из нескольких слоев. Нейроны входного слоя призваны принять входные данные (значения x_1, x_2, \dots, x_n) и передать их в неизменном виде всем нейронам последующего слоя.

Между каждым нейроном i предыдущего слоя и каждым нейроном j последующего слоя устанавливается связь с некоторым весовым коэффициентом w_{ij} . Сигналы, поступающие на вход одного нейрона, взвешенно суммируются, и на вход нейрона подается величина:

$$NET = \sum_{i=1}^n w_i x_i \quad (\text{комбинированный вход}),$$

где i - нейрон предыдущего слоя, w_{ij} - вес связи между i -ым и j -ым нейронами, а x_i - величина выхода i -ого нейрона.

Величина выходного сигнала нейрона получается в результате воздействия на комбинированный вход нейрона активационной функции. В качестве этой функции обычно берется сигмоидальная функция:

$$OUT(NET) = \frac{1}{1 + e^{-bNET}}.$$

На выходе нейрон имеет точку ветвления, через которую сигнал передается дальше. Таким образом, сигнал распространяется по всей сети и в выходном слое получается конкретный результат.

На первом этапе решения задачи подбирается архитектура нейронной сети и запускается процесс обучения. При этом корректируются веса синаптических связей в соответствии с конкретной обучающей выборкой и параметрами обучения. Чем лучше сеть обучена, тем эффективнее будет результат. После обучения настроенная нейронная сеть используется для решения задачи. Обычно, в качестве обучающего алгоритма берут «Алгоритм обратного распространения ошибки», для работы которого необходимо задать шаг спуска и шаг подъема [205].

С применением аппарата нейронных сетей были проведены исследования в 3 направлениях по выявлению зависимостей между параметрами загрязнения окружающей среды. Для испытания были взяты концентрации трех металлов: V, Cr, Mn в пробах различных компонентов окружающей среды: в снежном покрове (растворенная и взвешенная части), в почве и в растениях.

В первом исследовании нами была проверена зависимость одного металла от других в одном компоненте окружающей среды. Для этого была построена нейронная сеть с архитектурой 2-3-1 (рис. 4.36), шаг спуска равнялся 0.5, шаг подъема 1.2. Обучение сети проходило на 75% процентах

входных данных, остальные 25% использовались для тестирования сети в результате обучения. Сеть обучалась методом «Обратного распространения ошибки», что позволило получить решение за конечный промежуток времени.

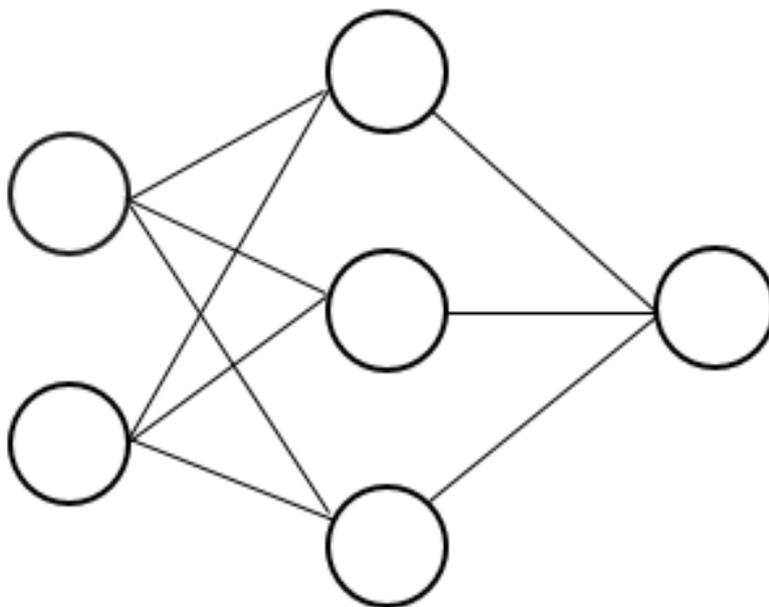


Рис. 4.36 - Архитектура сети 2-3-1 (сост. Гальпериным А.Л., Черных А.А.)

В результате, тестирования сети было выявлено, что подобного рода зависимости присутствуют, и нейронная сеть может предугадать количество металла, в зависимости от концентраций других металлов в одном компоненте среды:

- Количество V в зависимости от Cr и Mn во всех четырех компонентах среды, нейронная сеть верно предугадывала результат не менее чем в 75% случаев.
- Количество Cr в зависимости от V и Mn во всех компонентах среды, нейронная сеть прогнозировала хорошо.

- Количество Mn в зависимости от V и Cr было тоже хорошо предугадано во всех компонентах среды.

Следующим исследованием, было проверено, можно ли предугадать количество одного и того же металла в конкретной среде основываясь на его концентрациях в других средах. Для этого была построена сеть 3-3-1 (рис. 4.37), шаг спуска равен 0.5, шаг подъема 1.2. Процент разбиения данных на обучающую и тестовую выборки был тем же.

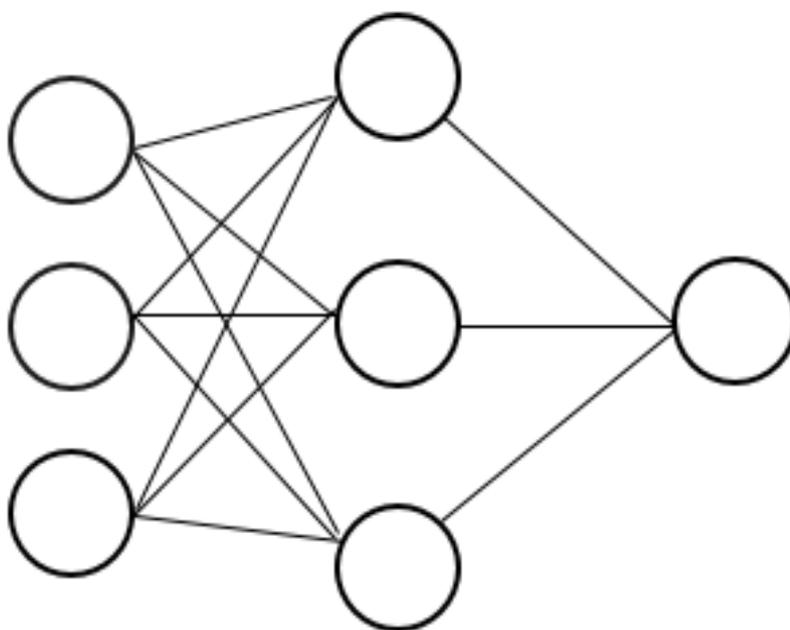


Рис. 4.37 - Архитектура сети 3-3-1 (сост. Гальпериным А.Л., Черных А.А.)

После обучения такой сети, были получены следующие результаты: для всех изучаемых элементов, в трех случаях сеть распознала $> 75\%$ тестового множества.

В последнем исследовании нами проверена зависимость «один к одному» концентрации металла в одном компоненте среды от концентрации другого металла в другом компоненте. Для такого исследования была построена сеть 1-2-1 (рис. 4.38), шаг спуска равен 0.5, шаг подъема 1.2. Процент разбиения данных на обучающую и тестовую выборки был тем же.

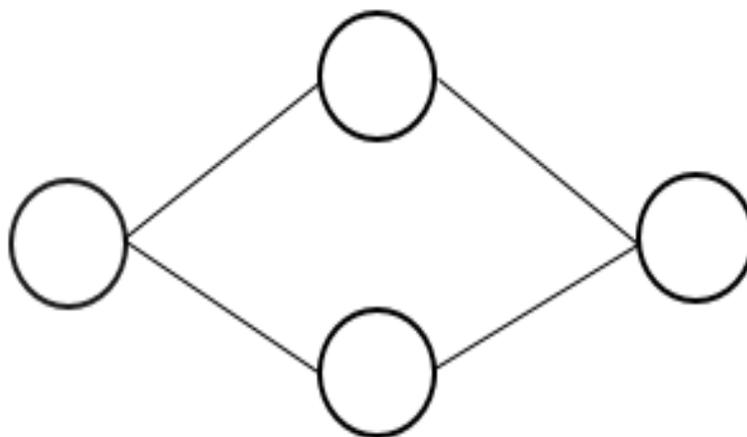


Рис. 4.38 - Архитектура сети 1-2-1 (сост. Гальпериным А.Л., Черных А.А.)
В результате в 75% проверенных зависимостей сеть дала хороший результат.

Таким образом, аппарат нейронных сетей возможно использовать для прогноза экологического состояния окружающей среды, в составе системно организованного мониторинга.

ВЫВОДЫ

Развитие меднорудной геосистемы III уровня определяется *современным состоянием* геосистемы. Характеристика экологического состояния может быть оценена показателем КО, расчет которого показал, что из трех изучаемых компонентов (вода, почвы, растительность) наиболее загрязнены поверхностные воды. В связи с этим природоохранные мероприятия в первую очередь должны быть направлены на улучшение их качества. Оптимальным из возможных вариантов внедрения таких мероприятий являются *биогеохимические барьеры*. *Эколого-экономическая оценка* предложенной технологии защиты геосистемы с помощью биогеохимических барьеров показала, что данная технология является инновационной в силу ее высокой экологической и экономической эффективности и возможности применения для любых природно-техногенных геосистем. Например, на Среднем Урале имеется небольшой опыт внедрения биогеохимических

барьеров в различные природно-техногенные геосистемы (всего на 3 предприятиях из более чем 100) (рис. 4.39, табл. 4.15 – 4.17):



Рисунок 4.39- Пример организации биоплато на предприятии ГМК
(сост. автором)

Таблица 4.15 - Эффективность очистки на биоинженерном сооружении
Северского трубного завода (средняя за 3-4 года) (сост. автором)

№ п/п	Загрязняющие вещества	Фактическая эффективность очистки, %
1	Азот аммонийный	30
2	Алюминий	28,1
3	Взвешенные вещества	55,4
4	Железо	53,2
5	Кальций	31,5
6	Магний	-
7	Марганец	67,2
8	Нефтепродукты	92,1
9	СПАВ	18
10	Сульфаты	39
11	Сухой остаток	27,1
12	ХПК	24,2
13	Хром общий	12,2
14	Цинк	70
15	Колли-титр	99,9

Таблица 4.16 - Изменение концентрации ингредиентов на экспериментальной ботанической площадке (Красноуральск. Площадь БИС – 0,1 га; $pH_{исх} = 3,4$ -летний период) (сост. автором)

Ингредиент	Исходная конц., мг/дм ³	Конц. через 2 суток, мг/дм ³	Конц. через 10 суток, мг/дм ³	Выведено из системы за 1сутки, г	Поглощено растительностью, г
Fe ³⁺	40,5	1,5	0,02	4030	1856
	61,4	3,2	1,6	5980	1984
Cu ²⁺	4,5	2,01	0,7	380	156
	10,0	2,2	1,1	890	160
Zn ²⁺	21,3	12,2	6,05	1480	156
	38,4	13,1	7,5	3090	500
Pb ²⁺	0,05	0,03	0,0001	5	3,8
	0,05	0,04	0,00	5	3,7
Cd ²⁺	0,1	0,025	0,012	8,8	3,9
	0,07	0,03	0,021	4,9	2,3
As ^{Y+}	0,02	0,00	0,00	2	1,8
	0,03	0,00	0,00	3	2,4

Таблица 4.17 - Изменение концентрации компонентов (мг/дм³) в грязной половине Шигирского озера в феврале – марте (время пребывания воды в озере – 1 мес.) (сост. автором)

Дата	Вход в озеро (сброс сточных вод)							
	pH	SO ₄ ³⁻	XПК	Fe	Cu	Cd	Pb	Zn
24.02	6,8	458	35,5	0,3	0,1	0	0	1,1
Выход из озера (р. Исток)								
25.03	6,9	336	27,9	0	0,01	0	0	0,002

Имеющийся опыт свидетельствует о высокой эффективности данных биоинженерных сооружений.

В нашем случае, при усилении роли высшей водной растительности с высокими пределами токсичности (увеличение ее количества в заливе), Железянский залив сам может выступить в роле естественного биогеохимического барьера – биоплато, благодаря своей высокой самоочищающей способности.

Следовательно, с помощью биогеохимических барьеров возможно *управление геосистемой*. В этом случае потоки загрязняющих веществ не

попадают в соседние геосистемы, а перерабатываются в пределах созданного барьера, тем самым предотвратив распространение загрязнения.

Развитие железорудной геосистемы III уровня также определяется *современным экологическим состоянием* геосистемы, которое показало, что территория расположения шлаковых отвалов ОАО «НТМК» по суммарному показателю загрязнения и по всем изучаемым средам – снежному покрову, почвам, съедобной растительности – характеризуется от умеренно опасной до чрезвычайно опасной. Суммарный показатель загрязнения Z_c рассчитан по следующим элементам-загрязнителям: V, Cr, Mn, Co, в наиболее высоких концентрациях присутствующих в отходах.

Проведенное *районирование* территории показало, что практически вся территория относится к категории загрязнения «опасная». Такое значение суммарного показателя загрязнения характеризуется увеличением уровня общей заболеваемости, числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушением функционального состояния сердечно-сосудистой системы. На этой территории расположены участки с категорией загрязнения «умеренно опасная» и «чрезвычайно опасная». Наибольший участок с категорией загрязнения «умеренно опасная» находится с южной стороны отвала, в районе расположения коллективных садов. Участки с категорией загрязнения «чрезвычайно опасная» находятся с восточной, северной и западной сторон отвала (в местах выгрузки доменных и мартеновских шлаков).

Управление железорудной геосистемой III уровня возможно только на основе экологического мониторинга, который даст возможность принять правильные управленческие решения по улучшению экологического состояния природной подсистемы: разработать и внедрить экологически и экономически эффективные природоохранные мероприятия. Основой мониторинга может являться проведенное нами районирование территории, а для его совершенствования целесообразна структуризация организации мониторинга

на основе СДМ. Для прогноза экологического состояния окружающей среды, в составе мониторинга, возможно использовать аппарат нейронных сетей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований влияния предприятий горно-металлургического комплекса (ГМК) на окружающую среду показали возможность использования регионального геоэкологического анализа для решения проблем управления и экологической оптимизации изучаемой природно-техногенной геосистемы.

Методологической основой этого анализа является системно-диалектическая методология (СДМ).

В соответствии с ней предприятия ГМК и окружающая среда, находящаяся под их воздействием, рассматриваются как природно-техногенная геосистема III уровня (ПТГС).

Как любая сложная система она обладает структурой, функционированием и развитием. В связи с этим региональный геоэкологический анализ включает изучение трёх основных блоков (структура, функционирование и развитие), каждый из которых в свою очередь включает три составляющих.

Структура изучаемой геосистемы (ГС) представляет триаду тесно связанных между собой элементов: природные (начальные) элементы, представленные компонентами природной среды, характеризующиеся фоновым содержанием загрязняющих веществ. Техногенный элемент представлен горно-металлургическими предприятиями, объединенными одним типом природопользования (добыча и переработка металла). Результат взаимодействия природных и техногенных элементов - современный геохимический облик компонентов окружающей среды. Для определения степени изменения геохимического облика ПТГС необходимо сравнение фоновых и современных концентраций химических элементов.

Фоновые концентрации химических ингредиентов в природных элементах структуры обусловлены специфическим геологическим развитием региона и характеризуются повышенным содержанием Fe, Mn, V, Co, Cr, Cu,

Pb, Zn, Cd, As. Они определяют естественную экологическую ситуацию. Доказательством этого служат ареалы распространения металлов в почвообразующем горизонте, которые напрямую связаны с геохимией подстилающих материнских пород.

Исследования воздействия металлов на биологический тест-объект *Drosophila melanogaster* показали реакцию с проявлением мутагенного эффекта при тех же концентрациях, что и санитарно-гигиенические ПДК. Это предопределяет возможность использования данного тест – объекта для оценки экологического состояния биологической составляющей геосистемы, а установленные концентрации тяжелых металлов в теле имаго *Drosophila melanogaster* можно принять за региональный фон.

Исследования техногенных элементов (предприятий ГК Среднего Урала) и их ранжирование по видам и интенсивности поступления в ГС показывают, что железнорудная промышленность формирует ассоциацию, включающую Fe, Mn, V, Co, Cr меднорудная - Cu, Zn, Pb, Cd, As. В результате взаимодействия природных и техногенных элементов образуется природно-техногенные геохимические аномалии. Эти аномалии определяют современное экологическое состояние геосистемы. Их анализ показал повышенные концентрации всех загрязняющих химических ингредиентов во всех элементах структуры изучаемой ПТГС – атмосферном воздухе, поверхностных и подземных водах, почвах, особенно загрязнены живые организмы.

Функционирование ПТГС представляет собой процесс, состоящий из трех взаимосвязанных частей (поступление и миграция загрязняющих веществ и как результат – изменение устойчивости геосистемы).

Постоянное и интенсивное поступление загрязняющих веществ происходит в результате выбросов, сбросов и образования отходов предприятий ГК. Это приводит к накоплению их в компонентах окружающей среды. Индикатором такого накопления может служить снежный покров. Снежный покров характеризуется повышенным содержанием загрязняющих веществ от техногенного воздействия: по меди и цинку в

растворенной форме – 0,8 – 6 мг/дм³, а содержание их в пыли, поступающей на снежный покров, достигает до 100 мг/кг, что превышает фон в несколько десятков раз.

Анализ распространения загрязняющих веществ в геосистему показал высокую миграционную способность всех загрязняющих элементов, начиная с их техногенного поступления в абиотические, а затем в биотические компоненты. Нами показана возможность использования математических моделей для прогноза содержания, например, меди в биоте. Такие модели можно использовать для прогноза экологического состояния компонентов окружающей среды, что доказано результатами полевых наблюдений.

Изменение устойчивости ПТГС происходит за счет постоянного и интенсивного поступления загрязняющих веществ и их миграции. Одним из наиболее информативных показателей ее устойчивости является состояние биоты. Анализ литературных источников показал, что по мере приближения к промышленному предприятию, а значит, по степени интенсивности техногенного воздействия на окружающую среду наблюдается ухудшение экологического состояния населения рыжей полевки: уменьшение относительного обилия особей и увеличение содержания загрязняющих веществ во внутренних органах по сравнению с фоновыми значениями, что свидетельствует о нарушении устойчивости изучаемой ГС.

Механизм устойчивости ПТГС нами описан с помощью биогеохимического баланса. Он позволил установить, что наряду с постоянным и интенсивным притоком загрязняющих веществ в ГС, действуют и механизмы выноса данных веществ из ГС. Подтверждено, что наибольшая часть загрязняющих веществ депонируется в растениях и живых организмах, в меньшей степени в почвах, из остальных же компонентов окружающей среды (снежный покров, подземные и поверхностные воды) происходит интенсивный вынос загрязняющих веществ в соседние геосистемы подземным и поверхностным стоком. Для предотвращения загрязнения других ГС, а также для снижения техногенной нагрузки на живые организмы и, следовательно, для

дальнейшего прогрессивного развития ПТГС необходимы природоохранные мероприятия.

Развитие ПТГС определяется ее современным экологическим состоянием. Нами рассмотрены пути возможного развития двух геосистем III уровня: меднорудной и железорудной.

В качестве нормирующего показателя загрязнения нами предложен критерий оценки (КО), который позволяет выбрать из ряда показателей (санитарно-гигиенические и экологические нормативы, фоновые концентрации) тот, который наиболее объективно позволяет оценить степень загрязнения компонентов природной среды. В качестве модельного объекта, на котором использовался КО выбрана территория ОАО «УРАЛГИДРОМЕДЬ». Нами установлено, что изучаемая территория представляет собой ареал интенсивного техногенного загрязнения. Особенно загрязнен водный объект – Северское водохранилище, где максимальная концентрация меди составляет 100КО, следовательно, данная территория относится к территории экологического бедствия и требует внедрение природоохранных мероприятий. Это же подтверждено и проведенными нами ихтиологическими исследованиями. Анализ собранного ихтиологического материала показал, что в костной ткани рыб содержание меди превышает значения для рыб из других водоемов, а в 70% улова обнаружилось проявление токсикоза в разрушении лучей хвостового плавника и появлении язв на теле. Полученные данные указывают на достаточно высокую токсичность среды для рыб.

Мероприятием по улучшению экологического состояния водного объекта может быть создание биогеохимического барьера.

Данная технология позволяет снижать концентрации загрязняющих веществ до КО и ниже от значительных исходных величин. Экономическая оценка биогеохимических барьеров показала, что предотвращенный ущерб составляет 95,11 млн. руб., а на строительство биогеохимических барьеров нужно затратить 5 млн. руб. Это указывает на высокую экологическую и экономическую эффективность от их использования, но остается опасность

загрязнения почв и растительности. Однако даже в случае самых неблагоприятных условий КО ПТГС уменьшится и она перейдет из состояния экологического бедствия в состояние относительно удовлетворительной ситуации.

Предлагаемая технология защиты меднорудной ГС является инновационной, что связано с ее высокой экологической и экономической эффективностью, низкой стоимостью и возможностью применения в любых природно-техногенных условиях. С помощью биогеохимических барьеров возможно управление ГС, предотвращая попадание потоков загрязняющих веществ в соседние ГС.

Современное состояние железорудной геосистемы оценено на основе районирования территории расположения шлаковых отвалов ОАО «НТМК». Районирование проведено по суммарному показателю загрязнения и по следующим компонентам окружающей среды, находящимся под воздействием отвалов: снежному покрову, почвам, съедобной растительности. Суммарный показатель загрязнения Z_c рассчитан по следующим элементам-загрязнителям: V, Cr, Mn, Co, в наиболее высоких концентрациях присутствующим в отвалах.

Проведенное районирование показало, что практически вся территория относится к категории загрязнения «опасная». Однако в данном случае природоохранные мероприятия должны быть разработаны на основе экологического мониторинга, который даст возможность принять правильные управленческие решения по улучшению экологического состояния природной подсистемы. Основой мониторинга должно являться проведенное нами районирование территории, а для его совершенствования целесообразна структуризация организации мониторинга на основе СДМ. Для прогноза экологического состояния окружающей среды, в составе мониторинга, возможно использовать аппарат нейронных сетей.

Результаты проведенных нами исследований свидетельствуют о том, что региональный геоэкологический анализ, основанный на СДМ, может быть

использован при изучении, оптимизации и управлении экологической ситуации ГМК.

Схема проведения анализа приведена на рисунке (сост. автором):



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алаев, Э.Б. Социально-экономическая география. Понятийно-терминологический словарь. – М.: Мысль, 1983. – 290 с.
2. Аржанова, В.С., Елпатьевский, П. В. Геохимия ландшафтов и техногенез. – М., 1990. – 196 с.
3. Арманд, А.Д. Исследование основных механизмов устойчивости и изменчивости геосистем // Факторы и механизмы устойчивости геосистем. – М., 1989. – С. 81-93.
4. Арманд, А.Д. Роль моделей в изучении природных комплексов // Методика ландшафтных исследований. – Л., 1971. – С. 115-129.
5. Атлас Свердловской области [Карты]: учебное пособие / Под ред. В.Г. Капустина и И.Н. Корнева (изд. 2-е, дополн.) – 1:3 750 000. – Екатеринбург: Изд-во «Сократ», Уральская картографическая фабрика, Центр «Учебная книга», 2005. – 32 с.
6. Бандман, А.Л., Ивин, Б.А. и др. Вредные химические вещества: Неорганические соединения. – Л.: Химия, 1988. – 1989.
7. Безель, В.С., Бельский, Е.А., Воробейчик, Е.Л. Экологическая токсикология. – Екатеринбург, 2001.
8. Белов, А.Г., Сипливых, Л.И., Снегирева, Е.М. Геология и строение Кировградского меднорудного района на Среднем Урале и закономерности размещения в пределах этого района главных видов полезных ископаемых. – Свердловск, 1963.
9. Белов, С.В. Охрана окружающей среды. – М.: Высш. шк., 1991.
10. Бельтюков, Г.В. Формирование химического состава подземных вод на территории крупных промышленных центров // Гидрогеология. Формирование химического состава вод. – Новочеркасск, 1989. – С. 117-124.
11. Бельтюков, Г.В., Двинских, С.А., Зуева, Т.В. и др. Оценка комплексного воздействия различных промышленных выбросов на состояние

ландшафтов //Экологические проблемы охраны живой природы: Тез. докл. Всесоюз. конф. – М., 1990. – Ч. 2.

12. Бересеневич, П. В., Кузьменко, П. К., Неженцева, Н. Г. Охрана окружающей среды при эксплуатации хвостохранилищ. – М.: Недра, 1993. – 128 с.

13. Берлянд, М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнение атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 448 с.

14. Беспамятнов, Г.П., Кротов, Ю.А. Предельно допустимые концентрации химических элементов в окружающей среде. – Л.: Химия, 1985.

15. Беус, А.А., Грабовская, Л.И., Тихонова, Н.В. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1976.

16. Беус, А.А., Григорян, С.В. Геохимические методы поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых. – М.: Недра, 1975.

17. Бикбулатова, Е.М. и др. Распад органического вещества сине-зеленых водорослей в анаэробных условиях при комнатной температуре (20° С) // Водные ресурсы. – 1977. – № 6. – С. 124-135.

18. Биоиндикация наземных экосистем. – М.: Мир, 1988.

19. Блауберг, И.В., Садовский, В.Н., Юдин, Э.Г. Системные исследования и общая теория систем //Системные исследования. Ежегодник. – М., 1969. – С. 34-52.

20. Богатиков, О.А., Шарков, Е.В. и др. Магматические горные породы. – Т. 3. Основные породы. – М.: Наука, 1985. – 488 с.

21. Богданов, А.А. Тектология: Всеобщая организационная наука. – М.: Экономика, 1989. – Кн. 1, 2; Бергаланфи Л., фон. Общая теория систем – обзор проблем и результатов // Системные исследования. Ежегодник 1969. – М.: Наука, 1969.

22. Большаков, В. А., Краснова, Н. М., Борисочкина, Т. И., Сорокин, С. Е., Гроковский, В. Т. Аэротехногенное загрязнение почвенного покрова тяжёлыми металлами: источники, масштабы, рекультивация. – М., 1993. – 90 с.
23. Бояркина, А.П., Будаева, Л.И., Васильев, Н.В. и др. Атмосферные выбросы тяжелых металлов в снеговом покрове //Тяжелые металлы в окружающей среде и охрана природы. – М., 1988. – Ч. I. – С. 58-61.
24. Булатов, Р.В. Стратегия охраны подземных вод / Под науч. ред. Черняева А. М.; ФГУП РосНИИВХ. – Екатеринбург: Изд-во РосНИИВХ, 2000. – 270 с.
25. Буренков, Э. К. и др. Многоцелевое геохимическое картирование – основа оценки загрязнения окружающей среды и экологического мониторинга // Разведка и охрана недр. – 1998. – № 6.
26. Буренков, Э. К., Борисенко, И. А., Москаленко, Н. Н., Янин, Е. П. Экологическая геохимия городских агломераций // Геоэкологические исследования и охрана недр: Обзор ВИЭМС. – М., 1991. – 79 с.
27. Бызова, Н. Л. Рассеяние примеси в приграничном слое атмосферы. – М.: Гидрометеиздат, 1974. – 191 с.
28. Важенин, И.Г. О нормировании загрязнения почв выбросами промышленных предприятий // Химия в сельском хозяйстве. – 1985. – Вып. 23, № 6. – С. 30 - 32.
29. Василенко, В.Н., Назаров, И.М., Фридман, Ш. Д. и др. Мониторинг загрязнения снежного покрова в СССР на фоновом и импактном уровнях // Проблемы мониторинга и охрана окружающей среды. – Л.,1989. – С. 42-55.
30. Ведякин, А. А., Шаумин, Л. В., Батурова, М. Д. О проблемах загрязнения природы России металлами и соединениями // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды: Обзор. информ. / ВИНТИ. – 1996. – № 9. – С. 32-42.

31. Вернадский, В. И. Очерки геохимии. – М.; Л.: Горгоснефтеиздат, 1934. – 380 с.
32. Вернадский, В.И. Биосфера. – М.: Мысль, 1967. – 376 с.
33. Верховланцев, Г.П. Периодические явления в гидрохимическом режиме грунтовых вод с инфильтрационным типом загрязнения // Вопросы загрязнения подземных вод и борьбы с ним. – Пермь, 1971. – С. 24-26.
34. Винберг, Г. Г. Успехи лимнологии и гидробиологические методы контроля качества внутренних вод // Научные основы контроля качества вод по гидробиологическим показателям. – Л. Мысль, 1981. – С. 14 - 16.
35. Виноградов, А. П. Проблемы геохимии и космохимии. – М.: Изд-во АН СССР, 1967.
36. Вода России: в 10-ти т. /Под науч. ред. А.М. Черняева; ФГУП РосНИИВХ. – Екатеринбург: Изд-во «АКВА-ПРЕСС», 2000.
37. Воин, М. И. Геохимическая составляющая экологии горнорудных районов. – М.: Геоинформарк, 1992. – 44 с.
38. Воин, М. И. Экологическое нормирование в промышленных районах России (на примере тяжелых металлов и радиоактивных элементов) // Геоэкологические исследования и охрана недр: Обзор. информ. – М.: Геоинформмарк. – 1994. – № 1.– 58 с.
39. Войткевич, Г. В., Кокин, А. В., Мирошников, А. Е., Прохоров, В. Г. Справочник по геохимии. – М.: Недра, 1990. – 480 с.
40. Вострокнутов, Г.А. Временное методическое руководство по проведению геохимических исследований при геоэкологических работах. – Екатеринбург: Уралгеология, 1991. – 137 с.
41. Временные методические указания по проведению расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков. – Л., 1983. – 25 с.

42. Гавич, И.К. Методы охраны подземных вод от загрязнения и истощения. – М.: Недра, 1985. – 320 с.

43. Гаврилова, И.П., Богданова, М.Д., Симонова, О.А. Опыт площадной оценки степени загрязнения почв России тяжелыми металлами // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. – 1995. – № 1.

44. Гаев, А.Я. Гидрогеохимия Урала и вопросы охраны подземных вод. – Свердловск, 1989. – 368 с.

45. Гаев, А.Я., Алферов, И.Н., Кузнецова, Е.В., Фоминых, А.А. О комплексных геохимических барьерах для защиты водозаборов и водоемов: Мат-лы Междунар. науч. конф. «Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики». – Тольятти: Волжский ун-т им В.Н. Татищева, 2005.

46. Гаев, А.Я., Семячков, А.И., Фоминых, А.А. О микроэлементах в подземных водах Урала // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. – Пермь: Пермский ун-т, 2005.

47. Галицкая, Э.И. Оценка степени загрязнения среды обитания и подготовка рекомендаций по оздоровлению экологической обстановки в Кировградском промузле. – СПб., 1994.

48. Галицкая, Э.И. Составить комплект карт распределения токсичных элементов в компонентах окружающей среды территории Кировградского промузла масштаба 1: 50 000 с врезками масштаба 1: 10 000. – СПб., 1992.

49. Геохимия окружающей среды / Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. – М.: Недра, 1990. – 335 с.

50. Геосистема – базовое понятие географического образования /А.Ю. Ретеюм, В.А. Снытко // География в школе. – 2012. – №2. – С.10-20.

51. Глазовская, М. А. Проблемы и методы оценки эколого-геохимической устойчивости почв и почвенного покрова к техногенным воздействиям // Почвоведение. – 1999. – № 1.

52. Глазовская, М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР: учеб. пособие для геогр. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1988. – 328 с.
53. Глазовская, М.А. Теория геохимии ландшафтов в применении к изучению техногенных потоков рассеяния и анализу способности природных систем к самоочищению //Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояние экосистем. – М., 1981. – С. 7-40.
54. Глазырина, Н.С. Оценка аэротехногенного загрязнения в горнопромышленной зоне Урала // Эффективность, качество инженерно-строительных изысканий и охрана геологической среды в новых условиях хозяйствования.– Свердловск, 1989. – С. 20-22.
55. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высш. шк., 1977. – 479 с.
56. ГН 2.1.5.690-98. ОДУ хим. веществ в воде водных объектов хоз.-питьевого и культурно-бытового водопользования. – 19 с.
57. ГН 2.1.6.695-98. ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест (перечень хим.веществ). – 29 с.
58. Голодковская, Г. А., Елисеев, Ю.Б. Геологическая среда промышленных регионов. – М., 1989. – 220 с.
59. Голодковская, Г. А., Куринов, М. Б. Геоэкологические картографические модели, методология, структура, систематика // Изв. вузов. Геология и разведка. – 1999. – № 1. – С. 123.
60. Гольдберг, В.М. Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды. – Л., 1987. – 248 с.
61. Гольдберг, В.М., Газда, С. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. – М.: Недра, 1984. – 362 с.
62. Гончарова, И.А., Кужекова, Н.И., Титькова, Е.Н., Каплин, В.Т. О комплексообразовании тяжелых металлов с органическими кислотами в

природных водах // Гидрохимические материалы. – Л. : Гидрометеиздат, 1968. – Т. 48.

63. Горлов, В.Д. Расчет величины запыленности земель, прилегающих к отвальному массиву // Горный журнал. – 1996. – № 7.

64. ГОСТ 12.1.0.07-76. Вредные вещества. Классификация, общие требования безопасности.

65. ГОСТ 17.2.3.01-86. Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов.

66. ГОСТ 17.4.4.02 – 84 ГОСТ. Охрана природы. Почвы.

67. Грязнов, О. Н., Семячков, А. И., Парфёнова, Л. П. Загрязнение металлами подземных вод на объектах горно-металлургического комплекса Среднего Урала // Изв. вузов. Горный журнал. – Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2001. – № 4-5. – С. 223-233.

68. Грязнов, О.Н., Семячков, А.И., Почечун, В.А., Пермяков, С.А., Михайлов, Б.В., Фоминых, А.А. Эколого-геохимическое воздействие на окружающую среду техногенно-минеральных образований // Техногенная трансформация геологической среды: Мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. – Екатеринбург: Издательство УГГГА, 2002. – С.138-140.

69. Двинских, С.А. О возможности использования информационных методов в описании свойств, структуры и поведения геосистем //Физико-географические условия развития и размещения производительных сил Нечерноземного Урала. – Пермь, 1989. – С. 17-30.

70. Двинских, С.А., Лепехин, А.П. Системный подход и его использование при изучении географических образований. – Пермь, 1990. – 81 с.

71. Двинских, С.А., Бельтюков, Г.В. Возможности использования системного подхода в изучении географических пространственно-временных образований. – Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1992. – 245 с.

72. Двинских, С.А., Почечун, В.А., Медведев, О.А. Структура природно-техногенной системы как источника воздействия на окружающую среду // Вопросы современной науки и практики. – 2012. – № 4(42) (Москва). – С. 10-17.

73. Двинских, С.А., Почечун, В.А., Рудакова, Л.В. Функционирование природно-техногенной системы горно-металлургического комплекса // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 4 (часть 2) (Москва). – С. 398-404.

74. Двинских, С.А., Почечун, В.А., Семячков, А.И. Развитие природно-техногенной системы горно-металлургического комплекса // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 4 (часть 2) (Москва). – С. 405-413.

75. Двинских, С.А., Почечун, В.А. Системный подход в изучении природно-технической системы как источника воздействия на окружающую среду: Мат-лы Общерос. науч. конф., Иркутск, 5-7 июля 2010 г. – Иркутск, 2010. – С. 225-229.

76. Дмитриевский, А. Н. Избранные труды. В 7 томах. Том 1. Системный подход в геологии. Теоретические и прикладные аспекты. – Наука, 2008. – 456 с.

77. Добровольский, В. В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. – М.: Мысль, 1983.

78. Долматов, Г. К. Медь Урала // Изв. вузов. Горный журнал. – 1994. – № 5. – С. 24 - 40.

79. Дубровин, В.М., Сумароков, М.В. Влияние хозяйственной деятельности на гидрохимические условия грунтовых вод // Охрана и гидрогеологические исследования подземных вод в центральных районах РСФСР. – М., 1986. – С. 20-27.

80. Дьяконов, К.Н. Информационный подход к анализу организации геосистем топологического уровня // Вопросы географии. – 1986. – Сб. 127. – С. 121-123.

81. Егоров, О.С., Мицкевич, Б.Р., Осадчий, В.К., Семчук, А.И. Вопросы загрязнения и устойчивости почв // Минер. журн. – 1996. – № 6. – С. 61-75.
82. Елпатьевский, П.В. Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных геосистемах. – М.: Наука, 1993. – 253 с.
83. Емлин, Э. Ф. О геотехносфере Урала // Изв. вузов. Горный журнал. –1993. – № 6 – С. 135 - 137.
84. Емлин, Э. Ф. Техногенез колчеданных месторождений Урала. – Свердловск: Изд-во Урал. ун-та, 1991. – 253 с.
85. Забродин, В.Ю. Геологические системы (Методологические аспекты исследований) // Философия науки. – 2009. – № 2(41).
86. Защита водоёмов от загрязнений предприятиями чёрной металлургии / Левин Г.М., Пантелят Г.С. и др. – М.: Металлургия, 1978. – 216 с.
87. Знаменский, В.А. Гидробиологические процессы и их роль в формировании качества воды. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 248 с .
88. Золоев, К. К., Контарь, Е. С., Рапопорт, М. С. Металлогенические и прогнозные карты Урала и отдельных его территорий // Изв. вузов. Горный журнал. – 1998. – № 7-8. – С. 24-57.
89. Золоев, К. К., Рапопорт, М. С., Попов, Б. А. Геологическое развитие и металлогения Урала. – М.: Недра, 1981. – 256 с.
90. Зырин, Н. Г., Малахова, С. Т. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. – М.: Гидрометеиздат, Моск. отд., 1981. – 106 с.
91. Иванов, В. В. Экологическая геохимия элементов. – Кн. 1. – М.: Недра, 1994. – 303 с.
92. Иванов, В. В. Экологическая геохимия элементов. – Кн. 3. – М.: Недра, 1996. – 351 с.

93. Иванов, В. В. Экологическая геохимия элементов. – Кн. 4. – М.: Экология, 1996. – 407 с.
94. Иванов, В. В. Экологическая геохимия элементов. – Кн. 5. – М.: Экология, 1997. – 576 с.
95. Иванов, В.В., Мейтув, Г.М. Геолого-геохимические исследования рудных провинций. – М.: Недра, 1973.
96. Иванов, В.В., Панфилов, Р.В. О зависимости между рассеянием и концентрацией в общем геохимическом цикле миграции элементов в земной коре // Геохимия. – 1985. – № 9. – С. 1250 – 1259.
97. Израэль, Ю.А. Решение экологических проблем в условиях глобальной взаимозависимости // Проблемы мониторинга и охраны окружающей среды. – Л., 1989. – С. 15-21.
98. Ильин, В.Б. Система показателей для оценки загрязненности почв тяжелыми металлами // Агрохимия. – 1995. – № 1.
99. Кабата-Пендиас, А., Пендиас, Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
100. Кайгородова, С.Ю., Мухачева, С.В., Семячков, А.И., Почечун, В.А. Разработка регламента локального экологического мониторинга для предприятий цветной металлургии // Актуальные проблемы регионального экологического мониторинга: научные и образовательные аспекты: Сб. мат-лов Всерос. научной школы (г. Киров, 28-30 ноября 2006 г.). – Киров: Изд-во ВятГГУ, 2006.
101. Каменников, В.Т., Макаров В.Н., Кременецкая И.П. Классификация горно-промышленных отходов по степени их экологической опасности // Химия в интересах устойчивого развития. – 1997. – № 2.
102. Капустин, В.Г. О физико-географическом районировании Свердловской области // Географические исследования на Урале и проблемы

методики обучения географии: сборник научных трудов / Урал. гос. пед. ун-т. – Екатеринбург, 2009. – С. 11 – 29.

103. Касимов, Н.С. Геохимия ландшафтов зон разломов. – М., 1980.

104. Касимов, Н.С., Перельман А.И. Геохимия ландшафта. – М., 1999.

105. Касимов, Н.С., Башкин В.Н. Биогеохимия. – М., 2004.

106. Касти, Д. Большие системы: связность, сложность и катастрофы. – М., 1982. – 216 с.

107. Кашковский, Г. Н., Соколовская Л. А. Методическое обеспечение изучения геоэкологических изменений в районах разработки полезных ископаемых // Геоэкологические исследования и охрана недр. – 1994. – № 2.

108. Климов, Г.И. Методика предварительной оценки качества грунтовых вод на территории промышленных предприятий //Межвуз. сб. Ленингр. гидрометеорол. ин-та. – Л., 1986. – № 94. – С. 120-122.

109. Ковалёва, В.Ф. Формирование химического состава и запасов подземных вод Урала. – Свердловск: Изд-во УФАН, 1968. – 241 с.

110. Ковалевский, В.В. Геохимическая экология. – М.: Наука, 1974.

111. Ковальский, А.Л. Биогеохимические поиски рудных месторождений. – М.: Недра, 1984.

112. Козлов, А. Е., Зубарев, К. А. Специализированное геолого-экологическое картирование масштаба 1:50000 Нижнетагильского промышленного узла: Информ. отчет о результатах работ за 1991-1993 гг. по состоянию изученности на 01.01.94 г. – Екатеринбург: ГП «Уралгидроэкспедиция», 1997. – 1094 с.

113. Козлова, Э.В. Роль культурных слоев в формировании техногенных геохимических и гидрохимических аномалий // Геохимия техногенеза. – Иркутск, 1985. – Т. I. – С. 98-102.

114. Козловский, Ф.И. Структурно-функциональная и математическая модель миграционных ландшафтно-геохимических процессов // Почвоведение. – 1972. – № 4. – С. 122-138.

115. Колодяжная, А.А. Режим химического состава атмосферных осадков и их метаморфизация в зоне аэрации. – М., 1963. – 168 с.

116. Коста, М., Хек, Дж. Канцерогенность ионов металлов // Некоторые вопросы токсичности ионов металлов. – М.: Мир, 1993.

117. Косыгин, Ю.А., Соловьев, В.А. Статические, динамические и ретроспективные системы в геологических исследованиях // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1969. – №6.

118. Краулис, А.А. Некоторые итоги // Природные режимы и топогеосистемы приангарской тайги. – Новосибирск, 1975. – С. 270-278.

119. Кузнецов, В.А. Техногенез в речных долинах: геохимические следствия // Геохимия техногенеза. – Иркутск, 1985. – Т. I.

120. Кушелев, В.П. Охрана природы от загрязнений промышленными выбросами. – М., 1979. – 240 с.

121. Лебедев, А. Г., Соколова, С. А. Составление справочника по ПДК загрязняющих веществ для рыбохозяйственных водоемов // Токсикол. вестник. – 1995. – № 1.

122. Лебедев, Б. А. Почвы Свердловской области. – Свердловск, 1949. – 147 с.

123. Леонард Алан. Нарушения в хромосомах под воздействием тяжелых металлов // Некоторые вопросы токсичности ионов металлов. – М.: Мир, 1993.

124. Лешиков, В.И., Мормиль, С.И., Амосов, Л.А., Шахов, Н.М., Шайкин, А.Б. Техногенно-минеральные объекты Свердловской области. Состояние их изученности и перспективы освоения // Изв. вузов. Горный журнал. – 1997. – № 11-12. – С. 40 - 54.

125. Линник, П. Н., Набиванец, Б. И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. – Л.: Гидрометиздат, 1986. – 270 с.

126. Ломоносов, И.С. Основные процессы техногенного рассеяния и концентрирования элементов и принципы их оценки // Геохимия техногенных процессов. – М.: Наука, 1990. – С. 26-59.

127. Лучшева, А. А. Практическая гидрология. – Л.: Гидрометиздат, 1976.

128. Магакьян, И.Г. Рудные месторождения. – М.: Изд-во науч.-техн. лит. по геол. и охр. недр, 1955. – 334 с.

129. Максимович, Г.А. Химическая география вод суши. – М., 1955. – 328 с.

130. Максимович, Г.А., Горбунова, К.А., Рудометов, В.В. Формирование химического состава грунтовых вод в городских поселениях // Гидрогеология и карстоведение. – Пермь, 1966. – Вып. 3. – С. 184-198.

131. Малахов, С. Г., Сенилов, Н. Б. О проблемах нормирования загрязнения почв и расчёта ПДВ веществ, загрязняющих почву // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах: Труды 5-го Всесоюз. совещания. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – С. 72-79.

132. Малахов, С.Г., Тулупов, П.Е., Махонько, Э.П. и др. Контроль загрязнения почв токсичными веществами, содержащимися в промышленных выбросах // Проблемы мониторинга и охраны окружающей среды. – Л., 1989. – С. 56-66.

133. Малые реки России (использование, регулирование, охрана, методы водохозяйственных расчетов). – Свердловск: Сред.-Урал. кн. изд-во, 1988. – 320 с.

134. Марков, Г.М. и др. Биогидробиотаническая очистка производственных сточных вод предприятий сложного химического комплекса при создании замкнутой системы их водного хозяйства.– М.: Наука, 1980. – С.

130 - 142.

135. Мартин, Р. Бионеорганическая химия токсичных ионов металлов // Некоторые вопросы токсичности ионов металлов. – М.: Мир, 1993.

136. Мельчаков, Ю.Л. Роль эвапотранспирации в системе миграционных потоков химических элементов: монография / Екатеринбург: Урал. гос. пед. ун-т, 2007. —326 с.

137. Методика расчета ПДС веществ в водные объекты со сточными водами. – Харьков, 1990. – 112 с.

138. Методические рекомендации по геохимическим исследованиям для ОВОС проектируемых горнодобывающих предприятий. – М.: АН СССР, 1986. – 100 с.

139. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами. – М.: Минздрав СССР, ИМГРЭ, 1987.

140. Методические указания по разработке нормативов ПДВ на подземные водные объекты и ПДС вредных веществ в подземные водные объекты / МПР РФ, 03. 09. 99.

141. Мильков, Ф.И. Человек и ландшафты. Очерки антропогенного ландшафтоведения. – М., 1973. – 224 с.

142. Мироненко, В. А., Румынин, В. Г. Проблемы гидрогеоэкологии: в 3-х т. – Т.1. Теоретическое изучение и моделирование геомиграционных процессов. – М.: Изд-во Моск. гос. горного ун-та 1998. – 611 с.

143. Мироненко, В. А., Румынин, В. Г., Учаев В. К. Охрана подземных вод в горнодобывающих районах. – Л.: Недра, 1980. – 320 с.

144. Михайлов, Г.К. О химическом составе дождевых вод и снега // Химическая география и гидрогеохимия. – Пермь, 1964. – Вып. 3(4). – С. 19-24.

145. Михеева, Е.В., Байтимилова, Е.А. Геохимическая экология Среднего Урала. Учебно-методическое пособие / Е.В. Михеева; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2015. 99 с. (в печати)

146. Моисеенков, О.В. Геохимические барьеры в городских ландшафтах // Современные проблемы инженерной геологии и гидрогеологии на территории городов и городских агломераций. – М., 1987. – С. 271-272.

147. Молоков, М.В., Шифрин, В.Н. Очистка поверхностного стока с территорий городов и промышленных площадок. – М., 1977. – 104 с.

148. Мухачева, С.В. Экотоксикологические особенности и структура населения мелких млекопитающих в градиенте техногенного загрязнения среды / Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Екатеринбург, 1996. 26 с.

149. Мухачева, С.В. Особенности пространственно-временного размещения населения рыжей полевки в градиенте техногенного загрязнения среды обитания // Экология. - 2007. - № 3. - С. 178-184.

150. Мухачева, С.В., Безель, В.С. Уровни токсических элементов и функциональная структура популяций мелких млекопитающих в условиях техногенного загрязнения (на примере рыжей полевки) // Экология. - 1995. – № 3. – С. 237-240.

151. Мухина, Л.И., Преображенский, В.С. и др. Системный подход к оценке последствий воздействия человека на окружающую среду // Природные ресурсы и окружающая среда. Достижения и перспективы. – М., 1978. – № 5. – С. 22-49.

152. Назаренко, И.И., Сотсков, Ю.П., Кислова, И.В. Анализ объектов окружающей среды. – М.: Изд. ВИЭМС, 1989.

153. Несвижская, Н.И., Сагет, Ю.Е. Геохимические основы предельно допустимых концентраций химических элементов в почвах // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. – Л.: Гидрометиздат, 1985.

154. Об охране окружающей среды: Закон Свердловской области от 19.12.91 // Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».

155. Об охране атмосферного воздуха: Федеральный закон № 96-ФЗ от 12. 04. 99 // СЗ РФ. – 1999. – № 18.

156. Одум, Ю. Экология: пер. с англ.; в 2-х т. – М.: Мир, 1986. – Т.1. – 328 с., Т.2 – 376 с.

157. Пантелеева, Т.И. Гидрогеохимические и физико-химические методы исследования качества подземных вод на промышленных предприятиях // Вопросы оптимизации исследования подземных вод. – Свердловск, 1986.

158. Парфенова, Л.П. Прогноз качества подземных вод в зонах влияния шламохранилищ медеплавильных комбинатов Среднего Урала: автореф. дисс...канд. геол.-минерал. наук. – Екатеринбург: УГГГА, 1997. – 21 с.

159. Пахальчак, Г. Ю., Пермяков, С. А., Хохряков, А. В. и др. Методические пособие по расчёту налогов и платежей, связанных с природопользованием и загрязнением окружающей среды. – Екатеринбург, 2003. – 92 с.

160. Перельман, А. И. Геохимия. – М.: Высш. шк., 1989. – 528 с.

161. Перельман, А.И. Геохимия ландшафта. – М.: Высш. шк., 1975.

162. Перечень ПДК и ОБУВ вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов / Комитет РФ по рыболовству. – М.: Мединор, 1995. – 222 с.

163. Перечень ПДК и ориентировочно-допустимых количеств (ОДК) хим. веществ в почве. – М., 1993. – 14 с.

164. Пиннекер, Е.В. Стратегия управления качеством подземных вод // Геохимия техногенеза. – Иркутск, 1985. – Т. I. – С. 32-39.

165. Питьева, К.Е., Волохова, Е.В. Определение фоновых и аномальных значений гидрохимических показателей при исследовании загрязнения подземных вод //Обзор. информ. Серия Охрана человека и окруж. среды в газовой промышленности. – М.: ИРЦ Газпром, 1996. – 29 с.

166. Питьева, К.Е. Гидрогеохимический прогноз рационального использования и охраны геологической среды // Формирование подземных вод как основа гидрогеологических прогнозов. – М., 1982. – С. 305-310.

167. Плотко, Э.Г., Селянкина, К.П., Надеенко, В.Г. Гигиеническая оценка современного состояния окружающей среды и здоровья населения в районе размещения Кировградского промышленного узла. – Екатеринбург, 1992.

168. Поздняков, А.В. Самоорганизация целостных систем как результат спонтанного стремления к равновесию // Оптика атмосферы и океана. – 2002. – Т. 15, № 1.- С.101-109.

169. Поздняков, А.В. Особенности термодинамики самоорганизующихся систем // Успехи современного естествознания - М./Академия Естествознания, 2007. № 8. С.60-62.

170. Попов, А.Н. Влияние соединений металлов, фтора, мышьяка(3+) и величины рН на процессы жизнедеятельности высшей водной растительности. Сообщение 2. Влияние ионов мышьяка(3+) и величины рН на процессы жизнедеятельности рогоза узколистного // Водное хозяйство России. Научно-практический журнал. 2008. – № 4. – С. 38 – 46.

171. Попов, А.Н. Вторичное загрязнение водных объектов при воздействии сточных вод предприятий цветной металлургии, перерабатывающих сульфидные руды и соли хрома // Известия вузов. Горный журнал. – 1995. – № 3. – С. 126 – 129.

172. Попов, А.Н. Интенсификация процессов самоочищения. Вода России. Водохозяйственное устройство.– Екатеринбург, 2000. – С. 347 – 350.

173. Попов, А.Н. Об экосистемном подходе в водохозяйственной деятельности // Водное хозяйство России. – 2001. –Т.3, № 6. – С. 511 – 519.

174. Попов, А.Н. Подходы к выбору методов улучшения состояния эвтрофных водоемов // Водное хозяйство России. – 2008. – № 2. – С. 83 – 93.

175. Попов, А.Н. Прогноз и регулирование качества воды: дис. ... д-ра техн. наук. – Екатеринбург, 1996.

176. Попов, А.Н. Управление качеством поверхностных вод: проблемы, перспективы // 6-я Международная конференция и выставка «AQATERRA»: сб. мат-лов конф. – СПб., 2003. – С. 215 – 217.

177. Попов, А.Н., Беззапонная, О.В. Исследование трансформации соединений металлов в поверхностных водах // Водные ресурсы. – 2004. – Т. 31, № 1. – С. 46 – 50.

178. Попов, А.Н., Бондаренко, В.В., Дерябин, В.Н. Биоинженерные методы и сооружения. Вода России. Водохозяйственное устройство. – Екатеринбург, 2000. – С. 316 – 328.

179. Попов, А.Н., Браяловская, В.Л. Гидрботанический способ очистки воды водотоков от специфических для медеплавильной промышленности компонентов // Охрана природных вод Урала. – Свердловск, 1983. – №14. – С. 77 – 80.

180. Попов, А.Н., Браяловская, В.Л. Методология выбора мероприятий по восстановлению эвтрофированных водоемов // Водное хозяйство России. – 2001. – Т. 3, № 3. – С. 290 - 298.

181. Попов, А.Н., Браяловская, В.Л., Якубовский К.Б. О влиянии высшей водной растительности на качество воды водоемов – приемников сточных вод цветной металлургии // Водные ресурсы. – 1989. – №4. – С. 135 – 144.

182. Попов, А.Н., Почечун, В.А., Семячков, А.И. Инновационные технологии защиты водных объектов в горнопромышленных районах / Под ред. проф. А.И. Семячкова. – Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2009. – 128 с.

183. Порядок разработки и утверждения нормативов выбросов и сбросов загрязняющих веществ в окружающую природную среду, лимитов

использования природных ресурсов, размещения отходов / Правительство РФ, 03.08.92.

184. Почечун, В.А. Геоэкологическая оценка компонентов окружающей среды районов меднорудной промышленности (на примере Кировградского промузла Среднего Урала): Дисс... канд. геол.-мин. наук – Пермь: ПГУ, 2005. – 161 с.

185. Почечун, В.А., Мельчаков, Ю.Л., Бабенко, Д.А. Применение системного подхода при изучении природно-техногенных геосистем // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2014. – № 5. – С. 953–963.

186. Почечун, В.А. Эколого-геохимическая оценка состояния окружающей среды Кировградского промузла // Экология фундаментальная и прикладная. Проблемы урбанизации / Урал. гос. ун-т. – Екатеринбург, 2005. – С. 269 – 271.

187. Почечун, В.А., Хисматулин, Д.Р. Оценка и прогноз состояния окружающей среды Кировградского промузла // Известия УГГУ. Спец. выпуск. Мат-лы Уральской горнопромышленной декады / УГГУ. – Екатеринбург, 2005. – С. 121 – 122

188. Преображенский, В.С. Проблемы изучения устойчивости геосистем // Устойчивость геосистем. – М., 1983. – С. 4-7.

189. Преображенский, В.С., Александрова, Т.Д., Куприянова, Т.П. Основы ландшафтного анализа. – М., 1988. – 192 с.

190. Пронин, А. П., Башорин, В. Н., Зачернюк, А. П. Эколого-геохимическая оценка загрязнения приземной атмосферы по данным изучения снегового покрова // Геоэкологические исследования и охрана недр. – 1994. – № 3.

191. Пузаченко, Ю.Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях. – Москва: Изд-во: Академия, 2004. – 408 с.

192. Реймерс, Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. – М.: Мысль, 1990. – 637 с.
193. Реймерс, Н.Ф. Экология: теории, законы, правила, принципы и гипотезы. – М.: Россия молодая, 1994. – 365 с.
194. Романец, А. А., Егорова, Р. Н., Жукова, Л. А. и др. Климат Нижнего Тагила. – Л.: Гидрометиздат, 1984. – 135 с.
195. Рудакова, Л.В., Вайсман, Я.И., Калинина, Е.В. Использование водных растений для доочистки сточных вод от биогенных элементов // Экология и промышленность России, 2006, № 11, С. 9-11.
196. Рудакова, Л.В., Зайцева, Т.А., Сакаева, Э.Х., Комбарова, М.М., Калинина, Е.В. Восстановление техногенных грунтов биотехнологическими методами // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе, № 6, 2010, С. 23-27.
197. Рудакова, Л.В., Батракова, Г.М. Мониторинг снежного покрова в зоне воздействия основных транспортных потоков г. Перми. // Мат-лы Международного научно-образовательного семинара «Современная миссия технических университетов в развитии инновационных территорий». Варна, 26 июня-3 июля 2004 г.
198. Рудакова, Л.В., Вайсман, Я.И., Калинина, Е.В. Использование материального потенциала опасных промышленных отходов // Теоретическая и прикладная экология - 2013 г., № 1, С. 27-34.
199. Рудницкий, В. Ф., Прокин, В. А., Наседкин, А. П. Типы колчеданных месторождений Урала // Изв. вузов. Горный журнал. – 1994. – № 5. – С. 40-47.
200. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. – Л. Гидрометеиздат, 1983. – 239 с.
201. Рундквист, Д.В., Волков, В.М., Смирнов, В.И. Металлогения СССР. Комплект карт. – Л.: ВСЕГЕИ, 1987.

202. Рыбальский, Н.Г., Кузьмин, В.И., Морозова, Н.П. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия – М.: Изд. Минэкологии РФ, 1992.

203. Ряшко, Б.В. О разработке системно-диалектической методологии // Проблемы методологии междисциплинарных исследований и комплексного обеспечения научно-исследовательской деятельности. – Екатеринбург: УИФ Наука, 1995. – Вып. 2. – С.130-145.

204. Сает, Ю.Е., Борисенко, Е. Л. Количественная оценка соотношения между промышленными выбросами металлов и их накоплением в природных и сельскохозяйственных почвах // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах: Труды 5-го Всесоюз. совещания. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – С. 164-171.

205. Саймон Хайкин. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание.: Пер. с англ. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. - 1104 с.

206. СанПиН 2.1.4.559-96. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.

207. СанПиН 2.1.6.575-96. Гигиенические требования к охране атмосферного воздуха населенных мест.

208. Сапрыкин, М.А. Оценка интенсивности воздействия техногенно-минеральных образований на окружающую среду // Экологические проблемы промышленных регионов. – Екатеринбург, 2000.

209. Свинец в окружающей среде / Под ред. В.В. Добровольского. – М.: Наука, 1987.

210. Семячков, А. И., Медведев, О.А., Почечун, В.А., Архипов, М.В. Экологическая оценка состояния геологической среды на основе инженерно-геологических и инженерно-экологических изысканий // Изв. вузов. Горный журнал. – 2012. – № 2. – С. 80-85.

211. Семячков, А.И., Почечун, В.А. Концепция реализации комплексного экологического мониторинга для предприятий меднорудного комплекса // Северные территории России: проблемы и перспективы развития: Мат-лы Всерос. конф. с междунар. участием. – Архангельск: ИЭПС УрО РАН, 2008.

212. Семячков, А.И., Почечун, В.А. Экологическая оценка дикоросов и плодов культурных растений в экологически напряженных районах зон складирования отходов // Продовольственный рынок регионов России в системе глобальных рисков / Под общей ред. акад. РАН А.И. Татаркина. – Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2013. – С. 375-380.

213. Семячков, А.И. Металлы в окружающей среде горно-металлургических комплексов Урала: Научное издание. – Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2001. – 320 с.

214. Семячков, А.И., Почечун, В.А. Оценка экологических последствий реализации проекта «Урал промышленный – Урал Полярный» // Экономика региона (Екатеринбург). – 2007. – № 2(10) – С. 98 - 105.

215. Семячков, А.И., Почечун, В.А., Медведев, О.А., Архипов, М.В. Инженерно-геологические изыскания и экологический мониторинг как основа рекультивации нарушенных земель // Изв. вузов. Горный журнал. – 2012. – № 3. – С. 85-90.

216. Семячков, А.И., Почечун, В.А. Экологическая оценка дикоросов и плодов культурных растений в экологически напряженных районах зон складирования отходов // Мат-лы II Уральского международного экологического конгресса «Экологическая безопасность промышленных регионов». Екатеринбург, Пермь, 17-20 мая 2011 г. / Под ред. проф. А.И. Семячкова. – Екатеринбург: Свердл. обл. отделение общественной организации – «Международная академия наук экологии, безопасности человека и природы (СОО ОО – МАНЭБ)», Институт экономики УрО РАН, 2011.

217. Семячков, А.И., Марвин, А.М., Почечун, В.А. Экологические нормативы состояния загрязнения компонентов окружающей среды // Сергеевские чтения. – Вып. 12. Научное обоснование актуализации нормативных документов инженерно-геологических и инженерно-экологических изысканий. – М.: Изд-во РУДН, 2010. – С. 403-410.

218. Семячков, А.И., Марвин, А.М., Почечун, В.А. О возможности использования *Drosophila melanogaster* при биоиндикации окружающей среды // Всероссийская научная конференция «Современные проблемы биомониторинга и биоиндикации» / ВятГГУ. – Киров, 2010.

219. Семячков, А.И., Парфёнова, Л.П., Почечун, В.А., Копёнкина, О.А. Теория и практика ведения локального экологического мониторинга окружающей среды меднорудных горно-металлургических комплексов. – Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2008. – 225 с.

220. Семячков, А.И., Почечун, В.А. Исследования взаимосвязи загрязнения снежного покрова и биоты // Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде северных регионов. – Архангельск: Изд-во ИЭПС УрО РАН, 2004. – С. 239 – 241.

221. Семячков, А.И., Почечун, В.А. Методика ведения комплексного экологического мониторинга окружающей среды в железорудных горно-металлургических комплексах // Изв. Уральского государственного горного университета. – Вып. 23. – Екатеринбург, 2008. – 181 с.

222. Семячков, А.И., Почечун, В.А. Мониторинг экологического состояния компонентов окружающей среды Кировградского промышленного узла. – Екатеринбург, 2004.

223. Семячков, А.И., Почечун, В.А. Оценка и прогноз состояния окружающей среды районов меднорудной промышленности (на примере Кировградского промузла Среднего Урала). Социальные, медицинские и инженерные вопросы экологической безопасности населения // Труды

Сибирского конгресса по экологии с международным участием / МАНЭБ. – Омск, 2006.

224. Семячков, А.И., Почечун, В.А. Потоки загрязняющих веществ в водной среде горно-металлургических комплексов // Тез. докл. 7-го Международ. симпоз. «Чистая вода России». – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2003. – С. 78 – 80.

225. Семячков, А.И., Почечун, В.А. Практика проведения геоэкологической оценки окружающей среды в горно-металлургическом комплексе // Мат-лы 1-го Уральского международного экологического конгресса «Экологическая безопасность горнопромышленных регионов», 12 – 14 октября 2007 г. Т. I. Геоэкология. Инженерная экология / Под ред. проф. А.И. Семячкова. – Екатеринбург: Свердлов. обл. отделение общественной организации – «Международная академия наук экологии, безопасности человека и природы (СОО ОО – МАНЭБ)», 2007. – С.219-224.

226. Семячков, А.И., Почечун, В.А. Системы экологического мониторинга горно-промышленных регионов // Водохозяйственные проблемы и рациональное природопользование: Мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Часть 2: Рациональное природопользование /Под общ. ред. А.Я. Гаева, П.В. Панкратьева; Оренб. ун-т; Перм. ун-т и др. – Оренбург; Пермь, 2008. – 461 с.

227. Семячков, А.И., Рудакова, Л.В., Почечун В.А. Обеспечение экологической безопасности жизненных циклов горнодобывающих предприятий // Экономика природопользования. – М.: ВИНТИ, 2013. – №1. – С. 53-72.

228. Семячков, А.И., Почечун, В.А., Советкин, В.Л. Теория, методика и практика геоэкологической оценки окружающей среды горно-металлургических комплексов: учеб. пособие / Под ред. Ю.Г. Ярошенко. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2006.

229. Семячков, А.И., Почечун, В.А., Хисматулин, Д.Р. Оценка и прогноз состояния окружающей среды районов меднорудной промышленности (на примере Кировградского промузла Среднего Урала) // Проблемы геоэкологии, охраны окружающей среды и управления качеством экосистем: Всерос. науч.-практ. конф. – Оренбург, ИПК ГОУ ОГУ, 2006.

230. Семячков, А.И., Почечун, В.А., Хисматулин, Д.Р. Статистические методы в гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии: учеб. пособие по курсу «Математические методы моделирования в геологии» для студентов специальности 130302 – «Поиски и разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания» (ГИГ). – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2005. – 86 с.

231. Семячков, А.И., Фоминых, А.А., Почечун, В.А. Мониторинг и защита окружающей среды железорудных горно-металлургических комплексов Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2008. – 243 с.

232. Семячков, А.И., Фоминых, А.А., Михайлов, Б.В., Почечун, В.А. Принципы организации мониторинга загрязнения окружающей среды от влияния металлургической промышленности // Экология и развитие общества: Мат-лы XI Междунар. конф., 24-27 мая 2008 г. / Под общей ред. проф. В.А. Рогалева. – СПб.: МАНЭБ, 2008. – 320 с.

233. Семячков, А.И., Фоминых, А.А., Почечун, В.А. Основные задачи и результаты мониторинга подземных вод объектов складирования отходов горно-металлургического комплекса Урала // Тенденции и перспективы развития гидрогеологии и инженерной геологии в условиях рыночной экономики России. XI Толстихинские чтения: тез. докл. науч.-техн. конф./ СПб. гос. горн. ин-т (техн. ун-т). – СПб., 2004. – С 107-108.

234. Сенилов, Н. Б., Малахов, С. Г. и др. Сравнение моделей загрязнения почв от промышленных источников с расчётными данными // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах: Труды 5-го Всесоюз. совещания. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – С. 57- 64.

235. Сипливых, Л.И., Снегирева Е.М., Кузнецов, А.И., Мальцева, Р.С. О результатах полевых работ на медь, проведенных на Ломовском рудном поле в Кировградском районе в 1969 – 1973 годах. – Свердловск, 1973.

236. Системный подход в геологии: теоретические и прикладные аспекты. Тез докл. Всесоюз. конф. – М.: МИНГ, 1983.; 1986. – Ч. 1–3; 1989.

237. Солнцев, В.Н. Системная организация ландшафтов. – М., 1981. – 239 с.

238. Состояние компонентов окружающей среды на топо-экологическом профиле в зоне воздействия ОАО «СУМЗ»: Отчет о научно-исследовательской работе / Кайгородова, С.Ю., Мухачева, С.В., Трубина, М.Р., Михайлова, И.Н. – Екатеринбург: ИЭРиЖ УрО РАН, 2006.

239. Сочава, В.Б. Введение в учение о геосистемах. – Новосибирск, 1978. – 315 с.

240. Специализированное геолого-экологическое картирование масштаба 1:50000 Нижнетагильского промышленного узла: Информационный отчет о результатах работ за 1991-1993 гг. по состоянию изученности на 01. 01. 94 г. / Козлов А. Е., Зубарев К. А. – Екатеринбург: ГП «Уралгидроэкспедиция», 1997.

241. Справочник по геохимии / Г.В. Войткевич, А.В. Кокин, А.Е. Мирошников, В.Г. Прохоров. – М.: Недра, 1990.

242. Табаксблат, Л. С. Основы почвоведения и геохимии ландшафта. – Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1998. – 196 с.

243. Тагильцев, С. Н., Семячков, А. И., Шмагин, Б. А. Системное обоснование мониторинга подземных вод при разработке месторождений полезных ископаемых // Мат-лы Всесоюз. конф. «Подземная вода и эволюция литосферы». – Т. 2. – М.: Недра, 1985. – С. 231-234.

244. Трофимов, В.Т., Зилинг, Д.Г. Экологическая геология: учебник. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2002. – 415 с.

245. Тютюнник, Ю.Г. Зависимость содержания тяжелых металлов в урбаногемах от уровня загрязнения атмосферного воздуха // География и природные ресурсы. – 1997. – № 2. – С. 63 – 67.

246. Тяжёлые металлы в окружающей среде / Под ред. В. В. Добровольского. – М.: Изд-во МГУ, 1980.

247. Урманцев, Ю.А. Биологическое время // Пространство, время, движение. – М.: Наука, 1971.

248. Федеральный классификационный каталог отходов: Приложение к Приказу Госкомэкологии России от 27. 11. 97.

249. Ферсман, А.Е. Геохимия. – Т. 4. – Л.: Гос. научн.-техн. изд-во хим. лит., 1939.

250. Фоминых, А.А. Мониторинг и защита окружающей среды железорудных горно-металлургических комплексов Среднего Урала: Дисс... канд. техн. наук – Пермь: ПГУ, 2005. – 184 с.

251. Фоминых, А.А., Семячков, А.И., Почечун, В.А. Принципы организации мониторинга окружающей среды в горно-металлургических комплексах Среднего Урала // Антропогенная динамика природной среды: Мат-лы междунар. науч.-практ. конф. (16-20 окт. 2006 г., г. Пермь) / Перм. ун-т. – Пермь: Изд. Богатырев П.Г. 2006.

252. Фоминых, А.А., Семячков, А.И., Почечун, В.А., Хисматуллин, Д.Р. Мониторинг природной среды горно-металлургических комплексов Среднего Урала // Сергеевские чтения. – Вып. 8. Инженерно-экологические изыскания в строительстве: теоретические основы, методика, методы и практика.– М.: Геос, 2006. – 394 с.

253. Фортескью, Д. Геохимия окружающей среды. – М.: Прогресс, 1985.–359 с.

254. Хвостова, В.В., Голубовский, М.Д., Корочкин, Л.И. Дрозофила в экспериментальной генетике. – Новосибирск: Наука, 1978.

255. Хоменков, А.Г. Основные составляющие изучения устойчивости геосистем и возникновения экологического риска // Современные проблемы гидрологии в работах молодых ученых: Материалы конф. магистров и аспирантов. Пермь, 2001. с. 17-21.

256. Хоменков, А.Г. Подход к оценке экологического риска от химического загрязнения в лесных геосистемах (на примере г. Березники): автореф. дисс...канд. географ. наук. – Пермь: ПГУ, 2005. – 25 с.

257. Черкинский, С. Н. Санитарные условия спуска сточных вод в водоемы. – М.: Стройиздат, 1977. – 208 с.

258. Черняев, А.М., Черняк, В.Л. Антропогенное загрязнение поверхностных вод Урала // Проблемы загрязнения подземных вод и пути их решения / УралНИИВХ. – Красноярск, 1981. – С. 16 – 27.

259. Черняева, Л. Е. Гидрохимия Урала. – Свердловск, 1974. – 98 с.

260. Чибилев, А.А. Введение в геоэкологию (эколого-географические аспекты природопользования). – Екатеринбург: УрО РАН, 1998.

261. Чувиллин, В. А. и др. Гидролитохимическая съемка масштаба 1:1000000 по стоку малых рек и озер. – Екатеринбург, 1996.

262. Чуянов, Г. Г. Экология горно-обогатительного производства: учеб. пособие. – Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1992. – 63 с.

263. Шафигуллина, Т.Г., Серавкин, И.Б., Удачин, В.Н. Экология Учалинской геотехнической системы. Уфа: Изд-во «Гилем». – 2009. – 236 с.

264. Шварц, С. С., Смирнов, В. С., Дробинский, Л. Н. Метод морфофизиологических индикаторов в экологии наземных позвоночных. Свердловск, 1968. Вып. 58. 387 с. В надзаг.: Тр. / Ин-т экологии растений и животных Урал. фил. АН. СССР.

265. Эйхенберг, Э. Необходимость и токсичность металлов в водных экосистемах // Некоторые вопросы токсичности ионов металлов. – М.: Мир, 1993.

266. Экология: учебник для вузов / Большаков В. Н и др.; под ред. Тягунова, Г. В., Ярошенко, Ю. Т. – М.: Интермет Инжиниринг, 2000. – 330 с.
267. Эмсли, Дж. Элементы. – М.: Мир, 1993.
268. Язиков, Е.Г., Шатилов, А.Ю. Геоэкологический мониторинг. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 276 с.
269. Янин, Е. П. Экологическая геохимия горнопромышленных территорий // Геологические исследования и охрана недр: Обзор. информ. Геоинформмарк. –1993. – № 2.
270. Bowen, H.J.M. Trace elements in biochemistry. – Ld. ; N.Y.: Acad. Press, 1966.
271. Fried, J. 1. Groundwater pollution: theory, methodology, modelling and practical rules. – Oxford;New York, 1975. – 330 p.
272. Goldschmidt, R. Physiological Genetics. –N. Y.; L., 1938.
273. Handbook of Geochemistry. Vol. 1 – 3./ Ed. R.H. Wedepohl. – Sprienger - Verlag, 1970. – 1972 p.
274. Hardimann, R. T., Jacoby, B., Banin, A. Factors affecting the distribution of Cd, Cu and Pb and their effect upon yield and zinc content in hush beans (*Phaseolus vulg. L.*) // Plant a. Soil., 1984. – Vol. 84. – P. 17-27.
275. Peirson, D. H. e. a. Trace elements in the atmospherik environment // Nature/ – 1973. – Vol. 241 N 5387. –P. 252- 256.
276. Semyachkov, A.I., Pochechun, V.A., Terekhanov, A.A. Systematic approach and its use during the environmental situation study experiencing technogenic impact // Research journal of pharmaceutical, biological and chemical sciences № 6-2, India, 2015. P. 117-124.
277. Priestly, C. e. a. Turbulent diffusion in the atmosphere // WMO Tech. Note. 1958. – № 24. – 68 p.
278. Salanki, J., Salama, H. S. Signalization, monitoring and evaluation of environmental pollution using biological indicators // Acta biol. Hung. – 1987. – Vol.

38. – P. 5-11.

279. Weiss, H. V., Herron, M. M., Langway, C. C. Natural environment of element in snow // Nature. – 1978. – Vol . 274. – N 5669. – P. 352 – 353.