

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Хабаровский Федеральный исследовательский центр
Дальневосточного отделения Российской академии наук»

Министерство природных ресурсов и экологии РФ
Федеральное бюджетное учреждение
«Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства»

На правах рукописи

Леоненко Анна Валерьевна

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ
СРЕДЫ В ГРАНИЦАХ ВЛИЯНИЯ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ
РОССЫПНОЙ ЗОЛОТОДОБЫЧИ
«КЕРБИНСКИЙ ПРИИСК»**

Специальность 1.6.21. Геоэкология

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:
Крупская Людмила Тимофеевна
доктор биологических наук,
профессор,
заслуженный эколог РФ

Хабаровск – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1: АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ПО ПРОБЛЕМЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ГОРНОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА СОСТОЯНИЕ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.....	12
1.1 Воздействие на литосферу	12
1.2 Воздействие на атмосферу	15
1.3 Воздействие на почвы и растительность	17
1.4 Воздействие на водные объекты.....	21
1.5 Исследование проблемы геоэкологической оценки влияния техногенного загрязнения соединениями тяжелых металлов на объекты окружающей среды в Дальневосточном федеральном округе.....	24
ГЛАВА 2: РАЙОН РАБОТ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	33
2.1 Географическое положение. Рельеф, геология и тектоника.....	35
2.2 Климат	41
2.3 Гидрология	43
2.4 Почвы. Растительность	45
2.5 Полезные ископаемые	52
2.6 Методы исследования.....	53
2.6.1 Биологические методы исследования	56
2.6.2 Методы дистанционного зондирования Земли.....	59
2.6.3 Химические методы исследования.....	62
2.6.4 Оценка геоэкологического состояния природных сред.....	65
ГЛАВА 3: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО–ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ГРАНИЦАХ ВЛИЯНИЯ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ «КЕРБИНСКОГО ПРИИСКА»	68
3.1. Оценка отходов переработки золотодобывающего сырья как.....	68
источника загрязнения экосистем	68

3.2 Расчет загрязнения атмосферного воздуха в границах влияния отходов переработки золотороссыпного месторождения с использованием ГИС-технологий	75
3.3 Снежный покров как индикатор техногенного загрязнения объектов окружающей среды	79
3.4 Оценка влияния отходов шлихообогатительной установки горного предприятия «Кербинский прииск» на почвы и растительность	86
3.5 Оценка загрязнения поверхностных вод в границах влияния отходов переработки ликвидированного горного предприятия «Кербинский прииск»	108
3.6 Загрязнение донных отложений соединениями токсичных тяжелых металлов в границах влияния отходов россыпной золотодобычи	112
3.7 Биоиндикация техногенного загрязнения почв и растительности	113
3.9 Предварительный расчет экологической напряженности территории района исследования.....	125
 ГЛАВА 4: ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ВОССОЗДАНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ НАРУШЕННЫХ ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ПРИ РОССЫПНОЙ ЗОЛОТОДОБЫЧЕ	132
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	140
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	143
 Приложение А Гранулометрический и вещественный состав отходов Кербинского прииска	172
Приложение Б Проведение обследования ранее рекультивированных участков на территориях золотодобывающих предприятий севера Хабаровского края.....	174
Приложение В Схема организационно-хозяйственных мероприятий для создания комфортной среды обитания на территории с.Бриакан.....	178

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Усиление техногенного воздействия на окружающую среду в связи с интенсивным в прошлом столетии освоением минерально-сырьевых ресурсов, в том числе золотороссыпных месторождений, и накоплением отходов их переработки, обусловило необходимость развития одного из важнейших направлений геоэкологии – исследования его влияния на состояния атмо-, лито-, гидро- и биосферы. Это предопределяет необходимость выявления особенностей распределения соединений токсичных тяжелых металлов в природных составляющих и разработки принципов и подходов для улучшения среды обитания. В настоящее время резко обозначилось главное противоречие современной эпохи между возможностями природы удовлетворять все возрастающие потребности человека, необходимые для жизнеобеспечения, самосохранения и экологической безопасности общества (Пашкевич, 2001, 2005, 2023; Тимофеева и др., 2015, 2024; Ульрих, 2020; Галченко и др., 2020, 2021; Языков и др., 2021, 2025; Трубецкой и др., 2021, 2022; Алентьев и др., 2023; Арбузов и др., 2023; Зверева и др., 2022, 2024; Абрамов и др., 2025, Новикова и др., 2025 и др.).

Известно, что в бассейне р. Амур находится большинство золотодобывающих предприятий, оказывая негативное воздействие, загрязняющие вещества попадают как в транзитные, так и депонирующие среды. (Пашкевич, 2006, 2024; Тимофеева и др., 2015, 2024; Качурин и др., 2016, 2024; Куликова и др., 2015, 2024; Крупская и др., 2021, 2024; Арефьева и др., 2023 и др.). Все это способствует снижению качества жизни населения в горнорудных районах (Гаськова и др., 2015, 2017; Артамонова, Тарасенко и др., 2010, 2017, 2020; Бортникова и др., 2020; Барановская и др., 2024; Старостина и др., 2025; и др.). Изменение облика естественных ландшафтов, их структуры, деградация и разрушение запускают процессы влияния техногенной системы как на окружающую среду, так и на человека: формированию экологически обусловленных заболеваний и снижению качества жизни.

Следовательно, изучение процессов влияния проходящих в природно-горнотехнической системе Кербинского золотороссыпного района является актуальным.

По мере увеличения техногенного пресса на окружающую среду и изменения природных систем возрастает роль рационального природопользования. Академик В.И. Вернадский был первым, кто ещё в 1926 г. развил идею разумного природопользования или устойчивого развития до концепции ноосферы. Для устойчивого развития природы и общества в основными должны быть принципы «sustainable development», которые включают изменение методологических подходов и методических принципов для изучения оценки воздействия горного производства на экосистемы.

В Дальневосточном федеральном округе и Приамурье, в частности, возникает задача оценки воздействия отходов переработки золотороссыпных месторождений на составляющие природной среды с использованием инновационного подхода и поиска рациональных вариантов реабилитации вновь возникших техногенных ландшафтов на нарушенных горными работами землях.

Цель исследования – выявить особенности техногенного загрязнения компонентов окружающей среды в границах влияния природно-горнотехнической золотороссыпной техногенной системы и обеспечить их экологическую безопасность.

Задачи исследования:

1. Оценить изученность вопроса загрязненности золотороссыпных территорий по литературным и патентным источникам.
2. Изучить отходы обогащения россыпной золотодобычи как реальные объекты потенциальной угрозы катастроф на горных предприятиях.
3. Оценить уровень нарушения и загрязнения изучаемых экосистем отходами обогащения, специфику элементного состава и выявить особенности трансформации, и пространственной миграции образующихся химических соединений в системе (цепи) от отходов обогащения: воздушный бассейн,

снежный покров, почвогрунты, растительность, водные объекты, донные осадки, человек.

4. Выделить ранжирование по уровням загрязнения на основе использования биологических методов и ГИС-технологий.

5. Обосновать необходимость разработки природоохранных мероприятий для обеспечения экологической и социальной безопасности населения и разработать предложения по улучшению экологической ситуации в исследуемом районе с использованием инновационного подхода.

Объекты исследований: природно-горнотехническая система, включающая отходы переработки золотороссыпных месторождений, складированные на территории шлихообогатительной установки (ШОУ) и объекты окружающей среды. К ним относятся дражные и гидромеханизированные полигоны Кербинского прииска Хабаровского края, а также прилегающие к нему площади: рекультивированная территория в с. Бриакан и сопредельные участки леса. Контролем служили естественные фоновые объекты в районе исследования.

Предметами исследований является распределение и накопление соединений токсичных тяжелых металлов от отходов переработки россыпной золотодобычи в природных составляющих.

Научная новизна: 1. Впервые выявлены и обоснованы особенности радиального и линейного пространственного распространения техногенного загрязнения объектов окружающей среды с учетом удаленности от источников загрязнения. 2. На основе ранжирования уровней техногенного загрязнения по площадям с разной степенью воздействия элементного состава и биологических тест-систем, территория разделена на 5 зон влияния техногенной системы в границах влияния золотороссыпных полигонов. 3. Выявлена подвижность соединений тяжелых металлов на участках с нейтральной или слабощелочной реакцией среды, которая снижается с увеличением в почве органического вещества, наличием высокодисперсных минералов группы монтмориллонита, повышением емкости обмена и степени насыщенности почвенного

поглощающего комплекса обменными основаниями. 4. Установлены реакции живых организмов на токсичные загрязняющие вещества, которые определены на клеточном уровне.

Практическая значимость заключается в обосновании возможного решения проблемы создания благоприятной среды обитания, для проживания населения в горняцком поселке, экологической безопасности техногенной системы, рационального природопользования на одном из ликвидированных золотороссыпных горных предприятий. Разработан способ снижения негативного влияния природно-горнотехнической системы (отходы), новизна которого подтверждена Патентом РФ. Результаты исследования могут найти практическое применение для горных предприятий: проектов рекультивации после освоения минерального сырья.

Результаты исследования могут быть включены в программы по дисциплинам «Горнопромышленная экология» и «Горное дело и окружающая среда». Диссертационные исследования и полученные результаты использованы при работе с госбюджетными темами: Института горного дела ДВО РАН: на 2001-2005 гг. «Создание теории ресурсосберегающих процессов геотехнологии и геотехники для освоения россыпных месторождений Дальнего Востока» (ГР № 02.2.006 06835), 2006-2008 гг. «Разработка теоретических основ эффективного освоения минеральных ресурсов и организация экологически безопасного промышленного производства на территории российского Дальнего Востока» (ГР № 012 000613511). Кроме того, теоретические положения, изложенные в диссертации, использованы при разработке: 1. Хабаровской краевой целевой Программы «Отходы до 2010 г.» (раздел Программы «Обоснование приоритетных направлений утилизации горнопромышленных отходов в Хабаровском крае); 2. «Программы комплексных экспедиционных исследований природной среды в бассейне р. Амур» (2004-2008 гг.), в разделе «Трансформация почвенно-растительного покрова под воздействием горного производства в бассейне р. Амур»; 3. Федеральной целевой Программы РФ (2010-2013 гг.) раздел: «Природно-горнопромышленные системы юга Дальнего Востока как

региональные объекты потенциальной угрозы экологических катастроф»; 4. Госбюджетной темы «Развитие научных основ эффективных и экологически безопасных инновационных технологий освоения месторождений полезных ископаемых Дальнего Востока» (2019-2025 гг.) (ГР № 121121600317-5). Экспериментальным путем доказана эколого-экономическая целесообразность использованного разработанного авторами состава для пылеподавления и рекультивации поверхности хвостохранилища, окупаемость которого составляет один год.

Защищаемые положения:

1. В снежном покрове (СП) накапливаются соединения тяжелых металлов (Hg, As, Pb, Zn, Cu, Mn, Zr, Sn, Cd, Ni), значительно превышающие фоновые показатели в растворенном состоянии и взвешенной фазе. Среднее поступление токсичных веществ в СП в зимние сезоны составляет от 10 до 15 тысяч мг/дм². Его суммарный показатель (Zc) и пылевая нагрузка (Pn) в рассматриваемом районе имеют высокие значения в северо-восточном направлении.

2. Высокая степень нарушения почвы в горизонте (0-10 см) и загрязнение соединениями тяжелых металлов (Hg, As, Pb, Zn, Cu, Mn, Zr, Sn, Cd, Ni) обусловлена разнообразным минеральным составом отходов россыпной золотодобычи, а наличие сезонной мерзлоты, в условиях аэрируемых кислых суглинистых почв, с органическим веществом фульватного типа, формирует тенденцию к миграции подвижных форм в горизонт (10-20 см).

3. Концентрации соединений тяжелых металлов (Hg, As, Pb, Zn, Cu, Mn, Zr, Ni) в растительности в границах влияния техногенной системы, по сравнению с фоновыми значениями выше в десятки и более раз. Их высокие содержания установлены на расстоянии 300 м в западном направлении от ШОУ и в меньшей степени в южном.

4. Реакции живых организмов на токсичные загрязняющие вещества (Hg, As, Pb, Zn, Cu, Mn, Zr, Sn, Cd, Ni) позволили определить их содержание через клетку и её компоненты и показать негативное воздействие.

Достоверность научных положений и выводов обеспечиваются:

1. Использованием фундаментальных экологических законов в качестве исходных предпосылок для теоретического и практического анализов; 2. Корректностью постановки задач, решением их с использованием современных методов исследования и математической статистики; 3. Большим объемом аналитических, лабораторных и экспериментальных исследований; 4. Апробацией результатов в статьях, монографиях и докладах на многочисленных конференциях разного уровня (международных, региональных и др.).

Личный вклад. В основу работы положены результаты теоретических и практических полевых, лабораторных, экспериментальных исследований, выполненных в Институте горного дела ДВО РАН, Тихоокеанском государственном университете и Дальневосточном НИИ лесного хозяйства под руководством и при непосредственном участии автора и отраженных в разделе «Научная новизна». Лично автором осуществлен сбор полевых материалов (в районе исследования в 2001-2007 гг. и 2020-2024 гг.), обработка, анализ образцов в сертифицированной лаборатории ДВГТУ и ИТиГ. Собраны и обработаны архивные документы, свидетельствующие о работе горнодобывающего предприятия в районе (архив села Бриакан им. П. Осипенко). Обобщены и интерпретированы полученные результаты, разработаны практические предложения по обеспечению экологической безопасности геосистем и подготовлены публикации.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы представлены на следующих конференциях: Региональной научной конференции студентов и аспирантов «Молодежь XXI века: шаг в будущее» (Благовещенск, 2002), 43-я научно-технической конференции студентов и аспирантов ХГТУ (Хабаровск, 2003), «Fifth International Young Scholars' Forum of the Asia-Pacific Region Countries» (Vladivostok, 2003), Всероссийской олимпиаде «Созвездие» (Москва, 2003, 2004 г.), «Научно-технической конференции студентов и аспирантов ХГТУ» (Хабаровск, 2004), Научной конференции студентов и аспирантов «Проблемы безопасности жизнедеятельности в техносфере»

(Благовещенск, 2004), «Проблемы экологии, рационального природопользования и безопасности жизнедеятельности» (Хабаровск, 2005), 45-ой студенческой научно-технической конференции (Хабаровск, 2005), Всероссийской научной конференции студентов и аспирантов «Молодые исследователи – регионам» (Вологда, 2005-2007), Международной научно-практической конференции «Проблемы комплексного освоения минерального сырья Дальнего Востока» (Хабаровск, 2005), Международной конференции «Репрезентация явлений действительности в диалоге Россия – Восток – Запад. Вклад молодежи в научно-технический потенциал развития Дальневосточного Региона России» (Хабаровск, 2006), Конкурс молодых ученых ИГД ДВО РАН (Хабаровск, 2007), Международной конференции «Комплексное использование георесурсов» (Хабаровск, 2007, 2009), Всероссийской конференции с международным участием «Леса и лесное хозяйство в современных условиях» (Хабаровск, 2011); VI Всероссийская научно-практическая конференция «Геомеханические и геотехнологические проблемы эффективного освоения месторождений твердых полезных ископаемых северных и северо-восточных регионов России» (Якутск, 2021); FarEastCon-2021 «Международная мультидисциплинарная конференция по промышленному инжинирингу и современным технологиям» Дальневосточный федеральный университет (Владивосток, 2021); Всероссийской конференции «Интенсификация использования и воспроизводства Лесов Сибири и Дальнего Востока» (Хабаровск, 2021); Международная научно-техническая конференция «Экология и техносферная безопасность» (Сочи, 2022); Научной конференции молодых ученых и аспирантов «Актуальные проблемы освоения георесурсов» (Хабаровск, 2022), а также Всероссийских конференциях с международным участием (Хабаровск, 2023, 2024; С. Петербург, 2023, 2024; Сочи, 2024, Минск, 2025, Томск, 2025).

Публикации. Основное содержание работы и результаты выполненных исследований опубликованы в 32 печатных работах, в том числе 8 статей – индексируемые в Web of Science и Scopus, 5 статей – в изданиях,

рекомендованных ВАК, 5 патентов, 3 монографии, учебное пособие и свидетельство об отраслевой регистрации.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, 3 приложений. Работа изложена на 178 страницах печатного текста, включающих 37 таблиц, иллюстрирована 57 рисунками, список литературы включает 312 источников, в том числе 37 иностранных.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность и признательность научному руководителю, д.б.н., профессору, Заслуженному экологу РФ Крупской Л.Т. за помощь на всех этапах подготовки диссертации. Отдельную благодарность соискатель выражает д.г.-м.н., профессору Зверевой В.П. за поддержку и консультации при написании работы. Автор признателен за помощь в подготовке кандидатской диссертации к.т.н. Филатовой М.Ю. Соискатель очень благодарен коллективу Сектора горной информатики Института горного дела ДВО РАН, а также родным и близким за поддержку во время проведения исследований и написания диссертационной работы.

ГЛАВА 1: АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ПО ПРОБЛЕМЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ГОРНОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА СОСТОЯНИЕ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Золотодобыча оказывает существенное негативное воздействие на биосферу, атмосферу, гидросферу, литосферу, нарушая их геологические структуры, ландшафт и почву, а также способствует загрязнению их различными химическими веществами и отходами. К основным последствиям относятся: разрушение горных пород при открытой добыче, эрозия почв, нарушение естественных ландшафтов, загрязнение геосистемы химикатами и отходами, а также деградация земельных участков.

1.1 Воздействие на литосферу

Извлечение полезных ископаемых, в том числе золотороссыпных месторождений сопровождается: нарушением ландшафта, уничтожением растительности, загрязнением химическими реагентами, складированием остаточных продуктов переработки (отходов обогащения), с последующим их изменением минерального состава, под действием атмосферных факторов и распылением на прилегающие территории. Продолжается возрастающее техногенное воздействие на литосферу. Вся биосфера планеты вовлечена в процессы горного производства. По предвиденью В.И. Вернадского, где человек становится «крупнейшей геологической силой», очевидно с этим «меняется лик Земли, исчезает девственная природа» [1-10]. Уже сегодня воздействие на литосферу приближается к пределам: по данным на начало 90-х гг. добыча угля - 125 млрд. т, нефти - 32 млрд. т, других полезных ископаемых - более 100 млрд. т. Эрозией за последние сто лет уничтожено 27 млн. га земель, а площадь оврагов превысила 25 млн. га. Высоты горных отвалов достигает значений от 150 м., а глубина шахт превышает более 4 км, пройденных для добычи золота (Южная

Африка) [11].

Разработка месторождений полезных ископаемых так масштабна, что сопряжена с мощным техногенным воздействием на земную кору [12-21]. На обширных и ограниченных территориях длительно эксплуатируются месторождений, огромные объемы перемещаемых пород, способствующие нарушению первоначального напряженно-деформированного состояния земной коры.

Следовательно, происходят тектонические подвижки и землетрясения, возникают наведенные геомеханические процессы, вызванные техногенной деятельностью. Сюда относятся как изменение рельефа местности: карьерные выемки, отвалы, хвостохранилища и др. (рис. 1.1 а, б), так и активизация опасных геологических процессов: оползни и карсты, оседание и сдвигание горных пород изменение физических полей (геотемпературного и др.), особенно в районах вечной мерзлоты. Попутно происходит и химическое загрязнение почв, их механическое нарушение. Такие процессы по силе их проявления сопоставимы с естественными, а их опасность усугубляется тем, что они происходят в областях концентрации экономической деятельности человека и способны сопутствовать проявлению наведенных геомеханических процессов, нарушив жилые и промышленные объекты.

Исследования D. Zhu с соавторами [22] посвящены проблеме мониторинга воздействия: использование значений индекса MW-RSEI дает возможность дистанционно наблюдать за карьером добычи полезных ископаемых в Китае.

Нарушение гидрогеологического режима при откачке подземных вод или отведения естественного русла рек является важным фактором техногенного воздействия человека наряду с перемещением масс горных пород: выемкой из карьеров и подземных разработок и складированием вскрышных пород, отходов обогащения в отвалы (рис. 1.2 а, б).



а

б

Рисунок 1.1 а, б – Техногенный ландшафт Кербинского золотороссыпного района, дражные полигоны долины реки Керби

Сопутствующими факторами выступают откачка подземных вод, образование депрессионных воронок.



а

б

Рисунок 1.2 а. б – Разрушение почвенного покрова перемещением больших объемов горных пород при открытых разработках в Хабаровском крае ДФО

Первичное поле напряжения возникает при нарушении первоначального равновесия в верхней части земной коры в результате добычи полезных ископаемых и формирует наведенные геомеханические процессы. Вторичное поле напряжений возникает за счет образования выемок и пустот в горном массиве и изостатического нарушения равновесия [23].

Верхний рыхлый слой литосферы, почва, подвергается как механическому нарушению, так и сильному техногенному воздействию за счет окисления сульфидов при освоении минерального сырья. Фиксируются высокие концентрации соединений тяжелых металлов [24].

В работе Nailiang Xu с соавторами [25] рассматриваются многогранные стратегии, используемые Китаем для снижения ущерба, наносимого окружающей среде, в том числе литосфере, восстановления ландшафтов и содействия устойчивому землепользованию в горнодобывающих регионах.

1.2 Воздействие на атмосферу

Возникновение и привнесение в атмосферу новых вредных физических, химических, биологических агентов происходит за счет выбросов в процессе освоения минерального сырья, что приводит к техногенному загрязнению воздушного бассейна [26-28]. Негативное воздействие на окружающую среду происходит непосредственно, либо после химических изменений в атмосфере, либо в сочетании с другими веществами [29].

Перенос загрязняющих веществ на большие расстояния осуществляется главным образом за счет общей циркуляции атмосферы. Поступающие в нее примеси могут распространяться воздушными потоками на расстояние от нескольких сотен до нескольких тысяч километров. Наиболее опасным для здоровья человека является загрязнение атмосферы, что связано с многочисленными токсичными соединениями, находящимися в ней. Вещества, поступая, через вдыхаемый воздух, непосредственно в большой круг кровообращения, минуя основной детоксикационный барьер в человеческом организме – печень (рис. 1.3). При этом установлено, что яды, поступающие в организмы млекопитающих ингаляционным путем, воздействуют на животных и человека в 80-100 раз сильнее, чем при поступлении этих ядов через желудочно-кишечный тракт [30].



Рисунок 1.3 – Пыль, поступающая в атмосферу в результате деятельности горных предприятий в районе исследования

В атмосферу твёрдые вещества попадают при буровзрывных работах, которые сопровождаются значительными выбросами пыли и газов, состоящих из минералов присутствующих горных пород и газообразных веществ [1, 5, 31-33]. Жидкие и твёрдые загрязняющие вещества, попадающие в воздушный бассейн, мигрируют на значительные расстояния. Они выпадают в виде осадков или пылевых образований, что приводит к химическому загрязнению не только ближайших, но и отдалённых территорий. При переработке руд, содержащих сульфиды (галенит, сфалерит и халькопирит) пылевой выброс близок к их минеральному составу. Например, на горнопромышленных предприятий Узбекистана выявлены следующие минеральные формы: оксид титана и цинка, силикат железа и свинца, галенит, халькопирит, сфалерит, халькозин, борнит, куприт, самородные элементы (Fe, Cd, As и S), церуссит, англезит и другие [27-29], геохимические и минералогические исследования подтвердили содержание этих веществ в пыли, по данным микроскопии и микрозондирования,

Происходящие гипергенные процессы при окислении сульфидов в карьерах и штольнях, а также на хвостохранилищах способствуют образованию газовой

составляющей сероводорода и диоксида серы, которые попадают в атмосферу и загрязняют ее [34, 35].

1.3 Воздействие на почвы и растительность

Золотодобывающие предприятия, осваивая месторождения, нарушают целостность или полностью разрушают почвенный слой, а сведение растительного покрова, уничтожает устоявшиеся биосистемы (рис. 1.4 а, б), что также приводит к гибели и миграции представителей животного мира [1, 11, 12, 23, 36-38]. Изымаются большие территории из народнохозяйственного оборота. Особенно опасен этот процесс на севере, в районах с мерзлотой или приравненных к крайнему северу, где восстановление разрушенных горными работами экосистем происходит очень медленно и занимает сотни и тысячи лет [39-42].



а



б

Рисунок 1.4 а, б – Добыча золота дражным способом

Наиболее подвержены техногенным нарушениям почва и растительность. Почвы с недифференцированным профилем формируются на отвалах вскрышных пород и обогащены соединениями тяжелых металлов, а от зональных отличаются реакцией среды и гранулометрическим составом [37, 42, 43].

Комплекс почвенных факторов таких, как: реакция среды (рН), сумма поглощенных оснований, гранулометрический состав, содержание органического вещества, наличие геохимических барьеров, оказывает большое влияние на

характер перераспределения тяжелых металлов в профиле техногенных почв [23, 44].

От характера почвообразующей породы зависит уровень валового содержания соединений тяжелых металлов в почве. Например, Г.А. Юргенсон и М. А. Солодухина [45, 46] установили, что почвы горнорудных территорий Забайкальского края значительно обогащены As, за счет почвообразующих пород.

Многие исследователи считают, что соединения тяжелых металлов на почвах с высоким содержанием органического вещества, могут образовывать комплексные соединения с органическим веществом и способствовать уменьшению опасности накопления их избыточного его количества в растениях. Доказано, что характер распределения ртути и свинца по профилю почвы аналогично распределению органического вещества – в верхнем слое техногенной почвы (0-15 см), где находится наибольшее их количество, о чем свидетельствуют работа [47]. Так, адсорбция ртути почвами и возникновение эколого-обусловленных заболеваний Миномата установлено в Япония (Ниигата) [48]. Показано, что наличие ртути в волосах населения связано с дислипидемией и сердечно-сосудистым риском у населения Амазонии [49].

Научный интерес представляет критический анализ в статье, посвященный последствиями для управления рисками процессов трансформации и транспортировки ртути в почвах и ее атмосферные потоки [50].

Состояние растений в зоне влияния горных предприятий могут говорить и о характере, и уровне техногенного загрязнения почв. [47, 48, 51], а критерием в них является как ПДК соединений тяжелых металлов в растительности, так и фоновые концентрации (рис. 1.5, 1.6). Используя эти материалы можно установить не только наличие опасного уровня содержания поллютантов, степени загрязненности, но и оценить синергический эффект двух и более элементов [52].



Рисунок 1.5 – Состояние древостоя на склоне, примыкающем к хвостохранилищу ликвидированного горного предприятия «Солнечный ГОК»



Рисунок 1.6 – Пострадавшая растительность вблизи источника загрязнения горного предприятия

Гранулометрический состав почвы влияет на подвижность соединений тяжелых металлов, оказывая прямое воздействие. Большая удерживающая способность илистой фракции способствует снижению опасности загрязнения

ими растений на почвах тяжелого механического состава. С увеличением валового содержания тяжелых металлов в техногенных загрязненных почвах возрастает количество их подвижных форм, что повышает опасность загрязнения для растений и биоты [53-57].

Способностью поглощать из окружающей среды практически все химические элементы, в большей степени, чем растения обладают мхи, грибы. По данным А.П. Попова с соавторами [58], содержание соединений тяжелых металлов в растениях, мхах, грибах: на техногенных ландшафтах превышает фоновые показатели от 500 до 800 раз в радиусе 200-300 м от источника загрязнения и падает до 10 раз, и только в радиусе 1500-2000 м восстанавливается до фоновых величин в зависимости от розы ветров [56-58].

Знания особенностей аккумуляции токсичных элементов в органах и тканях растений позволят ограничить поступление соединений тяжелых металлов в организм человека. В.П. Молчановым с соавторами [59], например, обнаружены растения-индикаторы, аккумулирующие соединения Hg. Аккумулируя вещества клевер-люпин и леспедеция двухцветная, позволяет выявить биогеохимические аномалии, указывающие на наиболее зараженные участки старых отвалов золотодобычи Приморского края. Большинство исследователей [60] утверждают о том, что наибольшей металлоаккумулирующей способностью обладают лишайники.

Уровень загрязнения окружающей среды тестируют по показателям роста растений. Однако до конца не проработан вопрос о содержании соединений тяжелых металлов в тканях растений, угнетении ростовых процессов. [61]. В качестве наиболее часто применяемых критериев оценки используются темпы ростовых процессов и накопление тяжелых металлов.

М.М. Умаровым установлено стимулирующее действие тяжелых металлов в малых дозах на некоторые микробиологические процессы [62].

Литературный анализ, позволил сформулировать модель реакции микробной системы почв на загрязнение тяжелыми металлами: высокая степень техногенного загрязнения почв способствует тому, что микробиологические

показатели поддерживаются на крайне низком уровне, по сравнению с контролем; в средней степени – они неоднозначны; а низкая степень – не сопровождается их изменениями по сравнению с контролем.

Методы геоэкологической оценки опасности предприятий горнопромышленного комплекса на окружающую среду является весьма актуальной проблемой. Как для проектируемых, так и для действующих горных предприятий необходимо обеспечить экологическую и социальную безопасность путем разработки природозащитных мероприятий, направленных на оздоровление нарушенных экосистем [63]. Результаты использования разными исследователями метода дистанционного зондирования показали, что с его помощью можно: проводить мониторинг ущерба растительности и ее изменения, установить местоположение затопления земель, картировать физическую, химическую и растительную деградацию в районах горнодобывающей промышленности [64-66].

Анализ литературных данных фиксирует, что слабо изученными остаются вопросы заболеваемости населения в поселках, расположенных вблизи размещения отходов россыпной золотодобычи [67-71].

1.4 Воздействие на водные объекты

Более 140 лет осваиваются россыпи Дальнего Востока. Наиболее интенсивно осуществляется добыча на территории Амурской области и Хабаровского края. Свыше 160 тыс. км² занимают – более 50 золотоносных узлов, что составляет 46 % территории в ДФО России. Год 1870 следует считать началом возникновения золотой промышленности в районе им. П. Осипенко (Херпучинский прииск). К настоящему времени накоплены десятки миллиардов тонн отходов переработки минерального сырья. Основным источником загрязнения гидросферы являются техногенные россыпи ликвидированных предприятий россыпной золотодобычи. Сточные воды золотороссыпных предприятий содержат огромное количество различных загрязняющих веществ, в

том числе соединений тяжелых металлов и ртути, при попадании в водные системы они не только нарушают происходящие в них процессы, но и существенно влияют на биологическое равновесие. Это приводит к изменению как физической, так биологической его составляющей. Воды становятся непригодными для хозяйственно-бытового применения. Возникает необходимость оценки техногенного загрязнения водных объектов.

Высшие водные растения благоприятно влияют на процессы формирования качества воды. Водная растительность способствует окислению органических соединений. Аккумулируя большое количество загрязняющих воду компонентов, в том числе и соединения тяжелых металлов, получают продукты распада для своего роста и развития. Небольшой опыт исследований локализации техногенного загрязнения земель, прилегающих к горнопромышленным объектам описан авторами [7, 8, 23, 31-33, 62, 70, 72]. На протяжении 100 лет до 1990 года при обогащении золотороссыпных месторождений использовалась амальгамация, однако, недостаточно проводилось исследований после закрытия приисков в условиях Дальневосточного федерального округа (ДФО), направленных на изучение процессов трансформации, особенно содержащих большое количество соединений техногенной ртути. Слабо изучена проблема геоэкологической оценки влияния отходов на водные объекты, а горнодобывающими предприятиями предпринимается явно недостаточно мер по обнаружению и локализации соединений Hg [73-77].

Научный интерес представляет статья, посвященная исследованию особенностей миграции химических элементов в природных водах и их отложениях в виде минеральных новообразований в живых организмах с использованием физико-химического моделирования [78].

Л.Т. Крупская [23], О.А. Сорокина [79] исследовали территории, примыкающих к золотороссыпным и рудным горнопромышленным предприятиям, ими фиксировался низкий уровень микробиологической активности и интенсивное взаимодействие почвенных микроорганизмов с соединениями тяжелых металлов.

Таким образом, можно сделать вывод, что в основу исследований положена количественная характеристика их элементного состава. Слабо изученными в ДФО оказалась проблема геоэкологической оценки техногенного загрязнения токсичными элементами водных объектов в процессе переработки золотосодержащего сырья и методов их защиты, а также вопросы влияния на здоровье населения и уровень заболеваемости в горняцких поселках. Важность и актуальность проблемы изучения техногенного загрязнения водных объектов несомненна [42, 69, 80-82].

В Канаде по архивным данным Matheus B. Soares et al [83], выявлено чрезвычайно высокое загрязнение местных водоемов соединения мышьяка в результате добычи золота в Йеллоунайфе, Северная Каролина, за период наибольших выбросов в окружающую среду в 1949–1956 гг.

В другой работе [84] использование метода дистанционного зондирования позволило получить информацию об изменениях в землепользовании и качестве воды. С использованием спутниковых изображений впервые выполнена количественная оценка изменений качества воды в районах, связанных с добычей полезных ископаемых в бассейне реки Амазонки. Исследователи обнаружили, что с 1973 по 1993 год по мере увеличения площадей добычи росли и концентрации взвешенных веществ во всех суббассейнах. Авторами сделан вывод о том, что воздействие этой недавней золотой лихорадки на качество воды очевидно в основном в притоках рек Токантинс и Ново, что повышает осведомленность о необходимости внедрения более совершенных методов добычи для контроля качества воды и строгого соблюдения законов в настоящем и ближайшем будущем.

Таким образом, проведенный литературный обзор, детальный анализ и обобщение говорят о том, что основным источником техногенного загрязнения водных объектов, сточных вод, почв и др. являются отходы горных предприятий россыпной золотодобычи и несовершенство технологий прошлого столетия. Проблемы демеркуризации актуальны по сей день.

1.5 Исследование проблемы геоэкологической оценки влияния техногенного загрязнения соединениями тяжелых металлов на объекты окружающей среды в Дальневосточном федеральном округе

Социально-значимые проблемы охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности становятся более актуальны. Изъятие земель из лесного фонда под горные разработки, в том числе золотодобывающих предприятий, способствует нарушению экологического равновесия. В связи с этим здесь возникает необходимость в решении вопроса рационального природопользования. Теоретической его основой явилось учение академика В.И. Вернадского о биосфере и ноосфере [3-4], который первым эту идею возвел до концепции ноосферы или устойчивого развития (Sustainable development).

Одной из особенностей исследований в геоэкологии является сложность и многогранностью объекта исследования (экосистемы, геосистемы, природно-техногенные и горнотехнические системы, ландшафты), в составе этих систем взаимодействуют между собой компоненты природной среды, неоднородные в пространстве и во времени. Следовательно, явления, протекающие в системах, могут быть изучены приближённо, т. е. не до конца [30, 42].

В южной части Дальневосточного федерального округа в отвалах и хвостохранилищах накоплено свыше 5 млрд. т отходов. Масштабы вскрышных пород и «хвостов» обогащения техногенных отвалов продолжают увеличиваться. (рис. 1.7, 1.8). Причем их количество постоянно растет в связи с вовлечением в производство техногенных россыпей [34, 33].



Рисунок 1.7 – Накопленные объемы токсичных отходов переработки полиметаллических руд



Рисунок 1.8 – Хвостохранилище Центральной обогатительной фабрики, г. Дальнегорск

В ДФО исследования по решению проблемы геоэкологической оценки воздействия техногенных систем на объекты окружающей среды практически

только начинают получать развитие. Поэтому необходима доработка критериев оценки воздействия горного производства на экосистемы, а также методологических и методических подходов. Принципы устойчивого развития должны входить в их основу. Процессы фиксации и переноса соединений тяжелых металлов в природно-техногенных системах севера Хабаровского края ограничены. Поэтому перед наукой в Дальневосточном регионе и Приамурье, в частности, встала задача комплексной оценки воздействия процессов освоения минерального сырья на природные составляющие, и поиска наиболее рациональных путей решения, и защиты от деградации ландшафтов (рис. 1.9). Отсутствуют эффективные, рабочие методы эколого-экономической оценки характера изменений объектов окружающей среды под влиянием отходов переработки минерального сырья, а главное нет научных основ оптимизации этого воздействия.



Рисунок 1.9 – Поверхность хвостохранилища ликвидированного горного предприятия «Солнечный ГОК»

Проблема комплексной оценки техногенного загрязнения соединениями токсичных тяжелых металлов слабо изучена в ДФО. Данное обстоятельство обуславливает актуальность проблемы не только комплексной оценки влияния

техногенных систем на состояние окружающей среды, но и на здоровье населения с использованием новых методов исследования, например, математического аппарата, дистанционного зондирования Земли. Так, в статье К.С. Цигулева с соавторами [82] представлены результаты исследований, направленных на создание методики предварительного (разведочного) математического анализа временных рядов, которые предполагается использовать для изучения и прогнозирования состояния и скорости восстановления биоты в границах воздействия горных предприятий по данным дистанционного зондирования Земли. Объектом исследования стала природно-горнотехническая система, расположенная в пределах Комсомольского рудного узла. Проведен анализ данных за период с 2001 по 2021 г. по следующим показателям: NDVI (вегетационный индекс), температуры воздуха, влажности, количества осадков, температуры и влажности почвы в разных горизонтах.

Ю.А. Озарян и В.И. Усиков полагают [85], что техногенная деятельность является причиной изменений в компонентах объектов окружающей среды и, как следствие, ландшафта в целом. Одной из отраслей, оказывающей существенное влияние на состояние окружающей среды, является недропользование с первичной переработкой сырья по месту добычи. Применение геоинформационных технологий при анализе данных дистанционного зондирования Земли из космоса позволяет объективно и оперативно оценить геоэкологическую обстановку и эволюцию в горнопромышленных районах и выработать рекомендации по ее нормализации. Анализ состояния компонентов окружающей среды на основе эколого-ландшафтного подхода позволила воссоздать объемную модель рельефа местности Комсомольского рудного района с целью оценки геологических и геохимических факторов.

В статье В.И. Усикова с соавторами [86] изложены результаты геоэкологической оценки Комсомольского горнорудного района и ЕАО (Россия) по данным дистанционного зондирования Земли. В их работе представлены результаты исследования природно-техногенных обстановок в горнопромышленных районах юга Дальневосточного региона.

М.Б. Бубновой [87] проанализирована экологическая обстановка в пределах г. Райчихинска и выявлена необходимость проведения рекультивационных работ на отработанных отвалах месторождений. Сопоставление данных спутникового мониторинга с материалами наземного обследования позволили оценить высокий потенциал территории к самовосстановлению, что необходимо учитывать при планировании санитарно-гигиенических мероприятий. Такой подход обеспечит формирование устойчивых растительных сообществ высокого качества и решение природоохранных задач.

В работе Ю.А. Озарян [88] представлены результаты изучения возможностей спутникового мониторинга и геоинформационных технологий анализа пространственных данных как инструмента для оценки процессов восстановления растительности с учетом особенностей территории. Исследованы процессы естественного восстановления биоты в границах добычи россыпного золота. Выявлена специфика формирования вторичных фитоценозов на техногенных новообразованиях. Показана возможность использования результатов обследования участков Соловьевского золотоносного узла для оценки возможности естественного восстановления растительности после снижения техногенного воздействия.

Л.Т. Крупской с соавторами [23] изложены результаты исследования ртутного загрязнения объектов окружающей среды на примере ликвидированного горного предприятия «Кербинский прииск». Показано, что большую геоэкологическую опасность для среды обитания и здоровья человека представляют загрязненные ртутью площади. На селитебной зоне, где ранее находились шлихообогатительные установки (ШОУ) демеркуризация должна быть первоочередной. [7, 8, 23, 32, 33, 72].

Автором диссертации рассмотрены материалы многолетних исследований 2001-2023 гг. по геоэкологической оценке негативного влияния отходов ликвидированного предприятия россыпной золотодобычи в районе им. П. Осипенко Хабаровского края (прииски: Кербинский, Софийский, Херпучинский). Проблема решалась комплексно: дистанционно, с

использованием стандартных геоподложек Google, Yandex, Esri и спутниковых снимков Landsat 8 наблюдались полигоны россыпной золотодобычи, в результате рассчитана площадь нарушенных земель, изучены процессы самозарастания, а также велся наземный геоэкологический мониторинг с применением современных инструментальных и традиционных физико-химических и биологических методов. Данные заносились в ГИС проект программы Qgis. Основная цель этого исследования состояла в изучении территорий россыпной золотодобычи Кербинского района с использованием комплексной оценки данных геоэкологического мониторинга для дальнейшего планирования и проведения рекультивационных работ и восстановления лесов, так как при освоении золотороссыпных месторождений были изъяты земли лесного фонда [23, 89-91].

Геоэкологическая оценка воздействия техногенных систем на объекты окружающей среды практически только начинает получать развитие в Дальневосточном Федеральном округе [92]. Поэтому возникает необходимость в разработке методологических и методических подходов, критериев геоэкологической оценки воздействия горного производства на объекты окружающей среды. В их основу положены принципы «sustainable development», которые в России трактуются, как стратегия устойчивого развития природы и общества. К настоящему времени имеющиеся в литературе количественные данные, характеризующие процессы фиксации и переноса соединений тяжелых металлов в природно-техногенных системах Севера Хабаровского края, ограничены.

Таким образом, литературный анализ проблемы оценки геоэкологического состояния окружающей среды при освоении минерального сырья, в том числе золотороссыпных месторождений и охраны, позволил систематизировать имеющуюся информацию и сделать следующие выводы:

I Теоретические положения носят в основном аксиоматический характер:

1. Источниками загрязнения окружающей среды являются разрабатываемые горными предприятием месторождения полезных ископаемых, в том числе золотороссыпные [93-122];
2. Оценка состояния экосистем в различных природных зонах, испытывающих влияние техногенных факторов, отражена во многих работах 96-101, 108, 123-149];
3. Площади нарушенных, загрязненных земель, пострадали как из-за несовершенства технологией, так характера воздействия и объемами горного производства (объем отвалов, дражных полигонов, хвостохранилищ, гидравлических полигонов) [93-98, 100, 116, 122, 140, 150-157];
4. Изменения экосистем в процессе горного производства связаны с ухудшением экологической ситуации [54, 63, 96-100, 102, 106-108, 112-114, 131, 154-168];
5. Исследователями выяснены особенности формирования и характер изменений биологического разнообразия в условиях антропогенного освоения территорий [154, 155, 169-179], мутации и генетики [180-183], биоиндикации [45, 55- 57, 60, 113, 145, 162, 178];
6. Главными в решении проблемы обеспечения экологического и социального благополучия являются вопросы устойчивого развития природы и общества, глобального геоэкологического прогнозирования [26, 53, 184-189], геоэкологического мониторинга, экологического нормирования [172, 184, 190-195] и рекультивации [6, 7, 23, 41, 52, 89, 96-101, 170, 171, 179, 196-201].

II Дискуссионные вопросы:

1. В связи с проведением исследований в различных почвенно-климатических условиях возникают разные точки зрения на общую теорию оценки влияния техногенных объектов на окружающую среду и разработки мероприятий по улучшению геоэкологической ситуации в границах влияния горного производства, а также воспроизводства продуктивности нарушенных

горными работами земель и методы ее воссоздания [194, 202-206]. Вопросы экологической безопасности понимаются учеными по-разному [112, 113, 204].

III Слабоизученные вопросы:

Проблемы комплексной оценки негативного влияния горного производства, техногенных систем, на экосистемы с использованием математического аппарата и дистанционного зондирования Земли слабо изучены, особенно в условиях россыпной золотодобычи [58, 67, 69, 70, 82, 96-98, 116, 122, 162, 191, 207-211].

Выводы

1. Разработка золотороссыпных месторождений представляет собой основной источник загрязнения всех компонентов окружающей среды: гидросферы, атмосферы, литосферы и биосферы. В результате накоплены миллиарды тонн отходов обогащения, а водные объекты в районах добычи содержат высокие концентрации разнообразных загрязнителей, включая соединения тяжелых металлов, мышьяка и ртути. Попадая в природные системы, эти вещества нарушают естественные процессы и биологическое равновесие, вызывая трансформацию как физических, так и биологических параметров среды;

2. В настоящее время отсутствует опыт комплексной оценки воздействия техногенных систем на окружающую среду с интегрированием в исследования как данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и ГИС-технологий, так и математических моделей, для целей обеспечения экологической и социальной безопасности, а также улучшения среды обитания в горняцких поселках Хабаровского края.

3. Для горных предприятий Хабаровского края, особенно в сфере золотороссыпной добычи, в настоящее время существует насущная необходимость перехода к решению практических задач рационального природопользования;

4. В работе применяется количественный анализ элементного состава как ключевая основа для оценки загрязнения почв тяжелыми металлами и ртутью. Степень воздействия на почвенно-растительный покров определяют по уровню

накопления загрязняющих веществ относительно ПДК или фоновых значений, а также по биологическим индикаторам (состоянию растений, лишайников, мхов и микрофлоры). В проанализированных работах также представлены различные методы, направленные на восстановление продуктивности почв, нарушенных при разработке золотороссыпных месторождений.

5. Целесообразно для обеспечения экологической безопасности местного населения составить детальные карты, основывающиеся на комплексном анализе предложенных показателей и критериев. Необходимо разработать Целевую комплексную программу: «Стратегия экологической безопасности районов прошлого освоения золотороссыпных месторождений ликвидированными горными предприятиями в Хабаровском крае» для консервации существующих очагов ртутного и других загрязнений.

ГЛАВА 2: РАЙОН РАБОТ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Работа выполнена в 2001-2025 гг. в Кербинском золотороссыпном районе, район им. П. Осипенко (с. Бриакан) Хабаровского края, имеющим специфические природные условия (рис. 2.1).

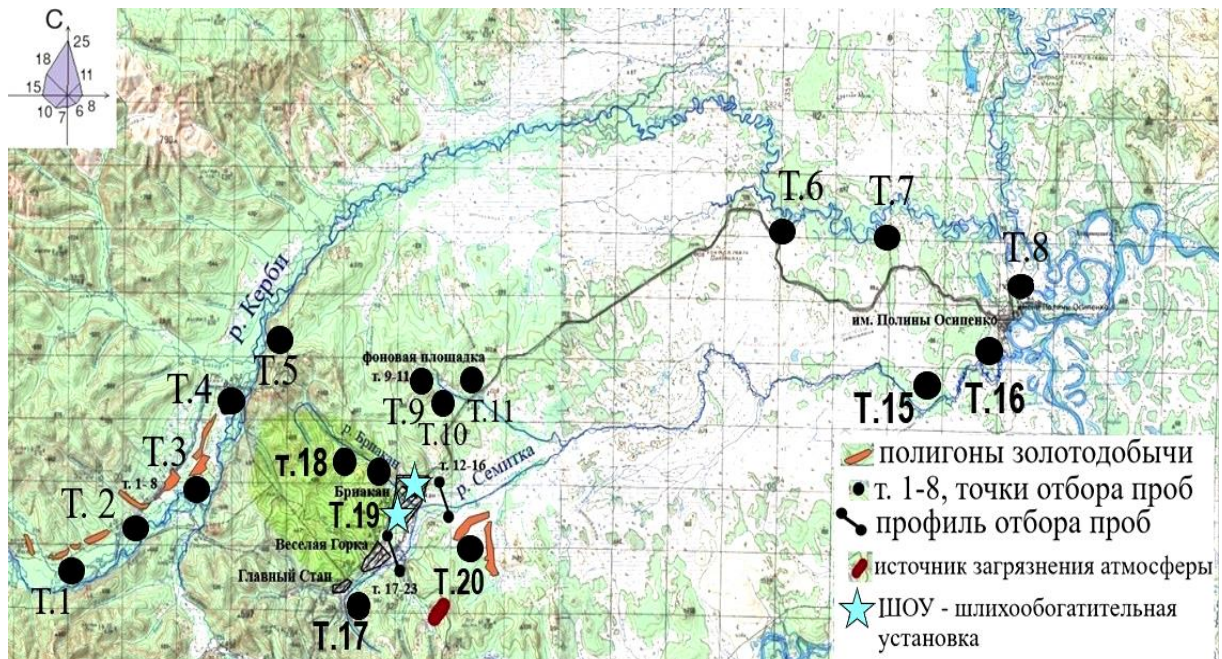


Рисунок 2.1 – Район исследований в границах влияния ликвидированного горного предприятия «Кербинский прииск», с. Бриакан

Это регион с неповторимостью природы и природными богатствами, в том числе минеральными ресурсами для промышленного производства: лес, полезные ископаемые, биологические ресурсы. Интенсивное их освоение привело к возникновению экологических проблем.

Разработка россыпей открытым способом формирует канавы, расчистки (при разведке), отвалы, карьеры, дражные и гидравлические полигоны (при эксплуатации), часто значительных размеров, сравнимые с площадями поселков (рис. 2.2-2.5).

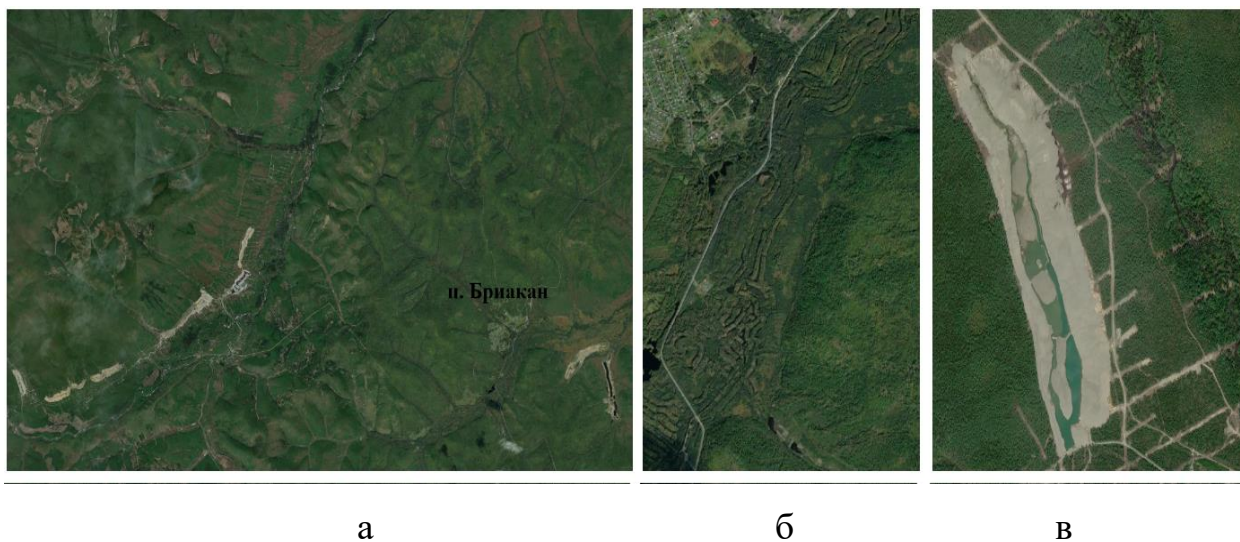


Рисунок 2.2 – Дешифрирование нарушенных участков района исследований: а – общий вид территории ликвидированного горного предприятия «Кербинский прииск», с. Бриакан; б – дражные ходы; в – гидравлические полигоны, разведочные линии, геоподложка ESRI Satellite.



Рисунок 2.3 – Добыча золота дражным способом



Рисунок 2.4 – Последствия работы драги



Рисунок 2.5 – Дразный полигон р. Керби

2.1 Географическое положение. Рельеф, геология и тектоника

Район им. П. Осипенко расположен на севере Хабаровского края: на юге – $51^{\circ}40'$, на севере – $53^{\circ}20'$, на западе – $134^{\circ} 30'$, на востоке – $139^{\circ}35'$. Долина исследуемых золотоносных рек Керби и Семитка, входящих в бассейн реки Амгунь. Район граничит на западе с Селемджинским районом Амурской области,

а на юге – с районами Хабаровского края: Ульчским, Солнечным, Верхнебуреинским, Тугуро-Чумиканским.

Горный рельеф района исследования, включает хребты: на юге (Буреинский, Баджалский, Эткиль-Янканский, Дуссе-Алинь); на западе, северо-западе (Ям-Алинь, Эзоп, Меванджа); на северо-востоке – Магу, на востоке (Кивун, Омальский и Омельдинский) [212]. Здесь также развит низкогорный и холмисто-увалистый рельеф, а в южной части – средневысотный глубокорасчлененный [213].

Геология и тектоника

Район характеризуется большим геологическим разнообразием. Вся площадь целиком сложена из метаморфических сланцев: слюдяных, слюдисто-кварцитовых, филлитовых, глинистых. В почве и россыпях встречаются минералы пород: кварцевого порфира, гранита, аплита, пегматита, встречаются. Среди свиты метаморфических сланцев имеются многочисленные кварцевые жилы – пластовые и секущие. [122, 212-214].

Поверхность района исследования складывается из осадочных пород: глинистых сланцев различных формаций, встречающихся всюду, постплиоценовых отложений, располагающихся в низменностях и долинах рек и современных речных отложений. Незначительные площади изверженных пород: гранитов, базальтов и порфиров чаще всего встречаются в высокой зоне хребта Ям-Алинь, а более распространенные слоисто-кристаллические породы залегают в возвышенных частях западной половины района. Встречается "глинистая" многолетняя мерзлота. Аллювиальные отложения промерзают сезонно от 0,6 до 2-2,5 м. (рис 2.6). В районе встречаются водопады, гейзеры, фонтаны воды высотой 0,5 – 1,5 м., а в зимний период образование наледей.

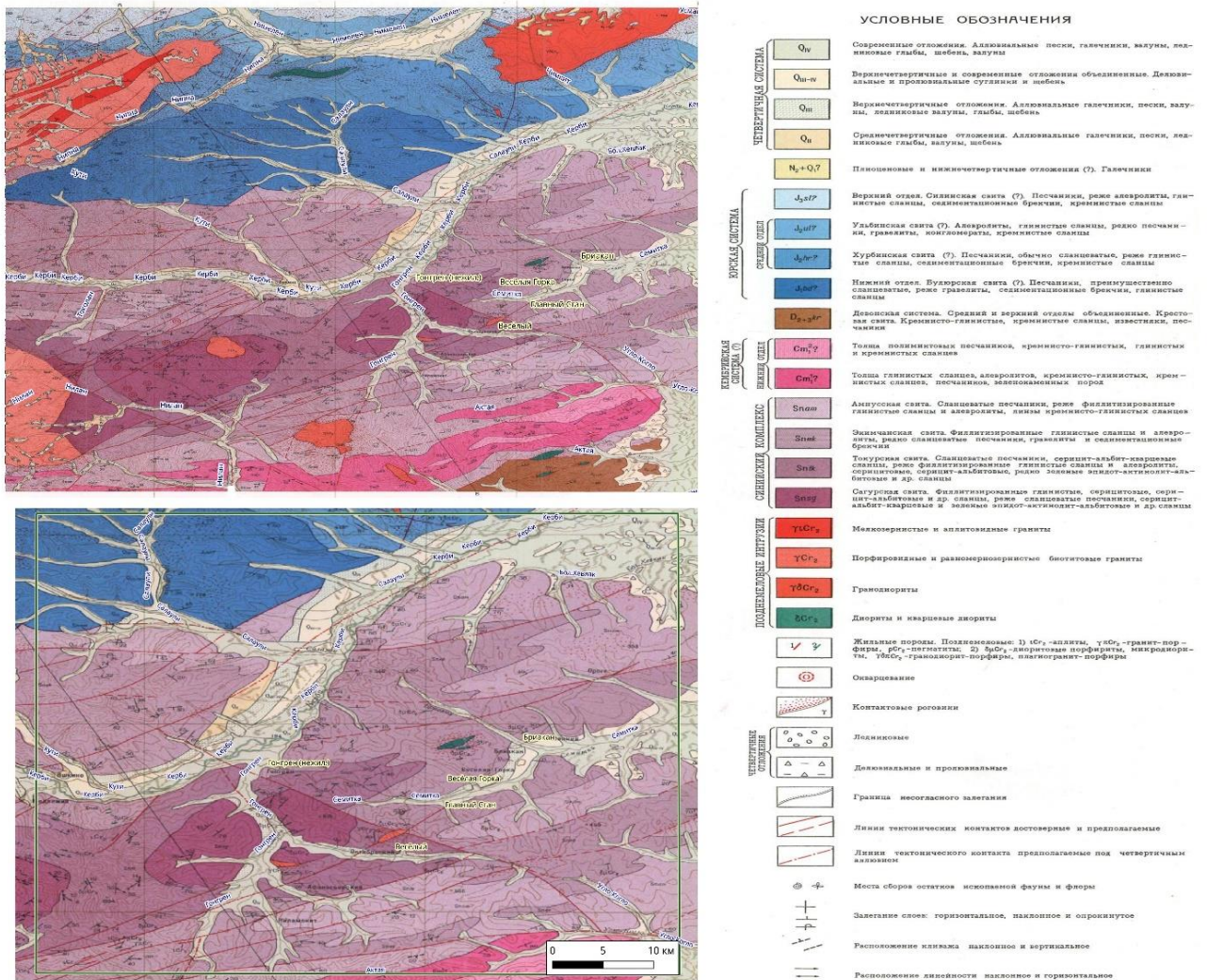


Рисунок 2.6 – Фрагмент геологической карты района исследования

В пространственно-временной организации фундамента ландшафтов наблюдается закономерное общее омоложение с запада на восток и его возраста с востока на запад, а также изменение состава и палеогеографических условий образований вещественных комплексов по структурно-тектоническим зонам. Основной структурный план данной территории определяется восточной окраиной протерозойских горных пород. Зоны разломов Джугдзурского (Ассыни-Тумнинская и Амгуньская зоны) и Тукурингирского (Тукурингра-Тумнинская и Удильско-Тугурская зоны) ограничивают площадь.

По степени дислоцированности пород и особенностям геологического развития в районе выделяются два самостоятельных структурных яруса. Нижний структурный ярус, изученный в пределах Кербинского антиклинария, объединяет значительно метаморфизованные породы протерозоя и кембрия, собранного в

складки северо-восточного и юго-восточного направлений [212]. Верхний структурный ярус, изученный в пределах Верхне-Нимеленского блока, объединяет слабо метаморфизированные юрские песчанно-сланцевые толщи, собранные в серию крупных линейных складок северо-восточного простирания.

В восточной части Кербинского антиклинария отмечается Сивак-Гонгрэнская антиклиналь, в пределах которой выделяются Сивакский и Гонгрэнский купола. Купола – это наложенная на более древние структуры складка северо-западного простирания, созданная мезозойской складчатостью.

Все складчатые структуры района осложнены интенсивно развитыми системами нарушений Джугджурского, Тукурингрского и Ям-Алиньского направлений, преимущественно сбросового, реже – надвигового характера. Размах вертикальных и горизонтальных тектонических движений достоверно не оценен. Учитывая геологические данные, возможно предположение, что амплитуда вертикальных смещений иногда достигает 0,5-1,5 км.

Наиболее крупной разрывной структурой является Гонгра-Накитская (Нангромакитская) зона шириной 4-6 км, простирающаяся на северо-восток через бассейны рек: Нангремакит, Батаонь, Сулакиткан и Семитка.

Эта зона хорошо контролируется гофрированными породами с флексорами, направление осей, которые соответствуют направлению разломов, кварцевыми жилами, дайками микродиоритов, редко тектоническими брекчиями. Многократная дислоцированность пород и разломов различных направлений обусловили складчато-глыбовую структуру ландшафта Кербинского района.

По стратиграфическому районированию выделены 4 свиты Синийского комплекса.

1. Отложения сагурской свиты являются наиболее древними в районе и обнажаются на водоразделе рек Керби и Нилан и в среднем течении реки Гонгрэн в ядрах антиклинальных складок. Отложения представлены в основном метаморфизированными алевролитами с маломощными прослойками и линзами песчаников. В верхах свиты часто встречаются пропластки светло-серых мраморизованных известняков. Мощность свиты не превышает 1400 м.

2. Отложения токурской свиты, перекрывающие вышеописанные породы, обнажаются в центральной части района. Токурская свита сложена ослюденелыми песчаниками грубо и тонко переслаиваемыми с филлитизированными алевролитами. Иногда встречаются прослойки зеленых (хлорит-магнетит-актинолит-эпидотовых) сланцев. Мощность свиты не превышает 1000 м.

3. Отложения экимчанской свиты наиболее широко распространены на описываемой территории. Они представлены темно-серыми полосчатыми филлитизированными глинистыми сланцами и алевролитами с редкими пластами серых сланцевых песчаников, гравелитов и седиментационных брекчий. В подчиненном количестве встречаются кремнисто-глинистые сланцы и кремнии. Мощность свиты около 1500 м

4. Отложения амгуньской свиты, залегающие согласно на породах экимчанской свиты, обнажаются в центральной части района на крыльях синклинальных складок. Это преимущественно песчаниковая толща, реже встречаются филлитизированные глинистые сланцы и алевролиты, иногда седиментационные брекчии. Мощность свиты 1700-1800 м.

В районе весьма ограниченное распространение имеют кембрийские и палеозойские отложения:

1. Отложения улигданской свиты (С ul) представлены кремнисто-глинистыми, глинистыми сланцами, алевролитами, линзами полимиктовых песчаников и зеленокаменных пород. Мощность свиты около 1000 м.

2. Отложения оннетокской свиты (С on), согласно перекрывающие породы улигданской свиты, представлены серыми сланцеватыми песчаниками с редкими прослоями седиментационных брекчий, кремнисто-глинистых сланцев и линзами кремней. Мощность свиты не менее 500 м.

Мезозойские породы представлены нижнеюрскими отложениями, которые обнажаются в северной части описываемой площади. Они представлены в основном слабометаморфизованными глинистыми сланцами и песчаниками. Реже

встречаются кремнистые сланцы и мелкогалечные конгломераты. Предполагаемая мощность отложений около 1500 м.

Кайнозойские осадки четвертичной системы по возрасту условно разделены на четыре отдела и представлены: аллювиальными, делювиальными, пролювиальными, элювиальными и ледниковыми отложениями:

1. Средний отдел (Q) – включает в себя ледниковые отложения, располагающийся по реке Нилан, и аллювий высокой (40-50 м.) террасы. Ледниковые отложения представлены донными, боковыми и конечными моренами, представляющими собой несортированные скопления гранитных глыб (до 2–3 м) с примесью гальки и дресвы. Мощность морен варьирует: конечных — 60–80 м, боковых и донных — от 10 до 50 м. Высокая терраса р. Керби вскрыта лишь единичными буровыми и горными выработками. Её разрез сложен галечниками (с прослоями песка и глины) мощностью до 31 м. Галька представлена обломками песчаников, алевролитов, глинистых сланцев и жильного кварца.

2. Верхний отдел (Q₁) характеризуется ледниковыми отложениями молодых троговых долин и аллювием второй надпойменной террасы высотой 10-20 м, что отмечается по долинам рек: Керби, Сулакиткан, Гонгрэн, Семи. Разрез террасовых отложений по данным буровых работ представлен следующими отложениями: почвенно-растительный слой 0,2-0,6 м; глина с песком и мелким щебнем 1,0-6,0 м; хорошо окатанная галька, редко валуны с песком и глиной 1,2-13,2 м; щебень с песком и глиной 0,2-0,6 м; максимальная мощность рыхлых отложений достигает 15 м:

3. Верхний отдел (Q₁-Q₂) – аллювий речной террасы высотой 4-8 м и делювиально-пролювиальных осадков пологих склонов, которые распространены в долинах рек Керби и Семи. Террасовые отложения представлены: галечником, валуником (гранит, апатит, кварцевые порфиры) и редко песками. Делювиально-пролювиальные образования содержат коричневые и желто-бурые глины и суглинков с незначительной примесью угловатых обломков кремнистых пород и

плотных песчаников. Возраст этих отложений определен по споропыльцовым спектрам.

4. Отложения современного отдела (Q_3) – это аллювиальные галечники, пески и илы пойм, щебенисто-глыбовый материал конусов выносов, делювиальные и аллювиальные образования склонов, долин и водоразделов. Мощностью до 10 м. Делювиальные и элювиальные отложения покрывают почти всю территорию междуречий, за исключением скалистых гребней высокогорий. Мощность их 1-2 м, реже достигает 4 [212].

2.2 Климат

Многие исследователи (А.Ф. Будищев, М.Н. Венюков, Н.М. Пржевальский, В.К. Арсеньев и др.) отмечали, что природные и климатические условия исследуемого района различны. Связан этот факт, как с географическим положением, близостью с морем, так и со сложной геологической, геоморфологической историей развития. Различая фиксируются по компонентам и факторам природы [212, 215-219].

По климатическому районированию район исследования относится к муссонной области [212]. Климат в целом избыточно-влажный (гумидный), континентальный с муссонными чертами. Среднегодовая температура воздуха здесь составляет $-3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, что способствует сохранению многолетней и длительной сезонной мерзлоты. Средний максимум температуры воздуха в июле $24,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в январе $-21,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Средний минимум в июле $11,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в январе $-36,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Средняя месячная температура января составляет $-29,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Средняя температура июля $17,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Среднегодовая температура почвы $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Летний муссон характеризуется теплыми влажными условиями. Средняя месячная влажность июля 81%, а января 77%. Зимний муссон обуславливает малооблачную, малоснежную морозную погоду. Безморозный период длится 103-113 дней, а снежный покров устанавливается с октября по май и сохраняется около 240-245 дней [221].

По данным метеостанции «Веселая Горка»: процент направлений северных ветров около 30%, северо-западных –21%, годовое количество штилей – 37%.

Снежный покров характеризуется как устойчивый, а его мощность варьируется в зависимости от рельефа. Высокая солнечная активность способствует быстрому разрушению снежного покрова (табл. 2.1). Характер рельефа влияет на изменения и климатических условий, и гидрологического режима, например, в весенний период горные реки приамгуныя не выходят из берегов.

Значительная часть осадков (60-80% от годовой нормы) выпадает в теплый период с мая по сентябрь (рис. 2.7). Весенний период характеризуется неустойчивостью температур. Наблюдалось выпадение снега в начале июня, а ночные заморозки могли продолжаться до 15 июня.

Так как в июле – начале августа в район проникают тропические воздушные массы, фиксируется высокая влажность воздуха. Лето в районе умеренное и теплое, оно на всей территории жаркое. Наиболее жарким и знойным является июль. Вегетационный период (с температурами 5 °С и выше) продолжается от 130 до 170 дней. Похолодание происходит постепенно, резкое похолодание фиксируется в конце ноября. В горных районах происходит похолодание и наступление осени на месяц раньше.

Таблица 2.1 – Данные по метеостанции «Веселая горка» образования и разрушения снежного покрова

Гидрометеостанция	Обеспеченность (%), даты образования							Самая ранняя
	95	90	75	50	25	10	5	
Им. П. Осипенко	23.11	17.11	7.11	1.11	25.10	16.10	12.10	4.10
Веселая горка	6.12	29.11	12.11	3.11	27.10	19.10	11.10	5.10
Гидрометеостанция	Обеспеченность (%), даты разрушения							Самая поздняя
	95	90	75	50	25	10	5	
Им. П. Осипенко	25.3	31.3	7.4	25.4	28.4	8.5	12.5	16.5
Веселая горка	2.4	5.4	13.4	23.4	2.5	7.5	8.5	10.5

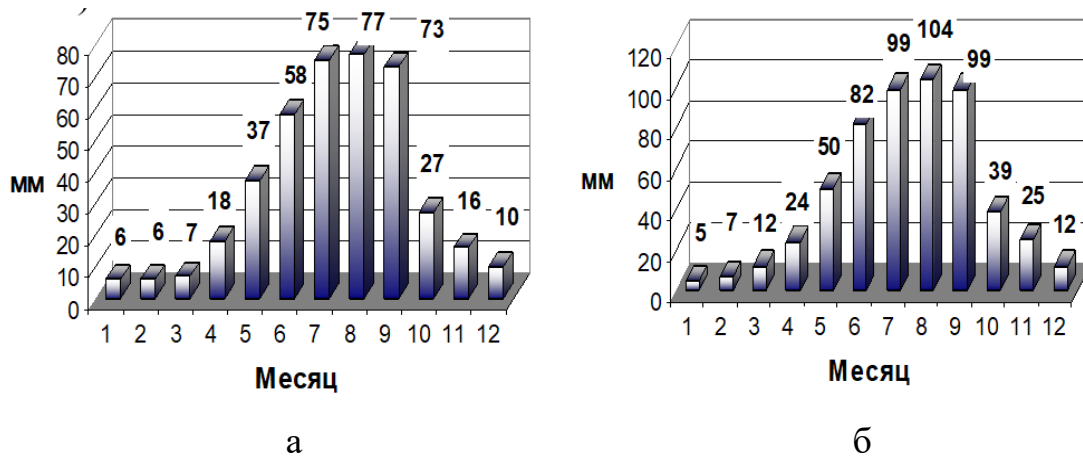


Рисунок 2.7 а, б – Данные гидрометеостанции а) с. им. П. Осипенко, б) с. Веселая горка по среднему количеству осадков, приведенное по показаниям (мм):

Таким образом, исследуемый район подвержен влиянию и континента, и океана, что обеспечивает холодную зиму и влажное умеренно тёплое лето.

2.3 Гидрология

Большая и значимая река района Амгунь – левый приток р. Амура. В верхнем течении представляет собой типичную горную реку, а по гидрологическому режиму для неё характерно быстрое течение, стремительный подъём и спад высоких паводков. Вследствие чего возникают острова, вместе с которыми появляются, формируются и исчезают биоценозы пойменной растительности. В средней и нижней части р. Амгунь типично равнинная река. Извилистое и неустойчивое русло разбивается на множество протоков. В низовьях имеется много небольших островов и мелей. Она доступна для речных судов от устья до районного центра, п. им. П. Осипенко.

Необходимо упомянуть еще об одной реке района исследования (им.П.Осипенко) – р. Керби. Она, длиной 254 км, является одной из крупнейших притоков р. Нимелен. В верхнем и среднем течении река горная, а в нижнем – равнинная. Площадь водосбора – 3960 км². Средний расход воды составляет 50,6 м³ в секунду.

Река Керби берет своё начало с хребта Ям-Алинь. Верхняя точка истока реки $52^{\circ} 26'$ северной широты и $134^{\circ} 28'$ восточной долготы. С левой и правой сторон она принимает воды множества ключей и речушек. Крупные притоки правобережья реки: Гонгрэн (37 км), Силичи (длина 25 км), Токолан (25 км), Диер (19 км), Мукчаки (13 км) и Лучи (10 км). Гидрологический режим района исследования относится к области избыточного увлажнения ($K_{увл.} = 1,2-3,5$) [222].

В среднем течении р. Керби размывает слюдистые сланцы, содержащие драгоценный металл. Притоки горных рек формируют золотоносность этого района. Всё это богатство она переносит и прячет в русловых отложениях, на косах и островах, чтобы их не так просто было взять, в паводки наваливает сверху многометровые заломы, загромождает русла протоков стволами огромных тополей и пихт, прокладывая новые пути прямо через лес.

Из многочисленных озёр, в районе их насчитывается 3458, самым большим является Озеро Чукчагирское в Эворон-Чукчагирской депрессии, в 35 км от п. П. Осипенко. Площадь водного зеркала составляет 366 км². Вторым по величине является озеро Джевдоха – 19,9 км².

В районе исследования находится большое количество мелких озёр: Халиково, Глуховское, Чуринское, Котелковое, Актамовское и другие. Много озёр в горной системе Дуссе-Алинь, одно из которых расположено по р. Лучи, правого притока р. Керби. Длина озера около 1 км и ширина около 500 м. Из озера вытекает ключ Озерный, который впадает в р. Лучи.

Наряду с множеством горных рек, высотных озёр, территория располагает гидроминеральными ресурсами – минеральный источник «Радостный» подробно описан Н.М. Богатковым [312]. Он расположен в бассейне р. Керби, в долине её притока – р. Сулаткиткан, в 87 км от районного центра. Источник впервые был открыт золотоискателями. Минеральная вода выходит из аллювиальных отложений, подстилающихся мезозойскими сланцами и филлитами. Дебит достигает несколько тысяч литров в сутки. По химическому составу вода относится к гидрокарбонатным кальциевым с содержанием свободной

углекислоты до 2,1 г/литр ионов железа. Температура воды в источнике составляет 4 °С [223].

2.4 Почвы. Растительность

Семь почвенных зон выделяются в районе исследования: высокогорная, горнолесного ландшафта, лесного подзолисто-скелетного ландшафта, подзолисто-суглинистых почв, низменного ландшафта, уремных лесов и осоково-вейниковых лугов [122, 154, 155, 224, 225].

Аккумуляция загрязняющих веществ, метаболизм, условия миграции зависят от природных факторов, таких как количество атмосферных осадков с максимумом в теплый период, расчлененность рельефа, дренированность и некоторая окисленность рыхлых отложений.

Используя общепринятые классификации, буроземы слабонасыщенные, буроземы грубогумусовые, дерновые иллювиально-гумусовые (включая и многогумусовые), подзолы сухоторфянистые, горные и органо-щебнистые и каменные россыпи, горно-таежные карбонатные необходимо отнести к почвам горных систем района исследования [187, 226-228]. А пойменные аллювиальные, торфяные болотные верховые и переходные (в т. ч. и мерзлотные), лугово-глеевые дифференцированные, лугово-болотные, дерново-подзолистые оглеенные, глееземы дифференцированные мерзлотные и бурозёмы глееватые — к почвенному покрову равнинных территорий и предгорий.

Высокогорная зона, расположенная в горах от 700 м и выше на каменистых почвах, занимает около 7% площади. Такие почвы каменистые с малым гумусным слоем. Здесь произрастает кедровый стланик, кустарники из семейства вересковых, реже встречаются травы, лишайники и пятна мха.

Основная почвенная зона района — горнолесной ландшафт площадью 50%. Она расположена на каменистых почвах в горах до 700 м. В этой почвенной зоне преобладает такая растительность как лиственница даурская, ель аянская, пихта

белокорая, береза даурская, кустарники: рододендрон золотистый, рододендрон даурский и ольха. Доминирует моховой покров и заросли брусники.

4% площади района занимает лесной подзолисто-скелетный ландшафт на возвышенностях по пологим склонам. Почвы мощностью до 6 см с небольшим гумусным слоем – скелетные, подзолистые и суглинки. На данных площадях встречаются – лиственнично-березовые леса, лиственница даурская, из кустарников встречаются: багульник болотный, ольха и рододендрон даурский. Травянистый покров состоит из вейников. Почвы пригодны для развития сельского хозяйства.

Около 8% территории занимает зона подзолисто-суглинистых почв. Она аналогична зоне скелетного ландшафта и почвы используются в сельском хозяйстве. 30% площади – низменного ландшафта, расположена в Нимелен-Чукчагирской и Амуро-Амгуньской низменностях. Почвы глеево-подзолисто-скелетные и торфяно-глеевые. Преобладают мхи (сфагнум), болотные растения и багульник болотный. Изредка встречается угнетенная лиственница. Моховой покров различной мощности, часто залегает на вечной мерзлоте.

1% территории – зона умеренных лесов, где сформированы оподзоленные почвы, по берегам р. Амгунь. Здесь характерна растительность: тополь душистый, ель аянская, пихта белокорая, ясень маньчжурский, береза даурская, черемуха обыкновенная, черемуха Маака, кизильник черноплодный, бузина сибирская, рябина амурская, роза даурская и другие. Разнотравье высокое. Осоково-вейниковые луга – занимают незначительную площадь.

Применяя схему геоботанического районирования Дальнего Востока, леса относятся к Дальневосточному таежному лесному району, к южно-охотской подобласти темнохвойных лесов Амуро-Охотской провинции, к Евразийской хвойно-лесной области (рис. 2.8) [126, 128].



Рисунок 2.8 – Темнохвойные леса Амуро-Охотской провинции

Изучение видового разнообразия растительности позволило установить, что преобладающими типами являются лиственничники брусничниковые и багульниковые, а также ельники зеленомошные. Здесь широко распространены лиственница Каяндера (*Larix cajanderi*), береза плосколистная (*Betula platyphylla*), ольховник кустарниковый (*Duschekia fruticosa*), малина сахалинская (*Rubus sachalinensis*), рябинник рябинолистный (*Sorbaria sorbifolia*), а также разнообразные травы: полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris*), пижма северная (*Tanacetum boreale*), багульник болотный (*Ledum palustre*), хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum*), плаун булавовидный (*Lycopodium clavatum*), кукушкин лен обыкновенный (*Polytrichum commune*), иван-чай узколистный (*Chamerion angustifolium*), дудник Максимовича (*Angelica maximowiczii*), чистец шероховатый (*Strachys aspera*), мытник перевернутый (*Pedicularis resupinata*), зверобой Геблера (*Hypericum gebleri*), Майник двулистный (*Maianthemum bifolium*), осока вздутоносая (*Carex rhynchophysa*), осока жилкоплодная (*Carex neurocarpa*), болотница йокосукская (*Eleocharis yokoscensis*), ситник нитевидный (*Juncus filiformis*), Ситник жабий (*Juncus bufonius*), Полевица булавовидная (*Agrostis clavata*), вейник Лангсдорфа (*Calamagrostis langsdorffii*), мятлик узколистный (*Poa angustifolia*), мятлик луговой (*Poa pratensis*), лисохвост луговой (*Alopecurus*

pratensis), тимофеевка луговая (*Phleum pratense*). Видовая принадлежность растений определялась общепринятыми методиками [126, 229].

По характеру и видовому составу растительность подразделяется на три основные зоны: высокогорную, лесную и луговую. Распределение растительных зон в значительной степени определяется рельефом местности и количеством выпадающих осадков. Порой рядом могут соседствовать все три зоны. Лесная по южным склонам заходит глубоко в горы.

Своеобразие рельефа, дифференциация экологических режимов и ряда других физико-географических факторов находит свое проявление в характере распределения растительного покрова. Для верховий горных долин и крутых склонов наиболее повышенной части хребта характерен пояс горных елово-пихтовых или еловых лесов. Выше его находятся каменноберезники, уступающие, в свою очередь, место субальпийским кустарникам и лишайнико-моховому покрову.

Пояс лиственничных лесов (долины горных ключей и распадков сопок) отличается своим бедным флористическим составом. В составе первого яруса господствует лиственница даурская и изредка береза плосколистная, единичные элементы маньчжурской флоры – дуб монгольский и липа амурская. Разреженный кустарничково-травянистый покров представлен в основном брусникой, клюквой мелкоплодной и влаголюбивыми осоками. В травяном покрове выделяются: ландыш Кейске, полынь Максимовича, майник двулистный, красоднев Миддендорфа.

В наиболее пониженной части горных долин находится пояс елово-пихтовых лесов. Эдификатором древесного яруса этих лесов служит ель аянская, вместе с ней встречается пихта белокорая и береза.

По мере приближения к вершине располагается пояс каменно-березовых лесов. Березовые леса, как правило, образуют предел верхней границы. Наиболее распространен каменноберезник ольховый.

Пояс подгольцовых кустарников формирует кедровый стланик, сменивший леса из березы шерстистой в верхней части гольцового массива.

Обычным растительным сообществом являются заросли кедрового стланика. В травяном покрове встречаются: лук торчащий, Вейник Турчанинова, копеечник альпийский, мытник лабрадорский, бубенчик узкоцветковый. Напочвенный покров состоит из различных видов лишайников.

Нижняя часть бассейна р. Амгунь расположена в средней тайге с широким распространением по горным склонам темнохвойных лесов [208, 230]. Леса разделяются по преобладанию видов: лиственничные, елово-пихтовые, белоберезовые, тополевые и ивовые. В лиственничных лесах в зависимости от состава нижних ярусов выделяются: лишайниковые, моховые, ерниковые, кедровниковые и травяные.

Лиственничные моховые леса произрастают почти на всех формах рельефа, исключая высокие части хребтов и обильно заболоченные низины. В подлеске следует отметить кедровый стланик, можжевельник сибирский, березу Миддендорфа. Леса с кедровым стлаником занимают средние части крутых склонов и террас, лишайниковые встречаются преимущественно на пологих склонах хребтов, вершин и террас.

Травянистые лиственничники характерны для долин рек, склонов, террас. В их составе нередко ель сибирская, береза плосколистная, а в пойме – тополь Максимовича.

В подлеске этих ценозов находится рябина амурская, ольха камчатская, а из кустарников – рябинник рябинолистный, таволга березолистная и свидина белая. Травяной покров довольно разнообразный. Наиболее распространен вейник Лангсдорфа. Среди других трав следует отметить чину приземистую, линнею даурскую, колокольчик скученноцветковый, красоднев Миддендорфа, кровохлебку аптечную и другие.

Темнохвойные леса представлены елью аянской, иногда с участием пихты белокорая, берез каменной и плосколистной, а также лиственницы даурской. Эти леса расположены по мелким притокам р. Амгунь, в горных распадках и на склонах большей частью северных экспозиций.

В еловых моховых лесах подлесок изрежен и состоит из ольхи камчатской, бузины сибирской и кедрового стланика. В густых ельниках подлесок отсутствует, кустарничков и трав мало. Из травянистых растений наиболее часто встречаются: линнея северная, майник двулистный, брусника, вейник Лангсдорфа, княжик охотский, рамишия однобокая и грушанка красная. Подлесок еловых травяных лесов состоит из рябины амурской, клена желтого, розы иглистой, жимолости Максимовича. Травяной покров образован вейником Лангсдорфа, лабазником дланевидным, недоспелками копьевидной и ушастой, василистником ложнолепестковым и борцом вьющимся. Мхи встречаются на валежнике и комлях стволов.

Березовые травяные леса располагаются небольшими участками в поймах рек и по старым гарям. Травостой высокий и густой с обилием вейника, которому постоянно сопутствуют: звездочка лучистая, кизляк кистецветный, вербейник даурский, ветреница вильчатая, чина волосистая и крестовник болотный.

Тополевые, ивовые и чозениевые леса распространены только в долинах, причем тополевые на более возвышенных частях поймы, а ивовые — непосредственно в прирусловой части. В древостое тех и других лесов встречается лиственница, ель и кустарники — свидина белая, роза иглистая, жимолость Максимовича, рябина амурская. Травяной покров развит неравномерно, в большинстве случаев слабо и образован грушанкой красной, мителлой голой, майником двулистным, кислицей, лабазником дланевидным, недоспелками ушастой и копьевидной [126, 128, 150].

Пихтово-еловые леса в прошлом покрывали почти все горные склоны, поднимаясь до подгольцовых зарослей кедрового стланика. К настоящему времени вследствие пожаров и в связи с добычей золота на р. Амгунь их площадь резко сократились.

Высокогорный пояс, особенно его верхняя полоса, является характерной особенностью района со специфичной для высокогорий флорой.

Горно-тундровая область Дуссе-Алинь — наиболее южный на Дальнем Востоке форпост высокогорной флоры, как считал Ф.Б. Шмидт еще со времени

его путешествия. Одной из особенностей этой флоры является её древность. Для неё характерно наличие ряда эндемиков с очень ограниченной областью распространения.

Болотами занято 11% территории района, главным образом на Нимеле-Чукчагирской низменности и в долинах рек. По характеру растительности различаются осоково-гипновые, осоково-сфагновые и осоково-ивняковые болота. Осоково-гипновые болота развиты на периодически увлажняемых площадях с высоким стоянием грунтовых вод. Они широко распространены и часто кочковаты. Травостой этого типа наиболее обильный. В нем преобладают осоки, особенно осока Шмидта, реже – пушица, сабельник болотный, мытник каролинский скипетр, смилацина троелистная.

Луга занимают пойму р. Амгунь и низовья её притоков. На заливных пойменных лугах встречаются такие растительные ассоциации, как осоково-разнотравные, разнотравные и злаковые с участием осок, хвощей и крупного разнотравья.

Травянистая растительность пойменных лугов состоит из: вейника Лангсдорфа, осоки Шмидта, соссюреи амурской, кровохлебки аптечной, горошка приятного, синюхи волосистой, бальзамина недотроги, подмаренника северного, борца дугообразного, звездчатка лучистой и хвоща лугового.

Травяные и моховые ерники встречаются на пологих склонах, в долинах рек и на заболоченных водоразделах. Обильный травостой создают вейник, осоки, хвощи.

Кустарниковые заросли распространены от верхних частей склонов до речных пойм горных рек.

Ольховники моховые и травянистые располагаются на горных склонах, в истоках рек и ключей. В моховых ольховниках, кроме ольхи пушистой, присутствуют: береза Миддендорфа, ивы, кедровый стланик и другие. В травянистых ольховниках много вейника, осок и кустарничков.

Перспективна добыча эфирных масел и живицы из хвойных деревьев. Имеются значительные пищевые ресурсы: орехи, дикорастущие ягоды, грибы, папоротник, а также медоносные древесные и травянистые растения.

Промышленные заготовки природных растительных продуктов (папоротник, ягоды, грибы, лекарственное сырье и др.) имеют социальную направленность, являясь одним из основных видов деятельности жителей отдаленных поселков и традиционным промыслом коренных малочисленных народов Севера края.

Богат и разнообразен животный мир района исследования. В зоне хвойных лесов обитают копытные: лось, изюбр, северный олень, косуля, кабарга, пушные: соболь, колонок, лисица, белка, ондатра, выдра, а также бурый медведь, волк, горностай и росомаха. В лесах встречается рысь. Успешно акклиматизировалась американская норка. Соболев, норка, белка, колонок, ондатра – главные объекты охотничьего пушного промысла. Основными объектами промысла являются копытные и пушные. Однако возможности охотничьего промысла используются еще недостаточно. В реках и озерах насчитывается свыше 100 видов рыб, в том числе и осетровые. По рекам, впадающим в Японское и Охотское моря, прежде всего по р. Амур и его притокам, к верховьям таежных рек идут на нерест проходные лососи. На территории имеются большие запасы водоплавающей и боровой дичи [312].

2.5 Полезные ископаемые

Прогнозные ресурсы коренного золота в районе исследования в 5-6 раз превышают сумму разведанных запасов [128]. С начала XIX века в долине р. Керби добывалось золото из россыпей, а на сегодняшний день осваивается рудное. В комплексных месторождениях района золотосеребряных, полиметаллических и других рудах содержится серебро.

Золотоносность района им. П. Осипенко приурочена к области распространения осадочных пород и имеют генетическую связь с пересекающими

их кварцевыми жилами. Возможно, что источником золота, помимо кварцевых жил, являются также сами сланцы. Основные золотоносные речные системы в этом районе — это река Керби и её притоки (Токолан, Сулаки, Гонгрэн, Аулагириккан, Макланом, Чимкитом, системы реки Семитка (Семи) с её притоками: Левый и Правый Камакан, Кремень, Бриакан, Онко и системы рек Нилан и Угло-Когло с притоками Гонгра-Макит и Дуакаи) Пояс отработок россыпей тяготеет к долинам правых притоков р. Керби. На сегодняшний день объем золотодобычи значительно сокращен.

2.6 Методы исследования

Методологическую основу исследований составили: концепция биосферы и ноосферы, академика В.И. Вернадского о биосфере и ноосфере [231], а также ключевые принципы, изложенные в «Программе и методике изучения техногенных биогеоценозов» [131], и в материалах доклада Всемирной комиссии ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро в 1987.

Для решения поставленных задач применялось использование следующего комплекса основных методов и отдельных методических приемов: 1. Анализ, обобщение и систематизация отечественных, зарубежных литературных источников, патентной информации, архивных данных; 2. Экспедиционные исследования с заложением геохимических профилей поперек долины рек; 3. Традиционные физико-химические, химические и биологические (с использованием тест-систем) методы; 4. Научного прогнозирования; 5. Использование метода неформализованного интервью; 6. Систематизации и научной классификации.

Системно-комплексный метод явился ключевым и определяющим. В период с 2002 по 2025 гг. на территории Кербинского прииска проводились экспедиционные исследования лаборатории «Экологических проблем освоения минеральных ресурсов» Института горного дела ДВО РАН по изучению влияния золотороссыпной техногенной системы, включающей отходы переработки

минерального сырья, нарушенные земли и в целом территорию горнопромышленного освоения (ТГПО) на окружающую среду.

Применялся комплекс методов: биологические и химические методы, моделирование, статистическая обработка данных и др.

Достоверность результатов подтверждена сертификатом качества на выполнение аналитических работ. В работе принято геохимическое районирование [234].

Состав потоков загрязняющих веществ, специфику элементного состава изучали по распределению химических элементов в отходах горного производства и характерным геохимическим рядам [232, 233].

Исследование состава снежного покрова (СП) проводилось по методике В.Н. Василенко [200, 235]. Для анализа расплавов измеряли рН, удельную электропроводность ($УЭП_{NaCl}$), биогенные и органические (по ПО) вещества, а также взвешенные частицы. Определение содержания ионов тяжелых металлов (Cu, Pb, Cd, Mn, Ni, Co, Cr, Sb) в СП выполнялось методом атомно-абсорбционной спектроскопии. Анализ проб поверхностных вод включал измерения рН, $УЭП_{NaCl}$, биогенных веществ, а также полного элементного состава (Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Sn, Sb, Hg, Pb, Bi) методом индуктивно связанной плазмы с масс-спектрометром (ICP-MS). На основании анализа выбросов отбирались пробы воздуха для определения взвешенных частиц, диоксида серы и аэрозолей сульфатов. Для измерения разовых концентраций газообразных примесей проба воздуха в течение 20 минут извлекалась с использованием полевого аспиратора, установленного в транспортном средстве. Анализ взвешенных частиц проводился с помощью автомобильного насоса, а их концентрацию определяли гравиметрическим методом. Диоксид серы (SO_2) измеряли фотометрически, а содержание аэрозолей сульфатов – турбодиметрическим методом. Сероводород (H_2S) в пробах отбирали с использованием пленочного сорбента. Измерения метеорологических параметров (ветер, явления) проводились параллельно с отбором проб. Для проведения химического анализа проб была применена методика, изложенная в «Руководстве

по контролю загрязнения атмосферы РД 52.04.186-89» [236]. Интерпретация результатов основывалась на следующих показателях качества воздуха: ПДК – предельно-допустимая концентрация примеси для населенных мест, утвержденная Минздравом России; средние концентрации, которые сравнивались со среднесуточными ПДК, а максимальные из разовых – с максимальными разовыми ПДК.

В процессе решения задач, направленных на выявление закономерностей техногенного воздействия горного производства на объекты окружающей среды, в том числе почвы, было предусмотрено изучение процессов почвообразования в техногенных ландшафтах общепринятыми методами [131]. Проведено морфологическое описание прикопок и почвенных разрезов на разновозрастных отвалах, а также напочвенного покрова пробных площадей. Генетическая принадлежность почв установлена с учетом их морфологических признаков, физико-химических свойств и вещественного состава, согласно «Классификации и диагностике почв СССР» и др. [237-243].

Почвогрунты отбирались в радиальном направлении: в центре шлихообогатительной установки (ШОУ), а также по сторонам света: север, восток, юг, запад на расстоянии 100 и 300 м от центра. В качестве фонового выбирался наиболее удаленный от основных источников загрязнения участок в 20 км от шлихообогатительной установки по трассе: с. Бриакан – с. им. П.Осипенко Хабаровского края на разном расстоянии. При этом учитывалась «роза ветров» и индекс рельефа. Исследованиями охвачена зона влияния отходов горного предприятия размером не менее 12-18 км², а протяженность влияния до 50 км. ГОСТ 17.4.3.01-83, ГОСТ 17.4.4.02-84, ГОСТ 17.4.3.01-2017, ГОСТ 17.4.4.02-2017 и др. использованы при отборе техногенных почвогрунтов с разных глубин (0-10 и 10-20 см) [244-248].

Пробы растительности отбирались и подготавливались с использованием инструментальных и традиционных физико-химических и химических методов по ГОСТ 27262-87 [249].

Объемы выполненных работ представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Количество отобранного материала при мониторинге в зоне влияния Кербинского прииска.

Отбор проб	Количество проб
Почвогрунты	223
Снежный покров	86
Отходы горного производства	48
Донные отложения	54
Растительные образцы	152
Пробы на «Стерильность пыльцы»	157
Пробы волос детей: детский сад и школа	60
Всего отобрано проб	1570
Микробиологические анализы	50
Описание растительности и сбор гербария	237
Составление планов опробования	7
Определение в пробах содержания: Hg, Zn, Cu, Pb, Mn, Bi, Sn и As	4070 элемент- определений
Всего проведено анализов	4120

Концентрация соединений тяжелых металлов в компонентах окружающей среды исследовалась с применением спектрального и атомно-абсорбционного методов анализа. Для определения токсичных форм тяжелых металлов в почвах использовались: атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно-связанной плазмой (ICP-AES); атомно-абсорбционный спектрометр (AAS). В ходе исследований было отобрано 1570 образцов, а общее количество проведенных элементных и микробиологических анализов составило 4120.

2.6.1 Биологические методы исследования

В процессе исследований использовались различные биологические методы [113, 162, 183, 250-255]. Определение видов лишайников проводилось в соответствии с методикой, разработанной И.А. Шапиро и соавторами [256]. Отбор биологического материала (волосы детей в возрасте до 14 лет) осуществлялся согласно процедуре, утвержденной начальником Управления организации медицинской помощи населению А.И. Вялковым (Приказ Минздрава

РФ № 289, часть 4 от 05.10.1998). Проведены комплексные исследования по сбору информации об ответных реакциях организмов на техногенное загрязнение, с помощью тест-системы по соответствующей методике [108, 162, 251]. Общепринятыми методами на твердых и жидких средах учтены различные эколого-трофические группы микроорганизмов, а их диагностика проводилась согласно [161, 169].

Для тест-системы «Ростовой тест» использовались следующие растения: горчица листовая (*Brassica juncea* L.) и лук батун (*Allium fistulosus* L.). Горчица листовая (*Brassica juncea* L.) – однолетнее перекрестноопыляющееся, холодостойкое растение семейства крестоцветные. Листья очередные, причем нижние части образуют прикорневую розетку. Через 20-30 дней после посева растение образует большую розетку листьев. При недостатке влаги и высокой температуре быстро появляются цветоносные побеги. Крупные, различной формы листья (удлиненно-яйцевидные, округлые с зубчатыми краями) покрыты редкими, слегка колючими волосками. Листья длинные и широкие, у отдельных форм края листьев кудрявые. Цветки желтые, мелкие. Семена мелкие темно-бурые или желтые. Цветки обычно лишены прицветников, не крупные, чаще очень мелкие. Лук-батун (*Allium fistulosus* L.) – многолетнее, исключительно хорошо зимующее растение, относящееся к семейству лилейных. Лист с ланцетной, продолговатой или широко-эпилептической пластинкой, семена шаровидные. Размножают лук-батун семенами и делением куста. Коробочка шаровидно-трехгранная, с широкими обратосердцевидными створками. Околоцветник звездчатый, белый, с листочками 4-6 мм длиной. Цветоножки при основании с прицветниками.

Для биологических исследований образцы почв подвергались механической обработке - растиранию в ступке с последующим просеиванием через мелкое сито. Эксперимент проходил по этапам: 1) на дно чашки Петри был уложен 1 слой фильтровальной бумаги и размещен в нее после взвешивания на кальке 1 г почвы в трехкратной повторности; 2) в подготовленные чашки вносилось по 1 г почвы (в трех повторениях), предварительно взвешенного на кальке; 3) к каждой пробе добавлялось 5 мл дистиллированной воды; 4) в каждую чашку Петри

добавлено по 10 семян одного растения; 5) чашки Петри с семенами были помещены на 7 суток в термостат при температуре 25-26 °С (23-24 °С); 6) на 7-е сутки была измерена длина проростков, и их вес, затем сделан расчет энергии прорастания и всхожести.

Учет результатов определялся, согласно методическим указаниям, энергия прорастания выявлена как способность семян прорасти дружно – почти одновременно или в короткий срок: по истечении периода проводили измерения: длины проростков; массы проростков (проросшими семенами считались такие, у которых корешки развились нормально, а один главный корешок имел длину не меньше длины семени). На основании полученных данных рассчитывали, как энергию прорастания, так и показатель всхожести.

Не проросшими считались такие, у которых росток состоял из одного стебелька, а корешок не развился до конца испытания всхожести и был больным, уродливым, загнившим или, наоборот, росток отсутствовал.

Всхожесть семян характеризовалась процентным содержанием нормально проросших семян в пробе, взятой для анализа. Лабораторная всхожесть семян определена путем проращивания их при оптимальных условиях, установленных ГОСТ 12039-82 по стандартной методике [250].

Для учета количества почвенных микроорганизмов исследуемого участка стерильным ножом бралась средняя почвенная проба в заранее приготовленные стерильные полиэтиленовые мешки. Нож стерилизовался в поле перед взятием образца.

На мясопептонном агаре (МПА) были выявлены микроорганизмы, использующие органические формы азота. Бактерии и актиномицеты, способные использовать минеральные формы азота, выделены на крахмально-аммиачном агаре (КАА). Олигонитрофильные микроорганизмы – это мелкие, слизистые, бесцветные колонии, которые были учтены на среде Эшби. Микроскопические грибы обнаружены на сусло-агаре. Проведен учет численности почвенных микроорганизмов прямыми методами по С.Н. Виноградскому [161, 169].

Оценка отклика биоты на негативное воздействие отходов проведена с помощью тест-системы «Стерильность пыльцы» [108, 162, 251, 258].

Для этого хорошо развитые, готовые к раскрытию, бутоны цветов растений – биоиндикаторов были собраны в сухую погоду в границах влияния отходов. Для биоиндикации были использованы: кипрей узколистный, анафалис жемчужный, ромашка непахучая. Бутоны собирались у не поврежденных здоровых цветков трав – с экземпляров, произрастающих в центре популяции. Зрелые бутоны были препарированы на предметном стекле. Пыльца мелких цветков раскрывалась препаровальной иглой в капле йодного раствора. Затем, отделив ненужные ткани, объект накрывался покровным стеклом. При необходимости добавлялось еще 2-3 капли йодного раствора. Через 2-3 минуты приготовленный препарат был исследован под микроскопом «Биолам» Ломо Р-14 с подсветкой (при увеличениях 7х20, 7х40 или 7х90). В каждом приготовленном препарате просматривалось от 500 до 1000 зерен пыльцы. После чего произведен подсчет стерильных и фертильных пыльцевых зерен. Количество стерильных зерен определено в процентах по формуле:

$$M = \frac{g \times 100}{N}, \text{ где } m < M, \quad (2.1),$$

а достаточность подсчета определялась по формуле:

$$m = \sqrt{g(100 - g)/N}, \quad (2.2)$$

где M – количество (или %) стерильных клеток на 100 клеток всего; g – стерильные зерна; N – все зерна.

2.6.2 Методы дистанционного зондирования Земли

Современное состояние Кербинского золотороссыпного района проанализировано по стандартным подложкам Google, Esri, Yandex и по многоспектральным снимкам спутника Landsat 8 с ресурса Glovis с использованием различных комбинаций каналов. Информация дистанционного зондирования Земли обработана в программе Quantum GIS. Для анализа

состояния воздушного бассейна и построения картографических моделей использована программа «Эколог 4». Снимки исследуемых площадей загружены в период 2014-2024 гг. Они имеют разрешение 30 м на 1 пиксель, в формате GeoTIFF уровня 1 в виде 16-ти дневного цифрового композита с разрешением. Используются и другие информационные ресурсы дистанционного зондирования Земли. Метод ДЗЗ, являясь объективной, оперативной и многоцелевой информацией о земной поверхности, содержит суммарную информацию обо всех компонентах ландшафта. Получение снимков одних и тех же участков земной поверхности с определенной периодичностью является одной из основных областей применения дистанционного зондирования [92, 259-270]. При этом от частоты съемки зависит возможность обнаружения тех или иных изменений, которые происходят на изучаемой территории. Спутниковые данные Landsat 8 имеют 9 спектральных каналов. Для анализа прироста фитомассы в исследуемом районе применен инструмент научного анализа данных спутниковых наблюдений [271]. Для Кербинского золотороссышного района в вегетационный период выполнен расчет значения индекса NDVI [272-275].

NDVI рассчитывался в программе QGIS, а через функцию «калькулятор растров» вводилась формула NDVI (2.3) [275]:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}, \quad (2.3)$$

где NIR (канал 5) – коэффициент отражения в ближней инфракрасной области спектра; R – RED (канал 4) – коэффициент отражения в красной области спектра (табл. 2.3) [273].

При обработке данных использовались методы: False Color Composite, где (FCC) – изображения в искусственных цветах; Band Ratio (BR) – создание сложных соотношений полос. Площади нарушенных земель оцифровывались с помощью метода построения индексного изображения NDVI.

Таблица 2.3 – Характеристика спектральных каналов Landsat -8

Датчик	Канал	Длины волн, мкм
OLI (Operational Land Imager)	1	0,433 – 0,453
	2	0,450 – 0,515
	3	0,630 – 0,680
	4	0,630 – 0,680
	5	1,560 – 1,660
	6	1,560 – 1,660
	7	2,100 – 2,300
	8	0,500 – 0,680
	9	1,360 – 1,390
TIRS (Thermal Infrared Sensor)	10	10,300 – 11,300
	11	11,500 – 12,500

Полученное индексное изображение классифицировалось согласно общепринятой шкале, представленной в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Шкала NDVI для изучения степени развития растительности

Лето	Значение NDVI
Степень развития зеленой массы	
Высокая	0,6-1,0
Средняя	0,3-0,6
Низкая	0,2-0,3
Отсутствие растительности: вода, горы, пар	-0,1-0,2
Зима	Значение NDVI
Плотность покрытия хвойными лесами	
100 %	0,8-0,9
90 %	0,7-0,8
80 %	0,6-0,7
70 %	0,5-0,6
60 %	0,425-0,5
50 %	0,4-0,425
40 %	0,35-0,4
30 %	0,3-0,35
20 %	0,25-0,3
10 %	0,2 - 0,25
Лиственные леса, снег, лёд	-1-0,2

2.6.3 Химические методы исследования

В качестве объектов исследования использованы: отходы, техногенные почвы и растительность.

Смешанные образцы техногенных почв на химический анализ отобраны методом конверта послойно (см): с глубины 0-10 и 10-20, а также по профилю почв (см): от 0 до 38 (0-1, 2-8, 9-25, 25-38). Затем они были высушены до воздушно-сухого состояния, размолоты и просеяны через сита диаметром отверстий 1 мм. Далее навеска, масса которой не превышала 1-2 г, была растерта в агатовой ступке «до пудры» [244, 245].

Отбор проб растительности проведен на тех же участках, что и почв. Надземная часть травяного покрова была срезана ножницами, не засоряясь почвой, укладывалась в матерчатые мешочки с этикеткой. Листья были отобраны по окружности кроны на высоте около 1,5 м, формируя суммарную пробу из данного растения. Пробы листьев были высушены до воздушно-сухого состояния при комнатной температуре (до 25 °C) в затенении и хорошей вентиляции, после чего размалывались с помощью лабораторной электромельницы до размера частиц менее 1 мм. Навески полученной массы использованы для получения экстрактов и количественного определения в них соединений тяжелых металлов. Отбор проб растительности проведен по ГОСТ ISO 6497-2014 [249]

Пробы проанализированы на содержание соединений тяжелых металлов: Hg, Zn, Cu, Pb, Mn, As, Ni, Zr, Sn, W методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на ICP–MS ELAN DRC II PerkinElmer. Подвижные формы следующих ионов: Zn, Pb, Cu, Mn были определены методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии на приборе – AAS-30. Содержание гумуса в техногенных почвах установлено по ГОСТ Р 70229-2022 [246], органического вещества – по ГОСТ 26213-2021 [247] и pH – по ГОСТ 26483–85 [248]. Разложение почвенных проб осуществлялось в multiwave 3000. Навеска массой 0,5 г помещалась в автоклавы ротора MF 100-16, в нее добавлялось 5 мл HNO₃, 2 мл HCl и 3 мл HF. Пробу на 1 час оставляли в микроволновой печи Anton Paar

Gmbh. Затем смесь переносили в тигли из стеклоуглерода и выпаривали досуха. Добавлялось 0,5 мл концентрированной HNO_3 кислоты и 5 капель H_2O_2 . Действие повторялось несколько раз до полного разложения. Затем к пробе приливалось 10 мл 10 % HNO_3 , она прогревалась и переносилась в мерные колбы на 50 мл. Содержание соединений тяжелых металлов определялось в растворе.

Для определения подвижных форм тяжелых металлов проба почвы массой 5 г взвешивалась с точностью $\pm 0,1$ г и помещалась в коническую колбу вместимостью 200-300 см^3 . К ней добавляли 50 см^3 раствора HNO_3 (IM). Суспензия взбалтывалась на ротаторе в течение часа, затем настаивалась сутки, а далее фильтровалась через сухой складчатый фильтр, предварительно промытой HNO_3 (IM). На атомно-абсорбционном спектрофотометре в пламени ацетилен-воздух в фильтрате определялось содержание подвижных соединений тяжелых металлов: Cu, Zn, Pb, Ni, Mn.

Минерализация проб растений осуществлена методом сухого озоления. Навеска массой 5 г взвешивалась с погрешностью $\pm 0,1$ г и укладывалась в тигель без уплотнения для того, чтобы в ее нижние слои поступал кислород воздуха. Пробой заполнялось не более половины тигля.

Тигель с пробой взвешивался на весах 2-го класса точности. Затем он помещался в холодную печь, и температура повышалась до 200-250 $^{\circ}\text{C}$ (до появления дыма). После прекращения выделения дыма температура печи доводилась до (525 ± 25) $^{\circ}\text{C}$ и велось прокаливание в течение 3 ч. Отсутствие частичек угля показывало полное озоление материала.

При наличии углистых частичек тигель с золой охлаждался на воздухе, зола смачивалась дистиллированной водой, 3% раствором перекиси водорода, или 2 см^3 разбавленной азотной кислоты (1 : 1). Вода выпаривалась, тигель помещался в печь и снова прокаливался при температуре (525 ± 25) $^{\circ}\text{C}$ в течение 1 ч. По окончании прокаливания тигель с золой охлаждался в выключенной печи, затем переносился в эксикатор и взвешивался. Прокаливание и взвешивание повторялось до достижения постоянной массы тигля с золой. Озоление растений проводилось, как правило, в разное количество времени для различных видов

растений (до 10 ч). При правильном озолении полученная зола имела белый, кремоватый или розовый цвет, без обугленных частиц.

Зола смачивалась несколькими каплями бидистиллированной воды, затем дозатором или из бюретки к золе приливалось по 10-15 см³ разбавленной азотной кислоты (1 : 1), тигель накрывался часовым стеклом и нагревался на электроплитке до кипения или выдерживался на кипящей водяной бане в течение 30 мин, не допуская разбрызгивания остатка.

Содержимое тигля отфильтровывалось в мерную колбу вместимостью 50 см³ через фильтр «белая лента». Фильтр предварительно тщательно промывался разбавленной HNO₃. Тигель и фильтр несколько раз ополаскивались горячей бидистиллированной водой, объем раствора доводился до метки. Содержимое колбы перемешивалось и оставлялось для отстаивания до следующего дня. После отстаивания растворы анализировались. Определение содержания соединений тяжелых металлов было проведено в растворе после минерализации золы.

В связи с летучестью ртути использовался другой метод ее определения в почвах и растительности. Навеска почвы 2 г помещалась в коническую колбу вместимостью 100 см³ для разложения, приливалось 10 см³ смеси концентрированных серной и азотной кислот в соотношении 1 : 1 (по объему). Содержимое колбы тщательно перемешивалось стеклянной палочкой, покрывалось часовым стеклом и нагревалось на электрической плитке с закрытой спиралью при температуре 100-120 °С до полного разложения органического вещества. Разложение почвы производилось на водяной бане при температуре 60-70 °С в течение 2 ч или при комнатной температуре в течение 12-15 ч. При более высоких температурах реакция окисления протекает бурно и возможны потери ртути в результате ее улетучивания. Далее после охлаждения приливалось 25 см³ раствора перманганата калия, осторожно перемешивалось. Затем добавлялось еще 5 см³ 50% раствора персульфата калия для разложения органических соединений, после чего анализируемую пробу отстаивали 18-20 ч. Затем проба декантировалась через фильтр, предварительно смоченный 4 N HCl в

мерную колбу вместимостью 100 см³, а осадок промывался порциями бидистиллированной воды и через тот же фильтр переносился в колбу. Объем раствора доводился до метки 100 см³.

Определение ртути в растительности проведено следующим образом. Процесс минерализации осуществлялся в термостойкой конической колбе вместимостью 750 см³. Проба, навеской 5 г. распределялась по дну колбы, и к ней добавлялись: 1 см³ этилового спирта, 40 см³ воды и 30 см³ концентрированной азотной кислоты. Колба закрывалась часовым стеклом и оставлялась на 24 часа. На следующий день вводилось 15 см³ концентрированной серной кислоты. По окончании введения серной кислоты колба оставлялась в вытяжном шкафу до окончания выделения окислов азота. Затем она помещалась на водяную баню и осторожно нагревалась до полного просветления слоя жидкости. Колба снималась с бани, горячий раствор фильтровался в мерную колбу вместимостью 250 см³. Реакционная колба и фильтр промывались кипящей дистиллированной водой. Промывные воды соединялись с основной массой. После охлаждения объем содержимого мерной колбы был доведен до метки дистиллированной водой.

2.6.4 Оценка геоэкологического состояния природных сред

Оценка геоэкологического состояния природных сред сделана с помощью расчета ряда показателей [276]: коэффициент концентрации (Кс), суммарный показатель загрязнения (Zс), степень значимости элементов-загрязнителей в различных средах зоны влияния шлихообогатительной установки (S_з).

Коэффициент концентрации (Кс) рассчитан по формуле (2.4):

$$Kc = \frac{C_{\text{проба}}}{C_{\text{фон}}}, \quad (2.4)$$

где $C_{\text{проба}}$ — концентрация соединений тяжелых металлов в пробах техногенных и сельскохозяйственных почв, мг/кг,

$C_{\text{фон}}$ — соответствующие фоновые концентрации, мг/кг.

Суммарный показатель загрязнения (Zс) определен по формуле (2.5):

$$Z_c = \sum K_c - (n - 1), \quad (2.5)$$

где K_c – коэффициенты концентрации элементов, показывающие отношение содержания элементов в пробах к фоновым концентрациям;

n – число элементов.

Оценка опасности загрязнения почв комплексом соединений тяжелых металлов по показателю Z_c проведена по оценочной шкале, градации которой разработаны на основе изучения состояния здоровья населения, проживающего на территориях с различным уровнем загрязнения почв (табл. 2.5).

Таблица 2.5 – Ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения почв по суммарному показателю [248]

Категория загрязнения почв	Z_c	Изменения показателей здоровья населения в очагах загрязнения
Допустимая	< 16	Наиболее низкий уровень заболеваемости детей и минимум функциональных отклонений
Умеренно опасная	16-32	Увеличение общего уровня заболеваемости
Опасная	32-128	Увеличение общего уровня заболеваемости, числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушением функционирования сердечно-сосудистой системы
Чрезвычайно опасная	> 128	Увеличение заболеваемости детского населения, нарушение репродуктивной функции женщин, увеличение случаев токсикоза беременности, преждевременных родов, мертворождаемости, гипотрофий новорожденных

Коэффициент биологического накопления (КБН) рассчитан по формуле (2.6):

$$КБН = \frac{C_{раст}}{C_{почв}}, \quad (2.6)$$

где $C_{раст.}$ – концентрация тяжелых металлов в растительных образцах, мг/кг;

$C_{почв}$ – концентрация тяжелых металлов в исследуемых почвах, мг/кг.

Степень значимости тяжелых металлов в техногенных почвах зоны влияния шлихообогатительной установки (S_3 , %) оценивались путем составления геохимических рядов с дальнейшим ее определением по формуле (2.7):

$$S_3 = \frac{m \cdot 100}{N}, \quad (2.7)$$

где m – количество точек с преобладающим тяжелым металлом в загрязнении по каждой степени значимости;

N – количество опробованных площадей, штук.

Суровые климатические условия и нарушение почвенного покрова на значительной территории района исследования способствовали формированию специфических техногенно-нарушенных площадей.

Выводы

1. Географическое положение (близость Охотского моря), сложная геологическая, геоморфологическая структура района послужили формированию горного, низкогорного, холмисто-увалистого рельефа. Район исследования отличается неодинаковыми природными условиями из-за наличия хребтов и низменности. Разные части различаются по компонентам и факторам природы. Климат территории района характеризуется ограниченными тепловыми ресурсами. Для района характерно резкое колебание температур и количество выпавших осадков;

2. Работа выполнена методом стационарных наблюдений и лабораторных исследований по общеизвестным методикам. Работа осуществлена в текстовом редакторе MS Word. Статистическая обработка данных проведена в программах MS Excel, рисунки и карты обрабатывались с помощью программ: Quantum GIS, Paint, CorelDraw. Иллюстративный материал подготовлен с использованием программы MS Power Point

3. Достоверность результатов подтверждены сертификатом качества на выполнение аналитических работ.

ГЛАВА 3: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО–ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ГРАНИЦАХ ВЛИЯНИЯ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ «КЕРБИНСКОГО ПРИИСКА»

3.1. Оценка отходов переработки золотодобывающего сырья как источника загрязнения экосистем

Золотороссыпные месторождения в Хабаровском крае Дальневосточного федерального округа России разрабатывались в конце XIX века как гидромеханизированным, так и дражным способами. Для их освоения были изъяты земли лесного фонда Кербинского лесничества Дальневосточного таежного лесного района. Добыча осуществлялась горными предприятиями района им. П. Осипенко «Кербинским прииском» Хабаровского края, не справившегося с трудностями переходного периода и обанкроченного, а в настоящее время ликвидированного.

Интенсивное освоение минерального сырья сформировало большие объемы отходов горного производства. Эти техногенные образования (отходы обогащения) сформированы по долинам рек Керби и Семитка в виде гидравлических и дражных полигонов. В результате использования при обогащении золота метода амальгамации до 90-х годов XX века отходы находятся на территории шлихообогатительной установки (ШОУ) в поселке Бриакан. Хвосты обогащения сохраняются на участках насыпного складирования в пределах с. Бриакан и представляют особую опасность из-за поступления в окружающую среду продуктов разложения. Под действием поступающих из них агрессивных техногенных потоков формируются геохимические аномалии.

Исследования минерального состава Кербинского золотороссыпного района показало, что в целом главными минералами в них являются следующие: касситерит (SnO_2), вольфрамит $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$, ильменит (FeTiO_3) , магнетит (Fe_3O_4) , гематит (Fe_2O_3) , галенит (PbS) , сфалерит (ZnS) и арсенопирит (FeAsS) . Сухие отходы и перемещаются ветром (Т.С. Банщикова и др.) [277].

Вещественный состав отходов обогащения в шлихах составляет (%): Hg от 0,2 до 0,3; Cu – 0,02; Zn – 0,03-0,06; Sb и As – 0,02; Sn – 0,03. В них установлено значительное количество соединений, перечисленных токсичных соединений, включая Hg в виде минерала – киновари. Ртуть является реагентом, поэтому долгое время (до 90-х годов прошлого столетия) использовался метод извлечения золота из россыпей «амальгамации» (рис. 3.1).

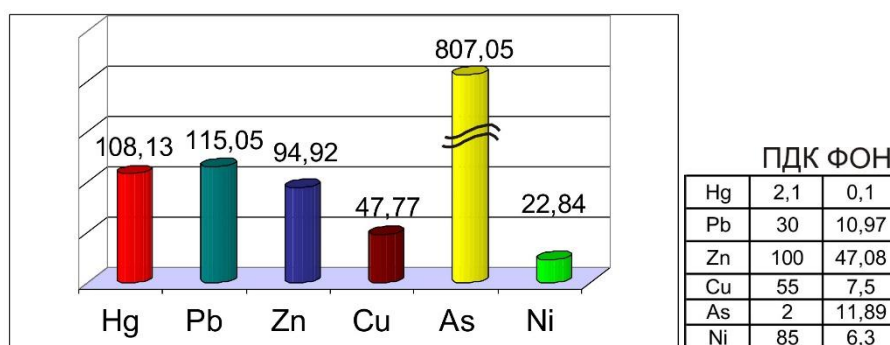


Рисунок 3.1 – Содержание соединений тяжелых металлов в отходах россыпной золотодобычи, мг/кг

Класс опасности отходов обогащения определен в соответствии с Приказом МПР России № 536 от 04.12.2014 с применением специализированного программного обеспечения «Расчет класса опасности отходов» (версия 4.0, разработчик ООО «ИНТЕГРАЛ», 2001-2003 гг.).

Отходы обогащения переработки золотороссыпных месторождений, отобраны на территории шлихообогатительной установки ликвидированного «Кербинского прииска» (табл. 3.1, Приложение А, Б, В). Класс опасности данных отходов был рассчитан на основе математико-статистической модели, которая использует набор первичных показателей опасности для каждого компонента. Полный перечень компонентов и их показатели приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Компонентный состав отходов обогащения переработки золотороссыпного месторождения ликвидированного «Кербинского прииска»

№ п/п	Наименование компонента	Концентрация компонентов, C_i , мг/кг	Коэффициент степени опасности компонента, W_i , мг/кг	Показатель степени опасности, K_i ($K_i = C_i/W_i$)
1	Ртуть (Ртуть металлическая)	84,8	10,000	8,480
2	Свинец	97,0	153,174	0,633
3	Цинк (согласно Приложению № 4 приказа МПР России 536)	87,7	2511,89	3,491
4	Медь	43,7	1668,101	2,62
5	Мышьяк (согласно Приложению № 4 приказа МПР России 536)	629,0	493,550	1,274
6	Вольфрам	545,0	735,642	0,741
7	Цирконий (ион)	35,4	215,443	1,64
8	Олово сульфат (в пересчете на олово)	6,3	215,443	2,924
9	Кремний (по Si)	998471,1	2154,435	463,449
Итого:		1000000	-	474,832

Отнесение отходов обогащения к классу опасности осуществляется расчетным методом по показателю их степени для окружающей природной среды (ОПС) в соответствии с таблицей 3.2.

Таблица 3.2 – Степень и класс опасности отходов обогащения для окружающей природной среды (К)

Класс опасности отхода	Степень опасности отхода для ОПС (К)
I	$10^6 \geq K > 10^4$
II	$10^4 \geq K > 10^3$
III	$10^3 \geq K > 10^2$
IV	$10^2 \geq K > 10^1$
V	$K \geq 10^0$

Данные таблиц, показывают степени опасности отходов переработки золотороссыпного месторождения $K=474,832$ удовлетворяет соотношению $10^3 \geq K > 10^2$ и позволяют отнести отходы к III классу опасности – умеренно опасные. Этому же соответствуют таксы для исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды.

Ниже в таблицах 3.3-3.9 приведены результаты расчета коэффициентов степени опасности компонентов W_i (мг/кг) для окружающей природной среды:

1. Ртуть (Ртуть металлическая)

Таблица 3.3 – Характеристика первичных показателей для компонента отхода обогащения

№ п/п	Наименование	Значение	Балл
1	ПДКп2 (ОДКЗ), мг/кг	1-10	2
2	Класс опасности в почве	1	1
3	ПДКв (ОДУ, ОБУВ), мг/л	<0.01	1
4	Класс опасности в воде водных объектов, используемых для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения	1	1
5	ПДКр.х. (ОБУВ), мг/л	<0.001	1
6	ПДКс.с.(ПДКм.р.,ОБУВ), мг/м ³	<0.01	1
7	Класс опасности в атмосферном воздухе	1	1
8	Показатель информационного обеспечения (n/N)	0,5 - 0,7	2
	Сумма баллов:		10

Относительный параметр опасности компонента принимается $X_i = 10 / 8 = 1,25$.

$$Z_i = 4 \cdot X_i / 3 - 1 / 3 = 1,333.$$

$$\lg(W_i) = 4 - 4 / Z_i = 1.$$

$$W_i = 10^{\lg(W_i)} = 10.$$

2. Свинец

Таблица 3.4 – Характеристика первичных показателей для компонента отхода обогащения

№ п/п	Наименование	Значение	Балл
1	ПДКп2 (ОДКЗ), мг/кг	1-10	2
2	Класс опасности в почве	1	1
3	ПДКв (ОДУ, ОБУВ), мг/л	0.01-0.1	2
4	Класс опасности в воде водных объектов, используемых для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения	2	2
5	ПДКр.х. (ОБУВ), мг/л	0.001-0.01	2
6	ПДКпп (МДУ, МДС), мг/кг	0.01-1	2
7	LD50, мг/кг	151-5000	3
8	LC50, мг/м ³	<500	1
9	Показатель информационного обеспечения (n/N)	0,5 - 0,7	2
	Сумма баллов:		17

Относительный параметр опасности компонента принимается $X_i = 17 / 9 = 1,889$.

$$Z_i = 4 \cdot X_i / 3 - 1 / 3 = 2,185.$$

$$\lg(W_i) = Z_i = 2,185.$$

$$W_i = 10^{\lg(W_i)} = 153,174.$$

3. Цинк (согласно Приложению № 4 приказа МПР России 536)

В соответствии с приложением 4 Приказа МПР от 04.12.2014 г. № 536 относительный параметр опасности компонента принимается $W_i = 2511,89$

4. Медь

Таблица 3.5 – Характеристика первичных показателей для компонента отхода обогащения

№ п/п	Наименование	Значение	Балл
1	ПДКп2 (ОДКЗ), мг/кг	1-10	2
2	Класс опасности в почве	2	2
3	ПДКв (ОДУ, ОБУВ), мг/л	0.11-1	3
4	Класс опасности в воде водных объектов, используемых для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения	3	3
5	ПДКр.х. (ОБУВ), мг/л	0.001-0.01	2
6	ПДКпп (МДУ, МДС), мг/кг	0.01-1	2
7	$Lg(S, \text{мг/л/ПДКв, мг.л})^4$	<1	4
8	$Lg(S_{\text{нас, мг/м}^3/\text{ПДКр.з}})$	<1	4
9	Показатель информационного обеспечения (n/N)	0,5 - 0,7	2
	Сумма баллов:		24

Относительный параметр опасности компонента принимается $X_i = 24 / 9 = 2,667$.

$$Z_i = 4 \cdot X_i / 3 - 1 / 3 = 3,222.$$

$$\lg(W_i) = Z_i = 3,222.$$

$$W_i = 10^{\lg(W_i)} = 1668,101.$$

5. Мышьяк (согласно Приложению № 4 приказа МПР России 536)

В соответствии с приложением 4 Приказа МПР от 04.12.2014 г. № 536 относительный параметр опасности компонента принимается $W_i = 493,55$

6. Вольфрам

Таблица 3.6 – Компоненты отхода обогащения и характеристика первичных показателей.

№ п/п	Наименование	Значение	Балл
1	Класс опасности в почве	3	3
2	ПДКв (ОДУ, ОБУВ), мг/л	0.01-0.1	2
3	Класс опасности в воде водных объектов, используемых для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения	2	2
4	$Lg(S, \text{мг/л/ПДКв, мг/л})$	<1	4
5	Показатель информационного обеспечения (n/N)	<0,5	1
	Сумма баллов:		12

Относительный параметр опасности компонента принимается $X_i = 12 / 5 = 2,4$.

$$Z_i = 4 \cdot X_i / 3 - 1 / 3 = 2,867.$$

$$\lg(W_i) = Z_i = 2,867.$$

$$W_i = 10^{\lg(W_i)} = 735,642.$$

7. Цирконий (ион)

Относительный параметр опасности компонента принимается $X_i = 4 / 2 = 2$.

$$Z_i = 4 \cdot X_i / 3 - 1 / 3 = 2,333.$$

$$\lg(W_i) = Z_i = 2,333.$$

$$W_i = 10^{\lg(W_i)} = 215,443.$$

Таблица 3.7 – Характеристика первичных показателей для компонента отхода обогащения

№ п/п	Наименование	Значение	Балл
1	ПДКр.х. (ОБУВ), мг/л	0.011- 0.1	3
2	Показатель информационного обеспечения (n/N)	<0,5	1
	Сумма баллов:		4

8. Олово сульфат (в пересчете на олово)

Таблица 3.8 – Характеристика первичных показателей для компонента отхода обогащения

№ п/п	Наименование	Значение	Балл
1	ПДКс.с.(ПДКм.р.,ОБУВ), мг/м ³	0.01-0.1	2
2	Класс опасности в атмосферном воздухе	3	3
3	Показатель информационного обеспечения (n/N)	<0,5	1
	Сумма баллов:		6

Относительный параметр опасности компонента принимается $X_i = 6 / 3 = 2$.

$$Z_i = 4 \cdot X_i / 3 - 1 / 3 = 2,333.$$

$$\lg(W_i) = Z_i = 2,333.$$

$$W_i = 10^{\lg(W_i)} = 215,443.$$

9. Кремний (по Si)

Таблица 3.9 – Характеристика первичных показателей для компонента отхода обогащения

№ п/п	Наименование	Значение	Балл
1	ПДКв (ОДУ, ОБУВ), мг/л	>1	4
2	Класс опасности в воде водных объектов, используемых для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения	2	2
3	$L_g(S, \text{мг/л/ПДКв, мг.л})^4$	<1	4
4	Показатель информационного обеспечения (n/N)	<0,5	1
	Сумма баллов:		11

Относительный параметр опасности компонента принимается $X_i = 11 / 4 = 2,75$.

$$Z_i = 4 \cdot X_i / 3 - 1 / 3 = 3,333.$$

$$\lg(W_i) = Z_i = 3,333.$$

$$W_i = 10^{\lg(W_i)} = 2154,435.$$

Выделены три основных экологических блока механизма техногенного загрязнения природных систем от отходов переработки золотороссыпных месторождений: источники загрязнения – элементы техносферы, в которых возникают техногенные вещества, поступающие в объекты природной среды; транзитные среды, в которых происходит прием, транспортировка и частичная трансформация техногенных веществ; депонирующие среды – элементы биоты, в которых загрязняющие вещества накапливаются и преобразуются.

При оценке отходов обогащения как потенциального источника техногенного загрязнения объектов окружающей среды учтен минеральный и вещественный состав не только руд, который определяется составом пород и рудных зон, но и отходов переработки минерального сырья, в частности золотороссыпного месторождения [163, 165].

3.2 Расчет загрязнения атмосферного воздуха в границах влияния отходов переработки золотороссыпного месторождения с использованием ГИС-технологий

В соответствии с «Методами расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе» [278], с использованием унифицированной программы расчёта загрязнения атмосферы УПРЗА «ЭКО центр» проведен расчёт загрязнения атмосферного воздуха в границах влияния отходов переработки золотороссыпного месторождения

В качестве исходных данных для проведения расчета загрязнения атмосферы использованы следующие показатели: порог целесообразности по вкладу источников выброса: 0,05; расчетный год 2021:

Метеорологические характеристики и коэффициенты: коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы: 180; средняя температура наружного воздуха: 25,9 °С; коэффициент рельефа: 1; параметры перебора ветров: направление, метео: 265-285; 315-330; 355-5; 140-160 (шаг 1); скорость, м/с: 0,57-8,07 (шаг 0,1).

Основная система координат – правая с ориентацией оси ОУ на Север.

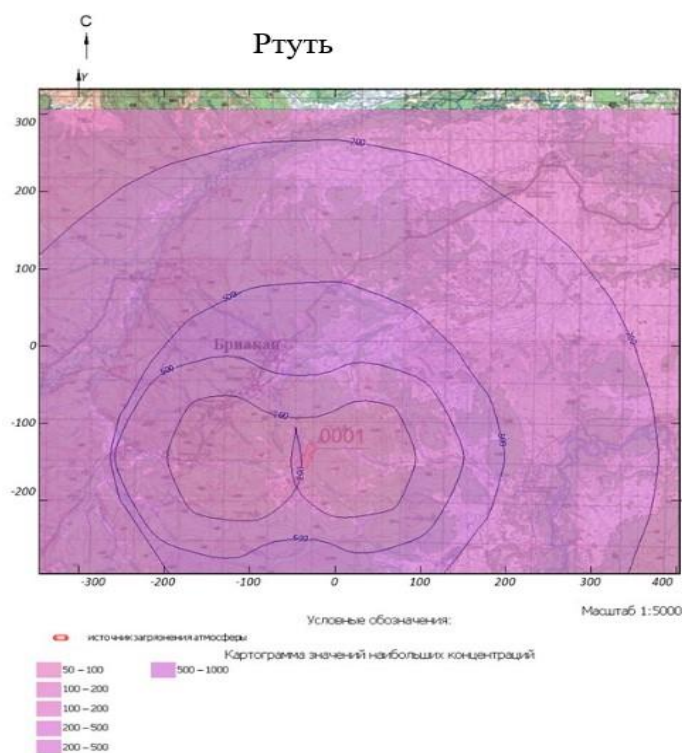
В таблице 3.10 представлен реестр загрязняющих веществ, включающий твердых – 7; жидких и газообразных – 1, групп суммации – 1. В таблице 3.10 указаны их коды, классы опасности и предельно-допустимые концентрации, либо ориентировочно безопасные уровни воздействия (ОБУВ).

Таблица 3.10 – Перечень загрязняющих веществ и групп суммации

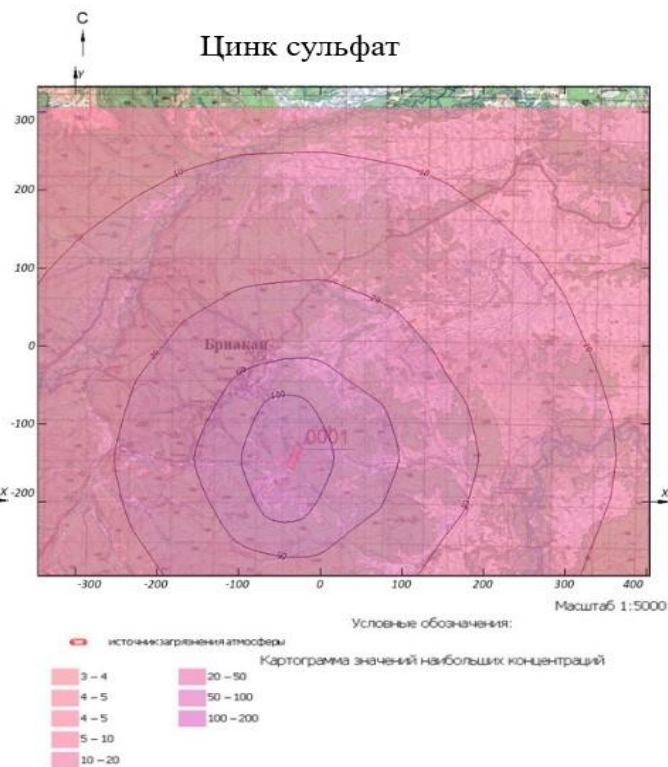
Загрязняющее вещество		Класс опасности	Предельно-допустимая концентрация, мг/м³			
Код	Наименование		Максимально-разовая	Средне-суточная	ОБУВ	Используется в расчете
1	2	3	4	5	6	7
113	Вольфрам триоксид	3	-	0,15	-	1,5
140	Медь сульфат	2	0,003	0,001	-	0,003
170	Олово сульфат	3	-	0,02	-	0,2
183	Ртуть	1	-	0,0003	-	0,003
184	Свинец и его соединения	1	0,001	0,0003	-	0,001
205	Цинк сульфат	2	-	0,008	-	0,08
293	Цирконий и его соединения	3	0,02	0,01	-	0,02
325	Мышьяк, неорганические соединения	2	-	0,0003	-	0,003
6030	Мышьяковистый ангидрид и свинца ацетат					1
Примечание – Для групп суммации в графах 4-6 ПДК не указывается, а графе 7 приведен коэффициент комбинированного действия.						

Выполненные расчеты позволили построить цифровые картографические модели (рис.3.2-3.5) распространения в воздушном бассейне загрязняющих веществ и групп суммаций с нанесенными изолиниями расчетных их концентраций в районе исследования.

Расчёт загрязнения для мажоранты (рис. 3.5) проводился по всем источникам загрязнения атмосферы и по всем веществам и группам суммации. При этом его результат для каждой рассматриваемой точки представляет собой наибольшее значение из максимальных расчётных концентраций, полученных для неё отдельно по каждому из веществ и групп суммации.

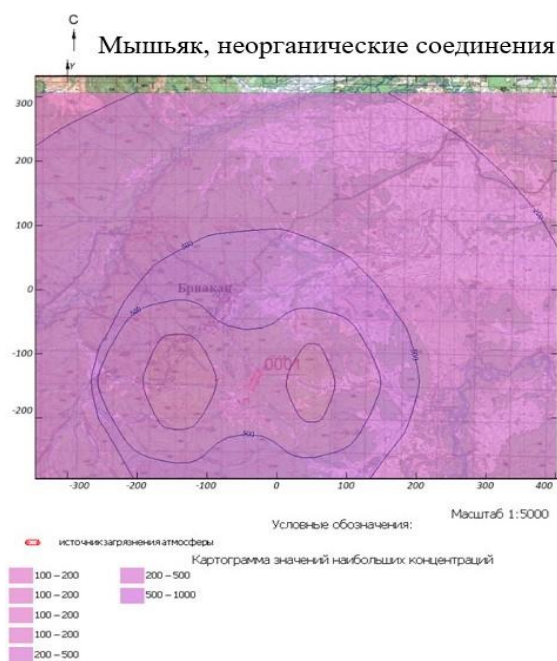


а

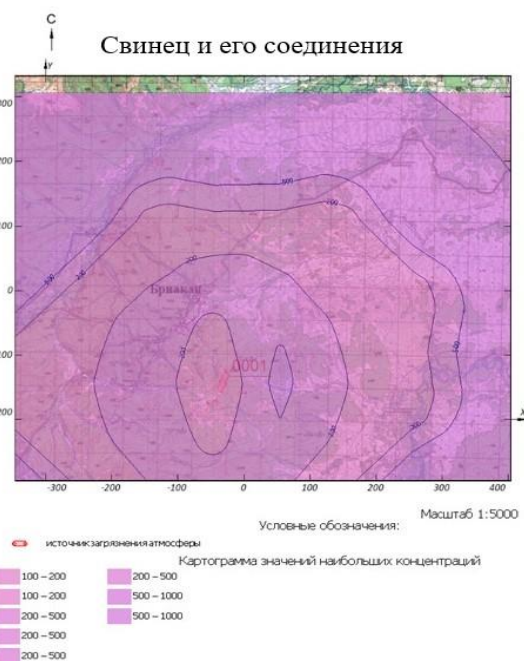


б

Рисунок 3.2 а, б – Цифровая картографическая модель распространения ртути и сульфата цинка в атмосфере в пределах населенного пункта с. Бриакан



а



б

Рисунок 3.3 а, б – Цифровая картографическая модель распространения соединений мышьяка и свинца в атмосфере в пределах населенного пункта с. Бриакан

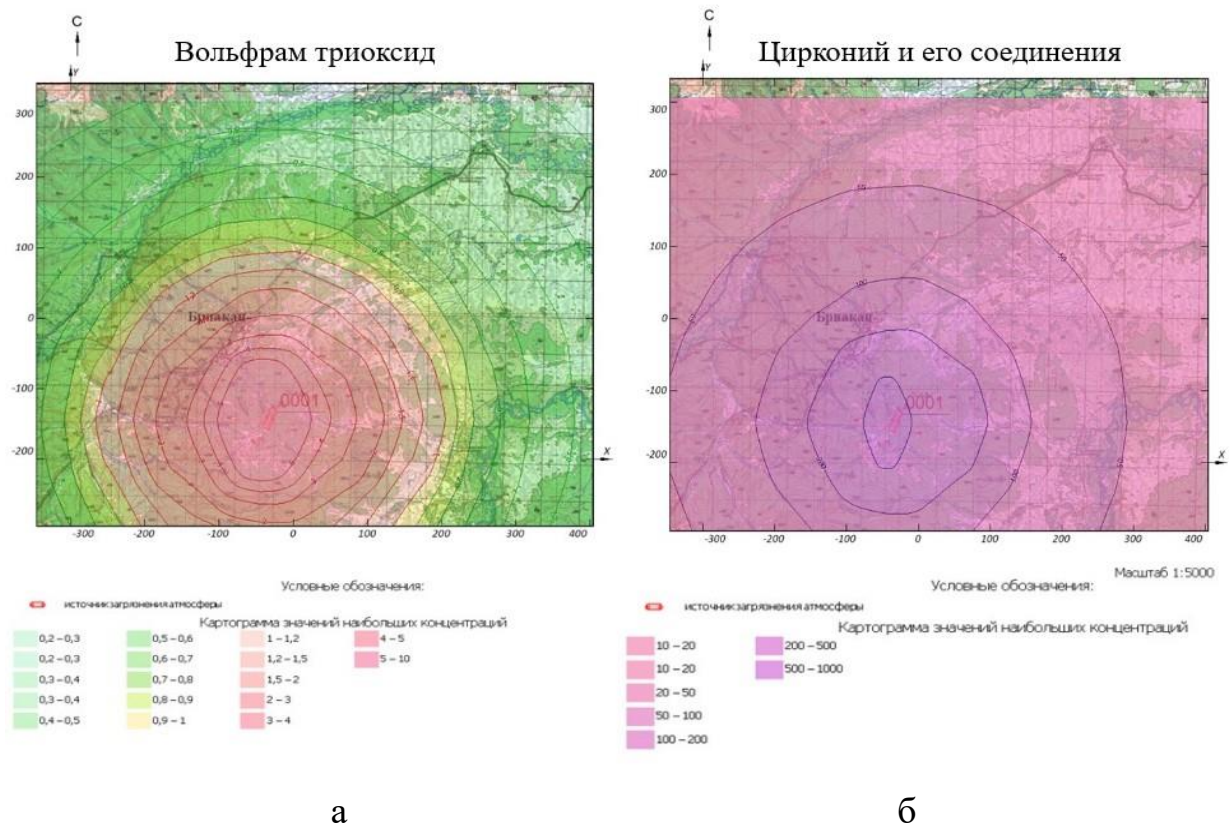


Рисунок 3.4 а, б – Цифровая картографическая модель распространения соединений циркония и триоксида вольфрама в атмосфере в пределах населенного пункта с. Бриакан

На цифровой картографической модели мажоранты по веществам и группам суммаций (рис. 3.5) показаны максимальные концентрации токсичных веществ в воздушном бассейне в границах влияния отходов ликвидированного «Кербинского прииска» (картографические модели, представленные на рисунках 3.2-3.5, разработаны в.н.с., к.т.н. Голубевым Д.А.).

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о чрезвычайно высоком уровне загрязнения атмосферного воздуха от отходов переработки золотороссыпных месторождений ликвидированного горного предприятия «Кербинский прииск». Они являются не только опасным источником загрязнения атмосферного воздуха, особенно летом при ветрах юго-восточного, южного и

юго-западного, направленного в сторону с. Бриакан района им. П. Осипенко, но и для всех компонентов окружающей среды.



Рисунок 3.5 – Цифровая картографическая модель мажоранта по веществам и группам суммаций в атмосфере в пределах населенного пункта

3.3 Снежный покров как индикатор техногенного загрязнения объектов окружающей среды

С эколого-геохимической точки зрения снежный покров представляет собой депонирующую среду, в которой хранится информация об уровне и характере загрязнения территорий. Снег, обладая высокой сорбционной способностью, способствует осаждению на земную поверхность значительной части газообразных и тонкодисперсных продуктов техногенеза, консервируемых в снеговом покрове на время его устойчивого положения. Естественно, в снежном

покрове накапливаются пылевые частицы различного происхождения. При изучении его химического состава, возникает возможность выявить зоны аномального накопления продуктов техногенеза на поверхности земли и связывать их с конкретными источниками загрязнения.

Исследования снежного покрова показывает, что он является субстратом для накопления загрязняющих веществ, и фактором формирования экологической ситуации. Содержание соединений тяжелых металлов во взвешенной форме снежного покрова значительно выше по сравнению не только с растворимой (рис. 3.6), но и фоновым значением.

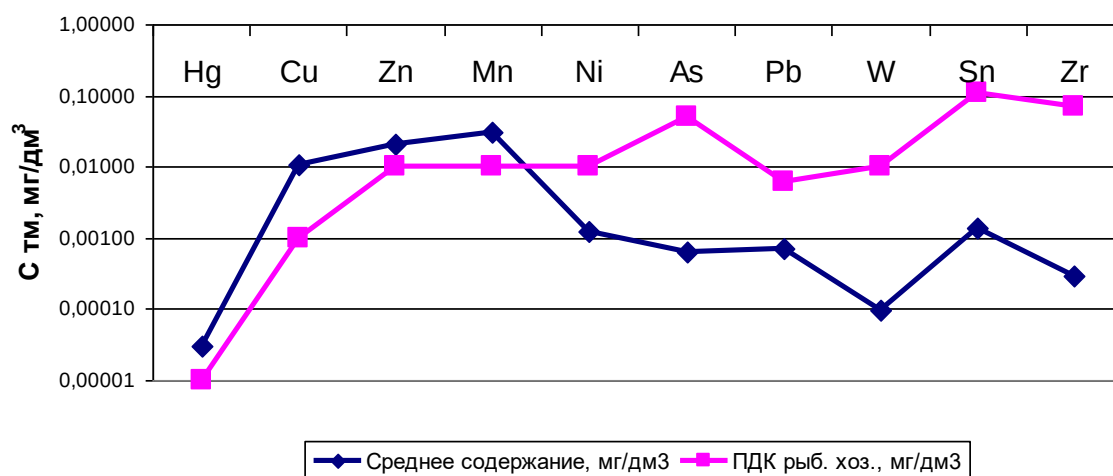


Рисунок 3.6 – Содержание соединений тяжелых металлов в жидкой фазе снега и ПДК_{рыб.хоз}

Их содержание в снежном покрове превышает фоновую концентрацию также значительно. Обнаружены максимальные концентрации соединений Zn, Cu, Ni в растворенном состоянии по всем точкам на расстоянии 100 м от шлихообогатительной установки. Выявлено превышение значений ПДК в растворенной фазе СП (РФ) для соединений: Cu в 11, Mn – 3, Zn – 2, Hg – 3 раза (рис. 3.7 а,б).

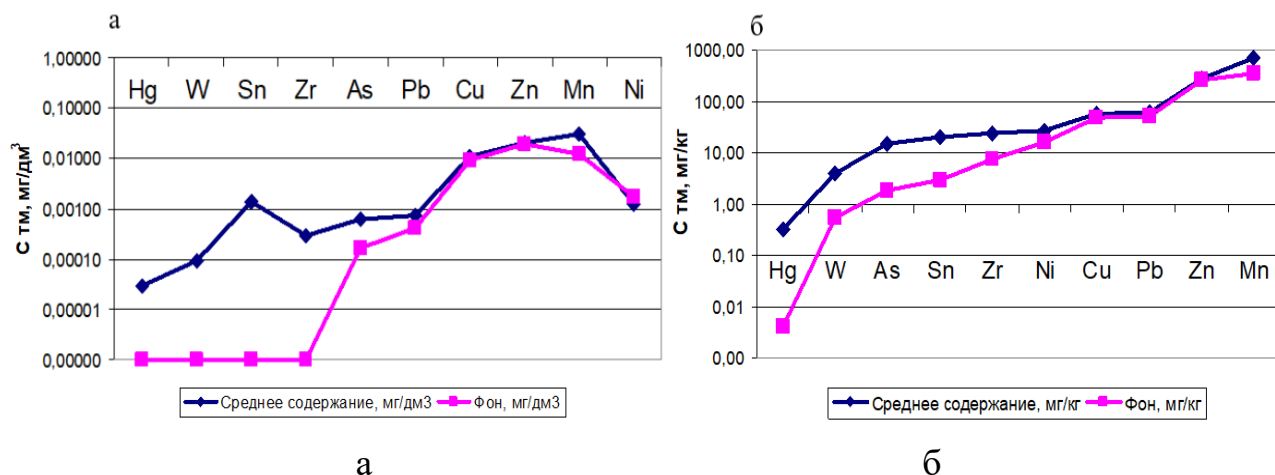


Рисунок 3.7 а,б – Содержание тяжелых металлов в растворимой (жидкой) (а) и взвешенной (твердой) (б) фазе снега и фоновая концентрация

Для взвешенной фазы (ВФ) характерно загрязнение в южном и восточном направлениях (рис. 3.8 а,б, 3.9 а,б). Высокая концентрация соединений Sn, Zr в растворимой форме наблюдается на севере и юге, а во взвешенной фазе распространение происходит в юго-восточном направлении. Миграция в восточном и северном направлениях характерны для ионов Pb в растворимой форме, а для Mn – только северное направление, загрязнение взвешенной формы для обоих металлов обнаружено в южном и восточном (рис. 3.8 а,б-3.11 а,б). Мышьяк распространяется на запад (растворимая форма) и восток (взвешенная форма) (рис. 3.8 а,б, 3.11 а,б). Миграция соединений Hg и W происходит в южном и восточном направлениях (рис. 3.8 а,б, 3.10 а,б).

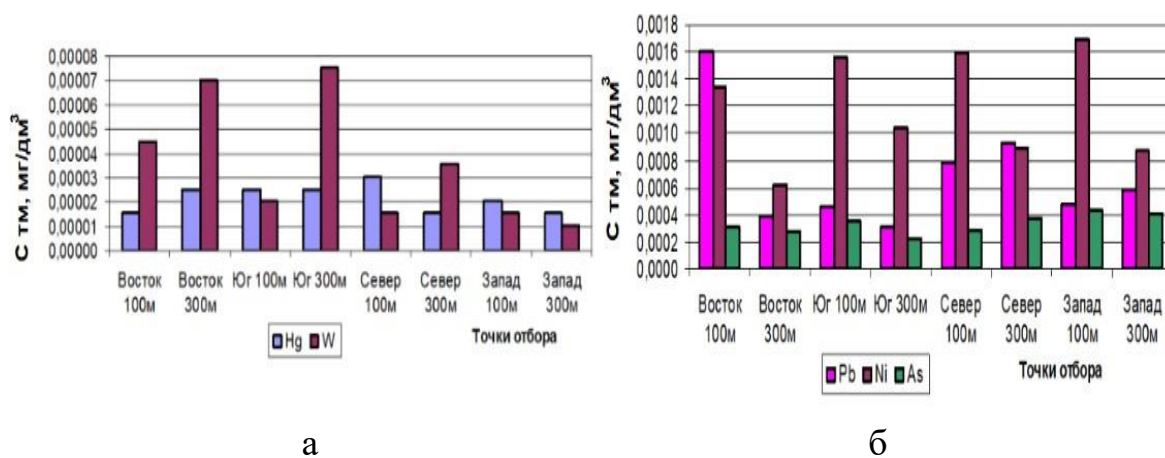
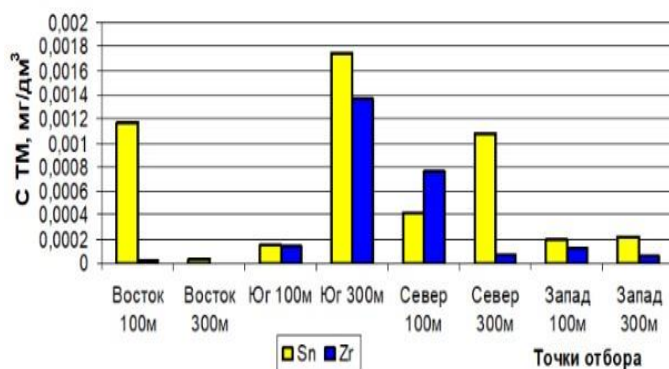
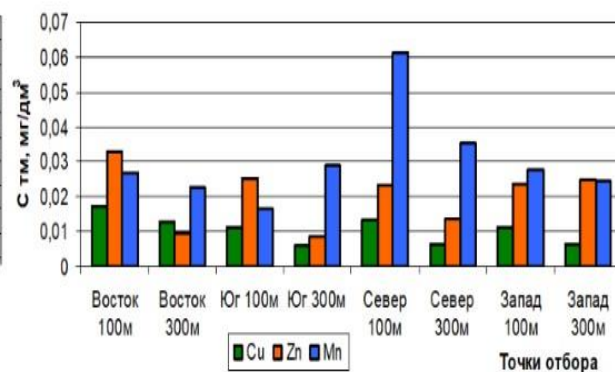


Рисунок 3.8 а, б – Содержание Hg, W, Pb, Ni, As в растворимой фазе снежного покрова, мг/дм^3

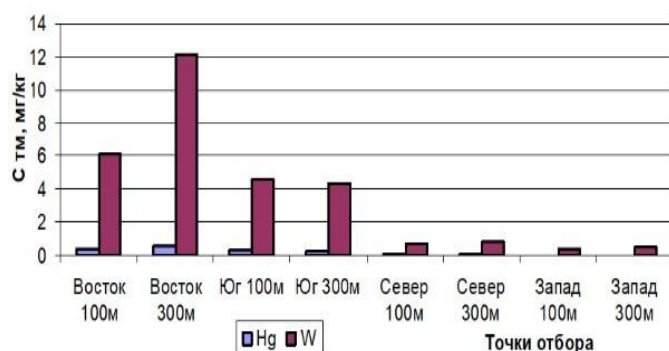


а

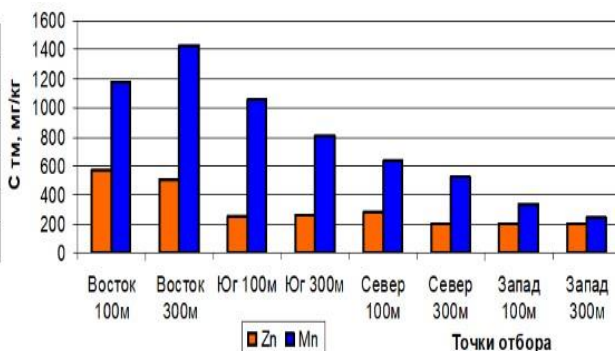


б

Рисунок 3.9 а, б – Содержание Sn, Zr, Cu, Zn, Mn в растворимой фазе снежного покрова, мг/дм³

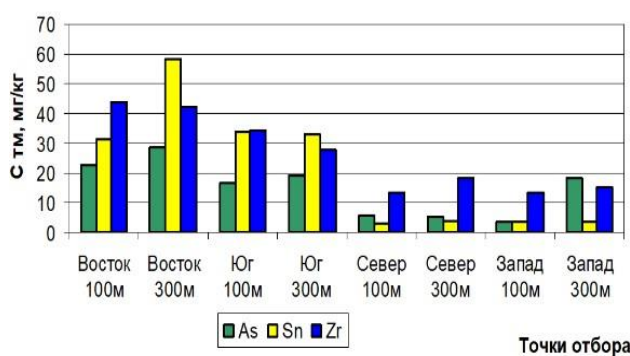


а

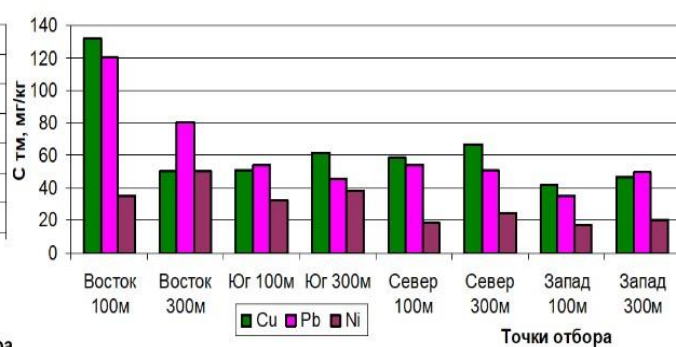


б

Рисунок 3.10 а, б – Содержание Hg, W, Zn, Mn во взвешенной форме снежного покрова, мг/кг



а



б

Рисунок 3.11 а, б – Содержание Cu, Pb, Ni, As, Sn, Zr во взвешенной форме снежного покрова, мг/кг

Расчет коэффициентов концентрации в СП (рис. 3.12) позволил представить классификационную группировку соединений тяжелых металлов по следующим диапазонам (табл. 3.11).

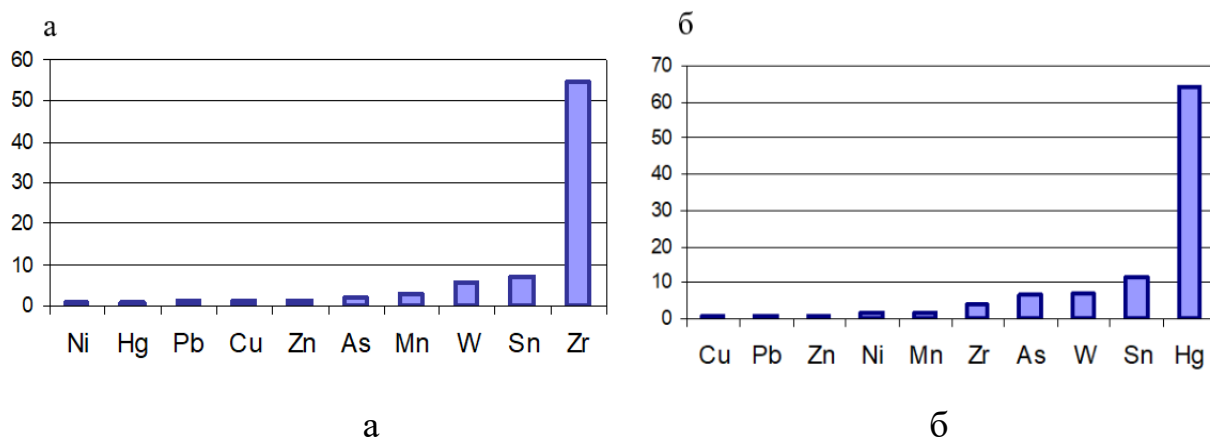


Рисунок 3.12 а,б – Значения коэффициентов концентрации в растворимой форме СП (а) и твердой форме СП (б)

Таблица 3.11 – Распределение коэффициентов концентрации соединений тяжелых металлов в снежном покрове

Коэффициент концентрации	Растворимая фаза	Взвешенная фаза
Кс от 1 и ниже	Ni	—
Кс от 1,1 до 3,0	Hg, Cu, Zn, Pb, As, Mn	Cu, Zn, Pb, Ni, Mn
Кс от 3,1 до 10	W, Sn	Zr, W, As
Кс от 10 и выше	Zr	Sn, Hg

Загрязнение СП территории около шлихообогатительной установки ($Z_c < 64$, $P_n < 250$ мг/м²•сутки) подтверждено суммарным показателем загрязнения (Z_c) (рис. 3.13 а,б) и пылевой нагрузки (P_n) (табл. 3.12) снежного покрова свидетельствуют о

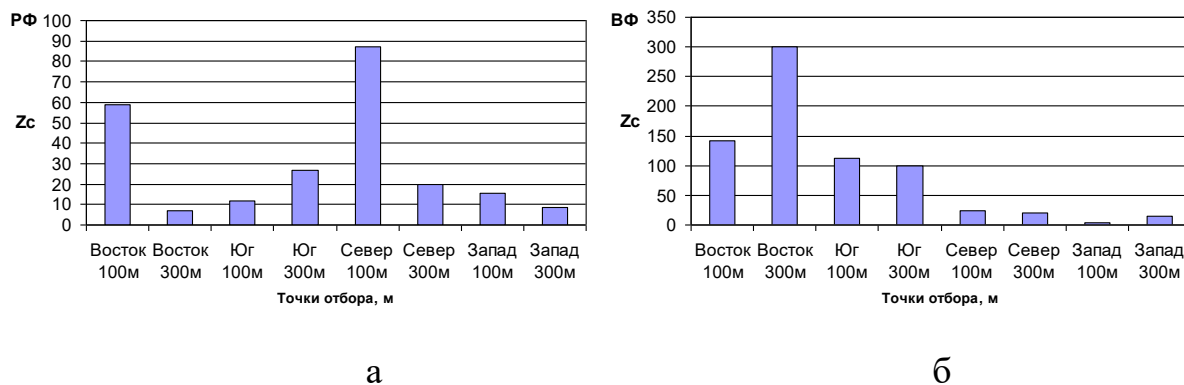


Рисунок 3.13 а,б – Суммарный показатель загрязнения (Z_c) снежного покрова

Таблица 3.12 – Пылевая нагрузка (P_n) в снеговом покрове, $\text{мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$

Место отбора проб	Центр	Восток 100м	Восток 300м	Юг 100м	Юг 300м	Север 100м	Север 300м	Запад 100м	Запад 300м	Фон
Пылевая нагрузка	1717	23	31	59	67	24	41	37	34	46

Пылевая нагрузка ($P_n \approx 1717 \text{ мг}/\text{м}^2 \cdot \text{сутки}$) и суммарный показатель загрязнения ($Z_c \approx 158$ (РФ) и 164 (ВФ)) высоки в центре шлихообогатительной установки. Выявлено, что наибольшая масса загрязняющих веществ сконцентрирована во взвешенной фракции, а именно: растворимая фракция – $0,006-0,007 \text{ мг}/\text{дм}^3$, а взвешенная фракция – $91-139 \text{ мг}/\text{кг}$. Среднее поступление токсичных веществ в СП на данной территории (в $\text{мг}/\text{м}^2 \cdot \text{сезон}^{-1}$) за зимний сезон: 2003-2008 гг. – 15334, 2007-2008 гг. – 14331, 2017-2019 гг. – 15700, 2021-2022 г. – 16500 $\text{мг}/\text{дм}^2$.

Сравнение суммарного показателя загрязнения (Z_c) элементов в радиальном направлении свидетельствует о том, что загрязнение СП соединениями тяжелых металлов происходит во всех направлениях.

Сравнивая средние показатели суммарного показателя загрязнения (Z_c) элементов по их направлениям за период 2017-2021 гг., отметим, что вклад в загрязнение СП соединениями тяжелых металлов вносится в: восточном направлении – Hg, Sn, W, As; южном – Hg, Sn, Zr, Cu, W, As; северном – Hg, Zr; и западном – Hg, Zr, As.

Согласно суммарному показателю загрязнения (Z_c) выявлено, что максимальные концентрации соединений тяжелых металлов в растворенной форме в СП отмечаются по всем точкам на расстоянии 100 м от шлихообогатительной установки, а загрязнение взвешенной фракцией происходит в восточном и юго-восточном направлениях, что согласуется с розой ветров (рис 3.13). В таблице 3.13 представлены характерные геохимические ряды, исходя из величин коэффициентов концентрации (K_c), рассчитанные для СП:

Таблица 3.13 – Геохимические ряды тяжелых металлов в снежном покрове

Точка отбора	Геохимический ряд (растворенная фаза)	Геохимический ряд (взвешенная фаза)
2017		
Центр	W>Zr>As>Mn>Pb>Cu>Sn>Hg>Zn>Ni	As>Hg>W>Sn>Pb>Zr>Mn>Ni>Cu>Zn
Север 100 м	Zr>Mn>Pb>Cu>Zn>As>Sn>W>Hg>Ni	Hg>As>Mn>W>Zr>Cu>Sn>Ni>Pb>Zn
Север 300 м	Mn>Pb>Zn>As>Zr>Sn>W>Hg>Cu>Ni	Hg>As>Mn>W>Zr>Sn>Cu>Ni>Pb>Zn
Восток 100 м	Sn>W>Mn>Cu>As>Zn>Hg>Pb>Ni>Zr	Hg>As>W>Zr>Cu>Pb>Zn>Sn>Ni>Mn
Восток 300 м	—	—
Юг 100 м	As>Mn>Sn>W>Hg>Ni>Cu>Pb>Zn>Zr	Hg>As>W>Zr>Mn>Ni>Sn>Cu>Pb>Zn
Юг 300 м	Zr>Mn>Sn>W>Hg>As>Pb>Zn>Cu>Ni	Hg>As>W>Zr>Cu>Ni>Mn>Sn>Pb>Zn
Запад 100 м	Zr>As>Mn>Zn>Ni>Sn>W>Hg>Cu>Pb	As>Sn>Mn>Zr>Ni>W>Zn>Hg>Cu>Pb
Запад 300 м	Zr>As>Mn>Zn>Sn>W>Hg>Pb>Cu>Ni	As>Hg>Zr>Ni>W>Sn>Pb>Cu>Mn>Zn
2018		
Центр	Sn>W>As>Hg>Zr>Mn>Pb>Zn>Ni>Cu	As>Hg>W>Sn>Mn>Zr>Pb>Ni>Zn>Cu
Север 100 м	Sn>Mn>W>Hg>Pb>As>Zr>Zn>Ni>Cu	Hg>Zr>As>Zn>Ni>Pb>Cu>Sn>W>Mn
Север 300 м	Sn>Zr>W>Pb>As>Mn>Hg>Ni>Cu>Zn	Hg>Zr>Ni>Cu>Sn>Pb>As>Zn>W>Mn
Восток 100 м	Sn>W>Pb>Zn>Mn>Zr>Hg>As>Cu>Ni	Hg>Sn>W>As>Zr>Mn>Ni>Zn>Pb>Cu
Восток 300 м	W>Hg>Mn>As>Cu>Ni>Pb>Zn>Sn>Zn	Hg>Sn>W>As>Zr>Mn>Ni>Zn>Pb>Cu
Юг 100 м	Zr>W>Sn>Zn>Hg>Mn>Pb>As>Cu>Ni	Cu>Sn>W>As>Hg>Mn>Zr>Zn>Ni>Pb
Юг 300 м	Sn>W>Zr>Hg>As>Mn>Pb>Ni>Cu>Zn	Cu>Sn>W>As>Hg>Zr>Mn>Zn>Ni>Pb
Запад 100 м	Zr>Sn>W>Mn>Hg>As>Zn>Pb>Cu>Ni	Hg>Zr>Ni>Cu>Sn>Zn>Pb>As>W>Mn
Запад 300 м	Sn>Zr>Mn>W>Hg>As>Pb>Zn>Ni>Cu	Hg>Zr>Ni>Sn>Cu>Pb>Zn>As>W>Mn

Наибольший вклад в загрязнение СП вносит соединения Hg (64,58%), меньше – Ni (табл. 3.13). В результате исследований установлены специфика элементного состава и сформирован следующий геохимический ряд в порядке уменьшения воздействия соединений тяжелых металлов на СП: Hg > Zr > As > W > Sn > Pb > Zn > Cu > Mn > Ni.

Таким образом, полученные результаты позволили выявить высокий уровень загрязнения снежного покрова токсичными соединениями тяжелых металлов от источников, т.е. отходов переработки золотороссыпного месторождения «Кербинский прииск», о чем свидетельствуют высокие значения суммарного показателя (Zc) и пылевой нагрузки (Pn).

3.4 Оценка влияния отходов шлихообогатительной установки горного предприятия «Кербинский прииск» на почвы и растительность

Известно, что для воссоздания почв на территориях, нарушенных освоением золотороссыпных месторождений, необходимо длительное время [37, 39, 40, 85, 279]. По мнению В.В. Докучаева [280], основными факторами для процесса почвообразования являются состав и свойства материнских пород, горные породы, рельеф, почвенная флора и фауна, а также климат.

Необходимо отметить, что в районе исследования преобладающим типом фоновых почв являются буроземы, характеризующиеся малой мощностью почвенного профиля, кислой реакцией среды, невысоким содержанием гумуса фульватного состава, значительным количеством железа, наибольшим количеством поглощенного водорода в органогенном горизонте [154, 155].

На рисунке 3.14 представлены материалы архивных данных за 1889 год. Уже в то время фиксировались значительные нарушения долины р. Керби [281].



Рисунок 3.14 – Полигоны россыпной золотодобычи Амгуно-Кербинского золотороссыпного района 1889 год

Применение данных космических снимков Landsat 8 с ресурса Glovis. позволило детально изучить нарушенные золотороссыпные площади. Анализ проведен в программе QGIS 3.18 в диапазонах 755, 652, 765, 543, 452 дал

возможность зафиксировать и рассчитать площади полигонов нарушенных земель с ярким свечением розового и зеленого цвета (рис. 3.15).

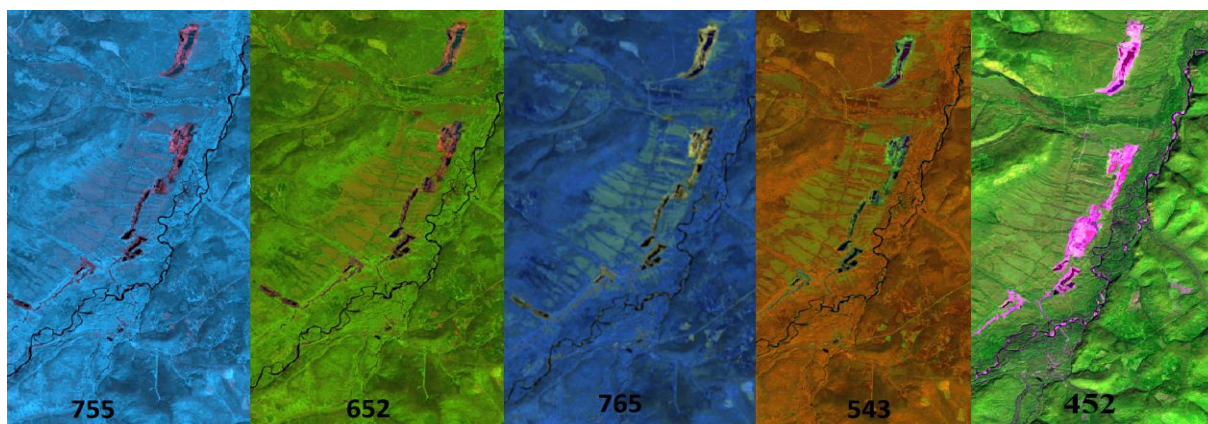


Рисунок 3.15 – Гиперспектральный снимок спутника Landsat 8 участка Кербинского золотороссыпного района: спектральные диапазоны

Благодаря рассчитанным индексным изображениям NDVI получена информация о нарушениях лесных участках и зафиксированы разрушения рельефа по долинам рек: Керби, Семи и Гонгрэн (рис 3.16 а,б).

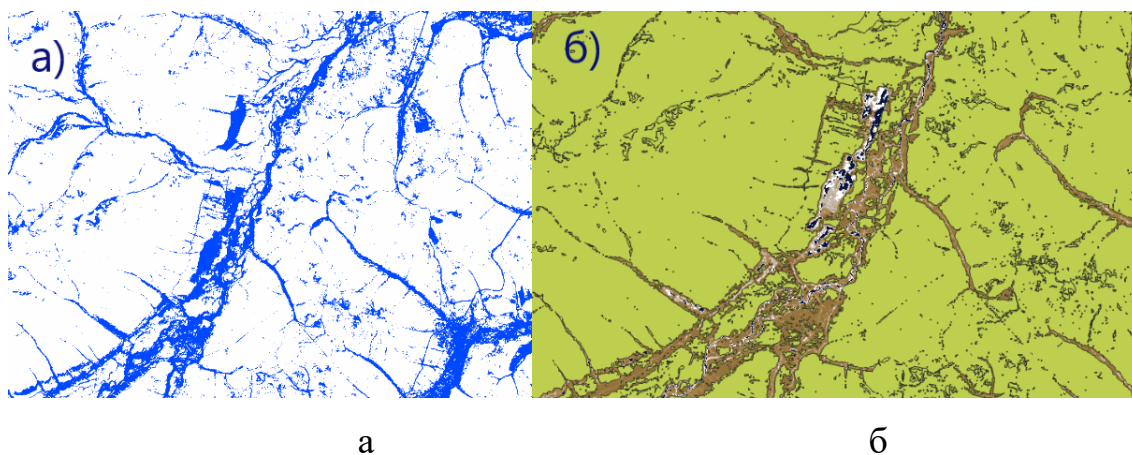


Рисунок 3.16 а, б – Результаты дешифрирования снимков нарушения долины р Керби при освоении золотороссыпных месторождений Кербинского прииска:

а) индекс $NDVI < 0,166$; б) векторное изображение индекса $NDVI < 0,166$

(Снимок Landsat 8 от 12.05.2021)

Таблица 3.14 - Степень значимости элементов – загрязнителей в СП зоны влияния шлихообогатительной установки, %

Тяжелый металл	Степень значимости 1				Степень значимости 2				Степень значимости 3				Степень значимости 4			
	2017 г		2018 г		2017 г		2018 г		2017 г		2018 г		2017 г		2018 г	
	РФ	ВФ	РФ	ВФ	РФ	ВФ	РФ	ВФ	РФ	ВФ	РФ	ВФ	РФ	ВФ	РФ	ВФ
Hg		62,5		66,67		25	11,11	16,11							33,33	
Cu				22,22									25			22,22
Zn									12,5				25		22,22	11,11
Pb					12,5				12,5		11,11				11,11	
Mn	12,5				37,5		11,11		37,5	37,5	22,22		12,5		11,11	
Ni												33,33		12,5		
As	12,5	37,5		11,11	25	62,5			12,5		11,11	11,11	12,5		11,11	44,44
W	12,5		11,11		12,5		44,44			50	33,33	55,56	25	25	11,11	
Sn	12,5		66,67			12,5	11,11	44,44	25		11,11			12,5		22,22
Zr	50		22,22		12,5		22,22	44,44		12,5	11,11			50		
Hg	25		33,33	22,22	12,5								25		22,22	
Cu		25	11,11	11,11		12,5							12,5	12,5		11,11
Zn	12,5				12,5			11,11		25	11,11	11,11	Zn	12,5		
Pb	12,5	12,5	11,11			12,5		33,33	12,5	12,5	55,56	22,22	Pb	12,5	12,5	11,11
Mn		12,5	11,11	11,11			44,44	33,33		25		11,11	Mn		12,5	11,11

Продолжение таблицы 3.14

Тяжелый металл	Степень значимости 5				Степень значимости 6				Степень значимости 7			
	2017 г		2018 г		2017 г		2018 г		2017 г		2018 г	
	РФ	ВФ	РФ	ВФ	РФ	ВФ	РФ	ВФ	РФ	ВФ	РФ	ВФ
Ni	12,5	12,5		11,11	12,5	25	11,11					22,22
As	12,5		22,22		25		33,33					11,11
W		12,5			12,5	12,5			25,00			
Sn	12,5			22,22	25	25			25,00	25		
Zr	12,5	25	11,11	22,22		12,5	11,11	22,22			11,11	11,11

Тяжелый металл	Степень значимости 8				Степень значимости 9				Степень значимости 10			
	2017 г		2018 г		2017 г		2018 г		2017 г		2018 г	
	РФ	ВФ	РФ	ВФ	РФ	ВФ	РФ	ВФ	РФ	ВФ	РФ	ВФ
Hg	37,50	12,5			12,50							
Cu		25			50,00	25	55,56				33,33	33,33
Zn	12,50		44,44	55,56	25,00			11,11		75	22,22	
Pb	37,50		11,11			50		22,22	12,50	12,5		22,22
Mn						12,5				12,5		44,44
Ni		37,5	22,22	11,11	12,50	12,5	33,33	22,22	62,50		33,33	
As			22,22	22,22								
W	12,50							44,44				
Sn		25		11,11			11,11					
Zr									25,00		11,11	

Выявлено, что техногенные почвы в границах влияния отходов характеризуются не только очень высокой степенью механических нарушений, но и интенсивного техногенного загрязнения соединениями тяжелых металлов. Изучение третьей формы разрушения почв, техногенного загрязнения различными соединениями тяжелых металлов в виде продуктов миграции из техногенных геохимических потоков свидетельствует о степени их деградации в

результате воздействия на них отходов переработки золотороссыпного месторождения.

Таблица 3.15 – Площади нарушенных земель (S) по годам, га

ID полигона	Площадь 2011г.	Площадь 2014 г.	Площадь 2018 г.	Площадь 2021 г.
1	4,2	98,3	20,8	20,8
2	27,1	8,9	14,6	14,7
3	9,3	71,1	19	19
4	128	7,3	0,5	0,6
5	31,3	67,5	4,3	4,1
6	76,2	62,2	42,3	42,1
7	94,3	57,1	138	138
8	78	55,5	109,4	110
9	9,1	50,8	92,4	92,4
10	34,9	35,7	11,1	12
11	Не опр.	3,8	3,4	3,4
12	—«—	26,5	3,1	3
13	—«—	17	2,5	2,5
14	—«—	15,2	9,7	9,7
15	—«—	12,5	61,8	61,8
16	—«—	Не опр.	35,6	35
17	—«—	—«—	60,9	60,9
18	—«—	—«—	2,1	2,5
19	—«—	—«—	2,9	3
20	—«—	—«—	148,3	149
21	—«—	—«—	154,1	154
22	—«—	—«—	81,9	82
23	—«—	—«—	50,5	50,5
24	—«—	—«—	17,8	17,8
25	—«—	—«—	27	28
S по годам:	492,4	589,4	1114	1116,8

Это позволило выявить закономерности распространения соединений токсичных тяжелых металлов в техногенных почвах.

Таким образом, почвенный покров, являясь депонирующей средой, фиксирует значительное многолетнее загрязнение.

Почвы, представляя депонирующую среду, (рис. 3.18) берут на себя техногенный пресс, причем распределение валовых форм соединений тяжелых

металлов (Zn, Cu и Pb) имеет вид убывающей кривой с максимальной концентрацией в верхней части почвенного профиля (0-10 см).

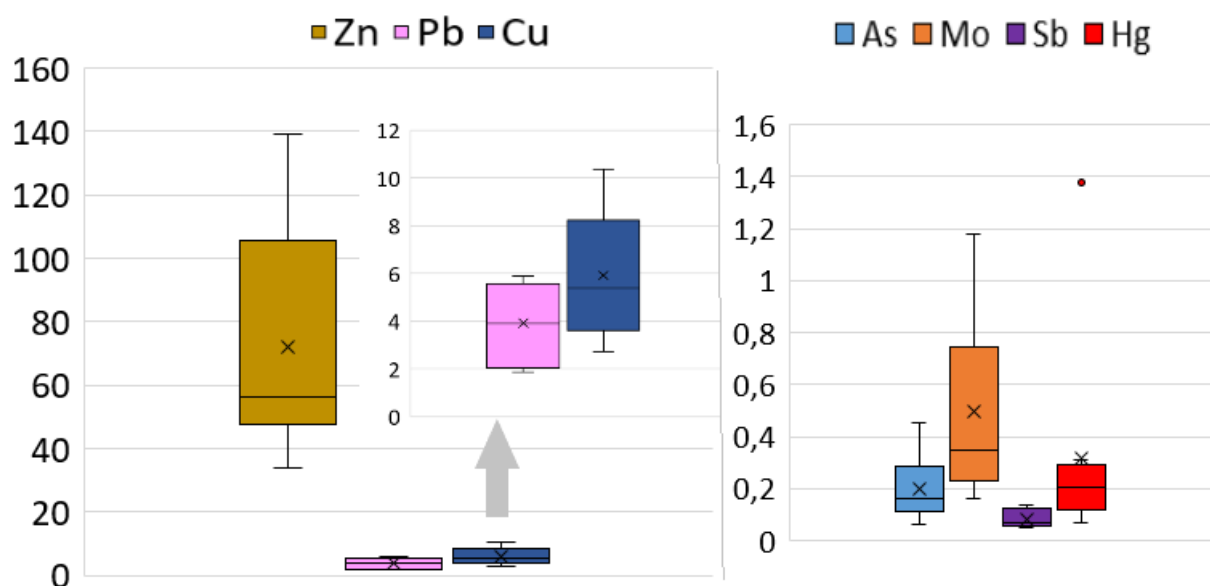


Рисунок 3.18 – Содержание соединений тяжелых металлов в почвах в границах влияния отходов шлихообогатительной установки, статистическая диаграмма, мг/кг

Определяющую роль в процессе почвообразования техногенных почв играют состав вскрышных и вмещающих пород, а также отходов переработки золотороссыпных месторождений, которые обусловлены количеством сульфидных минералов, влияющих на кислотность субстрата. Они, складированные на поверхности почв или размещенные в отвалах, способствует сильному подкислению почвенной толщи. Как правило, pH снижается до величины 3,5-4. При этом нарушенным оказывается почвенный поглощающий комплекс, где разрушаются коллоиды и происходит вынос Ca, Mg и P из верхнего плодородного слоя (гор. A₁). Органическое вещество становится подвижным, и верхние горизонты обогащаются различными формами соединений тяжелых металлов: Fe, Cu, Hg, Pb, Zn, As и др. Некоторые из них (Hg, Pb и As) даже накапливаются в верхнем слое. Исследованиями обнаружены аномальные

содержания ионов Hg, Cu, As и Zn, которые прослеживаются по всему профилю погребенной почвы.

В публикациях ряда авторов отмечено, что наличие гипергенного и техногенного минералообразования здесь способствует техногенному загрязнению, наносящему значительный ущерб объектам окружающей среды [119, 282]. Наиболее активно техногенные процессы протекают в зоне гипергенеза. Все это позволит определить территории с неблагоприятной экологической ситуацией. Минеральный состав и ассоциации гипергенных, техногенных минералов и элементов являются индикатором экологического состояния техногенной системы и стадии ее развития. В результате гипергенных процессов из отходов переработки золотороссыпных месторождений выносятся главным образом сульфиды: Zn, Cu, Pb, Fe, As и S [119, 282].

Формирование природно-горнотехнической техногенной системы способствует увеличению содержания рудных элементов в почвах и растениях. Нашими исследованиями установлено, что техногенные почвы, приуроченные к отвалам вскрышных и вмещающих пород, отходам обогащения, складированным на территории шлихообогатительной установки, значительно обогащены соединениями Hg, Zn, Cu, Pb, Cd, As, Sb, S, содержание которых здесь выше фоновых значений от 2 до 14 и более раз (рис. 3.18).

В почвах велика доля сульфидной формы. Важную роль играет образование глинистых минералов и гидроксидов железа, обладающих адсорбционными свойствами. Являясь депонентом техногенного загрязнения почвенный покров, аккумулирует соединения токсичных тяжелых металлов. В верхнем горизонте техногенных почв, приуроченных к территории шлихообогатительной установки (вблизи ее), выявлена их аккумуляция (мг/кг): Cu – 454, Zn – 1241, Pb – 934 (рис. 3.19)

Точки отбора	Hg	Pb	Zn	Cu
Центр ШОУ	108,13	934	1241	454
Восток 100 м	1,41	20,66	99,23	19,59
Восток 300 м	0,33	21,41	96,43	24,51
Юг 100 м	1,05	21,97	113,16	24,42
Юг 300 м	0,44	16,22	96,09	15,99
Север 100 м	0,19	60,44	111,05	31,72
Север 300 м	0,39	53,54	98,27	22,85
Запад 100 м	0,37	20,88	91,32	13,89
Запад 300 м	0,57	24,61	135,22	36,54
ПДК	2,1	30	100	55
Фон	0,1	10,97	47,08	7,5

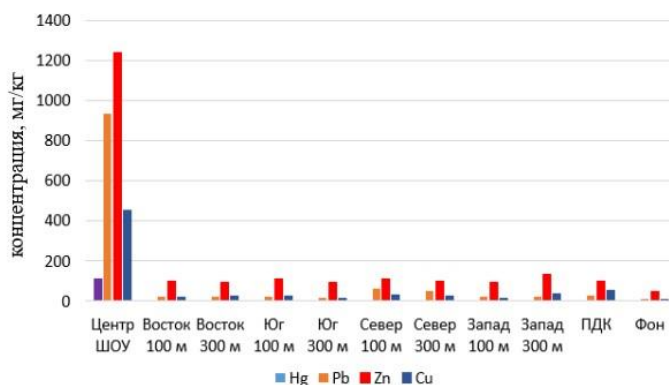
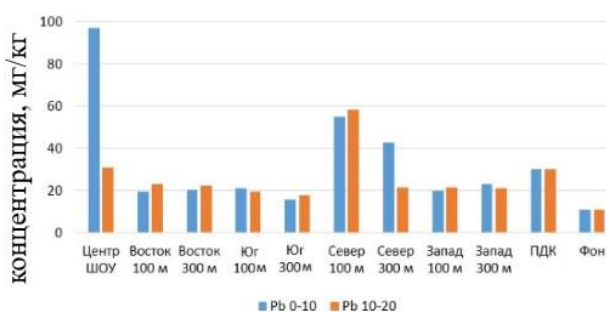
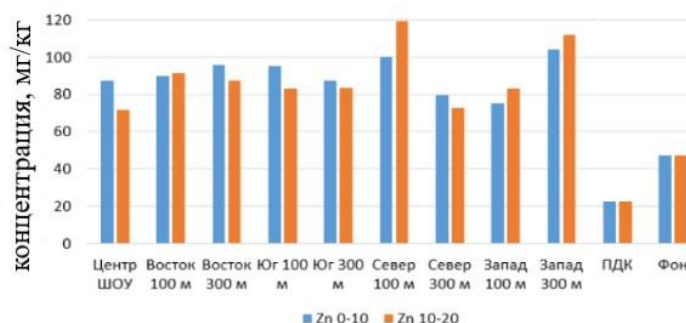


Рисунок 3.19 – Содержание соединений Hg, Pb, Zn, Cu в почвах зоны влияния шлихообогатительной установки

С удалением от техногенного источника на 8-22 км их содержание снижается (рис. 3.20).



а



б

Рисунок 3.20 а, б – Содержание соединений Pb и Zn в почвах зоны влияния шлихообогатительной установки

Необходимо отметить, что техногенное загрязнение почвогрунтов соединениями токсичных тяжелых металлов постоянно расширяется, порой на значительное расстояние.

Концентрация ионов водорода (рН) оказывает отрицательное влияние на распределение соединений тяжелых металлов в органогенном горизонте техногенных почв и на ее изменение, что сказывается на их подвижности. Металлы, в условиях кислой реакции почвенных вод, образуя катионы, переходят в раствор. Однако с увеличением рН они обычно выпадают в осадок в виде гидроксидов. В кислых почвенных водах с рН 4,4-6,5 такие ионы, как: Pb, Cu, Zn

и др. легко мигрируют. Под воздействием почвенных вод с кислой реакцией происходит активное вытеснение сорбированных металлов ионами водорода. При увеличении щелочности почвенного раствора, как показано нашими исследованиями, концентрация Hg, As, W, Sn (валовая форма) повышается, так как происходит осаждение катионов металлов, что согласуется с литературными данными [283, 284].

Велика роль содержания органического вещества в процессах сорбции металлов в почве. Оно играет важную роль в процессе интенсивной миграции соединений тяжелых металлов. Его общее содержание в исследуемых почвах невысоко от 0,58 до 4%. Однако в геохимическом плане оно имеет большое значение, в частности в распределении соединений тяжелых металлов Pb, Cu, Zn, что позволило установить зависимость их подвижности. При увеличении содержания органического вещества их подвижность снижается, а количество валовой формы металлов возрастает, что согласуется с исследованиями ряда авторов [147, 285]. Результаты экспериментальных исследований техногенных почв позволяют сделать вывод о том, что содержание подвижных ионов в них, расположенных вблизи отходов обогащения (на расстоянии 0,3 до 7 км), достигает аномальных величин. Их содержание в почвах (мг/кг): Zn – 143, Pb – 95, Cu – 52, Ni – 19, свидетельствует о превышении фоновых показателей, соответственно, в 3,5, 9, 6,5 и 2,7 раза.

Установлена тенденция к их миграции в нижележащие слои, т. е. за пределы техногенных почв. По миграционной способности токсичные соединения тяжелых металлов образуют следующий ряд: $Zn > Pb > Cu > Ni$.

В таблице 3.16 представлены данные определения суммарного показателя загрязнения (Zс) и коэффициента концентрации (Кс) техногенных почв в границах влияния отходов переработки ликвидированного горного предприятия «Кербинский прииск», горизонт (0-10 см), демонстрирующие, что самые высокие их значения выявлены в близи техногенного объекта, а с удалением от источника загрязнения они снижаются.

Таблица 3.16 – Коэффициенты концентрации (K_c) и суммарные показатели загрязнения (Z_c) подвижных форм соединений тяжелых металлов в почвогрунтах техногенной и селитебной зон

Зоны	Глубина 0-10 см				Глубина 10-20 см			
	K_c^{Zn}	K_c^{Cu}	K_c^{Pb}	Z_c	K_c^{Zn}	K_c^{Cu}	K_c^{Pb}	Z_c
Техногенная зона	7,01	2,50	2,80	11,31	7,54	2,29	2,89	11,72
Селитебная зона	7,97	2,85	3,23	12,55	7,94	2,80	3,04	12,98

В почвах, отобранных на горнопромышленной территории, выявлено накопление соединений Hg, Pb, Cu, Zn, особенно в южном направлении (направление преобладающих ветров), что связано с миграцией соединений тяжелых металлов от отходов.

Использование математического аппарата позволило сделать прогноз содержания соединений ртути в почвах исследуемого района в восточном направлении (расстояние 100 м), свидетельствующий (рис. 3.21) о том, что будет происходить постоянное увеличение их загрязнения, описываемое логарифмической зависимостью (формула 3.1), с коэффициентом детерминации – $R^2 = 0,8584$

$$y = 0,6113 \ln(x) + 1,9267 \quad (3.1)$$

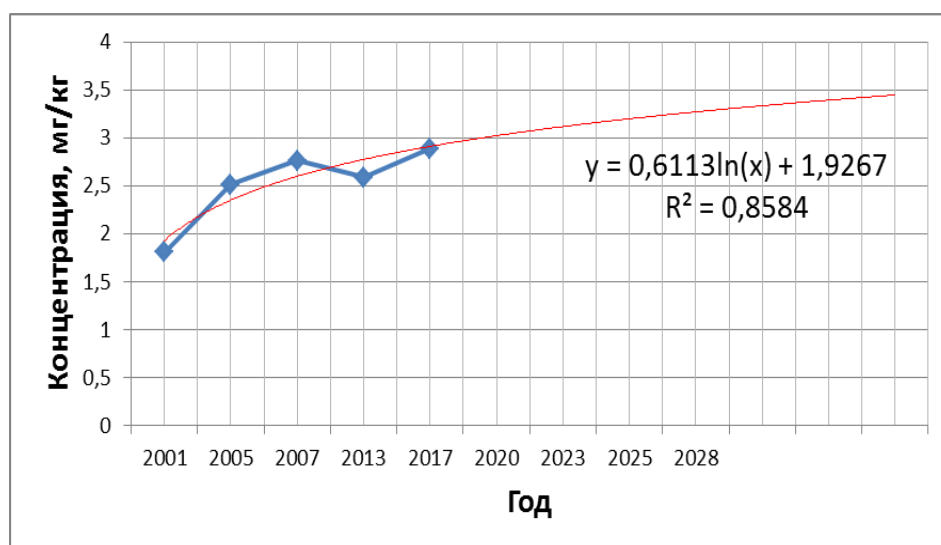


Рисунок 3.21 – Прогноз концентрации соединений ртути в почвах исследуемого района в восточном направлении

Прогноз содержания соединений ртути в почвах исследуемого района в южном направлении (расстояние 100 м) показывает (рис. 3.22) увеличение техногенного их загрязнения. Оно описывается полиномом третьей степени (формула 3.2) с коэффициентом детерминации, близким к единице – $R^2 = 0,9972$.

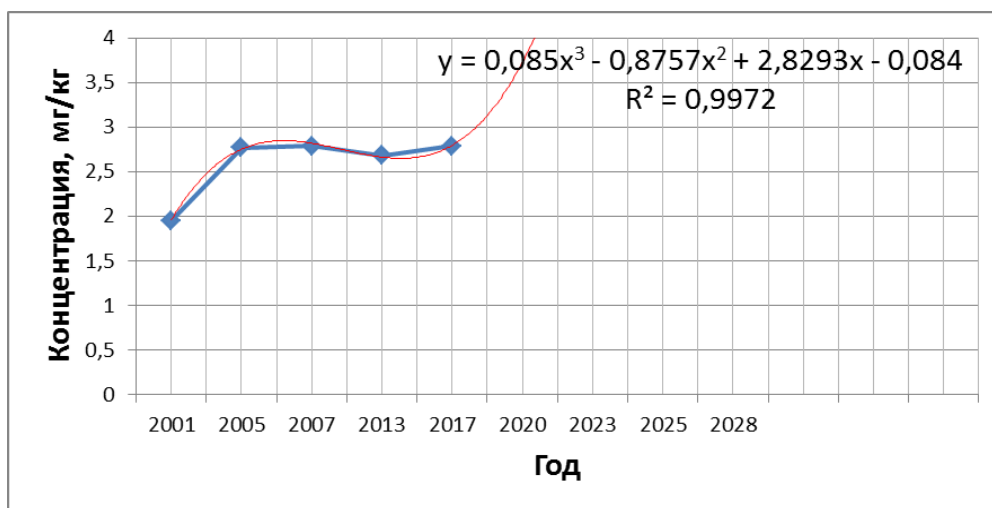


Рисунок 3.22 – Прогноз концентрации соединений ртути в почвах исследуемого района в южном направлении

$$y=0,085x^3-0,8757x^2+2,8293x-0,084 \quad (3.2)$$

Интересные результаты обследования почвенного покрова выявлены в селитебной зоне с. Бриакан, которые указывают на накопление в почвах соединений Zn, Pb и Cu (мг/кг): 32,26; 19,88 и 12,17, соответственно, (рис. 3.23 а, б).

Установлены сформированные локальные очаги высокого техногенного загрязнения почвенного покрова поселка соединениями тяжелых металлов, обусловленные особенностями физико-химических свойств почв (суглинки), местного рельефа и наличием сорбционного барьера. Обнаружен достаточно высокий суммарный показатель загрязнения подвижных форм тяжелых металлов исследуемой территории. Отмечаются высокие показатели суммарного загрязнения (табл. 3.16) в селитебной зоне.

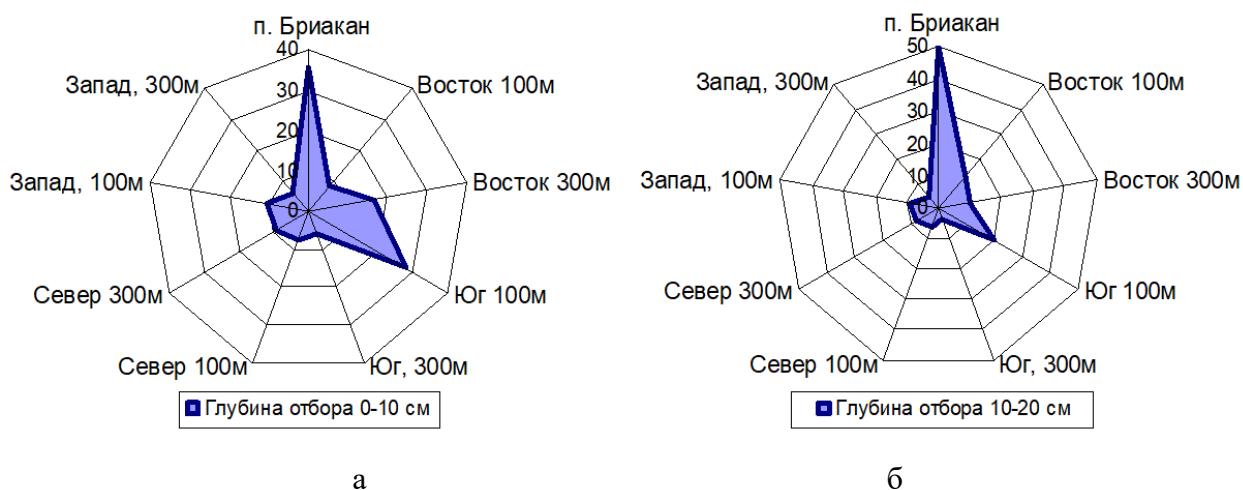


Рисунок 3.23 – Концентрация соединений Zn (подвижная форма) в почвогрунтах селитебной зоны, мг/кг

Итак, в селитебной зоне коэффициент концентрации (K_c) и суммарный показатель загрязнения (Z_c) исследованных почв, даже на расстоянии, например, 1,5 км от источника загрязнения, к сожалению, достигает больших величин, что не соответствует допустимой категории загрязнения.

Исходя из величин коэффициентов концентрации (K_c), рассчитанных для техногенных почв, представлена таблица 3.17, характеризующая геохимические ряды.

Таблица 3.17 – Геохимические ряды тяжелых металлов в техногенных почвогрунтах, отобранных на расстоянии 100 и 300 м от источника загрязнения (ШОУ)

Точка отбора	Геохимический ряд глубина 0-10 см	Геохимический ряд глубина 10-20 см
2016		
Центр	Hg>W>As>Pb>Cu>Sn>Zn>Zr	Hg>W>As> Sn>Cu>Pb>Zn>Zr
Север 100 м	Pb>Cu>Hg>W>Zn>Sn>As>Zr	Pb>Hg>Cu>W>Zn>Sn>As> Zr
Север 300 м	Hg>Pb>Cu>W>Zn>Zr>As>Sn	W>Hg>Pb>Cu>Zn>Zr>As>Sn
Восток 100 м	Hg>W>As>Zr>Cu>Zn>Sn >Pb	Hg>W>Cu>Zr>Pb>Zn>As>Sn
Восток 300 м	Hg>Cu>W>As>Pb>Zn>Zr>Sn	Cu>Hg>W>Pb>Sn>Zn>As>Zr
Юг 100 м	Hg>Cu>W>As>Pb>Zn >Zr>Sn	Sn>Hg>Cu>W>Pb>Zr>Zn>As
Юг 300 м	Hg>As>Sn>Zr>W>Zn>Cu>Pb	Sn>Cu>Pb>Zn>Hg>Zr>W>As
Запад 100 м	Hg>W>As>Pb>Zr>Sn>Zn>Cu	Sn>Pb>Hg>Cu>As>Zr>W>Zn
Запад 300 м	Hg>W>Sn>Cu>As>Zn>Pb>Zr	Hg>Sn>W>Cu>Zn>Zr>Pb>As

2017		
Центр	Hg>W>As>Pb>Cu>Sn>Zr>Zn	Hg>W>As>Cu>Sn>Pb>Zn>Zr
Север 100 м	Pb>Cu>Hg>Sn>Zn>W>Zr>As	Pb>Hg>Cu>Sn>Zn>W>Zr>As
Север 300 м	Hg>Pb>Cu>Zr>W>Sn>Zn>As	W>Zr>Cu>Sn>Hg>Pb>Zn>As
Восток 100 м	Hg>W>As>Cu>Zn>Sn>Pb>Zr	Hg>Sn>Cu>W>Zr>Pb>Zn>As
Восток 300 м	Hg>Cu>As>W>Zn>Sn>Zr>Pb	Cu>Hg>W>As>Zn>Pb>Sn>Zr
Юг 100 м	Hg>As>Cu>W>Zn>Sn>Zr>Pb	Cu>W>Hg>Sn>As>Zn>Zr>Pb
Юг 300 м	Hg>Cu>Sn>Zn>As>Zr>W>Pb	Sn>Cu>As>W>Zn>Zr>Hg>Pb
Запад 100 м	Hg>As>W>Zn>Cu>Sn>Pb>Zr	Hg>W>As>Sn>Cu>Zr>Zn>Pb
Запад 300 м	Hg> Cu>As>W>Sn> Zn>Pb>Zr	Hg>Sn>W>As>Cu>Zn>Pb>Zr
2018		
Центр	Hg>W>As>Pb>Cu>Zn>Zr>Sn	W>Hg>As>Cu>Pb>Zn>Zr>Sn
Север 100 м	Pb>As>Cu>W>Zn>Zr>Sn>Hg	Pb>Cu>As>Zn>W>Zr>Sn>Hg
Север 300 м	Hg>W>As>Cu>Pb>Zr>Sn>Zn	Hg>Cu>W>As>Pb>Zr>Zn>Sn
Восток 100 м	As>Cu>Zn>Pb>W>Sn>Zr>Hg	As>W>Cu>Zn>Pb>Zr>Sn>Hg
Восток 300 м	As>Cu>Zn>W>Pb>Sn>Zr>Hg	Hg>As>Pb>W>Zn>Cu>Zr> Sn
Юг 100 м	As>Cu>Hg>Pb>Zn>W>Sn>Zr	As>Cu>Pb>Zn>W>Zr>Sn>Hg
Юг 300 м	As>Cu>W>Zn>Pb>Zr>Sn>Hg	As>Cu>Pb>Zn>W>Sn>Zr>Hg
Запад 100 м	As>W>Pb>Sn>Zr>Zn>Cu>Hg	As>Pb>W>Cu>Zn>Zr>Sn>Hg
Запад 300 м	Hg>As>Sn>W>Zr>Pb>Zn>Cu	As>Hg>W>Sn>Zr>Pb>Zn>Cu

Данные таблицы 3.17 свидетельствуют о том, что наибольший вклад в загрязнение почвогрунтов вносят соединения Hg (33-89%), меньший – Sn (22 %).

Установлено, что в связи с угнетенным состоянием бактериального, комплекса, почвы в районе исследования, как компоненты биогеоценоза, находятся в состоянии глубокого биологического разрушения.

Полученные результаты исследований позволили в целом исследуемую горнопромышленную территорию в границах влияния ликвидированного горного предприятия «Кербинского прииска» разделить на три зоны:

1. Зона критического загрязнения характеризуется превышением допустимой нормы (ПДК) содержания соединений тяжелых металлов от 7 до 61 раз;
2. Зона среднего загрязнения отличается превышаем допустимой нормы (ПДК) количества подвижных форм соединений тяжелых металлов в 2-3,5 раза;
3. Зона удовлетворительного состояния почв характеризуется отсутствием превышений.

Как показали наши исследования, в первой и второй зонах техногенного воздействия происходит не только интенсивное загрязнение, но и деградация и разрушение как почвенного, так и растительного покрова. В связи с этим исследования данных спутниковых наблюдений Landsat 8 позволили определить вегетационные индексы NDVI, свидетельствующие о слабой степени восстановления лесной растительности (рис. 3.24) на исследуемой территории.

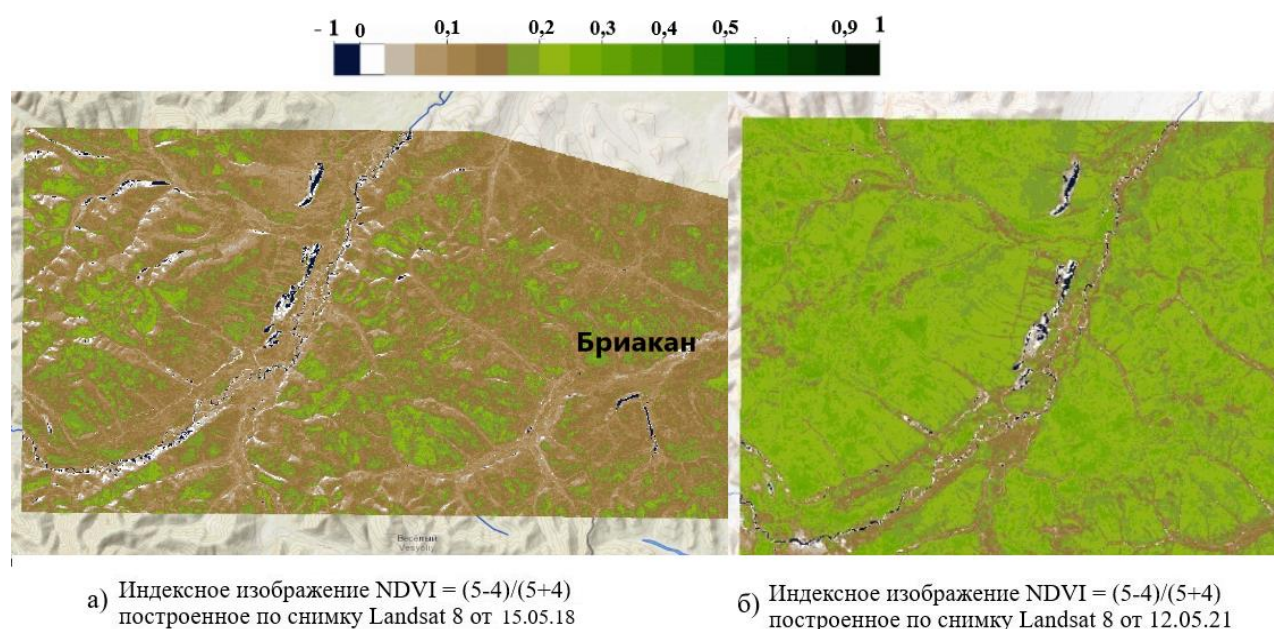


Рисунок 3.24 – Индексное изображение NDVI (а) по снимку Landsat 8 от 15.05.18; (б) по снимку Landsat 8 от 12.05.21

Результаты анализа космических снимков свидетельствуют о том, что за 30 лет существования природно-горнотехнической техногенной системы, сформированной в Кербинском золотороссыпном районе, происходит значительная деградация ландшафта. Ее площадь составляет более чем 450 км². Выявлено, что техногенно загрязненные участки поврежденного (угнетенного) леса, расположенного вблизи шлихообогатительной установки, увеличились от 3 до 6 и более раз. Суммарная площадь интенсивного техногенного загрязнения лесной территории в исследуемом районе составила более 200 км². В связи с

высоким уровнем техногенного загрязнения объектов окружающей среды возникает необходимость обеспечения экологической их безопасности. Особого внимания заслуживают лесные экосистемы. Поэтому в исследуемом районе были заложены площадки для изучения прироста фитомассы с применением инструмента научного анализа данных спутниковых наблюдений «Landsat 8» [86, 90].

Выполнены расчеты значения вегетационного индекса NDVI, величина которого определяется отражательной способностью листовой поверхности растений [275]. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормализованный относительный индекс растительности. Это простой количественный показатель величины фотосинтетически активной биомассы (обычно называемый вегетационным индексом). Расчет вегетационного индекса NDVI проводился автоматически в геоинформационной системе QGIS для площади спутникового снимка Landsat 8.

Используя методы автоматической обработки данных ДЗЗ (расчет вегетационного индекса NDVI в геоинформационной системе QGIS), основанные на яркостном анализе, были построены разновременные «индексные» изображения NDVI, по которым анализировалось состояние ландшафтов.

Согласно формуле (2.3), плотность растительности (NDVI) в определенной точке изображения равна разнице интенсивностей отраженного света в красном и инфракрасном диапазоне, деленной на сумму их интенсивностей. В геопривязанных точках с определенным уровнем загрязнения были определены индексы NDVI. Из литературных источников известно, что густой растительности соответствует значение индекса NDVI – 0,7, разреженной растительности – 0,5 и ниже. Результаты наших исследований показали, что на техногенно загрязненной поверхности вблизи шлихообогатительной установки величина NDVI составила от 0,034 до 0,063. Это сильно токсичный район, относящийся к I категории экологических рисков. Полученные данные позволяет ранжировать исследуемую территорию по уровню сохранившегося здорового растительного покрова здесь

(по величине NDVI). На исследуемой поверхности фрагментарно встречаются однолетние травянистые растения (6-12%) [86,90].

Проведенные исследования позволили сделать предварительный вывод о том, что восстановление лесной растительности на техногенно загрязненной земной поверхности происходит очень слабо и находится на самых ранних стадиях зарастания.

Проведенные исследования согласуется с литературными данными [286] и подтверждают, что растительность является универсальным интегрирующим показателем состояния экосистем. Несомненно, высокая токсичность отходов способствует созданию потенциальной опасности не только для почв, но и для растений и человека. Установлено, что концентрация соединений тяжелых металлов в почвах в ряду Pb, Zn, Mn, Cu, As, Hg, Cd уменьшается (рис. 3.25, а). Их самые высокие концентрации обнаружены в растительности вблизи источника загрязнения (шлихообоганительной установки), на расстоянии от 0,1-0,3 км до 7 км. Здесь выявлено значительное накопление соединений Hg, Cu, As, Zn и др. токсичных загрязняющих веществ (рис.3.25, б), превышающих фоновые показатели и ПДК от 1,3 до 3-9 раз.

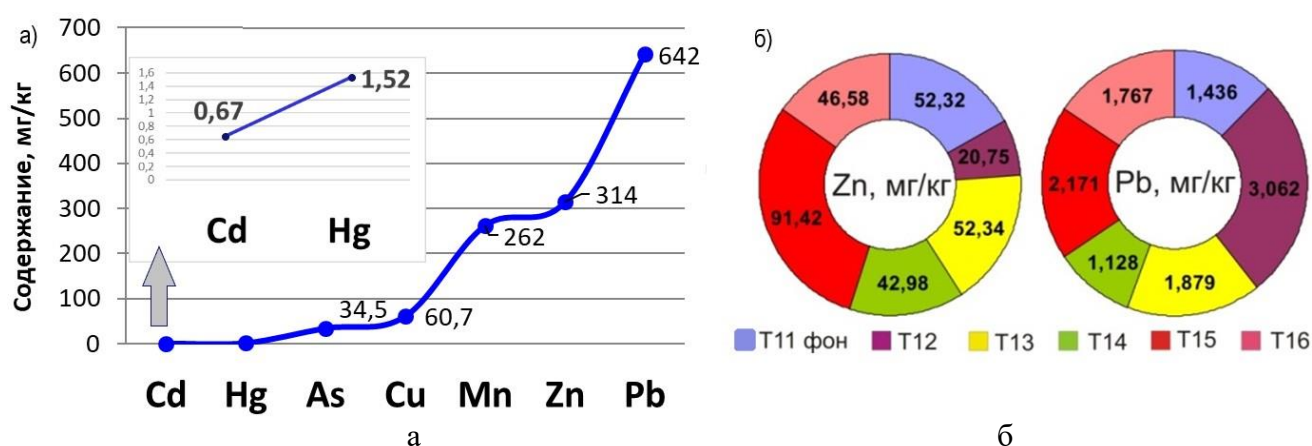


Рисунок 3.25 а, б – Токсичные соединения тяжелых металлов разной степени концентрации в почвах (а, валовые формы) и растительности (б) в различных точках отбора образцов (повышенной, средней и низкой концентрации)

Полученные данные показывают связь между свойствами растительных сообществ и уровнем техногенного воздействия на почвы, который оценен по

содержанию соединений тяжелых металлов в почве и тест-системам «Стерильность пыльцы» и «Ростовой тест».

В осенне-летний период исследования были идентифицированы виды растений, а также их распределение по группам и определена степень их угнетенности. Они распределены по таксонам: местные – аборигены, сорно-луговая растительность и рудеральные виды. Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что в видовом составе растительного сообщества количество местных видов уменьшается с увеличением степени техногенной нагрузки, а рудеральных возрастает. Эти виды растений были выбраны в числе других для дальнейшего изучения процессов миграции в системе отходы → снежный покров → почвогрунты → растительность → водные объекты → донные отложения → человек. Для этой цели проведены исследования характеристик условно чистой почвы, отобранной для проведения эксперимента в лабораторных и полевых условиях (тест-система «Ростовой тест»). Выявлено повышенное количество следующих соединений в растениях, произрастающих вблизи источника загрязнения: Zn, Hg, As, Mn, на расстоянии до 7-8 км. Здесь в растениях содержание соединений тяжелых металлов достигает аномальных величин.

Исследования выявили значительную аккумуляцию цинка в растительности западного направления. Максимальные концентрации отмечены у полыни обыкновенной (*Artemisia vulgaris* L.), где содержание Zn превышает 80 мг/кг. Высокие показатели также характерны для кукушкина льна обыкновенного (*Polytrichum commune* L.), накапливающего 52,5 мг/кг данного иона в западном и северо-восточном направлениях. Они обусловлены значительным превышением содержания валовых и подвижных форм соединений тяжелых металлов в техногенных почвах. Цинк мигрирует в северном направлении. Согласно полученным данным, содержание свинца (Pb) в растениях существенно превышает критический уровень (10 мг/кг) и составляет: 41,1 мг/кг – в малине обыкновенной, 34,7 мг/кг – в полыни обыкновенной, 20,5 мг/кг – в лишайнике, 17,2 мг/кг – в пижме северной и 15,3 мг/кг – в багульнике болотном (рис. 3.26).

Ионы As превышают фоновые значения, имея следующие показатели: в полыни обыкновенной – 2,93 мг/кг; кукушкином льне – 1,64 мг/кг и мхе – 1,16 мг/кг, мигрируя в восточном и западном направлениях.

Установлено, что береза плосколистная и хвощ лесной характеризуются минимальной способностью к аккумуляции As, соответственно: 0,16 и 0,14 мг/кг.

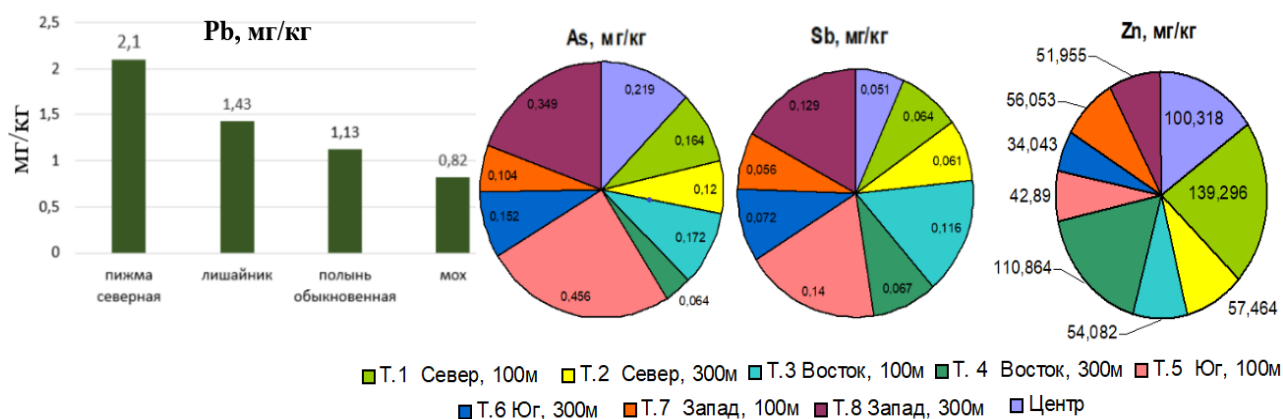


Рисунок 3.26 – Содержание растительности Кербинского золотороссышного района соединений тяжелых металлов, мг /кг

Различные виды растений обладают разной способностью, а также неодинаково накапливают загрязняющие вещества разные части растений. Установлено, что в листьях происходит накопление биофильных элементов: Zn, Cu, Mn и др., а в корнях накапливаются соединения Hg, Pb, Sn, As, W и др. (рис. 3.26). Наши данные свидетельствуют о накоплении в корнях поллютантов (например, Hg) во всех точках исследования: в центре шлихообогадательной установки, восточном, южном, северном и западном направлениях. Обнаружена аккумуляция соединений тяжелых металлов в листьях растений, приуроченных к западной точке.

Повышенное содержание тяжелых металлов в растительности отмечается в точках «север 100 м» и «север 300 м», что очевидно связано со значительным превышением валового содержания и подвижных форм в почвах. Напротив, низкое накопление металлов растениями южного направления («юг 100 м», «юг 300 м») вероятно обусловлено низкой биодоступностью, возможно, объясняется

тем, что их подвижные формы находятся в связанном состоянии и недоступны для растений, что подтверждается невысоким их содержанием.

Таким образом, разные виды растений проявляют селективность (избирательную способность) к аккумуляции соединений тяжёлых металлов даже в идентичных условиях внешней среды.

В значительном количестве растения аккумулируют ртуть. Для растений определено нормальное содержание Hg в пределах 0,005-0,01 мг/кг. Однако в растениях, произрастающих в границах влияния рассматриваемого объекта, обнаружено превышение токсичной её концентрации от 2 до 10 и более раз. Так, максимальная концентрация Hg выявлена у (мг/кг): пижмы северной – 2,1, лишайника – 1,43, полыни обыкновенной – 1,13, мха – 0,82 (рис. 3.27 а, б).

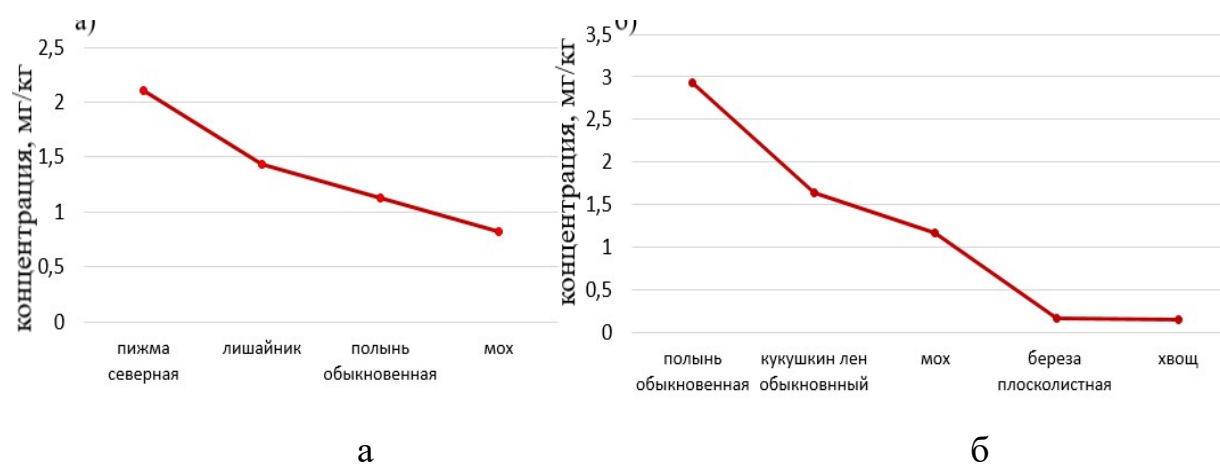


Рисунок 3.27 а,б – Соединения Hg (а) и As (б) по видам растительности

Расчет коэффициента биологического поглощения (КБП) для растений показывает зависимость содержания соединений тяжелых металлов от наличия подвижных форм в почвенном растворе. Так, для валовой формы $КБП_{Zn}$ составляет от 0,21 до 1,95, в то время как для подвижной формы он равен от 1,79 до 14,61 (табл. 3.18).

Таблица 3.18 – Коэффициенты биологического накопления соединений тяжелых металлов в растениях

Тяжелый металл	КБП (валовая форма)	КБП (подвижная форма)
Hg	0,19-8,10	Не определялось
Cu	0,11-0,58	0,25-4,91
Zn	0,21-1,95	1,79-14,61
Pb	0,02-0,55	0,03-1,78
Mn	0,18-2,15	3,14-26,66
Ni	0,21-0,68	0,68-8,10
As	0,006-0,05	Не определялось
W	0,02-1,65	- « -
Sn	0,04-0,43	- « -
Zr	0,01-0,38	- « -

Расчёт значений КБП по разным видам растений позволил распределить виды растения от слабых захватчиков соединений тяжелых металлов до энергичных накопителей (табл. 3.19).

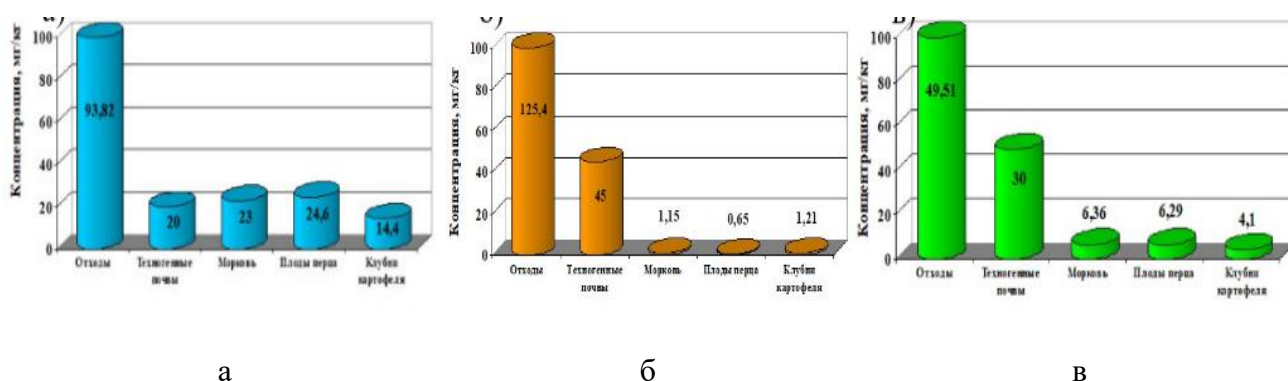
Таблица 3.19 – Дифференциации соединений тяжелых металлов по значениям коэффициента биологического накопления растениями в границах Кербинского золотороссыпного района

Название растения	Элементы биологического накопления			Элементы биологического захвата
	Энергичного накопления 100-10	Сильного накопления 10-1	Слабого накопления и среднего захвата 1-0,1	Слабого захвата 0,1-0,01
Полынь обыкновенная (<i>Artemisia vulgaris</i> L.)		As, Cd, Cu, Zn, Pb,	Hg, Sn	
Пижма северная (<i>Tanacetum vulgare</i>)		Cu, Pb,	Hg, Zn,	
Лишайник Уснея (<i>Usnea</i>)	Cu	Zn,, Cd, Pb,	As	Hg, Sn
Кукушкин лен (<i>Polytrichum</i>)		Pb, Cu, Zn, As	Sn	Hg,
Лиственница Даурская (<i>Larix dahurica</i>)	As	Zn , Cu,	Pb	Hg, Sn
Малина сахалинская (<i>Rubus matsumuranus</i>)	Cu	Zn, As, Cd	Pb	Hg
Плаун булавовидный (<i>Lycopodium clavatum</i>)		Cu,	As, Zn, Pb,	Hg
Береза плосколистная (<i>Betula platyphylla</i>)		Zn	Cu	Pb, Sn,
Ольха пушистая (<i>Alnus hirsuta</i>)		Cu, Zn, As, Cd	Pb	Hg, Sn
Багульник болотный (<i>Rhododendron tomentosum</i>)		Zn, Pb, As, Cd, Cu, Hg,		Sn,

В исследуемом районе в радиусе до 12 км от источника загрязнения установлено накопление тяжёлых металлов в компонентах биоты. Их содержание превышает фоновые уровни в 3-9 раз, а вблизи источника (0,2-0,3 км) достигает значений выше ПДК. Загрязнители аккумулируются как в растениях (хвое, листьях деревьев и кустарников), так и в подземных (корнях), а также в грибах и мхах. На расстоянии свыше 14 км воздействие уменьшается.

В исследуемом районе выявлено накопление соединений тяжелых металлов, превышающее фоновое содержание от 3-6 до 8-9 раз, а ПДК в радиусе от 0,2-0,3 км и более - до 12 км от источника загрязнения. Они установлены в надземных частях растений: хвое, листьях деревьев, кустарниках, грибах, мхах и подземных органах - корнях растений, произрастающих в техногенно-загрязненных условиях. С удалением на расстояние до 14 км оно уменьшается.

Расположение шлихообогатительной установки в п. Бриакан района им. П. Осипенко определяет опасность миграции и аккумуляции соединений тяжелых металлов в почвах селитебной территории и сельскохозяйственной продукции. Результаты экспериментальных исследований, представленные на рисунке (рис. 3.28 а, б, в), свидетельствуют о миграции соединений тяжелых металлов Hg, Zn, Cu, Pb и др. по цепи: отходы → техногенные почвы → сельхозпродукция.



Примечание: ПДК для свежих овощей, картофеля, фруктов, ягод, грибов: для: меди – 5; цинка 10; свинца 0,5

Рисунок 3.28 а, б, в – Миграция соединений Zn (а), Pb (б), Cu (в) из отходов в почвы и сельхозпродукцию

В условиях техногенного загрязнения в овощах, собранных с дачных участков жителей с. Бриакан, обнаружены соединения тяжелых металлов. Изучение сельскохозяйственной продукции, произрастающей на техногенно-загрязненных соединениями тяжелых металлов почвах, позволило выявить, что ботва картофеля и перца аккумулирует значительно больше загрязняющих веществ, чем плоды и клубни. По картофелю превышение ПДК для свежих овощей составляет от 1,2 до 2,4 раза. Опасение вызывает накопление (превышено в 10 раз) в сельскохозяйственной продукции соединениями As.

3.5 Оценка загрязнения поверхностных вод в границах влияния отходов переработки ликвидированного горного предприятия «Кербинский прииск»

Информативно фиксируют эколого-геохимическую обстановку водные объекты и донные отложения. За столетний период поймы многих долин россыпной золотодобычи в районе исследования практически полностью изменены. Разновозрастные дражные и гидравлические полигоны, и отвалы изменили первоначальный облик [287-289]. На качестве природной среды и состоянии водных экосистем отрицательно сказывается изменение объектов окружающей среды. Снижаются фильтрационные свойства в русловых отложениях, происходит коагуляция илистых частиц, ухудшается качество подземных вод. Нерестилища разрушаются не только на притоках, но и на самих реках: Бриакан, Семитка, Керби и др. С дальнейшей миграцией и аккумуляцией в донных осадках и биоте загрязняющих веществ (As, Zn, Cu, Pb, Cd, Co, Sb и др.) ухудшается качество воды в водных объектах.

Химический состав поверхностных вод в районах золотороссыпных месторождений формируется под влиянием двух основных факторов: элементного состава самих руд и стоков от золотороссыпного производства. Значительную часть поступающих техногенных загрязнителей аккумулируют почвы и донные отложения.

Изучение поверхностных вод рек: Керби, Бриакан, Семитка и др. (рис. 3.29) позволило установить превышение, по сравнению с ПДК_{рыб-хоз} водных объектов, концентраций взвешенных веществ, сульфатов Cu , Fe , Zn , Mn , (табл. 3.19).

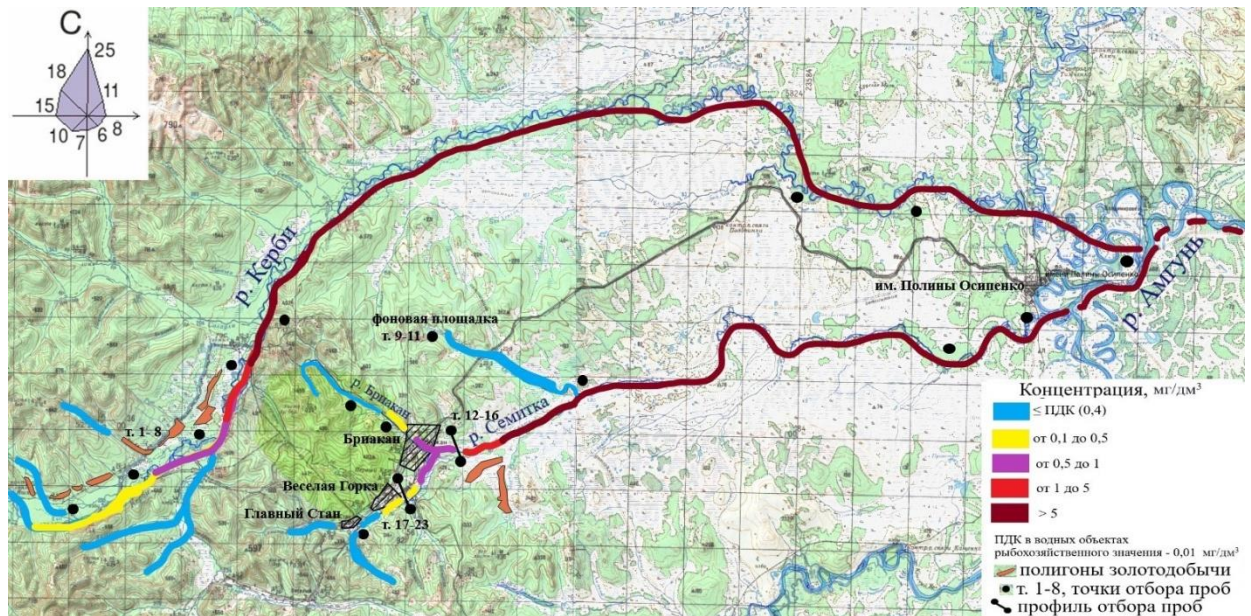


Рисунок 3.29 – Картографическая модель миграции соединений тяжелых металлов в водной среде р. Керби

Загрязнение поверхностных вод суммируется неорганизованным сбросом с территорий гидравлических полигонов по долинам рек объекта. В них обнаружено значительное превышение ПДК рыбохозяйственного водопользования в поверхностных стоках по взвешенным веществам, соединениям тяжелых металлов. Выявлено, что в поверхностные водные объекты ежегодно поступает большое количество загрязняющих веществ. Поверхностные водотоки и грунтовые воды в районе исследования загрязнены токсичными соединениями тяжелых металлов (Hg , Zn , As , Cu , Pb , Fe , Ni , Co , Mn и др.), содержание которых превышает фоновые показатели от 1,5 до 19 раз. Превышение содержания соединений ртути значительно выше и в нижнем течении р. Керби, по сравнению с ПДК_{рыб-хоз}, и составляет сотни раз. В водах р. Бриакан содержание соединений тяжелых металлов в 2,4 раза выше фоновых величин (для растворимых форм) и 1,7 (для взвешенных форм). (рис. 3.29). Как

показали наши исследования, ниже горняцких поселков Керби и Бриакан, оно, как правило, резко ухудшается.

Таблица 3.19 – Результаты химического анализа соединений ртути в гидрохимических пробах из ручьев, колодцев и сточных вод

№	Точка отбора образцов	Описание	Концентрация, мкг/л	
			в растворе	во взвеси
2	Т. 3а	отстойник, т.3 а на восток ШОУ – 44 м	1.56	2.48
3	Т. 4	отстойник, т.4 на восток 100 м.	3.36	1.60
4	Т. 2а	колодец, т. 2а на север от ШОУ 100 м	1.58	2.74
5	Т. 10	колодец, на запад от ШОУ 100 м	0.56	1.66
6	Т. 5	ручей, т. 5 на юг от ШОУ 63 м	0.38	0.82
7	Т. 11	ручей, Старое ШОУ 26 м	0.32	0.54
8	Т. 12	ручей, Старое ШОУ от центра С-3 60 м	0.74	0.50
9	Т. 13	река Бриакан	0.52	0.40
10	Т. 14	отвалы 15 лет. Ручей по азимуту 110 град	0.56	0.56
11	Т. 15	отвалы 15 лет. Отстойник по азимуту 270 град.	1.20	0.40
12		Фон	0.66	0.72
16	Т. 2	Пр.2. т.2	0.96	1.12
17	Т. 3	Пр.2. т. 3	0.46	0.96
18	Т. 4	Пр.2. т. 4	1.12	0.60
19	Т. 2	Пр. 3. Т. 2.	0.94	0.52
20	Т. 4	Пр. 3. Т. 4	0.68	0.96
21	Т.16	Пр. 3. Т. 6	0.84	1.00
23	Т. 17	С 100м от ШОУ	1.40	0.64
24	Т. 18	С 300 м от ШОУ	0,55	0,72
25	Т.19	ЦЕНТР ШОУ	Более 3.6	0.55
26	Т. 20	В 100м. от ШОУ	0.75	0.92
27	Т. 21	В 300 м от ШОУ	0,55	0,72
28	Т. 22	З 100 м от ШОУ	0,64	0,69
29	Т. 23	З 300 м от ШОУ	0,63	0,68
30	Т. 24	Ю 100 м от ШОУ	0,67	0,71
31	Т. 25	Ю 300 м от ШОУ	0, 56	0,59

Примечание: ШОУ – шлихообогатительная установка

Суммируя данные по точкам отбора проб и использование математического аппарата позволило установить, что концентрация в воде соединений ртути в среднем течении р. Керби значительно выше, чем в верхнем ее течении и ниже, чем в низовьях (рис. 3.30). Полученная закономерность описывается функцией (формула 3.3) с коэффициентом детерминации – $R^2 = 0,9390$.

$$y=0,386x+0,2473 \quad (3.3)$$

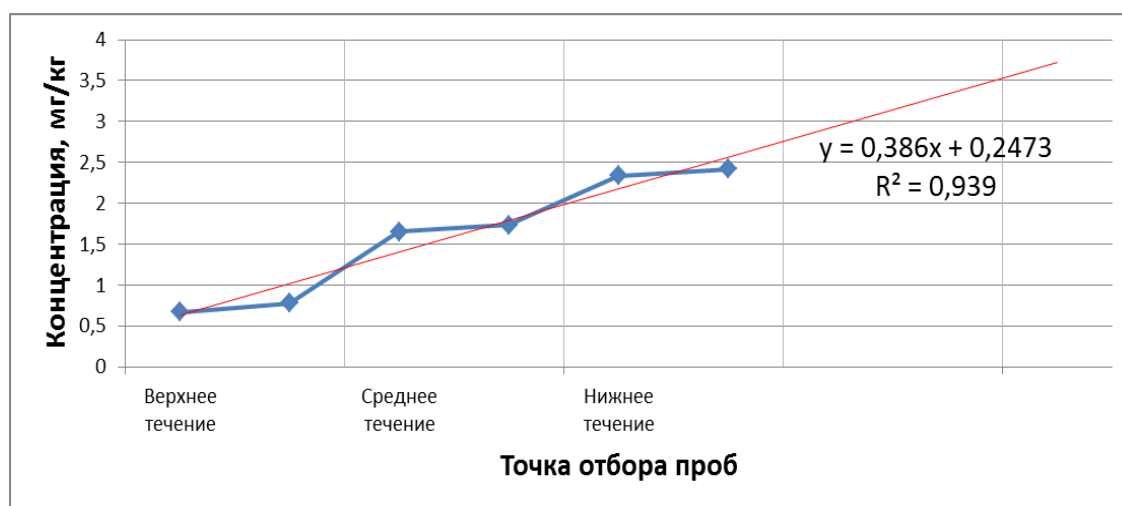


Рисунок 3.30 – Концентрации соединений ртути в водах верхнего, среднего и нижнего течения р. Керби исследуемого района

Повышение концентрации соединений ртути в воде р. Керби свидетельствует о том, что поверхностные воды, например, дренирующие исследуемый район, отражают в общих чертах химический состав отходов осваиваемого золотороссыпного месторождения.

Содержание соединений тяжелых металлов вблизи источника загрязнения (ШОУ, на расстоянии от 0,1 до 1,5 км) в с. Бриакан (табл. 3.20) превышает фоновые значения от 1,4 до 3,5 раз. Нормы качества воды, используемой для централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения [293] приведены для сравнения в таблице 3.21.

Таблица 3.20 – Содержание соединений тяжелых металлов в колодезной воде р. Бриакан, мг/л

Содержание токсичных химических элементов, мг/л				
Fe	Pb	As	Cu	Zn
64	0,59	0,98	5,99	6,23

Согласно действующим нормативам качества воды (табл. 3.21), в колодезной воде зафиксировано превышение предельно допустимых концентраций по ряду элементов: содержание железа (Fe), свинца (Pb), меди (Cu) и мышьяка (As) варьируется от 1,2 (для цинка, Zn) до 19 (для As) ПДК.

Таблица 3.21 – Нормы качества воды, используемой для централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения

Показатели	Нормативный показатель
Содержание, мг/л:	
Pb	Не более 0,1
As	» » 0,05
Cu	» » 3,0
Zn	» » 5,0

Качество в зоне влияния отходов золотодобычи воды определяется преимущественно техногенными факторами. Удовлетворительное состояние сохраняется лишь в верховьях рек Керби и Семитка. Ниже расположения горняцких поселков качество воды резко падает. Можно заключить, что химический состав поверхностных вод в данном районе в целом соответствует составу отходов переработки золотороссыпных месторождений.

3.6 Загрязнение донных отложений соединениями токсичных тяжелых металлов в границах влияния отходов россыпной золотодобычи

Разные авторы утверждают [294-297], что донные осадки принимают на себя до 70% общих техногенных нагрузок. Так как район техногенной системы существует более 100 лет, то они являются наиболее загрязненными компонентами водных экосистем и аккумулируют все виды загрязняющих веществ ниже по течению, поступающих с речным стоком, атмосферными осадками, отмершими растительными и животными организмами, а также с техногенными материалами горнодобывающей промышленности.

Источником вторичного загрязнения водных масс из донных отложений района могут стать обнаруженные токсичные соединения Zn, Cu, Pb, Cd, As, Sb, S и др. водных масс, при определенных условиях, приводящих к изменению состава и свойств воды, гидродинамической обстановки, и других факторов.

Кроме того, донные отложения являются средой обитания многочисленных классов бентофауны. К изменению их видового состава и нарушению трофической цепи биоценоза может привести накопление в них токсичных загрязняющих веществ. Донные отложения, аккумулируя токсичные химические элементы, являются индикатором экологического состояния окружающей среды, своеобразным интегральным показателем ее уровня загрязненности [295].

Установлены высокие концентрации соединений тяжелых металлов в донных осадках р. Бриакан (мг/кг): Mn – 656, Zn – 159, Cu – 124, Pb – 121, As – 7 и Cd – 4, максимальные значения в пробах фиксировались в водных объектах (от 0,1-0,3 км до 7 км) вблизи расположения шлихообогатительной установки (ШОУ). Это позволяет оценить состояние донных осадков по степени: очень опасное по содержанию Mn, Zn и Cu, опасное – Pb и As, умеренно опасное – Cd. Выявлено превышение концентрации: Mn, Zn, Cu, Pb, As, Cd по сравнению с фоновыми величинами в диапазоне от 1,4 до 18 и более раз.

3.7 Биоиндикация техногенного загрязнения почв и растительности

Учитывая специфические особенности взаимодействия техно- и биосферы при освоении недр, в процессе поиска методов оценки изменения биотических сообществ необходимо руководствоваться законами существования и развития не измененных техногенным воздействием экосистем.

Техногенное воздействие процессов освоения золотороссыпных месторождений на почвы и растительность и в целом на все экосистемы в границах влияния техногенной системы Кербинского золотороссыпного района представлено на рисунке 3.31.

Состояние техногенных экосистем нами предлагается оценивать по комплексу признаков природных систем (рис. 3.32).

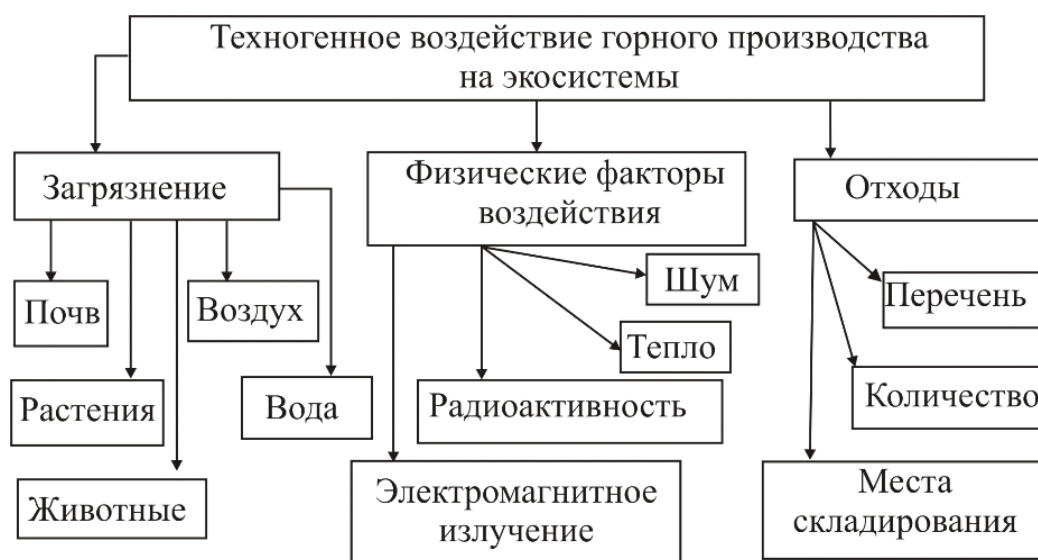


Рисунок 3.31 – Техногенное воздействие золотодобычи на экосистемы

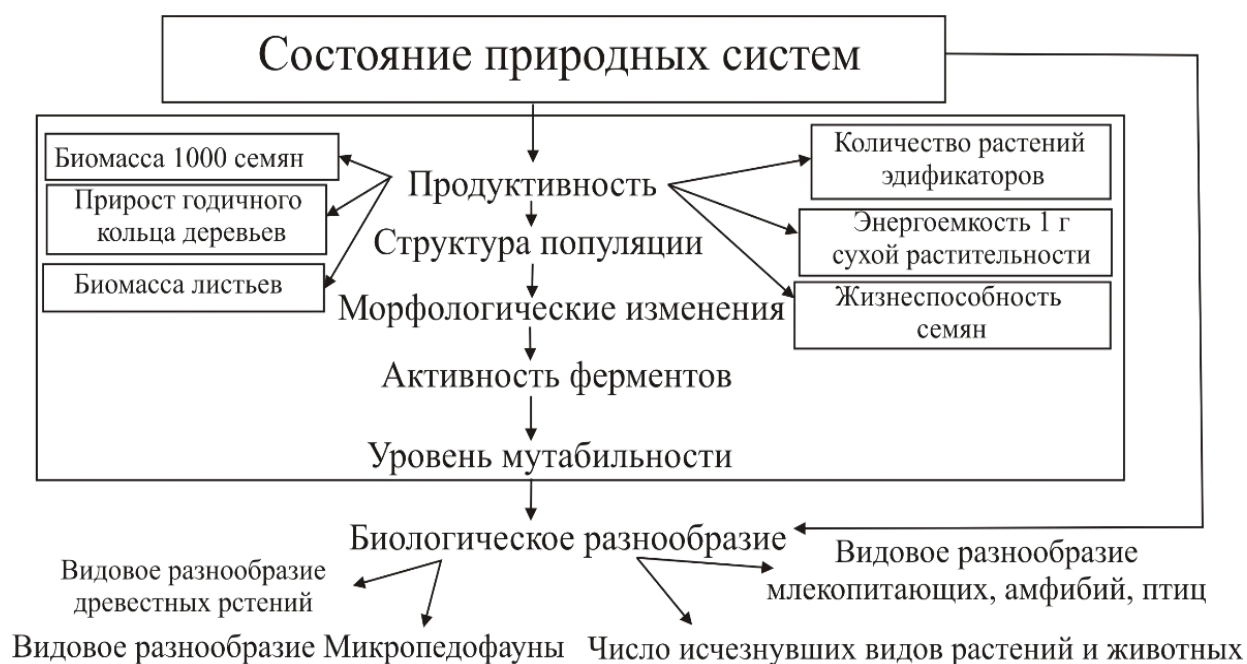


Рисунок 3.32 – Показатели геоэкологического состояния природных систем

Важнейшим показателем состояния природных систем является биоразнообразие [135, 136]. Видовое разнообразие экосистемы определяется главным образом наличием многочисленных редких видов. Соотношение между числом видов и показателями «значительности» называется показателем видового разнообразия. Обычно биоразнообразие невелико в техногенных экосистемах и велико – в природных системах, «контролируемых»

естественными экологическими факторами. Разнообразие связано непосредственно с устойчивостью. Однако пока не установлено, до какой степени эта связь является причинно-следственной. Считается, что чем выше биологическое разнообразие экосистемы, тем они устойчивее [156, 157].

Из множества показателей, характеризующих продукционный процесс, наиболее важным являются прирост годичного кольца древесного растения – биоиндикатора, биомасса листьев таких видов растительности, которые определяют структуру фитоценоза. С точки зрения автора определен показатель биомассы равный 1000 семян с учетом их жизнедеятельности. В техногенных экосистемах показатели биоразнообразия и биопродуктивности, как правило, значительно снижены.

Все многообразие биотических связей было описано с помощью фундаментальной модели потока энергии от производителей к потребителям и деструкторы (рис. 3.33).

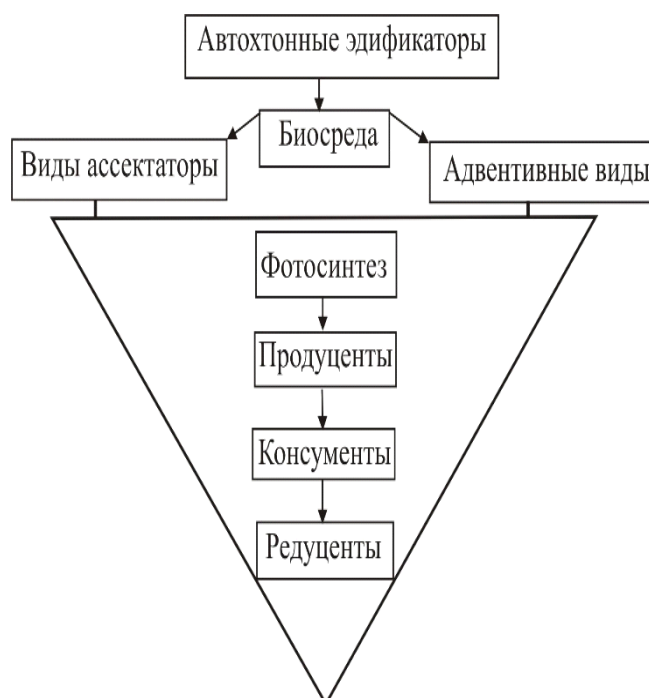


Рисунок 3.33 – Взаимодействие элементов природных систем

Несомненно, растительное сообщество состоит из большого количества видов. Трудно и практически невозможно изучить последствия техногенного воздействия горного производства на каждой из них. В связи с этим стоит

следовать методическим подходам академика Ю.А. Израэля [135, 136, 298], предлагающим описывать биоту через ее «критическое звено», которое может быть группой видов и даже одним видом. В таком случае, согласно взглядам В.Н. Сукачева [299] о фитоценотипах: структура, видовой состав, направление циклической сукцессии фитоценозов, предопределяются их эдификаторной синузией, в состав которой даже в самых сложных растительных сообществах входит ограниченное количество видов.

В условиях техногенного воздействия на экосистему сохранение жизнеспособности этой группы растений обеспечит перспективу самовосстановления исходного биогеоценоза при прекращении этого воздействия, если исчезнут виды – ассектаторы. Поражение видов – эдификаторов способствует необратимой деградации биоценоза, изменению его структуры и продуктивности. Материалы, полученные нами с помощью биологических методов, дают возможность систематизировать их и предложить предварительный вариант – метода оценки негативного влияния отходов золотодобычи на компоненты природной среды.

Использование в ходе исследований геомикробиологического метода, предусматривающего оценку техногенного загрязнения экосистем на основе изучения некоторых микроорганизмов. Зафиксирована низкая биогенность почвогрунтов в границах влияния золотороссыпных отходов. Например, применяя шкалу Д.Г. Звягинцева [139], численность сапрофитов – редуцентов (на среде РПА) колебалась от 5700 до 9000 тыс. микробов на 1 г. субстрата, что позволяет отнести таковые к очень бедным. Установлено, что бактериальный комплекс находится в угнетенном состоянии. Это свидетельствует о его низкой активности в границах влияния отходов горного производства. Анализ микробиологических показателей почв в районе ШОУ свидетельствует о существенных нарушениях в структуре и функционировании микробных сообществ. Таким образом, данные почвы как компоненты биогеоценоза пребывают в состоянии глубокой биологической деградации (рис. 3.34). В оценке состояния и прогноза изменения почв, растительности, как и всей

окружающей среды, под воздействием отходов переработки золотороссыпных месторождений большое значение имеет морфолого-анатомический метод. Его сутью является изучение морфологических изменений во внешнем облике растений: окраске листьев, характере опушения, изменении размеров видов или их органов и другие отклонения. Устойчивость (толерантность) растительных организмов к техногенному загрязнению возрастает в следующей последовательности: грибы → лишайники → травянистые растения → хвойные деревья → листопадные деревья

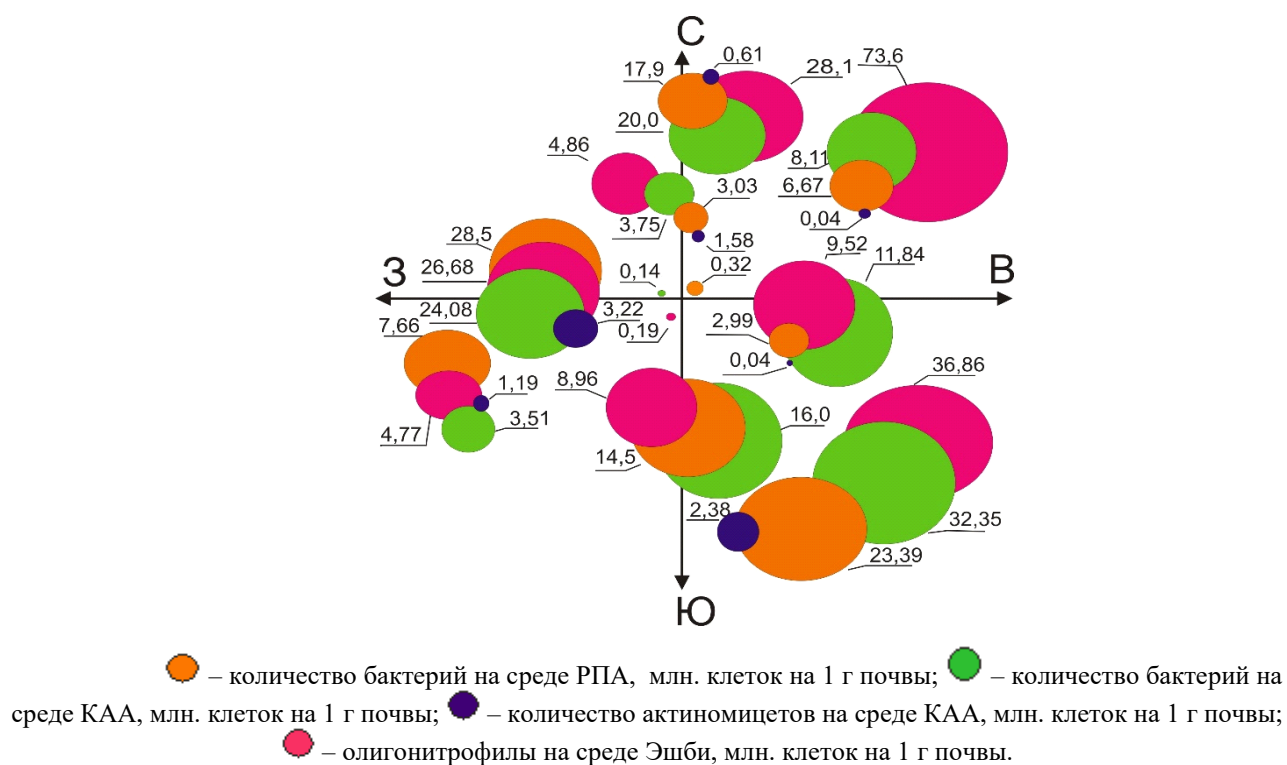


Рисунок 3.34 - Микрофлора почв в зоне влияния золотодобывающего предприятия Кербинского прииска (радиальный отбор)

Лишайники (кладония, уснея, ягель и др.) отличаются высокой чувствительностью к техногенному загрязнению (табл. 3.22). Изучение лишенофлоры выявило устойчивую закономерность: с ростом уровня загрязнения сокращается видовое разнообразие лишайников и уменьшается площадь их покрытия на стволах деревьев и прочих субстратах. Учёт видов на пробных площадках территории горнопромышленного освоения показывает

деградацию лишайникового покрова, а на отдельных участках – его полное исчезновение вследствие масштабного загрязнения.

Таблица 3.22 – Встречаемость лишайников в районе влияния отходов Кербинского золотороссыпного района

Зона загрязнения	Оценка встречаемости лишайников	Оценка загрязнения
1 (центр, ШОУ)	Лишайники отсутствуют	Сильное
1 (100-300 м от центра на северо-восток)	Лишайники не встречаются	Довольно сильное
2 (от 4 км от центра на северо-запад до 8 км)	Появление очень редко на стволах накипных лишайников	Среднее
3 (от 9 км от центра, на запад до 22-28 км)	Довольно редкое распространение лишайников в западном направлении	Слабое
Фон (более 50 км)	Лишайники на деревьях	Нет загрязнения

Основополагающее место в исследованиях состояния и прогноза развития популяции занимает генетический подход [108, 162, 251] и, прежде всего, определение уровня мутабельности в популяциях биоиндикаторов. Хорошие результаты дает биотестирование. Растения выращивали на субстратах, отобранных на разных расстояниях от отвалов ШОУ, с поливом сточными водами горного предприятия. В качестве тест-объектов использовались пшеница, горчица и овес. Согласно результатам статистической обработки, энергия прорастания семян при поливе водой из отстойника ШОУ составила лишь 9% по сравнению с контролем, принятым за 100%.

Стрессовые условия (техногенное загрязнение) в первую очередь угнетают репродуктивную систему растений и сокращают их жизненный цикл. Одним из ключевых проявлений этого негативного влияния является стерильность пыльцы, всхожесть и рост.

Воздействие техногенных факторов по-разному воспринимается различными организмами, но общий механизм их негативного влияния начинается на клеточном уровне. Это воздействие проявляется в виде нарушений обмена веществ, повреждения структур клеток и тканей, сбоя физиологических процессов, что, в конечном счете, ведет к морфологическим

изменениям в популяциях. В связи с этим, наиболее информативными для мониторинга подобных эффектов оказались цитологические и цитогенетические тест-системы. Среди них особую практическую ценность имеют методы экспресс-диагностики, такие как оценка стерильности пыльцы растений-биоиндикаторов и ростовой тест [108, 162, 251].

Проведенные исследования позволили установить следующее:

- 1) техногенное загрязнение приводит к значительному увеличению доли стерильной пыльцы у растений – до 23% и выше против 0,3-0,5% на чистых (контрольных) участках (табл. 3.23);
- 2) реакция растений на загрязнение имеет пороговый характер. В зоне с наиболее интенсивным воздействием фиксируется резкое увеличение стерильности пыльцы и повышенная изменчивость морфологических признаков. Эти изменения являются первым визуально регистрируемым откликом популяции на техногенный стресс.

Таблица 3.23 – Биоиндикация экологической напряженности по стерильности пыльцы растений (ромашка аптечная) – биоиндикаторов в техногенной системе

Зона влияния отходов переработки золотороссыпных месторождений	Количество клеток	Расстояние, км	Номер зоны техногенного влияния	C, %
Кербинский прииск	500	3	1	$25,9 \pm 0,49$
	500	7	2	$9,6 \pm 0,76$
	500	19	3	$4,0 \pm 0,27$
Контроль				$0,3 \pm 0,19$

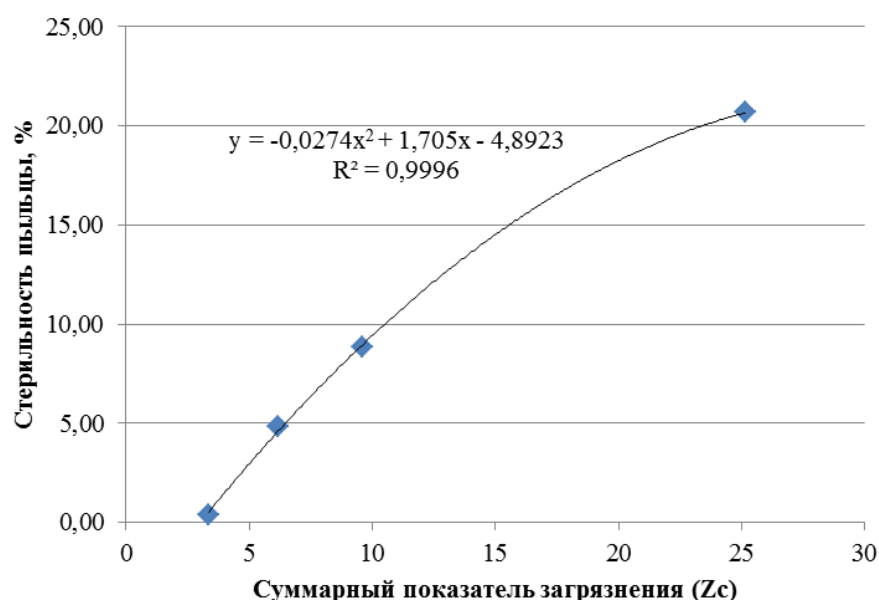


Рисунок 3.35 – Зависимость уровня стерильности пыльцы растений–биоиндикаторов от суммарного показателя загрязнения (Zc)

На основании результатов исследования предложено ранжирование нарушений при освоении золотороссыпных месторождений по наиболее информативным показателям: концентрации соединений тяжелых металлов, стерильность пыльцы, ростовой тест, индексные значения NDVI. Установлены расстояния: критическое воздействие на расстоянии (км): 0–3 км, 3–7 км; неудовлетворительное – 7 – 9 км, 9 – 19 км; частично удовлетворительное – свыше 19 км.

Анализ содержания подвижных форм тяжёлых металлов в границах влияния техногенной системы выявил корреляцию: с ростом их концентрации в почве увеличивается частота цитогенетических нарушений у растений-биоиндикаторов. Это подтверждается данными тест-системы «стерильность пыльцы»: уровень стерильности напрямую зависит от суммарного показателя загрязнения почв (Zc) подвижными формами металлов (рис. 3.35).

Таблица 3.24 – Ранжирование территории по биологическим методам и NDVI

Объекты	Расстояние	Зона загрязнения, степень	Индексные значения NDVI	Ростовой тест	Стерильность пыльцы
Центр ШОУ, Территории гидравлических, дражных полигонов	0 – 3 км от источника	Сильное, превышение ПДК от 7 раз и фона	0 - 0,166	0,00	25,9 ± 0,49
Гидравлические и дражные полигоны, процессы самовосстановления	3 – 7 км	превышение ПДК и фона, критическое	0,166 – 0,3	36,18	15,7 ± 0,58
Гидравлические и дражные полигоны, процессы самовосстановления	7 – 9 км	≥ ПДК и фон, опасное	0,3 – 0,5	78,44	9,6 ± 0,76
Гидравлические и дражные полигоны, процессы самовосстановления	9 – 19 км	≥ ПДК и фон, неудовлетворительное	≤ 0,5	93,13	4,0 ± 0,27
Фоновые значения	более 19 км	превышений не отмечается, удовлетворительное	≤ 0,5	98,23	0,3 ± 0,19

Следовательно, для оценки состояния среды в границах воздействия техногенной системы необходим комплекс методов: физико-химические анализы, биологические исследования и биоиндикация, выступающие в роли ключевых критериев и индикаторов показателей видового состава, доли антропофильных видов в составе растительных группировок, скорости восстановления коренной растительности, биохимических характеристик (содержание в фитомассе различных химических элементов, стерильности пыльцы, жизнеспособности семян, встречаемости лишайников и др.), NDVI, ГИС-технологии и метода дистанционного зондирования Земли, позволивший оценить экологическое состояние объектов окружающей среды и ранжировать территорию горнопромышленного освоения района исследования на зоны влияния: критическую на расстоянии 0 – 3 км, 3 – 7 км, неудовлетворительную 7 – 19 км; свыше 19 км – частично удовлетворительную.

3.8. Влияние техногенного загрязнения объектов окружающей среды на здоровье населения горняцкого поселка

Общеизвестно, что загрязнение экосистем тяжёлыми металлами из отходов золотодобычи и последующее негативное влияние приводят к ухудшению состояния здоровья населения, в первую очередь – детей и лиц пожилого возраста. На основе изучения архивных данных, данных Краевого информационно-аналитического центра (г. Хабаровск) по заболеваемости в исследуемом районе, установлено, что загрязнение объектов окружающей среды токсичными соединениями – Hg, As и др. оказывает влияние на увеличение заболеваний органов дыхания, нервной системы, кровообращение, пищеварение. В результате выявлены следующие показатели заболеваний (рис. 3.36 а, б, 3.37 а, б).

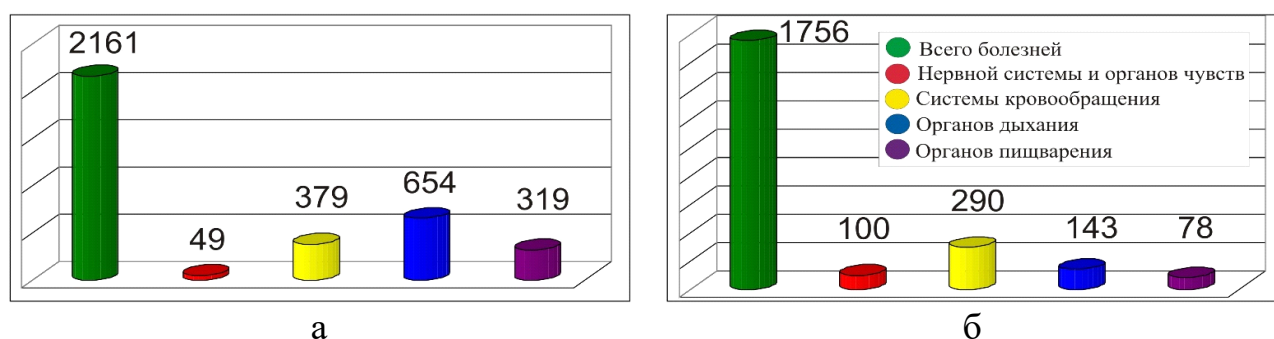


Рисунок 3.36 а,б – Число заболеваний зарегистрированных в 1998-2020 гг. у больных, проживающих в горнодобывающих поселках
а) п. Хирпучи, б) с. Бриакаан

Статистическая обработка материалов краевого аналитического медицинского центра по здоровью населения, проживающего в пределах горнопромышленном района по сравнению с условно чистой территорией, показала, что его заболеваемость в рассматриваемом районе, выше в 1,5-2 раза. Здесь, в структуре заболеваемости наибольший удельный вес принадлежит болезням верхних дыхательных путей, крови и кроветворных органов, системы пищеварения, кожи, онкологическим заболеваниям.

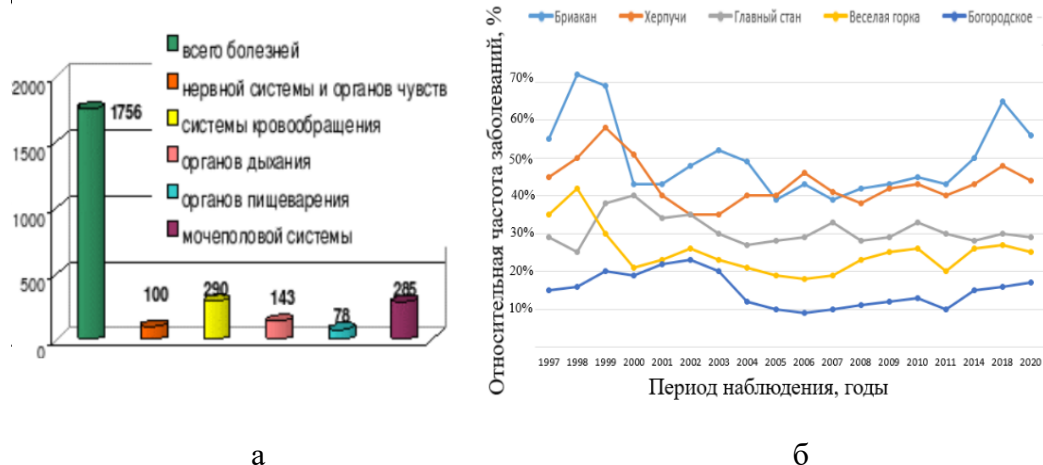


Рисунок 3.37 а, б – Средние значения заболеваемости населения п. Бриакан, зарегистрированные за период 1997-2020 гг. и изменение относительной частоты заболеваний

Данные рисунка 3.37 свидетельствуют о том, что самый высокий уровень заболеваемости обнаружен в с.Бриакан по сравнению с с.Богородское, где отсутствует горное производство.

Таким образом, анализ диаграмм позволяет сделать вывод о том, что у населения горняцких поселков высок процент болезней нервной системы, органов дыхания, органов чувств, пищеварения и системы кровообращения. Количество болезней за последние годы несколько сократилось, что связано, видимо, с высокой смертностью и миграцией местного населения (рис. 3.36 а,б, 3.37 а,б).

Детское население наиболее чувствительно к влиянию неблагоприятных факторов окружающей среды [69, 71, 78, 299-303]. Результаты анализа биологического материала – волосы детей до 14 лет с. Бриакан (таблица 3.25) показывают высокий уровень содержания в нем токсичных соединений тяжелых металлов, по сравнению с другими регионами России. Содержание в волосах соединений меди, цинка и др. оказалось выше в 1,3-1,7 и более раз, чем в районе, где отсутствует горное производство, например, с. Богородское Хабаровского края [63, 67, 68, 304]. Выявлена прямая зависимость между

экологическими условиями проживания в горняцком поселке и ростом экологически обусловленных заболеваний в районе исследования [201]. По степени опасности техногенные системы группируются следующим образом:

1 класс – высокой экологической опасности (отходы ШОУ, отстойники)

2 класс – средней экологической опасности (дражные полигоны, отвалы вскрышных и вмещающих пород).

Характерными признаками первого класса являются загрязняющие вещества 1 и 2 класса опасности с высокой миграционной способностью, низкая защищенность компонентов природной среды, отсутствие защитно-дренажных сооружений и расположение техногенных объектов в населенном пункте.

Для техногенных объектов средней экологической опасности (дражные полигоны, отвалы вскрышных и вмещающих пород) характерно складирование токсичных загрязнителей вне населенных пунктов.

Таблица 3.25 – Содержание некоторых соединений тяжелых металлов в биологическом материале (волосы детей до 14 лет, в мкг/г), проживающих в различных регионах России [276] и горняцком с. Бриакан Хабаровского края

Регионы	Pb	Cu	Cd	Zn	Cr	Hg
с. Бриакан	5,85	16,18	0,19	198,95	3,21	1,33
Нечерноземье	3,58	11,0	0,19	132,8	Не опр.	Не опр.
Центральное Черноземье	5,24	10,1	0,38	131,5	—«—	—«—
Закавказский (горный)	4,81	10,5	0,35	155,7	—«—	—«—
с. Богородское	3,48	11,32	0,11	129,11	—«—	—«—

Несомненно, экологически напряженная обстановка в границах влияния природно-горнотехнической техногенной системы может способствовать обострению не только геоэкологических, но и социально-экономических проблем.

3.9 Предварительный расчет экологической напряженности территории района исследования

В Хабаровском крае проблема обеспечения экологической безопасности природно-горнопромышленной техногенной системы практически не исследована. Важно разработать концепции, методы и способы управления эколого-экономическими рисками горного предприятия. В связи с этим возникает необходимость учета природных факторов, включающих особенности климата, ландшафта, розы ветров и т. д. При этом большое значение имеет определение экологической напряженности территории (ЭНТ) [116], на примере района п. им. П. Осипенко Хабаровского края.

Начальным и обязательным этапом подобных разработок является комплексная оценка уязвимости территории к сложившимся нерегламентированным хозяйственным воздействиям. Речь идет об анализе характера, степени, необратимости и потенциальной опасности разрушения или деградации природных механизмов территории, которые обеспечивают устойчивость и продуктивность её экосистем.

Понятие «экологическая напряженность территории» (ЭНТ) служит комплексной характеристикой уязвимости природных режимов. Будучи системным свойством, ЭНТ оценивается в несколько этапов. Сначала определяется ключевой системообразующий фактор. Например, в рамках административного района это обычно геоморфологические процессы, выраженные в характере рельефа. Затем к этой базовой оценке последовательно добавляется влияние других внешних разрушающих факторов, активизирующихся при техногенном нарушении почвенно-растительного покрова [305].

Геоморфологические факторы (табл. 3.26) отражают сравнительную уязвимость земель в зависимости от соответствующих характеристик. Каждый подтип рельефа оценивался по трем 10-балльным шкалам: по эрозионной, пирогенной уязвимости и трудности восстановления биоты после техногенного или эрозионного разрушения. Показатели, полученные по всем трем шкалам, суммировались.

Таким образом, самый уязвимый тип рельефа – это Рву/отр – равнины высокие волнистые ($23 \cdot 1,7 = 39,1$ балла), занимающие 8% территории, далее по степени уменьшения экологической опасности следуют Гпх/отр (34 балла), и затем – Гн/ото (30 баллов), имеющие 10% тектонически активной территории и образующие четверть площади района.

Среди системообразующих факторов исследуемого района необходимо отметить криогенез и направленность почвенного генезиса. Из максимального количества 10 баллов, для исследуемого района значения находятся ближе к середине – 4 балла (табл. 3.26).

Направленность почвенного генезиса (при максимальном значении – 2) варьирует от 1 для наиболее устойчивого лугового типа почв до 1,4 для буроземов, занимающих 80% площади района (таблица 3.27 и 3.28).

На устойчивость земель влияют две группы климатических факторов: лимитирующие, которые сдерживают развитие экосистем (дефицит тепла и влаги, резкая неравномерность почвенных режимов), и разрушающие, несущие прямую угрозу деградации (сила ветра, поверхностный сток, ударное воздействие ливней, резкие температурные колебания на поверхности почвы).

Таблица 3.26 – Оценка экологической напряженности территории (ЭНТ) по геоморфогенетическим факторам (района исследования)

Рельеф			Степень дезинтеграции пород	К ₁	Расчет базового ядра Б ₁
Тип и подтип рельефа	% территории	Балл			
Гва/и	3	30	Гб	1,0	$0,03 \times 30 \times 1,0 = 0,9$
Гвг/эфб	2	28	Гб	1,0	$0,02 \times 28 \times 1,0 = 0,56$
Гс/ото	5	28	Гб	1,0	$0,05 \times 0,28 \times 1,0 = 1,4$
Гн/ото	40	23	Щ	1,2	$0,4 \times 23 \times 1,2 = 11,04$
Гп/ото	15	12	Щ-66% Др-34 %	1,44	$0,15 \times 12 \times 1,44 = 2,59$
Рвх/ото	4	27	Др	1,9	$0,04 \times 27 \times 1,9 = 2,05$
Рву/отр	3	15	Гл	1,7	$0,03 \times 15 \times 1,7 = 0,76$
Рвв/отр	3	11	Гл	1,7	$0,03 \times 11 \times 1,7 = 0,56$
Рнв/отр	3	6	Г	1,1	$0,03 \times 6 \times 1,1 = 0,2$
Рд/отр	15	10	Т+Г	1,1	$0,15 \times 10 \times 1,1 = 1,65$
Рп/отр	7	8	Г	1,1	$0,07 \times 8 \times 1,1 = 0,62$

Б₁=22,32

Примечание: индексы: в числителе – формы и уровни рельефа: Гв – высокогорья (Гва – альпинотипные, Гвг – гольцовые), Гс – среднегорья, Гн – низкогорья, Гп – плоскогорья (Гпх – холмистые, Гпс – столообразные), Рв – равнины возвышенные (Рвх – холмистые, Рву – увалистые, Рvv – волнистые), Рн – равнины низменные (Рну – увалистые, Рnv – волнистые), Рд – равнины депрессионные, Рп – равнины пойменные; в знаменателе – рельефообразующие породы: и – интрузивные породы, эфб – эффузные без коры выветривания, эфк – эффузные с корой выветривания, отр – осадочные терригенные рыхлые, от – осадочные терригенные, ото – осадочные терригенные обломочные, ор – органогенные. Гва/и – горы высокие альпинотипные на интрузивах; Гвг/эфп – горы высокие гольцовые на эффузивах без коры выветривания; Гс/ото – среднегорья на осадочных терригенных обломочных отложениях; Гн/ото – низкогорья на осадочных терригенных обломочных отложениях; Гп/ото – плоскогорья на осадочных терригенных обломочных отложениях; Рвх/ото – равнины возвышенные холмистые на осадочных терригенных обломочных отложениях; Рву/отр – равнины возвышенные увалистые на осадочных терригенных рыхлых отложениях; Рvv/отр – равнины возвышенные волнистые на осадочных терригенных рыхлых отложениях; Рnv/отр – равнины низменные волнистые на осадочных терригенных рыхлых отложениях; Рд/отр – равнины депрессионные на осадочных терригенных рыхлых отложениях; Рп – равнины пойменные на осадочных терригенных рыхлых отложениях; K_1 – величина множительного коэффициента к оценке подтипа рельефа по дезинтеграции материнских пород; K_2 – величина коэффициента подтипа рельефа к оценке тектонической активности территории.

Таблица 3.27 – Оценка ЭНТ по криогенезу и почвенному генезису

Криогенез		
Тип	% территории	K_3
Многолетняя мерзлота (мм) без осложняющих явлений	70	4
Многолетняя мерзлота с термокарстом	15	5
Многолетняя мерзлота с полигонально-жильными льдами	15	6

Примечание: K_3 – величина множительного коэффициента к базовому показателю напряженности криогенных процессов.

$$K_3 = 0,7 \times 4 + 0,15 \times 5 + 0,15 \times 6 = 4,45$$

Таблица 3.28 – Оценка ЭНТ по почвенному генезису

Почвенный генезис		
Тип	% территории	K_4
Торфяной	22	1,2
Бурозёмы	78	1,4

Примечание: K_4 – коэффициент оценки почвенного генезиса

$$K = 1,2 \times 0,22 + 1,4 \times 0,78 = 1,36$$

$$B_2 = 22,32 \times 4,45 \times 1,36 = 135,05$$

Особое значение в районах длительного сезонного промерзания почв имеет снежный покров, защитная роль которого проявляется в начале зимы, когда формируется температурный режим на зиму и следующий вегетационный период, а также высокая эрозионная опасность, обусловленная запасами воды перед таянием. Каждый показатель оценивался в зависимости от своих количественных характеристик по 10-балльной шкале. Препятствием служило лишь отсутствие некоторых показателей в материалах гидрометеослужбы. В нашем случае

оказалось полное отсутствие данных по теплодефициту (ТД), а также по талым водам (ТВ), ливням (ЛВ) и снегодефициту (СД) – на 35% территории,

Оцениваемые показатели определены по климатическим справочникам для каждой из имеющихся метеостанций. Их средневзвешенные величины рассчитаны следующим образом. На карту наносились границы зон репрезентативности (ЗР) каждой метеостанции. По процентному соотношению ЗР метеостанций рассчитывались средневзвешенные характеристики лимитирующих и разрушающих факторов. Для исследуемого района в ЗР вошли 7 метеостанций (табл. 3.30).

Высокая уязвимость отмечается по такому климатическому показателю как засухи (ЗС) – коэффициент составил 7,8. Установлена экологическая неблагоприятная ситуация по абиотическому фактору, число дней с низкой влажностью воздуха здесь – 30%, характеризующим значительную подверженность района пожарам. Таковых дней на большей части района от 39 (на 1,7% территории) до 76-92 суток. Значительное негативное влияние на приживаемость растений оказывает и снегодефицит. Возникает опасность стока талых вод при снеготаянии - 4,9 балла. Перепады температур (АТ) в апреле в среднем составляют 51 °С, в сочетании с ветрами (ВТ) указывают на наличие ветровой эрозии, и, как следствие, ухудшение качества воздуха за счет значительного количества взвесей почвы и грунта в нем.

В таблице 3.31 представлен множительный коэффициент – коэффициент опасности деградации почвенных режимов, коэффициент Чигира.

$$\text{Расчет } R = 5(0,236 + 0,176) + 2 \times (0,049 + 0,1) + 1(0,319 + 0,024) + 10 \times 0,096 = 3,28$$

$$\text{ЭНТ} = 135,05 \times 4,57 \times 3,28 = 2024 + 183 = 2207$$

Таблица 3.30 – Оценка ЭНТ по климатическим факторам

Метеостанция	Высота, н.у.м., м	% площади зоны репрезентати вности	Значения параметров таблицы													
			ТвВ	Балл	Зс	Балл	Вт	Баллы	Лв	Балл	Сд	Балл	Тд	Балл	Ат	Балл
с. Гуга	60	23,6	5	3	81	9	-	-	1,63	3	24	3	-	-	68	7
с. П.Осипенко	70	17,6	3	2	61	7	11	3	1,85	3	16	6	2,7	4	62	7
с. Веселая Горка	201	31,9	5	3	71	8	18	3	1,98	3				6		
п. Чукчагирское	75	4,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	67	7
с. Удинское	15	9,6	-	-	-	-	1	1	2,0	3	32	2	-	6	-	-
п. Агние-Афанасьевск	275	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
п. Дуки	132	2,4	6	3	74	8	-	-	2,11	4	27	3	-	-	66	7
Средневзвешенное значение	-	-	-	2,8	-	7,8	-	2,7	-	3	-	3,9	-	6,1	-	7

Примечание:

Тв – расчетная цифра по данным снегосъемки, Тд взят как среднее по карте распространения мерзлоты

 $ТВ=3(0,236+0,319+0,024)+2 \times 0,176/0,755=2,8$ $Зс= 2 \times 0,236+7 \times 0,176+8(0,319+0,024)/0,755=7,8$; $Вт=2 \times (0,176+0,319)+1 \times 0,096/0,591=2,7$; $ЛВ= 3(0,236+0,176+0,319+0,096)+4 \times 0,024=3$; $СД=3 \times (0,236+0,024)+6 \times 0,176+2 \times 0,096=3,9$; $ТД=4 \times 0,176+6(0,319+0,096)=6,1$; $НК=0,1(2,8+7,8+2,7+3+3,9+6,1+7)/70=4,57$

Таблица 3.31 – Расчет коэффициента Чигира

Метеостанция	% площади зоны репрезентативности	Коэффициент Чигира	Балл
с. Гуга	23,6	0,59	5
с. П.Осипенко	17,6	0,53	5
с. Веселая Горка	31,9	0,07	1
п. Чукчагирское	4,9	0,35	2
с. Удинское	9,6	0,60	5
п. Агние-Афанасьевск	10	0,23	2
п. Дуки	2,4	0,08	1

Итак, величина ЭНТ района исследования составила 2207 балла.

Таким образом, комплексный показатель экологической напряженности территории ЭНТ, отражающий роль геоморфогенетического, криогенного, почвенно-генетического и климатического блока факторов в их взаимосвязи, может достигать значений в десятки тысяч баллов. Шкала оценки уязвимости выглядит следующим образом: до 100 баллов – территория устойчива; от 100 до 1000 – требуется существенное регламентирование природопользования; от 1000 до 3000 – необходимость регламентации очень высока. Согласно полученным данным, изучаемая территория относится к последней категории, что диктует потребность в введении жестких ограничений хозяйственной деятельности.

Выводы

1. Минеральный и вещественный состав отходов переработки золотороссыпных месторождений района исследования разнообразен (касситерит, вольфрамит, ильменит, магнетит, гематит, галенит и арсенопирит). В них выявлено значительное количество соединений токсичных тяжелых металлов таких, как: As, Pb, Cu, Zn и Hg, в природной киновари.

2. С помощью ГИС-методики и использования математического аппарата проведена комплексная оценка загрязнения воздушного бассейна и выявлен высокий уровень его загрязнения соединениями токсичных тяжелых металлов. Представлены картографические модели и установлены пространственные закономерности распределения основных токсикантов;

3. Выявлено, что наибольшая масса загрязняющих веществ в СП сконцентрирована во взвешенной фракции: растворенная – 0,006-0,007 мг/дм³ установлена в восточном и юго-восточном направлениях, что согласуется с розой ветров на расстоянии 100 м от ШОУ, а взвешенная – 91-139 мг/кг.

4. Применение математического аппарата позволило выявить пространственные закономерности и установить, что соединения тяжелых металлов и ртути в почвогрунтах высокие и аккумулируются на глубине 0-10 см (на расстоянии 300 м) в западном направлении и в зависимости от мерзлотных процессов, кислотности среды и фульватного состава гумуса мигрируют в

горизонт (10-20 см). В почвах бактериальный комплекс в них находится в угнетенном состоянии, т.е. глубокого биологического разрушения, а растения – в стрессовых условиях, что отражается в их репродуктивной деятельности, продолжительности жизни, а также увеличении стерильности пыльцевых зерен.

5. Зафиксированы нарушенные территории как на геоподложках ESRI, Google, Yandex, так и на мультиспектральных комбинированных снимках и индексном изображении NDVI. Проанализирована динамика изменений нарушенных земель, с помощью программы QGIS и рассчитаны их площади. Результаты исследований показали, что на техногенно загрязненной поверхности вблизи ШОУ величина NDVI составила от 0.034 до 0,063. Район, относится к I категории экологических рисков. Полученные данные свидетельствуют о слабой степени восстановления лесной растительности и необходимости разработки новой экологически безопасной природоподобной технологии;

6. Применение математического аппарата позволило выявить пространственные закономерности и установить, что на селитебной территории и в почвах дачных участков обнаружено избыточное накопление соединений тяжелых металлов: Zn, Cu, Pb, As, а в п. Бриакан в сельскохозяйственной продукции: томатах, картофеле, моркови, плодах перца, превышение их ПДК составляет от 1,2 до 3 раз.

7. Установлена высокая заболеваемость взрослых и детей в с. Бриакан. Содержание в волосах соединений меди, цинка и др. оказалось выше в 1,3-1,7 раз, чем в районах, где отсутствует горное производство.

8. С использованием различных методов: концентрации соединений тяжелых металлов, стерильности пыльцы, ростового теста, индексного значения NDVI дана оценка геоэкологического состояния объектов окружающей среды исследуемого района. Проведено ранжирование и установлены расстояния: критическое воздействие на расстоянии (км): 0–3 км, 3–7 км; неудовлетворительное – 7 – 9 км, 9 – 19 км; частично удовлетворительное – свыше 19 км.

ГЛАВА 4: ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ВОССОЗДАНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ НАРУШЕННЫХ ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ПРИ РОССЫПНОЙ ЗОЛОТОДОБЫЧЕ

Научной основой выполнения исследований по вышеназванной проблеме являются предложенные нами принципы обеспечения экологической безопасности природно-горнопромышленной техногенной системы, сформированной деятельностью горного предприятия «Кербинский прииск». В основу принципов положено учение академика В.И. Вернадского о биосфере и ноосфере [231], с учетом биогенных принципов Дж. М. Андерсена [306], концепция и стратегия устойчивого развития горного производства [307-309], методология экологической оценки современного состояния техногенной системы с использованием ГИС-технологий и дистанционного зондирования Земли [86, 90].

Разработка принципов обеспечения экологической безопасности биоты, в том числе лесных экосистем и окружающей среды в целом осуществлялась на основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований. На взгляд автора, новая экологически безопасная природоподобная технология, направленная на повышение экологической сохранности почв и среды обитания в целом при освоении золотороссыпных месторождений в условиях устойчивого развития горнодобывающих районов Дальневосточного федерального округа, должна базироваться на следующих принципах: 1. Важности экологических требований, заключающихся в выполнении совокупности информационных, технологических, биологических, законодательных и нравственных решений в процессе освоения недр; 2. Сохранения и восстановления биоразнообразия в процессе разработки твердого минерального сырья; 3. Необходимости развития горного производства в соответствии с экологической емкостью и способностью природных экосистем к самовосстановлению; 4. Охраны генетического фонда, в т.ч. биоты и человеческой популяции; 5. Исключения экологической безграмотности и прагматичного отношения к природным, в т.ч. минеральным,

ресурсам; 6. Использования экономических стимулов для внедрения экологически чистых природоподобных технологий и оборудования; 7. Организации горно-экологического мониторинга изменения состояния экосистем не только в процессе горных работ.

Приоритетными технологическими мерами в условиях ликвидированных горных предприятий (рис. 4.1) в южной части Дальневосточного федерального округа России являются разработка и внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих безопасность окружающей среды в районе исследования.



Рисунок 4.1 – Фрагмент карты расположения первоочередных объектов лесной рекультивации

Выявлены значительные нарушения участков лесных земель, изъятых из фонда лесных земель, в районе исследования золотороссыпных месторождений отработка, которых закрыта более 25 лет (табл. 4.1). Почвенное их обследование

показало, что субстрат представлен высокотоксичным материалом, загрязненным соединениями токсичных тяжелых металлов, в том числе Hg и As, оказывающих негативное влияние на объекты окружающей среды и здоровье человека. Субстрат не обладает физическими свойствами, что требует проведения комплекса реабилитационных мероприятий, чтобы создать новый плодородный слой. Следовательно, необходимо провести реабилитационные работы, направленные на создание новой почвоподобной технологии и формирование благоприятного корнеобитаемого слоя.

Таблица 4.1 – Площади нарушенных горными работами земель Хабаровского края, рассчитанные в программе Quantum GIS по геоподложке ESRV Satellite, 2023 г.

Название горного предприятия (ликвидированного или действующего) добыча россыпного золота или рудного месторождения	Площадь, га
Ликвидированный «Кербинский прииск» / россыпное золото	1457
Ликвидированный «Софийский прииск» / россыпное золото	677
Ликвидированный «Хирпучинский прииск» / россыпное золото	1013
ООО «Ресурсы Албазино» / рудное золото	1219
АО «Многовершинное»/ рудное и россыпное золото	5621
Тугур Залив полигоны / россыпное золото	6603
ВСЕГО:	16590

Эти техногенно загрязненные участки самовостанавливаются очень длительно, отрицательно влияя на сопредельные территории. Почвенно-экологическое состояние их оценивается как неудовлетворительное. В связи с этим были проведены экспериментальные исследования в оранжерее и на полигонах в полевых условиях с применением биоремедиации, т. е. комплекса методов очистки вод, техногенных почв, грунтов и атмосферы с использованием метаболического потенциала биологических объектов.

На основе экспериментальных исследований разработано технологическое решение, так называемая почвоподобная технология, с применением биоремедиации, в виде способов фиторемедиационных с использованием макрофитов, кустарниковых растений, многолетних травянистых растений,

микроорганизмов, фототрофных бактерий, грибов для реализации очистки техногенно загрязненных субстратов и почв от токсичных соединений тяжелых металлов.

Установлено, что использование гипераккумуляторов (многолетних трав и кустарниковых растений) способствует очистке загрязненных почв и сточных вод.

Экспериментально доказано, что растения: *Berberis vulgaris*, *Sambucus racemose*, *Elytrigia repens*, *Agropyron cristatum* и *Festuca pratensis* можно отнести к гипераккумуляторам и благодаря этому рекомендовать их к использованию в технологиях биоремедиации почв.

Полученные результаты позволили предложить природоохранные мероприятия, направленные на создание новых способов лесной рекультивации техногенно загрязненной поверхности в границах ликвидированного горного предприятия «Кербинский прииск» с использованием потенциала биологических систем, новизна которых подтверждена Патентами РФ [310, 311] (рис. 4.2). Опыты были проведены в оранжерее «ДальНИИЛХ» и полевых условиях. Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что снижение отрицательного воздействия техногенно загрязненного субстрата на объекты окружающей среды и повышение эффективности ее рекультивации можно достичь с помощью внесения биоактиваторов, биопрепаратов – биологического агента (рис. 4.2). Поставленная задача включала обработку рекультивируемой поверхности биоактиватором: при посеве бобово-злаковой травосмеси, посадке саженцев древесно-кустарниковой растительности, оконтуривании исследуемой площади по периметру с водопроницаемыми бортиками и дренажными канавками, создание лесозащитной полосы вокруг техногенного объекта. Полученные положительные результаты эксперимента в оранжерее позволили провести его в полупроизводственных условиях (на дражных полигонах). Внедрение новой биоинженерной технологии, суть технологического решения которой заключалась в следующем: в субстрат, содержащий токсичные загрязняющие вещества, был внесен предлагаемый состав (%): биоуголь – 30, цеолиты – 5, биогумус – 5, отходы переработки россыпной золотодобычи – 60.

После перемешивания произведен посев семян бобово-злаковой смеси и высажены сеянцы древесно-кустарниковой растительности. В качестве контроля использовались техногенно загрязненные площади золотороссыпного месторождения.



Рисунок 4.2 – Патенты РФ 2015, 2017, 2018, 2019, 2024 гг.

Предлагаемый способ обеспечивает успешное решение проблемы снижения негативного влияния токсичных отходов на объекты окружающей среды и повышение эффективности воспроизводства их продуктивности за счет применения разработанного нами состава. На рисунке 4.3 представлены результаты эксперимента с использованием названного состава в 1988 году. В результате его использования происходит улучшение водно-физических свойств субстрата и в течение одного вегетационного периода формируется мощный органогенный горизонт, способствующий предотвращению эрозионных процессов на рекультивируемой поверхности. Таким образом, предлагаемая технология обеспечивает восстановление почвенно-экологических функций на токсичном субстрате, что позволяет успешно развиваться всем компонентам разрушенных ранее экосистем [310].



Рисунок 4.3 – Состояние растительности на рекультивированном участке в границах влияния ликвидированного горного предприятия «Кербинский прииск»

Решение задачи по разработке технологических решений воссоздания продуктивности техногенно загрязненных земель при россыпной золотодобыче обусловлено новым техническим результатом, состоящим в высокоэффективной активности биоактиваторов, биопрепаратов и реализуется взаимодействием предлагаемого состава с субстратом (токсичными отходами) и способствует улучшению его водно-физических свойств. И в этом состоит одна из особенностей и полезность предлагаемого состава в ликвидации токсичных и вредных для этих организмов соединений. Выявлено благоприятное его влияние как на формирование почвенной структуры, так и на рост и развитие растений: бобово-злаковой травосмеси, лиственницы и других. Успешные результаты получены не только с использованием биоугля и цеолитов [310], но и корокомпоста из коры ели, лиственницы и березы [311] и др. (рис. 4.2).

Таким образом, разработана высокоэффективная технология рекультивации (рис. 4.4) техногенно загрязненных участков с применением биоремедиации на основе геоэкологической оценки влияния природно-горнотехнической техногенной системы на объекты окружающей среды. Новизна технологического решения подтверждена Патентами РФ.



а



б

Рисунок 4.4 а,б – Проведение рекультивационных работ на техногенно-загрязненных участках

Таким образом, основными социальными результатами реализации предлагаемой энерго- и ресурсосберегающей почвоподобной технологии обеспечения геоэкологической безопасности отходов переработки золотороссыпных месторождений с использованием биоремедиации являются: 1. Повышение уровня комфортности проживания населения за счет восстановления загрязненных территорий; 2. Сохранение водоисточников; снижение заболеваемости населения по причине потребления некачественной воды и загрязненных продуктов; 3. Улучшение качества атмосферного воздуха, почв и водных объектов; увеличение рекреационных возможностей.

Выводы

1. Созданы эффективные способы и составы для рекультивации, подтвержденные Патентами РФ, которые помогут защитить от деградации природные территории, обеспечить экологическую безопасность отходов переработки минерального сырья с использованием биоремедиации;

2. Разработана биоинженерная технология, с использованием биоремедиации, направленная на создание благоприятных условий для восстановления продуктивности нарушенных земель в связи с неудовлетворительным почвенно-экологическим состоянием исследуемого субстрата;

3. Для пылеподавления и рекультивации техногенных поверхностных образований ТПО предложена композиция содержащая: биоуголь – 30%, природные цеолиты – 5%, гуминовые кислоты – 5% и техногенно загрязненный субстрат – 60%, которая будет способствовать восстановлению почвенно-экологических функций, что позволит восстановить нарушенные ранее экосистемы.

Перспективные направления по изучению проблемы

1. Применение биотехнологий для рекультивации территорий, нарушенных дражными полигонами (Патент РФ);

2. Разработка принципов и организации геоэкологического мониторинга изменения объектов окружающей среды под влиянием отходов переработки золотороссышных месторождений;

3. Использование современных технологий утилизации или переработки горнопромышленных отходов для извлечения экономически выгодного минерального сырья, полезных компонентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Теоретические и экспериментальные исследования, проведенные различными методами: физико-химическим, химическим, биологическим (с использованием тест-систем), геохимическим районированием, дистанционным зондированием Земли, с помощью ГИС-технологий и математического аппарата, позволили выявить закономерности миграции соединений тяжелых металлов, связанные с химическими процессами окисления сульфидов, образованием концентрированных растворов и накоплением их в природных составляющих. С применением регрессионного анализа установлены пространственные закономерности распределения основных токсикантов. В работе обоснованы технологические решения по обеспечению экологической объектов окружающей среды золотороссыпных месторождений района исследования.

Основные научные и практические результаты заключаются в следующем:

1. Анализ, обобщение и систематизация литературных и патентных источников свидетельствует о слабой изученности техногенного загрязнения компонентов окружающей среды в границах влияния природно-горнотехнической золотороссыпной техногенной системы, отсутствует опыт комплексного решения проблемы геоэкологической оценки воздействия техногенной системы на окружающую среду с использованием математического аппарата и ДЗЗ для обеспечения ее экологической и социальной безопасности, улучшения среды обитания в горняцких поселках Дальневосточного федерального округа (ДФО) в том числе Хабаровского края;

2. Изучены отходы обогащения россыпной золотодобычи, как реальные объекты потенциальной угрозы катастроф на горном предприятии, содержащие следующие минералы: касситерит (SnO_2), вольфрамит $(\text{Fe, Mn})\text{WO}_4$, ильменит (FeTiO_3), магнетит (Fe_3O_4), гематит (Fe_2O_3), галенит (PbS), сфалерит (ZnS) и арсенопирит (FeAsS), установлено значительное количество соединений токсичных тяжелых металлов, включая Hg, As, Pb, Zn, Cu, Mn, Zr, Sn, Cd, Ni и

др., способствующие интенсивному техногенному загрязнению объектов окружающей среды;

Исследование вещественного состава отходов обогащения свидетельствует о том, что в шлихах содержание соединений следующее (%): Hg от 0,2 до 0,3, Cu – 0,02, Zn – 0,03-0,06, Sb и As – 0,02, Sn – 0,03;

3. Дана геоэкологическая оценка уровня нарушения и техногенного загрязнения объектов окружающей среды, выявлены закономерности и рассмотрены особенности пространственной миграции образующихся химических соединений в системе: отходы → воздушный бассейн → снежный покров → почвогрунты → растительность → водные объекты → донные отложения → человек. Установлены превышение значений ПДК концентраций соединений тяжелых металлов в растворимой фазе снежного покрова в районе исследования, составляющие (раз): Cu в 11, Mn – 3, Zn – 2, Hg – 10. Наибольшая масса загрязняющих веществ в снежном покрове сконцентрирована во взвешенной фракции (судя по: растворимой – 0,006-0,007 мг/дм³ и взвешенной – 91-139 мг/кг). Среднее поступление токсичных веществ в СП на данной территории за зимний сезон составило (мг/м²·сезон-1): 2006-2007 гг. – 15334, 2017-2018 гг. – 16331. Содержание в почвах подвижных соединений тяжелых металлов вблизи источника загрязнения (ШОУ) аномальное: Zn превышает ПДК в 5,2 раза, Cu – 10,3, Pb – 13, Ni – 4,25. С удалением от ШОУ их концентрация уменьшается в связи с формулой, описываемой полиномом второй степени. Выявлено превышение ПДК в растениях (раз): по Hg более 80, Cu – 5, Zn и As – 12. Выполненные расчеты значения вегетационного индекса NDVI, свидетельствуют о значительной токсичности техногенного загрязнения растительности вблизи шлихообогатительной установки (величина NDVI здесь составила от 0,034 до 0,063, что характеризует I категорию экологических рисков). Исследована ответная реакция живых организмов на техногенное загрязнение и выявлены пространственные закономерности распределения загрязняющих веществ в растительности;

4. Обосновано ранжирование по уровням техногенного загрязнения, на основе проведенных исследований, в том числе с использованием показателей стерильность пыльцы, ростового теста, индексных значений NDVI с применением математического аппарата и дана оценка геоэкологического состояния объектов окружающей среды исследуемого района. Комплексная геоэкологическая оценка влияния техногенной системы на атмосферу, биосферу, литосферу позволила ранжировать исследуемый район следующим образом (км): 0–3 км и 3–7 км – как критическое; 7 – 9 км – как опасное; неудовлетворительное; свыше 19 км – частично удовлетворительное;

5. Обоснована необходимость разработки природоохранных мероприятий для обеспечения геоэкологической и социальной безопасности объектов окружающей среды и разработаны технологические предложения по улучшению геоэкологической ситуации в исследуемом районе, новизна которых подтверждена Патентами РФ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Певзнер, М.Е. Горное дело и охрана окружающей среды / М.Е. Певзнер, А.А. Малышев, А.Д. Мельков, В.П. Ушань, под общ. ред. М. Е. Певзнера. М.: МГГУ, 1997. – 298 с.
2. Липина, Л.Н. Оценка состояния окружающей среды в районе горнопромышленного освоения с применением ГИС-технологий / Л.Н. Липина, А.В. Вдовенко // Экология промышленного производства. – 2019. – № 3 (107). – С. 51-54.
3. Вернадский, В.И. Биосфера. М.: Мысль, 1967. – 287 с.
4. Вернадский, В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. 2-е издание. М.: Наука, – 1987. – 348 с.
5. Пашкевич, М.А. Оценка экологического состояния почвенно-растительного покрова, загрязненного угольной пылью / М.А. Пашкевич, А.А. Дука // Горный журнал. – 2023. – № 9. – С. 68-74.
6. Пашкевич, М.А. Оценка эффективности процесса фитоэкстракции при очистке карьерных сточных вод / М.А. Пашкевич, А.Э. Коротаева // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 6-1. – С. 349-360.
7. Крупская, Л.Т. Почвенно-экологическое состояние техногенных экосистем в границах влияния закрытых горных предприятий в Приамурье / Л.Т. Крупская, А.М. Орлов, Л.П. Гуль, М.Ю. Филатова, К.А. Колобанов, Ю.Г. Кочарян // Интенсификация использования и воспроизводства лесов Сибири и Дальнего Востока. Материалы Всероссийской научной конференции. Отв. редактор А.Ю. Алексеенко. Хабаровск, – 2021. – С. 258-264.
8. Крупская, Л.Т. Загрязнение почв в зоне влияния отходов переработки оловорудного сырья (Хабаровский край) / Л.Т. Крупская, А.М. Дербенцева, О.В. Нестерова, А.В. Назаркина, Л.Н. Щапова, В.А. Морин // Почвоведение. – 2013. – № 3. – С. 372.
9. Язиков, Е.Г. Магнитная восприимчивость дорожной пыли как индикатор загрязнения территории в зоне воздействия предприятий угледобычи / Е.Г. Язиков, Н.А. Осипова, А.В. Таловская, К.Ю. Осипов // Оптика атмосферы и океана. – 2021. – Т. 34. – № 6 (389). – С. 434-439.
10. Арбузов, С.И. Редкометалльный потенциал углей Сибири и Дальнего востока России и перспективы его освоения / С.И. Арбузов, И.Ю. Чекрыжов, И.А. Тарасенко // Геохимия и петрография угля, горючих сланцев и битуминозных пород. Материалы Российской научной конференции. Сыктывкар. – 2023. – С. 9-11.

11. Трубецкой, К. Н. Проблемы экологического управления освоением ресурсов литосферы при устойчивом развитии / К. Н. Трубецкой, Ю. П. Галченко // Бурение и нефть. – 2022. – № 1. – С. 46-51. – EDN LYHAWC.
12. Трубецкой, К. Н. Экологическая цена минерального сырья как потенциальный регулятор технологической парадигмы недропользования при устойчивом развитии / К. Н. Трубецкой, Ю. П. Галченко, Ю. А. Озарян // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2021. – № 2. – С. 396-409.
13. Тимофеева, С.С. Экологические и социальные риски при добыче россыпного и рудного золота / С.С. Тимофеева, И.В. Дроздова // Вестник евразийской науки. – 2024. – Т. 16. – № 1. URL: <https://esj.today/PDF/42NZVN124.pdf>
14. Тимофеева, С.С. Оценка экологической нагрузки технологических процессов добычи угля на окружающую среду на примере Черемховского разреза / С.С. Тимофеева, М.А. Мурзин // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – № 3 (98). – С. 108-114.
15. Пашкевич, М.А. Оценка экологической опасности производственных объектов при добыче и переработке полезных ископаемых / М.А. Пашкевич // Записки Горного института. – 2006. – Т. 168. – С. 29-31.
16. Куликова, Е.Ю. Комплексная оценка геоэкологических рисков при ведении открытых и подземных горных работ / Е.Ю. Куликова, С.В. Баловцев, О.В. Скопинцева // Устойчивое развитие горных территорий. – 2024. – Т. 16. – № 1 (59). – С. 205-216.
17. Куликова, Е.Ю. Мониторинг конструкций подземных сооружений по уровню фильтрационной надежности / Е.Ю.Куликова // Актуальные проблемы гидролитосферы (диагностика, прогноз, управление, оптимизация и автоматизация). Сборник докладов. Редакционная коллегия: Бородавкин П.П., Малков А.В., Першин И.М. – 2015. – С. 530-557.
18. Артамонова, В.С. Фитотоксичность лежалых отходов цианирования золотосодержащей руды на территории накопленного экологического ущерба / В.С. Артамонова, С.Б. Бортникова, А.А. Оплеухин // Вестник Пермского университета. Серия Биология. – 2020. – № (1). – С. 33–40.
19. Тарасенко, И.А. Отходы Краснореченской обогатительной фабрики (Приморский край, Россия): геохимия и минералогия / И.А. Тарасенко, Н.А. Харитонова, А.В. Зиньков, Е.В. Оводова, А.В. Корзун // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. – 2017. – № 2. – С. 35-41.
20. Тарасенко, И.А. О состоянии окружающей природной среды в районах ликвидированных угольных шахт (на примере Партизанского района Приморского края) //

Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2010. – № 3 (151). – С. 113-118.

21. Старостина, С.И. Формы нахождения металлов и мышьяка в отходах флотационного обогащения сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд / С.И. Старостина, Н.В. Юркевич, А.Ш. Шавекина, О.Л. Гаськова // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2025. – № 1 (61). – С. 64-74.

22. Zhu D. Monitoring the effects of open-pit mining on the eco-environment using a moving window-based remote sensing ecological index / Zhu D., Chen T., Zhen N., Ruiqing Niu. // Environ Sci Pollut Res. – 2020. – V.27. – pp. 15716–15728. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08054-2>

23. Крупская, Л.Т. Проблемы ртутного загрязнения в границах влияния ликвидированного горного предприятия россышной золотодобычи в Приамурье как ключевой фактор устойчивого развития района / Л.Т. Крупская, А.В. Леоненко, М.Ю. Филатова // Интеллектуальная собственность в инновационном развитии региона. материалы VII региональной научно-практической конференции. Хабаровск, – 2024. – С. 65-73.

24. Scokart P. O., Meens-Vardinne K., De Borger R. Mobility of heavy metals in polluted soils near zinc smelter // Water, Air, Soil Pollut. – 1983. – V. 20. – P. 461–463.

25. Hailiang Xu, Abdul Waheed, Amannisa Kuerban, Murad Muhammad, Aishajiang Aili. Dynamic approaches to ecological restoration in China's mining regions: A scientific review // Ecological Engineering. – 2025, – Volume 214, 107577, ISSN 0925-8574, <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2025.107577>.

26. Модина, М.А. Пути снижения негативного воздействия загрязнения атмосферного воздуха предприятиями горнодобывающей промышленности в Краснодарском крае / М.А. Модина, Е.Н. Цыганко, В.В. Шкода // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2025. – № 1. – С. 303-312.

27. Glowiak B., Zwozdiak A., Zwozdiak J. Studies of atmospheric pollution contributed by airborne copper and zinc particulates around a copper smelter // Enciron. Protecting Enginiring. – 1979. – V. 5. – P. 145–154.

28. Harrison R. M., Williams C. R. Physico-chemical characterization of atmospheric trace metal emissions from a primary zinc-lead smelter // Sci. Total Environ. – 1983. – V. 31. – P. 129–140.

29. Азарова, С.В. Воздействие отходов хвостохранилищ Алтайского горно-обогатительного комбината на почвенный покров / С.В. Азарова, А.В. Пузанов, Н.А. Осипова, Е.Г. Языков // Горный журнал. – 2019. – № 7. – С. 100-104.

30. Зарина, Л.М. Геоэкологический практикум: Учебно-методическое пособие / Л.М. Зарина, С.М. Гильдин СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, – 2011. – 60 с.

31. Крупская, Л.Т. Оценка экологической опасности накопленных отходов переработки минерального сырья закрытых горных предприятий в Приамурье и Приморье / Л.Т. Крупская, А.М. Орлов, Д.А. Голубев, К.А. Колобанов, М.Ю. Филатова // Горные науки и технологии. – 2020. – Т. 5. – № 3. – С. 208-223.
32. Крупская, Л.Т. Оценка воздействия техногенной системы на воздушный бассейн с применением методов математической статистики / Л.Т. Крупская, Е.Ю. Куликова, М.Ю. Филатова, А.В. Леоненко // Экология и промышленность России. – 2023. – Т. 27. – № 8. – С. 50-57.
33. Лескова, Л.П. Экологические проблемы освоения недр в ЗАО "Многовершинное" и современные подходы к их решению / Л.П. Лескова, Л.Т. Крупская, Н.И. Грехнёв, А.М. Дербенцева, К.Е. Гула, В.А. Морин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № S9. – С. 519-525.
34. Зверева, В.П. Гипергенная эволюция оловосульфидных месторождений и геохимия техногенных вод в Комсомольском районе (Хабаровский край, дальневосточный регион) / В.П. Зверева, К.Р. Фролов, А.И. Лысенко // Экологическая химия. – 2022. – Т. 31. – № 3. – С. 117-127.
35. Зверева, В.П. Процессы гипергенного и техногенного минералообразования в зависимости от количества серы в хвостах обогащения (на примере хвостохранилища КОФ Дальнегорского района, Приморье) / В.П. Зверева, А.М. Костина // Экологическая химия. – 2017. – Т. 26. – № 4. – С. 205-213.
36. Колесников, Б. П. Методы изучения биогеоценозов в техногенных ландшафтах / Б. П. Колесников, Л. В. Моторина // Программа и методика изучения техногенных биогеоценозов. М.: Наука, – 1978. – С. 5–21.
37. Скрипко, В. В. Оценка эколого-геоморфологического состояния Приобского плато на основе бассейнового анализа: монография / В. В. Скрипко; АлтГУ. - Барнаул: Изд-во АлтГУ, – 2015. – 142 с.
38. Пашкевич, М.А. Способы защиты природной среды в зоне воздействия полигонов захоронения токсичных отходов минерально-сырьевого комплекса / М.А. Пашкевич, Е.В. Елдина // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 3. – С. 141-145.
39. Андроханов, В.А. Проблемы рекультивации в зоне мерзлотных почв // Мерзлотные почвы в антропоцене. Сборник тезисов Всероссийской научно-практической конференции. Сыктывкар / В.А. Андроханов – 2023. – С. 12-13.
40. Андроханов, В.А. Почвы техногенных ландшафтов лесостепной зоны западной Сибири / В.А. Андроханов, В.П. Середина, П.А. Тупикина // Современное состояние чернозёмов. Материалы III Международной научной конференции и II Международной

научной школы для молодых ученых «Мониторинг, охрана и восстановление почвенных экосистем в условиях антропогенной нагрузки». Ростов-на-Дону, – 2023. – С. 358-361.

41. Ульрих, Д.В. Аналитическая методика оценки эффективности технологий восстановления окружающей среды в условиях геотехнических систем южного Урала / Д.В. Ульрих, Г.М. Грейз // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № S7. – С. 3-15.

42. Язиков, Е.Г. Геоэкологический мониторинг: учебное пособие для вузов / Язиков Е.Г., А.Ю. Шатилов. – 2-е изд. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, – 2008. – 276 с.

43. Качурин, Н.М. Выбор технологий и направлений снижения техногенного воздействия минеральных образований на окружающую среду / Н.М. Качурин, Г.В. Стась, Д.О. Прохоров, О.А. Гаврина // Устойчивое развитие горных территорий. – 2024. – Т. 16. – № 1 (59). – С. 283-291.

44. Дзапаров В.Х. Загрязнение почвенного горизонта тяжелыми металлами в зоне деятельности хвостохранилищ / В.Х. Дзапаров, Ф.М. Дзедоева, Л.А. Засеева, А.А. Хугаева // Металлургические технологии и инновации - сегодня и завтра. Сборник докладов I Международной научно-практической конференции. Владикавказ, – 2023. – С. 182-186.

45. Солодухина, М.А. Особенности поглощения мышьяка растениями на территории природной геохимической аномалии читинской области / М.А. Солодухина // Вестник Томского государственного университета. – 2008. – № 314. – С. 193-195.

46. Юргенсон, Г.А. Мышьяк в зоне гипергенеза Шерловогорского горнопромышленного района / Г.А. Юргенсон, М.А. Солодухина // Вестник Читинского государственного университета. – 2011. – № 10 (77). – С. 117-123.

47. Adsorption of mercury (II) by soils: Effect of pH, chloride and organic matter / Y. Yin [et al.] // J.Environ.Qual. – 1996. – V. 25. – P. 837–844.

48. Takaheshi Y. Second Minamata disease outbreak occurred in Niigata // Water Report. – 1995. – V. 5. – № 1. – P. 52–60.

49. Amanda Lopes-Araújo, Gabriela P. Arrifano, Barbarella M. Macchi, Marcus Augusto-Oliveira, Letícia Santos-Sacramento, Rosa C. Rodríguez Martín-Doimeadios, María Jiménez-Moreno, Arnaldo J. Martins Filho, Jacqueline I. Alvarez-Leite, Reinaldo B. Oriá, José Luiz M. do Nascimento, Maria Elena Crespo-Lopez, Hair mercury is associated with dyslipidemia and cardiovascular risk: An anthropometric, biochemical and genetic cross-sectional study of Amazonian vulnerable populations // Environmental Research. – 2023, – Volume 229, 115971, ISSN 0013-9351, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115971>.

50. David O'Connor, Deyi Hou, Yong Sik Ok, Jan Mulder, Lei Duan, Qingru Wu, Shuxiao Wang, Filip M.G. Tack, Jörg Rinklebe, Mercury speciation, transformation, and transportation in soils, atmospheric flux, and implications for risk management: A critical review, *Environment International*, Volume 126, 2019, Pages 747-761, ISSN 0160-4120, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.019>.
- Wei C., Wang C., Yang L. Characterizing spatial distribution and sources of heavy metals in the soils from mining-smelting activities in Shuikoushan, Hunan Province, China // *Journal of Environmental Science*. – 2009. – № 21 (9). – P. 1230–1236.
51. Strivastava A. K. Phytoremediation for heavy metals - a land plant based sustainable strategy for environmental decontamination // *Proc. Nat. Acad. Sci., India. B*. – 1998. – № 3. – P. 199–215.
52. Башкин, В.Н. Биогеохимический подход при фитоэкстракции тяжелых металлов из загрязненных почв / В.Н. Башкин, Р.В. Галиулин, Р.А. Галиулина // *Биохимические инновации в условиях коррекции техногенеза биосферы. Труды Международного биогеохимического Симпозиума, посвященного 125-летию со дня рождения академика А.П. Виноградова и 90-летию образования Приднестровского университета. В 2-х томах*. – 2020. – С. 143-146.
53. Ашихмина, Т.Я. Биологический мониторинг природно-техногенных систем / Под общ. ред. Т.Я. Ашихминой, Н.М. Аалыкиной. – Сыктывкар, Коми: научный центр УрО РАН, – 2011. – 388 с.
54. Ивлев, А. М. Ноосфера. Современные проблемы в педосфере // *Добыча золота. Проблемы и перспективы* / под ред. Ю. А. Мамаева, В. Г. Крюкова. Хабаровск: Изд-во ИГД, – 1997. – Т. III. – С. 530–534.
55. Овраченко, М.М. Тяжелые металлы в системе: почва — растение — удобрение: автореферат дис. Доктора сельскохозяйственных наук / М.М. Овраченко. – Москва: Владимирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, – 2000. – 60 с. — URL: <https://rucont.ru/efd/31765>
56. Пузанов, А.В. Тяжелые металлы в системах "субстрат- воды" и "огородные почвы- культурные растения" горнопромышленных ландшафтов северо- западного Алтая / А.В. Пузанов, С.В. Бабошкина, И.В. Горбачев, Т.А. Рождественская // *Геохимия ландшафтов (к 100-летию А.И. Перельмана). Доклады Всероссийской научной конференции*. – 2016. – С. 441-444.
57. Прохорова, Н.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях степей Самарской области / Н.В. Прохорова, Я.А. Рязанова // *Степи Северной Евразии. Материалы X международного симпозиума (Международного степного форума)*. Оренбург, – 2024. – С. 1052-1057.
58. Попов, А. П. Тяжелые металлы в техногенных ландшафтах / А.П. Попов, А.Н. Минаев, Е.М. Деревцов // *Приморские зори – 2003: материалы Международных научных чтений*. Владивосток: Изд-во ТАНЭБ, – 2003. – С. 185.

59. Мониторинг и перспективы переработки техногенных россыпей золота юга Дальнего Востока / В. П. Молчанов [и др.] // Природа без границ: матер. II Международного экологического форума. Владивосток: Изд-во Дальневосточ. ун-та, – 2007. – 576 с.
60. Инсаров, Г.Э. Эпифитные лишайники в условиях загрязнения атмосферы Москвы: методология долговременного мониторинга / Г.Э. Инсаров, Е.Э. Мучник, И.Д. Инсарова // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – 2010. – Т. 23. – С. 276-295.
61. Влияние ионов свинца на рост проростков пшеницы, ячменя и огурца / А. Ф. Титов [и др.] // Физиология растений. – 1995. – Т. 42. – № 3. – С. 457–462.
62. Умаров, М.М. Некоторые биохимические показатели загрязнения почв тяжелыми металлами / М.М. Умаров, Е.Е. Азиева // Тяжелые металлы в окружающей среде. М.: МГУ, – 1980. – С. 109–115.
63. Растанина, Н.К. Влияние горного техногенеза на окружающую среду и здоровье населения горняцкого поселка в Приамурье / Н.К. Растанина, Л.Т. Крупская, Д.А. Голубев // Экологические системы и приборы. – 2020. – № 7. С. 41-50.
64. García Millán, V.E., Faude, U., Bicsan, A. et al. Monitoring Flooding Damages in Vegetation Caused by Mining Activities Using Optical Remote Sensing // Journal of Photogrammetry. – 2018. – №86, – 1–13. <https://doi.org/10.1007/s41064-018-0042-7>
65. Shijuan Chen, Curtis E. Woodcock, Eric L. Bullock, Paulo Arevalo. Monitoring temperate forest degradation on Google Earth Engine using Landsat time series analysis // Remote Sensing of Environment. – 2021. – №265(6360). – pp. 112648. DOI:10.1016/j.rse.2021.112648.
66. Xu J., Zhao H., Yin P. et al. Remote sensing classification method of vegetation dynamics based on time series Landsat image: a case of opencast mining area in China. J Image Video Proc. – 2018, – Article number: 113. <https://doi.org/10.1186/s13640-018-0360-0>
67. Растанина, Н.К. Оценка риска для здоровья населения, связанного с загрязнением среды обитания отходами переработки оловорудного сырья на юге Дальнего востока / Н.К. Растанина, П.Л. Растанин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2023. – № 8 (134).
68. Крупская, Л.Т. Способы оценки состояния среды обитания и здоровья населения в границах влияния закрытого горного предприятия и предложения по его оздоровлению / Л.Т. Крупская, Н.К. Растанина, М.Ю. Филатова // Журнал научных статей Здоровье и образование в XXI веке. – 2018. – Т. 20. – № 10. – С. 30-34.
69. Содержание мышьяка в волосах жителей юго-восточной части Забайкальского края / Е. М. Вершкова, Б. В. Нимаева, Л. А. Михайлова [и др.] // Здоровье и окружающая среда:

Сборник материалов международной научно-практической конференции, Минск, 23–24 ноября 2023 года. – Минск: РУП "Издательский центр БГУ", – 2023. – С. 482-485.

70. Лысенко, А. И. Негативное влияние борной промышленности на воды реки Рудной (Приморский край, Дальнегорский район) / А. И. Лысенко, В. П. Зверева // Экологическая химия. – 2024. – Т. 33, № 3. – С. 157-167.

71. Осипова Н.А., Филимоненко Е.А., Язиков Е.Г. Воздействие тяжелых металлов почвы как фактор риска для здоровья населения (на примере территорий угледобывающих регионов) // Успехи современного естествознания. – 2022. – № 12. – С. 124-135

72. Саксин, Б.Г. Региональная экология горного производства / Б.Г. Саксин, Л.Т. Крупская, А.М. Ивлев Хабаровск: изд-во ИГД ДВО РАН. – 2001. – 234 с.

73. Язиков, Е.Г. Геохимические особенности природных вод территории золоторудного месторождения Вьюн (Республика Саха-(Якутия)) / Е.Г. Язиков, А.Ю. Мишанькин, Н.А. Осипова, Е.А. Филимоненко, Ю.А. Карпенко, Ю.П. Собянин // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 2. – С. 176-189.

74. Арефьева, О.Д. Влияние ликвидированных шахт на загрязнение бассейна реки Партизанская Приморского края / О.Д. Арефьева, П.И. Миткина, В.С. Петин // Вода: химия и экология. – 2023. – № 10. – С. 34-40.

75. Тарасенко, И.А. Механизмы формирования и особенности состава подземных вод в районах ликвидированных угольных шахт России и Украины / И.А. Тарасенко, А.В. Зиньков // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами. Сборник материалов четвертой Всероссийской научной конференции с международным участием. Геологический институт СО РАН. Улан-Удэ, – 2020. – С. 266-269.

76. Gas'kova O.L., Strakhovenko V.D., Ovdina E.A. Composition of brines and mineral zoning of the bottom sediments of soda lakes in the Kulunda steppe (West Siberia) // Russian Geology and Geophysics. – 2017. – Т. 58. – № 10. – С. 1199-1210.

77. Гаськова, О.Л. Концептуальная модель миграции урана и сопутствующих элементов из шламохранилищ низкоактивных рао в окружающую среду (на основе полевых, экспериментальных и термодинамических данных) / О.Л. Гаськова, А.Е. Богуславский // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами. Материалы Второй Всероссийской конференции с международным участием. – 2015. – С. 183-186.

78. Барановская, Н.В. Особенности миграции химических элементов в природных водах и их отложения в виде минеральных новообразований в живых организмах (физико-химическое моделирование с верификацией на животных) / Н.В. Барановская, С.И. Мазухина, А.М. Паничев, Е.А. Вах, И. Тарасенко, И.В. Серёдкин, С.С. Ильенок, В.В. Иванов, Е.В. Агеева, Р.А.

Макаревич, Д.А. Стрепетов, А.В. Ветошкина // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 2. – С. 187-201.

79. Сорокина, О.А. Влияние подвижных форм тяжелых металлов на микробиологическую активность почвогрунтов россыпной золотодобычи (на примере долины реки Джалинды, Приамурье) / О.А. Сорокина, Л.М. Павлова, В.И. Киселев // Сибирский экологический журнал. – 2008. – Т. 15. – № 3. – С. 473-484.

80. Лысенко, А. И. Формирование дренажных вод в отходах Краснореченской обогатительной фабрики в зависимости от температуры и глубины (Дальний Восток России) / А. И. Лысенко, В. П. Зверева // Экологическая химия. – 2023. – Т. 32, № 3. – С. 160-165.

81. Барановская, Н. В. Химические элементы в организмах жителей регионов России / Н. В. Барановская // Эволюция биосферы и техногенез: Материалы Всероссийской конференции с международным участием, Чита, 30 августа – 01 2021 года. – Чита: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук, – 2022. – С. 180-182. – DOI 10.57245/978_5_9293_3064_3_2022_1_180.

82. Цигулев, К.С. Исследование естественного восстановления биоты природно-технических комплексов Хабаровского края по данным ДЗЗ / К.С. Цигулев, В.Е. Окладников, Ю.А. Озарян, В.И. Усиков // Информационные технологии в науке и образовании. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Хабаровск, – 2024. – С. 41-44.

83. Matheus B. Soares, Rebeca R. Rodrigues, Laura O. Péres, Carlos Eduardo P. Cerri, Luís Reynaldo F. Alleoni, Impact of climatic seasons on the dynamics of carbon, nitrogen and mercury in soils of Brazilian biomes affected by gold mining // Science of The Total Environment. – 2024, – Volume 954, 176279, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176279>.

84. Felipe de Lucia Lobo, Maycira Costa, Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo, Kevin Telmer. Distribution of Artisanal and Small-Scale Gold Mining in the Tapajós River Basin (Brazilian Amazon) over the Past 40 Years and Relationship with Water Siltation // Remote sensing. – 2016. – № 8 (7). – pp. 579-601.

85. Озарян, Ю.А. Эколого-ландшафтный подход в оценке качества окружающей среды природно-технических систем / Ю.А. Озарян, В.И. Усиков // Экологические системы и приборы. – 2019. – № 11. – С. 48-55.

86. Усиков, В.И. Использование дистанционного зондирования земли в решении задач геоэкологии на территории ЕАО / В.И. Усиков, Ю.А. Озарян // Современные проблемы регионального развития. Тезисы VI Международной научной конференции. Под редакцией Е.Я. Фрисмана. – 2016. – С. 55-58.

87. Бубнова, М.Б. Анализ экологической обстановки в пределах г. Райчихинска - проблемы и возможные пути их решения / М.Б. Бубнова, Ю.А. Озарян // Экологические системы и приборы. – 2016. – № 9. – С. 47-51.
88. Озарян, Ю.А. Дистанционное зондирование восстановления растительности в горнодобывающих районах юга Дальнего Востока / Ю.А. Озарян // Горный журнал. – 2024. – № 6. – С. 105-109.
89. Леоненко, А. В. Социально-экологическое исследование зон отработки горнодобывающих предприятий на юге Дальнего Востока / А. В. Леоненко // Горный журнал. – 2006. – № 9. – С. 78-80.
90. Леоненко, А.В. Комплексный подход к дистанционному анализу с интерполяцией данных геоэкологического мониторинга в программе QGIS / А.В. Леоненко // Интенсификация использования и воспроизводства лесов Сибири и Дальнего Востока. материалы Всероссийской научной конференции с международным участием. Хабаровск, – 2023. – С. 112-118.
91. Леоненко, А.В. Методика дистанционного анализа отработанных золотороссыпных площадей (на примере Кербинского района) / А.В. Леоненко, В.И. Усиков, Л.Т. Крупская // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2022. – № 1. – С. 98-113.
92. Озарян, Ю.А. Методика дистанционного мониторинга природно-технических систем (на примере горнопромышленных районов юга Дальневосточного региона) / Ю.А. Озарян, М.Б. Бубнова, В.И. Усиков // Горный журнал. – 2020. – № 2. – С. 84-89.
93. Галченко, Ю.П. Методика определения биологически обоснованного уровня пылевого загрязнения природных экосистем при разработке месторождений / Ю.П. Галченко // Научные и практические аспекты добычи цветных и благородных металлов. Т. 2. Хабаровск – 2000. – С. 386-392.
94. Галченко, Ю.П. Обеспечение экологической безопасности горного производства на основе коэволюции природных и техногенных геосистем / Ю.П. Галченко // Горные науки на рубеже XXI века. Екатеринбург: ИГД УРО РАН, – 1998. – С. 418-427.
95. Галченко, Ю.П. О методологических подходах к проблеме биологического нормирования площадей техногенного разрушения естественной биоты при строительстве горнодобывающих предприятий / Ю.П. Галченко, С.В. Хишнктуев // Экологические системы и приборы. – 2001. – №4. – С. 16-21.
96. Крупская, Л.Т. Характеристика различных зон загрязнения, возникающих при эксплуатации рудных месторождений / Л.Т. Крупская, Б.Г. Саксин // Материалы IV Международного симпозиума «Геологическая и минералогическая корреляция в сопредельных районах России, Китая и Монголии». Чита: ЧИПР СО РАН (Комитет природных ресурсов Читинской области), – 2001. – С. 150-151.

97. Крупская Л.Т. Охрана и рациональное использование земель на горных предприятиях Приамурья и Приморья / Л.Т. Крупская // Приамурское русское географическое общество ИГД ДВО РАН. Хабаровск, – 1992. – 175с.

98. Крупская, Л.Т. Оценка воздействия горного производства на почвы Дальнего Востока / Л.Т. Крупская // Влияние горного производства на объекты природной среды. Владивосток: Дальнаука, – 1989. – С. 80-86.

99. Крупская, Л.Т. Прогноз экологического риска горного производства: концептуальное направление, картографическое выражение / Л.Т. Крупская, Б.Г. Саксин, М.Б. Бубнова // Экологический риск: анализ, оценка, прогноз. Материалы Всероссийской конф. Иркутск, – 1998. – С. 13-14.

100. Красавин, А.П. Временная инструкция по применению технологии ускоренной рекультивации нарушенных земель без нанесения плодородного слоя почвы с использованием препарата гуминовых кислот и активных штаммов микроорганизмов в Приморье и Приамурье / А.П. Красавин, А.Н. Хорошевич, Л.Т. Крупская, Е.В. Новикова. – Владивосток: Дальнаука, 1990. - 12 с.

101. Крупская. Л.Т. Концептуальные основы мелкомасштабного картографирования в горной экологии / Л.Т. Крупская, А.П. Ван-Ван-Е, М.Б. Бубнова, Б.Г. Саксин // Научно-технические проблемы освоения минеральных ресурсов на Дальнем Востоке. Владивосток: Дальнаука, – 2000. – С.206-208.

102. Пашкевич М.А. Оценка воздействия техногенных массивов на природную среду в горнопромышленных регионах / М.А. Пашкевич // Автореф. дис. на соиск. уч. ст. д.т.н. Спб., – 2001. – 41 с.

103. Пашкевич, М.А. Мониторинг и оценка негативного воздействия техногенных массивов минерально-сырьевого комплекса / М.А. Пашкевич, Ю.А. Куликова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2023. – № 9-1. – С. 231-247.

104. Овешников Ю.М. Научно-методические основы и организационно-технические методы охраны окружающей среды и рационального освоения россыпных месторождений / Ю.М. Овешников // Автореф. диссерт. на соиск. уч. ст. доктора технич. наук. Спб., – 1997. – 44 с.

105. Тарчевский В.В. Закономерности формирования фитоценозов на промышленных отвалах / В.В. Тарчевский // Автореф. доктора биологических наук. Томск., – 1967. – 36 с.

106. Осипов, С.В. К характеристике лиственницы каяндера (*Larix cajanderi* Matr) на дражных отвалах Приамурья / С.В. Осипов, О.Л. Бурундукова // Экология. – 2005. – № 4. – С. 259-263.

107. Павлова, Ж.П. Экология. Рациональное природопользование. Экономика / Ж.П. Павлова, В.П. Дедюхина, Н.И. Павлов, М.М. Кулеш. Владивосток: Изд-во ДВГАЭУ, – 2000. – 215 с.
108. Паушева, О.И. Циточенические методы исследования / О.И. Паушева. М. Колос, – 1989. – 205 с.
109. Вагнер, Б.Б. К вопросу миграции олова в водах зоны гипергенеза / Б.Б. Вагнер // Вопросы формирования химического состава подземных вод. М.: ВСЕГИНГЕО, – 1979. – Вып. 128. – С. 51-61.
110. Добровольский, Г.В. Охрана почв / Г.В. Добровольский, Л.А. Гришина М., 1985. 224 с. Долговременная программа охраны природы и рационального использования природных ресурсов Приморского края до 2005 г. (Экологическая программа) Владивосток, – 1992. – 276 с.
111. Шилов Н.А. Основные учения о россыпях. М.: Наука, – 1981. – 383 с.
112. Ильин, А.М. О влиянии техногенных провинций, образованных горно-металлургическими и химическими производствами, на экологическую безопасность регионов / А.М. Ильин, В.Т. Галзитский // Сб. Безопасность и экология горных регионов. Владикавказ, – 1995. – С. 44-48.
113. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, – 1991. – 151 с.
114. Тайсаев, Т. Т. Техногенный поток рассеяния золота и ртути в гольцово-таежных ландшафтах / Т. Т. Тайсаев // Доклады Академии наук СССР. – 1991. – Т. 317, № 3. – С. 719-722.
115. Тарчевский, В.В. Биологические методы консервации золоотвалов тепловых электростанций Урала / В.В. Тарчевский // Растения и промышленная среда. Свердловск, – 1964. – С. 70-115.
116. Майорова, Л.П. Экологическая напряженность территории / Л.П. Майорова, О.М. Морина, Н.А. Нарбут // Методические указания к выполнению лабораторной по курсу «Экология» для студентов всех специальностей. ТОГУ, – 2010. – 40 с.
117. Крюков В.Г., Воронов Б.А., Ефимов Н.Н., и др. Принципы рационального природопользования (на примере Хабаровского края). Хабаровск, Изд-во: Приамурское географическое общество, – 2000. – 120 с.
118. Куимова, Н.Г. Аккумуляция и кристаллизация золота микроскопическими грибами / Н.Г. Куимова, Л.М. Павлова, Н.Г. Моисеенко // Вестник ДВО РАН, – 1999. – №2. – С. 48-55.
119. Зверева, В.П. Техногенные системы оловорудных месторождений Дальнего Востока, их рудничные и шламовые воды / В.П. Зверева // V научный семинар «Минералогия техногенеза-2004». Российская АН, Уральское отделение. Миасс, – 2004. – С. 153-164.

120. Зверева, В.П. Техногенное воздействие горнопромышленного комплекса и его экологические последствия (Дальнегорский район, Приморье) / В.П. Зверева, О.Н. Кравченко // IV научный семинар «Минералогия техногенеза - 2003». Российская АН, Уральское отделение. Миасс, – 2003. – С. 115-221

121. Николишин, И.Я. Исторический мониторинг состояния загрязнений окружающей природной среды (обзор методов) / И.Я. Николишин, Н.Г. Алексеева // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Л.: Гидрометеоиздат, – 1979. – С. 125-133.

122. Ливеровский, Ю.А. Почвенно-географическое районирование Приамурья / Ю.А. Ливеровский, Л.П. Рубцова // Вопросы природного районирования Советского Дальнего Востока в связи с районной планировкой. М.: Изд-во МГУ, – 1962. – С. 149-170.

123. Трубецкой, К.Н. Устойчивость биологических сообществ и экологическая безопасность технологий освоения земных недр / К.Н. Трубецкой, Ю.П. Галченко // Горный вестник. – 1998. – № 5. – С. 3-9.

124. Воробьев, А.Е. Взаимодействие горнопромышленного комплекса и биосферы / А.Е. Воробьев, В.И. Голик // Вестник МАНЕБ. Владикавказ, – 1998, – № 10. – С. 64-68.

125. Папичев, В.П. Методология комплексной оценки техногенного воздействия горного производства на окружающую среду. / В.П. Папичев // Автореф. дис. На соиск. уч. ст. д.т.н., М., – 2004. – 41 с.

126. Колесников, Б.П. Геоботаническое районирование Дальнего Востока и закономерности размещения его растительных ресурсов/ Б.П. Колесников // Вопросы географии Дальнего Востока. – 1963. – № 6. – С. 158-182.

127. Колесников, Б.П. О научных основах биологической рекультивации техногенных ландшафтов / Б.П. Колесников // Проблемы рекультивации земель в СССР. Новосибирск, – 1974 а. – С. 12-25.

128. Колесников, Б.П. Очерк растительности Дальнего Востока / Б.П. Колесников. Хабаровское книжное изд-во, – 1955. – 104 с.

129. Колесников, Б.П. Рекультивация техногенных ландшафтов / Б.П. Колесников // Человек и окружающая среда. Л., – 1974 б. – С. 220-232.

130. Колесников, Б.П. Биорекультивационное районирование Свердловской области / Б.П. Колесников, А.И. Лукьянец // Растения и промышленная среда. Свердловск, – 1976. – С. 10-16.

131. Колесников, Б.П. Методы изучения техногенных биогеоценозов в техногенных ландшафтах / Б.П. Колесников, Л.В. Моторина. М.: Наука. – 1963. – 150 с.

132. Колесников, Б.П. Рекультивация земель, нарушенных промышленностью: (проблемы оптимизации техногенных ландшафтов) / Б.П. Колесников, Л.В. Моторина. ВДНХ. М., – 1974. – 37 с.
133. Колесников, Б.П. Рекультивация на Урале / Б.П. Колесников, Г.М. Пикалова, Г.И. Махонина и др. // Разработка способов рекультивации ландшафта, нарушенного промышленной деятельностью: Материалы V Междунар. симп. Бургас; Солнечный берег, – 1973. – С. 88-93.
134. Колесников, С.И. Влияние загрязнения тяжелыми металлами на микробную систему чернозема / С.И. Колесников, К.Ш. Казеев, В.Ф. Вальков // Почвоведение. – 1999. – № 4. – С. 505-511.
135. Израэль, Ю.А. Экологическое нормирование: методология и практика / Ю.А. Израэль, С.Н. Семенов, И.М. Кутина // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Л., – 1991. – Т. 13. – С. 10-24.
136. Израэль, Ю.А. К проблеме оценки и прогноза изменений состояния экосистем / Ю.А. Израэль, Л.М. Филиппова // Проблема экологического мониторинга и моделирования экосистем. Л.: Гидрометеиздат, – Т.7. – 1985. – С. 9-26.
137. Данилов-Данильян, В.И. Экологический вызов и устойчивое развитие / В.И. Данилов-Данильян, К.С. Лосев. М.: Изд. Прогресс-Традиция, – 2000. – 416 с.
138. Мамаев, Ю.А. Крупномасштабное и комплексное освоение природных и техногенных россыпных месторождений Дальнего Востока. Добыча золота. Проблемы и перспективы / Ю.А. Мамаев, В.С. Литвинцев, А.П. Ван-Ван-Е // Докл. Научно-практ. семинара. Хабаровск, – 1997. – Т. 1. – С. 122-126.
139. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» / Российская газета, 2002, 12 января. (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2024). https://rpn.gov.ru/upload/iblock/abd/bur4cxwx76yqdmrslcjdv724rloaiyvvh/Federalnyy-zakon-ot-10.01.2002-N-7_FZ-_red.-ot-25.12.2023_.pdf
140. Красавин, А.П. Ускоренная рекультивация породных отвалов угольных предприятий с использованием микроорганизмов / А. П. Красавин, А. Н. Хорошавин, И. В. Катаева, В. А. Екатерининский // Растения и промышленная среда. Свердловск, – 1985. – С. 124-129.
141. Паюсова, Е.А. Естественное лесовозобновление на отвалах разработки россыпей в бассейне Большой Уссурки / Е.А. Паюсова // Технические аспекты охраны окружающей среды и рационального природопользования. Владивосток, – 1985. – С. 118-129.
142. Певзнер, М.Е. Горное дело и охрана окружающей среды / М.Е. Певзнер, А.А. Малышев, А.Д. Мельков, В. П. Ушань. М.: МГГУ, – 1997. – 298 с.

143. Воробьев, А.Е. Проблема самоорганизации современной биосферы и геохимия горнопромышленных ландшафтов / А.Е. Воробьев // Сб.: Актуальные проблемы современного естествознания. Калуга, – 1997. – С. 44-45.
144. Борисова, В.Н. Возможность решения некоторых экологических вопросов при геологоразведочных работах / В.Н. Борисова, П.В. Елпатьевский // Тихоокеан. геол. – 1992. – №3. – С. 134-139.
145. Сидоров, Ю.Ф. Прогнозная экологическая оценка техногенного загрязнения ртутью экосистем районов золотодобычи юга Дальнего Востока / Ю.Ф. Сидоров, Л.Т. Крупская, А.М. Поздняков, Б.Г. Саксин. Хабаровск: Изд-во ХГТУ, – 2003. – 31 с.
146. F. Steenhuisen, S.J. Wilson, Development and application of an updated geospatial distribution model for gridding 2015 global mercury emissions // *Atmospheric Environment*, – 2019, – Volume 211, – Pp. 138-150, ISSN 1352-2310, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.05.003>.
147. Байдина, Н.М. Инактивация тяжелых металлов гумусом и цеолитами в техногенно – загрязненной почве / Н.М. Байдина // Почвоведение. – 1994. – № 9. – С. 121-125.
148. Карпухин, А.И. Комплексные соединения гумусовых кислот с ионами тяжелых металлов в генезисе почв и питании растений / А.И. Карпухин, В.А. Касатиков. М.: Россельхозакадемия, – 2007. – 218 с.
149. Andersson A. Mercury in Soils // *The biogeochemistry of mercury in the Environment*. Amsterdam, New York and Oxford: Elsevier/North-Holland Biomedical Press, – 1979. – P. 31-40.
150. Пехтерев, А.К. Материалы к географии и растительности района им. Полины Осипенко / А.К. Пехтерев // Ученые записи (биологические и химические науки). Хабаровск: ХГПУ, – 1964. – Т. 11. – С. 61-67.
151. Небел В. Наука об окружающей среде. М.: – 1993. – 420 с.
152. Никитин, Д.И. Процессы самоочищения окружающей среды / Д.И. Никитин, Э.С. Никитина. М. Наука. – 1978. – 205 с.
153. Олейников, А.Г. Специфические особенности рекультивации хвостохранилищ / А.Г. Олейников, Р.А. Дурова, Н.Д. Стороженко // Растения и промышленная среда. Свердловск, – 1982. – С. 65-74.
154. Махинова, А.Ф. Дерново-подзолистые почвы Нижнего Приамурья / А.Ф. Махинова // Рациональное использование почв Приамурья. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, – 1983. – С. 52-65.
155. Махинова, А.Ф. Изменение почвенного покрова под влиянием деятельности ГОКа / А.Ф. Махинова // Влияние деятельности Нижне-Амурского ГОКа на состояние экосистем и разработка мер по снижению отрицательного воздействия. Хабаровск, – 1994. – С. 180-184.

156. Черных, Н.А. Экотоксикологические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами / Н.А. Черных, Н.З. Милащенко, В.Ф. Ладонин. М.: Агроконсалт, – 1999. – 175 с.
157. Чибрик, Т.С. Формирование фитоценозов на нарушенных промышленностью землях (биологическая рекультивация) / Т.С. Чибрик, Ю.А. Елькин. Свердловск: Изд-во УРУ, – 1991. – 219 с.
158. Ивлев, А.М. Почвенно-экологическое картографирование / А.М. Ивлев, А.М. Дербенцева, В.И. Ознобихин и др. Владивосток: Изд-во Дальневосточного ун-та, – 2005. – 104 с.
159. Ивлев, А.М. Деграцированные почвы и их рекультивация / А.М. Ивлев, А.М. Дербенцева // Учебное пособие. Владивосток: Изд-во Дальневосточного ун-та, – 2005. – 77 с.
160. Ивлев, А.М. Техногенное разрушение почвенного покрова / А.М. Ивлев, А.М. Дербенцева, Л.Т. Крупская // Научные и прикладные вопросы мониторинга земель Дальнего Востока. Владивосток, – 1993. – С. 94-96.
161. Звягинцев, Д.Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей / Д.Г. Звягинцев // Почвоведение. – 1978. – № 6. – С. 48-55.
162. Горовая, А.И. Методические аспекты мутагенного фона и генетического риска для человека и биоты от действия мутагенных экологических факторов / А.И. Горовая, Л.Ф. Бобырь, В.М. Дигурко, Т.В. Скворцова // Цитология и генетика. – 1996. 30, – № 6. – с. 78-86.
163. Грехнев, Н.И. Эколого-геохимические оценки техногенного загрязнения геосистем горнорудных районов юга Дальнего Востока / Н.И. Грехнев // Влияние процессов горного производства на объекты природной среды. Владивосток: Дальнаука, – 1998. – С. 32-44.
164. Грехнев, Н.И. Тяжелые металлы в геосистемах районов добычи и переработки оловянно-полиметаллических руд юга Дальнего Востока / Н.И. Грехнев, В.И. Остапчук, Л.В. Кислицын // Влияние процессов горного производства на объекты природной среды. Владивосток: Дальнаука, – 1998. – С. 12-32.
165. Косинова, И.И. Биоиндикационные методы наблюдений как элемент геологического мониторинга зон влияния горнодобывающих предприятий (на примере Михайловского ГОКа) / И.И. Косинова, М.А. Небольсина // Вестник Воронежского Государственного университета. Серия Геология. – № 1. – 2003. – С. 148.
166. Zvereva, V. The role of hypergenic and technogenic processes in contamination the ecosphere / Zvereva V., Frolov K. // Minerals. – 2024. – Т. 14. – № 10. – С. 976.
167. Irene Vélez-Torres, Diana Vanegas. Contentious environmental governance in polluted gold mining geographies: The case of La Toma, Colombia // World Development. – 2022, – Volume 157, 105953, ISSN 0305-750X, <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2022.105953>.

168. Olushola Daniel Eniowo, When closure fails: Uncovering the environmental impact of gold rewashing on abandoned mine sites in Southwestern Nigeria // *World Development Perspectives*. – 2025, – Volume 38, 100682, ISSN 2452-2929, <https://doi.org/10.1016/j.wdp.2025.100682>.

169. Виноградский, С.И. Микробиология почвы. Проблемы и методы. 50 лет исследований. М.: Издательство АН СССР, – 1952. – 792 с.

170. Леоненко, А.В. Медико-социальный аспект исследования состояния здоровья населения в горняцких поселках / А.В. Леоненко, Е.И. Бондаренко. Вологда. – 2007. – С. 288-290. <http://www.sno.vstu.edu.ru>

171. Леоненко, А.В. Человек и природа в социокультурном измерении: актуальные социально-экологические проблемы населения горняцких поселков / А.В. Леоненко, В.Т. Старожилов // Горный информационно-аналитический бюллетень. Дальний Восток -2. – Отдельный выпуск № 5. – 2009. – С.353-362

172. Моторина, Л.В. Развитие исследований и практических работ по рекультивации земель / Л.В. Моторина // Экологические основы рекультивации земель. М., – 1985. – С. 5-10.

173. Влияние загрязнений воздуха на растительность. / Под редакцией Х.Г. Дейлера. М.: Лесная промышленность, – 1981. – 184 с.

174. Лукьянец, А.И. Закономерности естественного облесения промышленных отвалов Свердловской области / А.И. Лукьянец // Проблемы рекультивации земель в СССР. Новосибирск, – 1974 а. – С. 241-248.

175. Krumbein W.E. Role des microorganismos dans la genese la diagenese et la degradation des roches et en place // *Rev.ecol., et biolsol.* 1972. V.9. № 3. P.283-319.

176. Kirkham M. Disposal of sludge on land: effection soil, plantsand groundwater-compost // *Science*. – 1974. – Vol.15. – № 2. – P.6-10.

177. Зонн, С.В. Алюминий. Роль в почвообразовании и влиянии на растения / С.В. Зонн, А.П. Травлеев. Днепропетровск: Издаткльство ДГУ, – 1992. – 224 с.

178. Махинов, А.Н. Современный аллювиально-аккумулятивный морфолитогенез в бассейне Нижнего Амура / А.Н. Махинов // Автореф. дисс. ...докт. геогр. наук. М.: МГУ, – 1996. – 46 с.

179. Крупская, Л.Т. Методические подходы к оценке состояния экосистем в процессе горного производства / Л.Т. Крупская, А.А. Бабурин, Б.Г. Саксин // Научно-техничесое обеспечение горного производства. – Алматы. – 2004. – Том 68, – часть 2. – С. 135-137.

180. Ганин, Г.Н. Биогеохимическая индукция заповедных и освоенных территорий (на примере почвенных беспозвоночных животных) / Г.Н. Ганин // Биогеохимическая индикация природных и техногенных концентраций Химических элементов в окружающей среде. Владивосток, – 1992. – С. 110-111.

181. Ганин, Г.Н. Почвенная мезофауна - биоиндикатор состояния агроценозов / Г.Н. Ганин // Трансформация мелиорированных торфяных почв в Приамурье. Владивосток; Хабаровск: Дальнаука, – 1995 а. – С. 101-104.
182. Ганин, Г.Н. Тяжелые металлы в почвенных беспозвоночных заповедников Российского Дальнего Востока / Г.Н. Ганин // Экология. – 1995 б. – №5. – С. 386-372.
183. Гарина, К.П. Использование семян высших растений для анализа мутагенности факторов окружающей среды и модификации защитного эффекта протекторов / К.П. Гарина, А.А. Нуржанова // Генетические проблемы загрязнения окружающей среды на территории Молдавской ССР. Кишинев, – 1980. – С. 17-19.
184. Старожилов В. Т. Региональные особенности компонентов и факторов структуры и организации ландшафтов юга Дальнего Востока (на примере Приморского края): Монография. Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, – 2007. – 114 с. ISBN 978-5-7444-2057-4.
185. Бурцов, В.Я. Эффективный способ складирования хвостов / В.Я. Бурцов, В.А. Горбенко, М.С. Гойштейн // Горный журнал. – 1988. – № 6.
186. Меннинг, У.Д. Биомониторинг загрязнения атмосферы с помощью растений / У.Д. Меннинг, У.А. Федер. Л.: Гидрометеиздат, – 1985. – 143 с.
187. Голубев, Г.Н. Еще раз об основе устойчивого развития природы и общества / Г.Н. Голубев, В.И. Данилов-Данильян, К.Я. Кондратьев, В.М. Котляков, К.С. Лосев // Вестник РАН. – 1997. – №5. – С. 415-420.
188. Головкин, В.А. Модель комплексной оценки устойчивого развития региональных экосистем по данным спутников и наземных наблюдений / В.А. Головкин, В.В. Козодеров, Т.В. Кондранин // Научные исследования высшей школы по экологии и рациональному природопользованию: Санкт-Петербургский горный институт. СПб, – 2000. – С. 155-158.
189. Marina Germanovna Opekunova, Scott Elias, Anatoly Yurievich Opekunov, Heavy metal pollution in the Arctic, Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences // Elsevier. – 2025, ISBN 9780124095489, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85242-5.00029-4>.
190. Реймерс Н.Ф. Экология. М.: Россия молодая. – 1994. – 767 с.
191. Елпатьевский П.В. Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных геосистемах. М.: Наука, – 1993. – 252 с.
192. Осипов, С.В. Начальные этапы лесообразовательного процесса на дражных и гидравлических полигонах в бассейне реки Олга (Буреинское нагорье, Дальний Восток) / С.В. Осипов // Классификация и динамика лесов Дальнего Востока. Материалы международ. конференции. Владивосток, – 2001. – С. 163-165.

193. Буриев, С.Б. Биотехнологические основы очистки сточных вод золотоизвлекающих фабрик / С.Б. Буриев, А.А. Ахунов, Х.Х. Ахунов // Фотосинтез и фотобиотехнологии: Тез. докл. Пушино, – 1991. – С.17-23.
194. Перельман, А.И. Геохимия ландшафта и горная наука / А.И. Перельман, А.Е. Воробьев // Сб.: Горное производство и наука на рубеже веков. Вестник горно-металлургической секции (Отделение горных наук). М.: АЕН, – 1996. – С. 47-55.
195. Качурин, Н.М. Геоэкологическая оценка эффективности защиты окружающей среды и природоохранных мероприятий при подземной добыче угля / Н.М. Качурин, Г.В. Стась, С.З.К. Калаева, Т.В. Корчагина // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2016. – № 3. – С. 63-81.
196. Крупская, Л.Т. К вопросу устойчивого развития горного производства на Дальнем Востоке / Л.Т. Крупская, Б.Г. Саксин, Н.П. Хрунина // Переход Хабаровского края на модель устойчивого развития: экология, природопользование. Хабаровск: Крайкомэкология, – 2000. – С. 75-85.
197. Леоненко, А.В. Приоритетные пути развития и реализации новых горных технологий, отвечающих требованиям социальной экологии / А.В. Леоненко, Р.С. Серый // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск № ОВ 9: Дальний Восток, – 2007. – С. 513-518.
198. Леоненко, А.В. К вопросу загрязнения техногенных экосистем тяжелыми металлами (на примере Кербинского прииска) / А.В. Леоненко, Е.А. Чумаченко // Окружающая среда – XXI век»: Матер. Третьей Международной научной конференции. Том II. Днепропетровск, – 2006. – С. 23 – 25.
199. Леоненко, А.В. Оценка техногенного ртутного загрязнения экосистем в процессе золотодобычи и методы их защиты / А.В. Леоненко, Е.А. Чумаченко, Н.К. Растанина // Экологическая безопасность как ключевой фактор устойчивого развития. Матер. X Международной экологической конференции студентов и молодых ученых, М.: МГГУ – 2006. – Том 2. – С.56 - 58.
200. Леоненко, А.В. Снежный покров как индикатор техногенного загрязнения в зоне влияния золотодобычи (на примере шлихообогатительной установки Кербинского прииска) / А.В. Леоненко, А.Г. Новороцкая, Е.А. Чумаченко // Проблемы комплексного освоения георесурсов: Материалы III Международной научной конференции (Хабаровск, 16-18 сентября 2009 г.). 4 том. Хабаровск: ИГД ДВО РАН, – 2010. – 264 с.
201. Леоненко, А.В. Оценка техногенного ртутного загрязнения почв в процессе золотодобычи на юге Дальнего Востока и методы их защиты / Л.Т. Крупская, А.В. Леоненко//

Тезисы докладов 43-ей научно-технической конференции студентов и аспирантов ХГТУ. Хабаровск. – 2003. – С. 75-76.

202. Постановления Правительства Российской Федерации от 8 мая 1996 г. № 559 «О разработке проекта Государственной стратегии устойчивого развития Российской Федерации». <https://docs.cntd.ru/document/9019415>

203. Экологическая доктрина Российской Федерации (одобрена распоряжением Правительства РФ от 31 августа 2002 г. N 1225-п). <https://docs.cntd.ru/document/901826347>

204. Яхонтова, Л.К., Зверева (Постникова), В.П. Основы минералогии гипергенеза. Владивосток: Дальнаука. – 2000. – 331 с.

205. Adamck Z.V. Poddolovana pudado Slurb nascho zemedelstvil // Vhli, – 1961. – P. 103-107.

206. Agarval S.C. Environmental Pollution and Ecological Imbalance in Sindel Scade Mining Projects. - Causes, Prevention and Rehabilitation - Indian Mining. – 1996. – 25. – H12. – P. 27-37.

207. Борисова, В.Н. Характеристика техногенных потоков на разрабатываемых горных предприятиях Дальнего Востока / В.Н. Борисова, П.В. Елпатьевский // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных систем. М.: Наука, – 1992. – С. 180-185.

208. Шибалова, Г.В. Возможности применения дистанционного зондирования для сбора информации о нарушенных землях / Г.В. Шибалова // Природообустройство. – 2010. – № 4.

209. Лобанов Д.П., Вершикова Л.М. Микробиологическое выщелачивание металлов / Д.П. Лобанов, Л.М. Вершикова, С.И. Польный, Э.В. Адамов, В.В. Панин // Технология бактериального выщелачивания цветных и редких металлов. М: Недра, – 1982. – 288 с.

210. Лукьянец, А.И. Оценка естественного восстановления и опыта рекультивации на песчаных отвалах Кичигинского месторождения формовочных песков / А.И. Лукьянец, Г.И. Махонина, Т.С. Чибрик // Рекультивация земель, нарушенных при добыче полезных ископаемых: Тез. Докл. коорд. совещ. Тарту, – 1975. – С. 161-173.

211. Нагорный, В.А. Методические рекомендации, по эколого-геохимической оценке, техногенного загрязнения ртутью природной среды районов отработки золотороссыпных месторождений юга Дальнего Востока / В.А. Нагорный. Хабаровск, ДВИМС, – 1996.

212. Алисов, Б.П. Климат СССР. М.: Высшая школа, – 1956. – 104 с.

213. Витвицкий, Г.Н. Дальний Восток. Физико-географическая характеристика. М.: Изд-во АН СССР, – 1961. – С. 93–115.

214. Геология докембрия и тектоника Дальнего Востока: Сборник статей / АН СССР, Дальневост. науч. центр, Дальневост. геол. ин-т; [Отв. ред. д-р геол.-минерал. наук А. М. Смирнов]. Владивосток: ДВНЦ, – 1975. – 180 с.

215. Александр Федорович Будищев - первоисследователь лесов Дальнего Востока: сборник статей / ред. канд. биол. наук Н. Г. Васильев; Акад. наук СССР, Сибирское отд-ние, Дальневосточный филиал им. В. Л. Комарова, Биол.-почв. ин-т. Владивосток: Дальневосточное кн. изд-во, – 1965. – 32 с.
216. Физическая география: Кн. 1-2 / Соч. М. Венюкова. - Санкт-Петербург: тип. Имп. Акад. наук, – 1865. – 2 т.
217. Арсеньев, В.К. Краткий географический очерк Уссурийского края // Сочинения: в 6 т. Т. 5. Владивосток: Примиздат, – 1948. – С. 3–110.
218. Арсеньев, В.К. По Уссурийскому краю: Путешествие в горную область Сихотэ-Алинь в 1906 г. // Собр. соч.: в 6 т. Т. 1. Владивосток: Рубеж, – 2007. – 396 с.
219. Ливеровский, Ю.А., Колесников, Б.П. Природа южной половины советского Дальнего Востока. М.: Изд-во геогр. лит., – 1949. – 282 с.
220. Справочник по климату СССР. Вып. 25. Ч.3 Ветер. Л.: Гидрометеиздат, – 1966. – 312 с.
221. Справочник по климату СССР. Вып. 25. Ч.4 Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. Л.: Гидрометеиздат, – 1968. – 275 с.
222. Шевцов, М.Н. Состояние водных ресурсов и их преобразование при разработке месторождений золота в южных районах Дальнего Востока / М.Н. Шевцов, А.М. Махинов, К.П. Караванов, В.А. Лопатюк, В.А. Дудник, В.Н. Деркова // Добыча золота. Проблемы и перспективы. Под ред. Ю.А. Мамаева, В.Г. Крюкова. Хабаровск, – 1997. – Т. II. – С. 251-257.
223. Богатков, Н.М. Минеральные источники Приморья и Приамурья / Н.М. Богатков // Охрана природы на Дальнем Востоке. СО АН СССР, Дальневосточный филиал им. В.Л.Комарова, вып.1 Владивостокское книжное изд-во, – 1963. – 102 с.
224. Махинова, А.Ф. Почвенный покров Нижнего Приамурья. Владивосток: ДВО АН СССР, – 1989. – 144 с.
225. Махинова, А.Ф. Вопросы генезиса СПП и районирование пойменных земель Нижнего Амура / А.Ф. Махинова, А.И. Махинов, // Бюл. почв. ин-та им. Докучаева. – 1988. – Вып. 46. – С. 31-32.
226. Основы почвоведения. Почвы российского Дальнего Востока: учебное пособие / В. П. Басистый; Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Тихоокеанский гос. ун-т". Хабаровск: Изд-во ТОГУ, – 2008. – 171 с.
227. Костенков, Н.М. Почвенные исследования на Дальнем Востоке России / Н.М. Костенков, Н.А. Михайлова, В.И. Ознобихин // Вестник ДВО РАН. – 2005. – № 5
228. Ковда, В.А. Биогеохимия почвенного покрова. Отв. ред. С.В. Зонн. М.: Наука, – 1985. – 263 с.

229. Воронов, Б.А., Шлотгауэр, С.Д., Сапожникова, Т.Г. Биоразнообразие и Красная книга Хабаровского края (под общ. ред. Б.А. Воронова). Владивосток: Дальнаука, – 1997. – 100 с.
230. Гиниятуллина, О.Л. Дистанционный мониторинг загрязнений окружающей среды / О.Л. Гиниятуллина, В.П. Потапов // Вестник Научного центра. – 2014. – №1.
231. Вернадский, В. И. Биосфера и ноосфера. М.: Наука, – 1989. – 261 с.
232. Сает, Ю.Е. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Сает, Б.А. Ревич, Е.П. Янин, и др. М.: Недра. – 1990. – 334 с.
233. Янин, Е.П. У истоков экологической геохимии (к 85-летию со дня рождения Ю.Е. Саета) // Разведка и охрана недр. – 2019, – № 10, – с. 47–54.
234. Бурдэ, А.И. Теоретические основы и способы определения комплекса методов при региональной геологической съемке и поисковых работах. Л.: Недра, – 1978. – 143 с.
235. Василенко, В. Н. Мониторинг загрязнения снежного покрова / В. Н. Василенко, И.М. Назаров, Ш. Д. Фридман и др. Л.: Гидрометеиздат, – 1985. – 182 с.
236. Руководству по контролю загрязнения атмосферы РД 52.04.186-89. Государственный комитет СССР Министерство по гидрометеорологии здравоохранения СССР. 1991.
237. Вальков, В.Ф. Достоинства и недостатки новой классификации почв России / В.Ф. Вальков, К.Ш. Колесников, С.И. Казеев // Почвоведение. – 2006. – № 5. – С. 621–626.
238. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, – 2014. – 856 с.
239. Зонн, С.В. О состоянии проблемы классификации почв к концу XX века // Почвоведение. – 1999. – № 12. – С. 1521–1525.
240. Кирюшин, В.И. О базовой классификации почв // Почвоведение. – 1998. – № 10. – С. 1271–1277.
241. Кирюшин, В.И. Классификация почв и агроэкологическая типология земель. СПб.: Лань, – 2011. – 288 с.
242. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, – 2004. – 342 с.
243. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, – 1977. – 223 с.
244. ГОСТ 17.4.3.01-2017. Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. (введен в действие Приказом Росстандарта от 01.06.2018 N 302-ст). (ред. от 14.02.2024). https://megainorm.ru/mega_doc/norm/gost_gosudarstvennyj-standart/12/gost_17_4_3_01-2017_mezhgosudarstvennyy_standart_okhrana.html
245. ГОСТ 17.4.4.02-2017. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. Дата введения 2019-01-

01. https://marsbbz.ru/wp-content/uploads/2021/05/gost-17.4.4.02-2017-ohrana-prirody-ssop.-pochvy.-metody-otbora-i-podgotovki-prob-dlja-himicheskogo..._tekst.pdf

246. ГОСТ 26213-84. Почвы. Определение гумуса по методу Тюрина в модификации ЦИНАО. 7 с. ГОСТ Р 70229-2022. Национальный стандарт Российской Федерации. Почвы. Показатели качества почв. (утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 25.07.2022 N 673-ст). https://meganorm.ru/mega_doc/norm/gost-r_gosudarstvennyj-standart/9/gost_r_70229-2022_natsionalnyy_standart_rossiyskoy.html

247. ГОСТ 26213-2021. Почвы. Методы определения органического вещества. Дата введения в действие: 01.08.2022. <https://en.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=6869551>

248. ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой и водной вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. 4 с.

249. ГОСТ ISO 6497-2014. Корма. Отбор проб. Дата регистрации: 05.12.2014. <https://internet-law.ru/gosts/gost/61928/>

250. ГОСТ 12039-82. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения жизнеспособности. 40 с. <https://internet-law.ru/gosts/gost/21701/>

251. Горовая, А.И. Эколого-социальный мониторинг состояния окружающей среды и здоровья населения горнопромышленных районов Украины / А.И. Горовая, К.Н. Косенко, О.В. Деньга, Т.В. Скворцова, И.И. Климкина, А.В. Павличенко, Ю.В. Бучавый // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № S9. – С. 461-472.

252. Maria Elena Crespo-Lopez, Marcus Augusto-Oliveira, Amanda Lopes-Araújo, Letícia Santos-Sacramento, José Rogério Souza-Monteiro, Felipe Farias da Rocha, Gabriela de Paula Arrifano, Chapter Eight - Mercury neurotoxicity in gold miners, Editor(s): Roberto G. Lucchini, Michael Aschner, Lucio G. Costa, *Advances in Neurotoxicology* // Academic Press, – 2022, – Volume 7, – pp. 283-314, ISSN 2468-7480, ISBN 9780128191767, <https://doi.org/10.1016/bs.ant.2022.04.003>.

253. Amanda Lopes-Araújo, Gabriela P. Arrifano, Barbarella M. Macchi, Marcus Augusto-Oliveira, Letícia Santos-Sacramento, Rosa C. Rodríguez Martín-Doimeadios, María Jiménez-Moreno, Arnaldo J. Martins Filho, Jacqueline I. Alvarez-Leite, Reinaldo B. Oriá, José Luiz M. do Nascimento, Maria Elena Crespo-Lopez, Hair mercury is associated with dyslipidemia and cardiovascular risk: An anthropometric, biochemical and genetic cross-sectional study of Amazonian vulnerable populations // *Environmental Research*. – 2023, – Volume 229, – pp. 115971, ISSN 0013-9351, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115971>.

254. Maria Elena Crespo-Lopez, Amanda Lopes-Araújo, Paulo Cesar Basta, Isabela Soares-Silva, Carlos B.A. de Souza, Caio Gustavo Leal-Nazaré, Letícia Santos-Sacramento, Jean Ludger Barthelemy, Gabriela P. Arrifano, Marcus Augusto-Oliveira, Environmental pollution challenges public health surveillance: the case of mercury exposure and intoxication in Brazil, *The Lancet*

Regional Health // Americas, – 2024, – Volume 39, – pp.100880, ISSN 2667-193X, <https://doi.org/10.1016/j.lana.2024.100880>.

255. Zeïnaba Diarra, Denis Dieme, Michèle Bouchard, Biomonitoring of exposure to metals and metalloids using toenail and fingernail sampling in individuals from artisanal gold mining areas in Mali // Environmental Advances. – 2024, – Volume 17, – pp. 100589, ISSN 2666-7657, <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2024.100589>

256. Шапиро, И.А. Физиолого-биохимические изменения у лишайников под влиянием атмосферного загрязнения // Усп. совр. биол., – 1996. – Т. 116, – № 2. – С. 158-171

257. «Об аналитической диагностике наркотических средств, психотропных и других токсических веществ в организме человека» [Электронный ресурс]: Приказ Минздрава РФ от 05.10.1998 № 289 / Доступ из правовой системы «КонсультантПлюс».

258. Практикум по цитологии растений. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, – 1988. – С. 209–210.

259. Бубнова, М.Б. Экологический мониторинг природно-горнотехнических систем на основе данных дистанционного зондирования / М.Б. Бубнова, Ю.А. Озарян // Экологические системы и приборы. – 2015. – №11. – С.15-22.

260. Галченко, Ю.П. Методика геоинформационного мониторинга природно-технических систем на основе данных дистанционного зондирования / Ю.П. Галченко, Г.В. Калабин, Ю.А. Озарян // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2020. – Вып. – С.68-78.

261. Кринов, Е.Л. Спектральная отражательная способность природных образований. М. // Из-во АН СССР. – 1947. – 272с.

262. Куо К.-С., Линнес К.С., Рамачандран Р. Предлагаемое сотрудничество в области наук о Земле для анализа данных дистанционного зондирования // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, – 2012, – vol. 5, – №. 6, – С. 1612-1616, г. DOI: 10.1109/JSTARS.2012.2199086.

263. Фэн М., Дж. О. Секстон, К. Хуанг, Дж. Г. Масек, Э. Ф. Вермоте, Ф. Гао, Р. Нарасимхан, С. Чаннан, Р. Э. Вульф и Дж. Р. Таунсенд. Продукты глобальной отражательной способности поверхности от Landsat: оценка с использованием совпадающих наблюдений MODIS // Дистанционное зондирование окружающей среды. – 2013. – № 134. – С. 276-293. DOI: 10.1016/j.rse.2013.02.031 2013

264. Тенкабайл, Прасад С. Гиперспектральные узкополосные данные делают гигантский скачок в дистанционном зондировании Земли / Анис, Ития; Телугунтла, Пардхасарадхи; Олифант, Адам // Фотограмметрическая инженерия и дистанционное зондирование. – 2021. – том 87, – номер 7, – С. 461–467 (7). DOI: <https://doi.org/10.14358/PERS.87.7.461>

265. Баллабио, К. Предсказание почвы содержание органического углерода в Кипре с помощью дистанционного зондирования и Земли наблюдений данные / К. Баллабио, Панагос, П. Монтанарелла, Л., Хаджимитсис, Д.Г., Фемистоклеус, К., Михаэлидес, С., Михаэлидес, С., Пападавид, Г. // Вторая Международная конференция по Дистанционному зондированию и геоинформации окружающей среды (RSCY 2014). Пафос, КИПР. 07-10 апреля 2014. – 2014. – Том 9229. – № 92290F. DOI 10.1117/12.2066406

266. Xiao W., Chen W., He T., Ruan L., Guo J. Multi-temporal mapping of soil total nitrogen using google earth engine across the shandong province of China. // Sustainability (Switzerland) – 2020. – V. 12(24). – pp. 10274. DOI: 10.3390/su122410274

267. Rozpondec R., Wancisiewiewicz K., Kacprzak M. GIS in the studies of soil and water environment // Journal of Ecological Engineering. – 2016. – V.17, – no.3. – pp.134-142. DOI: 1012911/22998993/63476

268. Kang Y., Ozdogan M., Gao F., Yang Y., Erickson, T.A. A data-driven approach to estimate leaf area index for Landsat images over the contiguous US // Remote Sensing of Environment. – 2021. – № 258. – Pp. 112383.14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112383>

269. Панин, Д.Н. Анализ существующих методов дистанционного зондирования для измерения влажности почвы / Д.Н. Панин, К.О. Безлюдников // V научный форум телекоммуникации: теория и технологии ТТТ-2021. Материалы XIX Международной научно-технической конференции. Самара, – 2021. – С. 16-17.

270. Зареи, С.А. Опыт оценочного геоинформационного картографирования состояния ландшафтных ресурсов по материалам спутникового зондирования на примере провинции Ирана Хузестан / Зареи С.А., В.А. Малинников, В.М. Щербаков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. – Т. 14. – № 7. – С. 119-127. URL: DOI: <https://moluch.ru/archive/115/30818/> (дата обращения: 05.11.2019).

271. Лупян, Е.А. Возможности организации долговременного дистанционного мониторинга крупных источников антропогенных загрязнений для оценки их влияния на окружающую среду / Е.А. Лупян, А.М. Константинова, А.В. Кашницкий, Д.М. Ермаков, В.П. Саворский, О.Ю. Панова, А.А. Бриль // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2022. – Т. 19. – № 1. – С. 193-213.

272. Вегетационные индексы. Основы, формулы, практическое использование. <http://mapexpert.com.ua> (дата обращения: 05.05.2021).

273. Crippen, R. E. Calculating the Vegetation Index Faster. Remote Sensing of Environment, – 1990. – vol 34. – pp. 71-73.

274. Черепанов, А. С. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы / А. С. Черепанов, Е. Г. Дружинина // Геоматика. – 2009. – №3. – С. 28-32.

275. Rouse R. J.W.Jr., Haas J.H., Schell D.A., Deering W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS // *Environmental Science* – 1974. – 309 p.

276. Черных, Н. А. Экологический мониторинг в биосфере / Н. А. Черных, С. Н. Сидоренко. М.: Изд-во РУНД, – 2003. – 430 с.

277. Банщикова, Т.С. Минеральный состав продуктов обогащения золотосодержащих россыпей и проблемы их комплексного извлечения / Т.С. Банщикова, В.С. Литвинцев, Г.П. Пономарчук // Проблемы формирования и освоения минерально-сырьевых ресурсов Дальнего Востока. ответственный редактор д.т.н. Ю. А. Мамаев. Хабаровск, – 2004. – С. 159-164.

278. «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе» [Электронный ресурс]: приказ Минприроды России (Министерство природных ресурсов и экологии РФ) от 06.06.2017 г. № 273 / Доступ из справ. - правовой системы «Гарант».

279. Андроханов, В.А. Опыт проведения рекультивационных работ по различным направлениям в Кузбассе / В.А. Андроханов, И.Н. Госсен, Д.А. Соколов // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем. материалы V Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов ИГУ и Дню Байкала. Иркутск, – 2021. – С. 12-17.

280. Докучаев, В.В. (1846-1903). Наши степи прежде и теперь. - [2-е изд.]. - Москва: Сельхозгиз, – 1953. – 152 с.

281. Проект «Большая память о малой Родине» Передвижная историко-краеведческая выставка «Там, где багряное солнце встаёт». – 2020. – 16 с

282. Зверева, В.П. Экологические последствия гипергенных процессов на оловорудных месторождениях дальнего востока. Владивосток, Изд-во: Дальнаука. – 2008. – 275 с.

283. Назаренко, В.А. Гидролиз ионов металлов в разбавленных растворах / В.А. Назаренко, В.П. Антонович, Е.М. Невская. М.: Атомиздат. – 1979. – 192 с.

284. Munoz-Melendez G., Korre A., Parry S. J. Influence of soil pH on the fractionation of Cr, Cu and Zn in solid phases from a landfill site // *Environ. Pollut.* – 2000. – V. 110. – № 3. – P. 497–504.

285. Complexation of cadmium and copper by fluvial humic matter and effects on their toxicity / F. Corami [et al.] // *Ann. Chim.* – 2007. V. – 97. – № 1–2. – P. 25–37.

286. Пузанов, А.В. Оценка возможного влияния на окружающую среду эксплуатации комплексов сжигания зарядов РДТТ в ФГУП «ФНПЦ «Алтай» / А.В. Пузанов, А.В. Тарабара, И.В. Горбачев, Б.Д. Олейников // Высокоэнергетические материалы: демилитаризация, антитерроризм и гражданское применение: Тезисы IV Международной конференции «НЕМs-

2008» (3-5 сентября 2008 г., г. Белокуриха). Бийск: ФГУП «ФНПЦ «Алтай», – 2008. – С. 199-202.

287. Крупская, Л.Т. К вопросу оценки хвостохранилища как источника загрязнения объектов природной среды / Л.Т. Крупская, К.В. Ионкин, А.В. Крупский, А.М. Дербенцева, К.Е. Гула // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № S5. – С. 234-241.

288. Гула, К.Е. Оценка экологического состояния некоторых объектов окружающей среды в зоне влияния хвостохранилища / К.Е. Гула, О.М. Морина, Л.Т.Крупская, В.А. Морин // Системы. Методы. Технологии. – 2012. – № 3 (15). – С. 128-133.

289. Панфилов, О.О. Обеспечение экологической безопасности процессов освоения техногенных золотороссыпных месторождений на севере хабаровского края / О.О. Панфилов, Д.А. Голубев, Л.Т. Крупская, В.А. Морин, К.Е. Гула // Экологическая химия. – 2014. – Т. 23. – № 3. – С. 135-144.

290. Шевцов, М.Н. Экологические исследования состояния водных ресурсов в районе месторождения платины / М.Н. Шевцов, А.Н. Махинов // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. – 2020. – Т. 3. – С. 523-528.

291. Шевцов, М.Н. Мониторинг окружающей среды в районах разработки полезных ископаемых хабаровского края / М.Н. Шевцов, С.С. Головкин, А.Н. Махинов, А.Ф. Махинова, С.А. Казарбина // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. – 2020. – № 1. – С. 429-432.

292. Алексеев, А.В. Состояние водных ресурсов в районах горнодобывающих предприятий. На примере прииска Кондёр / А.В. Алексеев, М.Н. Шевцов // Материалы 61-й студенческой научно-технической конференции инженерно-строительного института ТОГУ. Материалы конференции. Хабаровск, – 2021. – С. 330-339.

293. ГОСТ Р 51232-98. Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества. <https://internet-law.ru/gosts/gost/8951>

294. Виноградов, А. П. Основные закономерности в распределении микроэлементов между растениями и средой // Микроэлементы в жизни растений и животных. М.: Наука, – 1985. – С. 7–20.

295. Степанова, Н.Ю. Сорбционная способность и уровень загрязнения донных отложений в пределах вод Республики Татарстан / Н.Ю. Степанова, В.З. Латыпова, О.К. Анохина, Л.К. Говоркова, Р.Г. Таиров // Современные проблемы водной токсикологии: Тез. докл. Борок, – 2002. – С. 25-26.

296. Гарбузов, Г.П. Использование дорожных сооружений в системе дистанционного мониторинга речных экосистем / Г.П. Гарбузов, Б.Л. Сухоруков, А.М. Никаноров // Доклады РАН. – 2000. – Т. 373. – № 5. – С. 688–691.

297. Стрельбицкая, Е.Б. Оценка воздействия стоков с осушаемых агроландшафтов на усиление процессов эвтрофирования методом биотестирования // Биотехнология - охране окружающей среды. Научные труды Международного Биотехнологического центра МГУ: тезисы докладов второй международной конференции "Биотехнология - охране окружающей среды" и третьей школы-конференции молодых ученых и студентов "Сохранение биоразнообразия и рациональное использование биологических ресурсов". – 2004. – С. 177-181.

298. Израэль, Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. М.: Гидрометеиздат, – 1984. – 560 с.

299. Сукачев, В.Н. Основные понятия биогеоценологии. Л.: Наука, – 1964. – 574 с.

300. Кутепов, Е.Н. Здоровье населения и окружающая среда // Экология человека, – 1996. – № 3. – С. 9-12.

301. Кирилкина, А.В. Факторы риска, влияющие на состояние здоровья детей / А.В. Кирилкина, Ж.Г. Чарыева, Е.Н. Кутепов // Гигиена и санитария. – 1999. – № 6. – С. 46.

302. Нимаева, Б.В. Содержание химических элементов в волосах детского населения горнорудных территорий Забайкальского края / Б. В. Нимаева, Н. В. Барановская, Л. А. Михайлова, Е. А. Бондаревич // Здоровье населения и качество жизни: электронный сборник материалов X Всероссийской с международным участием научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 30 марта 2023 года. Том 2. Санкт-Петербург: Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова, – 2023. – Т.2. – С. 29-35.

303. Барановская, Н. В. Химические элементы в организмах жителей регионов России / Н. В. Барановская // Эволюция биосферы и техногенез: Материалы Всероссийской конференции с международным участием, Чита, 30 августа – 01 2021 года. – Чита: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук, – 2022. – С. 180-182.

304. Раганина, Н.К. Оценка влияния отходов переработки оловорудного сырья на окружающую среду и здоровье населения в бассейне р. Амур / Н.К. Раганина // Автореф. дис. канд. биол. наук: 03.00.16. Москва, – 2010.

305. Зархина, Е.С. Экологическая напряженность территории и ее место в стратегии природопользования / Е.С. Зархина, Э.Н. Сохина, О.М. Морина // Проблемы формирования стратегии природопользования. Хабаровск. – 1991. – С. 201-207.

306. Андерсен, Дж.М. Экология и наука об окружающей среде. Л.: Гидрометеиздат., – 1988. – 165с.

307. Трубецкой, К.Н. Развитие стратегии ресурсовоспроизводящих технологий в горнодобывающем комплексе / К.Н. Трубецкой, А.Е. Воробьев // Проблемы геотехнологии и недропользования. Т. 2. Екатеринбург, ИГД УрО РАН. – 1998. – С. 7-15.

308. Трубецкой, К.Н. Экологические проблемы освоения недр при устойчивом развитии природы и общества / К.Н. Трубецкой, Ю.П. Галченко, Л.И. Бурцев. М.: ООО Изд-во: «Научтехлитиздат», – 2003.

309. Галченко, Ю.П. Обеспечение реализации принципа биологической толерантности воздействий в структуре природоподобной технологии комплексного освоения недр // Экологические системы и приборы. – 2021. – № 8. – С. 42-50.

310. Состав для пылеподавления и рекультивации поверхности хвостохранилища: пат. 2625469 Рос. Федерация / Крупская Л. Т., Леоненко Н. А., Голубев Д. А., Леоненко А. В.; заяв. 08.06.16. опубл. 14.07.17. Бюл. № 20.

311. Способ рекультивации земель, нарушенных токсичными отходами, складированными в хвостохранилище, в условиях муссонного климата: пат. RU 2486733 C1 / Крупская Л.Т., Майорова Л.П., Орлов А.М., Зверева В.П., Изотов Д.В., Морин В.А., Леоненко А.В., Голубев Д.А. заяв. 10.11.2011. опубл. 10.07.2013 Бюл. № 19.

312. Попков, Н.И. Приамгунье мое / Николай Попков. — М.: ИГ «Человек слова», 2016. — 192 с., 24 с.: ил. (разд. паг.).

Приложение А

Таблица А.1 – Гранулометрический и вещественный состав отходов Кербинского прииска

Классы крупности, мм	Фракции	Выход фракции от класса, %	Выход класса, %	Содержание золота, г/т	Распределение золота, %	Минеральный состав
6	Магнитная		11,35	24,06	1,37	Металлический scrap
	Легкая	23,08				Кварц-30%, слюдистые минералы
	Тяжелая	76,92				Гематит- 90%, пирит- д.зд., турмалин-ед.зн.,ильменит-зн., золото- зн.
	Итого:	100	6,73	62,9	2,4	
-6+3	Легкая	15,,38				Кварц лимонитизированный, слюдистые минералы
	Тяжелая	84,62				Гематит-80%, лимонит-зн., пирит-ед.зн., киноварь-ед.зн., гранат- ед. зн., золото-2зн.
	Итого:	100	12,27	25,8	1,8	
-3+1,6	Легкая	15,69				Кварц, слюдистые минералы
	Тяжелая	84,31				Гематит-80%, гроссуляр- ед. зн.,пири -ед. зн., киноварь - ед. зн., золото - 11 зн., корунд-2 зерна
	Итого:	100	19,39	122	13,35	
-1,6+1,0	Легкая	42.88				Кварц, слюдистые минералы
	Тяжелая	4,,72				Гематит - 80%. Пири -ед. зн., киноварь - ед. зн., золото - 2 зн., галенит - зн., гранат - ед. зн.
	Электромагн	52,4				Гематит -95%, лимонит по пириту
	Итого:	100	6,68	120	4,54	
-1,0+0,4	Легкая	30,67				Кварц - 50%, слюдистые минералы -50%,
	Тяжелая	2,67				Пирит - 50%, галенит - 20%, киноварь-15%, золото - 14 зн., шеелит - зн., циркон - ед. зн., платина.
	Электромагн	66,66				Гематит - 30%, ильменит - 30 %, лимонит по пириту- 30 %, пирит - ед. зн., гранат- ед. зн., хромит- ед. зн., киноварь- ед. зн.
	Итого:	100	22,49	320	40,67	

Продолжение таблицы А.1

-0,4+0,2	Легкая	42,88				Кварц - 50%, слюдистые минералы -50%,
	Тяжелая	4,72				Пирит - 50%, киноварь - 28%, галенит - 20%, циркон -зерна, кассетирит - зн., анатаз - ед. Зн., золото - 16 зн., шеелит - 5%, лимонит по пириту - ед. зн., платина - 6 зн.
	Электромагн	52,4				Гематит - 40 %, пирит - зерна, гранат -зн., ильменит - 30%, лимонит по пириту - 10%, эпидот - ед. зн., гросуляр -ед. зн., киноварь - ед. зн., циркон - ед. зн., хромит -ед. зн.
	Итого:	100	6,68	120	4,54	
-0,2+0,1	Легкая	43,29				Кварц - 50%, слюдистые минералы -50%,
	Тяжелая	4,76				Пирит - 40%, циркон - 10%, киноварь - 5%, галенит - 10%, анатаз - ед. зн., касситерит - ед.зн., золото 22зерна шеелит—15%.
	Электромагн	51,95				Гематит - 50%, лимонит по пириту -20%, гранат - ед. зн., циркон - зн., пирит - зн., киноварь - ед. зн., хромит ед. зн., хромит — ед. зн., эпидот — ед. зн. , ильменит - 20%, лимонит - зн.
	Итого:	100	1,57	297,5	2,64	
-0,1+0,042 -0,042			0,53	1220	3,67	
			0,62	735	2,57	
	ВСЕГО:		100	196,88	100	

Приложение Б

Проведение обследования ранее рекультивированных участков на территориях
золотодобывающих предприятий севера Хабаровского края



Рисунок Б.1 – Изучение почвенной фауны



Рисунок Б.2 – Изучение растительного покрова

Продолжение Приложения Б



Рисунок Б.3 – Подготовка почвенного разреза



Рисунок Б.4 – Закладка пробной площади



Рисунок Б.5 – Описание пробной площади 1

Продолжение Приложения Б



Рисунок Б.6 – Состояние рекультивированного участка



Рисунок Б.7 – Рекультивированный участок

Продолжение Приложения Б



Рисунок Б.8 – Подготовка пробной площади 2



Рисунок Б.9 – Описание пробной площади 3

Приложение В

Схема организационно-хозяйственных мероприятий

для создания комфортной среды обитания на территории с. Бриакан



Рисунок В.1 – Схема организационно-хозяйственных мероприятий для создания комфортной среды обитания на территории с. Бриакан