

Проект тематики научных исследований, включаемых в планы научных работ научных организаций и образовательных организаций высшего образования, осуществляющих научные исследования за счет средств федерального бюджета

**Наименование организации, осуществляющей научные исследования за счет средств федерального бюджета**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Сибирского отделения Российской академии наук (ГИН СО РАН)

**Направление фундаментальных и поисковых исследований**

1.5.10. География, геоэкология и рациональное природопользование  
1.5.10.6. Геоэкология. Оценка рисков опасных природных и техногенных процессов и экстремальных природных явлений.

**Наименование научной темы**

Геоэкологические риски и экстремальные природные явления Сибири и Дальнего Востока.

*Науч. рук., д.г.-м.н. Плюснин А.М.*

*№ гос. рег. АААА-А21-121011890033-1*

**Срок реализации научной темы:**

**Год начала**

01.01.2021 г.

**Год окончания**

31.12.2025 г.

**Ключевые слова, характеризующие тематику**

Агрессивная среда, подземные и поверхностные воды, нейтрализация, газ, сейсмичность, очаг землетрясения, разлом, сейсмические волны.

**Коды тематических рубрик Государственного рубрикатора научно-технической информации**

39.01.94 География. Общие вопросы географии. Охрана окружающей среды

38.61.17 Геология. Гидрогеология. Гидрогеохимия

37.01.94 Геофизика. Общие вопросы геофизики. Охрана окружающей среды

**Коды международной классификации отраслей науки и технологий, разработанной Организацией экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) (FOS, 2007)**

1.05. JA

**Цель исследования**

Выявление и исследование основных закономерностей формирования химического состава поверхностных и подземных вод в природных и техногенных ландшафтах Сибири и Дальнего Востока. Исследование метаморфизации состава вод в искусственных и естественных водотоках и водоемах, находящихся под воздействием производственных стоков. Изучение процессов накопления и перераспределения токсичных химических элементов в ландшафтах с высокой степенью техногенной трансформацией экосистем. Разработка концепции обезвреживания отходов горнодобывающего производства.

Исследование закономерностей и характера распределения естественной сейсмичности Байкальского рифта и сопредельных областей Забайкалья, процессов подготовки землетрясений. Изучение геолого-геофизических условий локализации сейсмичности и сейсмоопасных структур на основе разномасштабных наблюдений. Разработка методов оценки сейсмической опасности.

**Актуальность проблемы, предлагаемой к решению:**

В мире не ослабевает интерес к изучению взаимодействия в системе вода-порода-газ-живое вещество в природных и техногенных обстановках. В этом направлении на

регулярной основе проводятся международные и российские научные конференции: International Symposium on Water-Rock Interaction (Лион, Франция, 2013; Эвора, Португалия, 2016; Томск, Россия, 2019), Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами (Владивосток, 2015; Чита, 2018; Улан-Удэ, 2020). С 1979 года международная ассоциация вода-руда "international mine water association" (IMWA) проводит ежегодные международные встречи, посвященные проблемам, связанным с разработкой месторождений полезных ископаемых. Проблема связана с тем, что на территории разработки рудных месторождений основная масса извлеченных из недр пород складывается в виде твердых отходов. Эти горные породы предназначены для хранения на неопределенно долгое время, большая их часть уже никогда не будет востребована хозяйствующими субъектами. Эти горные породы представляют собой не инертную массу, а активный компонент ландшафта, который оказывает влияние на окружающую территорию. Твердые отходы содержат в своем составе неустойчивые в приповерхностных условиях минералы. Многие компоненты, изначально находившиеся в твердом состоянии, в результате активизации процессов выветривания горных пород, растворяются и попадают в подземные и поверхностные воды, загрязняют почву, растительность, атмосферу окружающих территорий (Смирнова, Плюснин, 2013; Рыбникова, Рыбников, 2014; Бортникова и др. 2015). Образование поллютантов в сульфидсодержащих отвалах и загрязнение ими природы продолжается десятки и сотни лет (Shiguo et. al., 2010). Используемые технологии хранения отходов горнодобывающего производства не обеспечивают полной изоляции их от окружающей среды. В последнее время пристальное внимание уделяется проблемам миграции компонентов внутри хранилищ производственных отходов (Абдрахманов, Ахметов, 2015; Табаксблат, 2010; Lottermose, 2010; Douglas et. al., 2013; Dold, 2014). Показано, что в поровых водах хвостохранилищ устанавливается кислая среда, значительно возрастает минерализация вод, концентрация редкоземельных элементов достигает нескольких мг/л (Плюснин и др., 2020). Почвы обогащаются рудными компонентами, глубина проникновения которых для различных химических элементов неодинакова. Под отвалами формируется кислая среда  $pH=3,5-4,0$ , разрушаются почвенные коллоиды, увеличивается подвижность органического вещества [Шерстюк, 2013]. В почвогрунтах металлы накапливаются преимущественно в поверхностном корневом слое, а в техногенных песках их содержание растет при переходе к более глубоким горизонтам. В почвогрунтах значительная часть тяжелых металлов депонируется в гумусе, сохраняя при этом мобильность, а в техногенных песках наиболее развиты иллювиальные процессы, накапливающие мигрирующие из вышележащего слоя почвы тонкодисперсные частицы, насыщенность которых тяжелыми металлами более высокая. Техногенные преобразования в окружающей среде могут иметь как химическую, так и микробиологическую природу (Calace, Liberatiri, et.al., 2001; Lavid et.al., 2001). При этом образуются совершенно чуждые природе металлоорганические соединения, токсичные по отношению к живым организмам (Волков, 2006). Токсичные химические элементы начинают включаться в трофические цепи (Табаксблат, 1999; Бортникова, 2001, 2007; Зверева, 2008). В ризосфере корневой системы растений под воздействием микроорганизмов происходит изменение форм нахождения многих химических элементов (Calace, Liberatiri, et.al., 2001; Lavid et.al., 2001; Волков, 2006)

Исследуются микроэлементный, изотопный состав, гидрогеологические условия проявления минеральных и термальных вод, генезис воды и растворенных веществ (Gallois, 2007; Helvachi, 2004; Piscopo et.al., 2006 и др.), химический и изотопный состав газов. Установлено, что углекислый газ в минеральных водах имеет полигенную природу. В ряде источников углекислых минеральных вод преобладает его глубинная составляющая (Челноков, Харитонов, 2008). В других источниках

минеральных вод доминирует углекислый газ биогенного происхождения (Лепокурова, 2019; Плюснин, 2020). Выяснение роли геологических условий в генерировании потока углекислого газа остается актуальной задачей фундаментальной науки и имеет большое практическое значение. В последние годы появились работы, раскрывающие высокую растворяющую способность углекислого газа, находящегося в сверхкритическом состоянии (Валяшко, 1990; Горбатый, Бондаренко, 2007; Всеволожский, Киреева, 2010; Соболева, 2013; Федяева, Востриков, 2016 и др.). Условия сверхкритического состояния CO<sub>2</sub> достигаются на глубинах 700-800 м, где он образует не смешивающуюся с водой фазу и начинает интенсивно растворять и накапливать в своем составе разнообразные компоненты, включая широкий спектр органических веществ, в составе которых обнаруживаются алканы, алкены, простые и сложные эфиры, спирты, кислоты и др.

Задача прогноза сейсмической опасности является актуальной для территории Прибайкалья, особенно для областей с высокой плотностью населения и развитой инфраструктурой. Решение этой прикладной задачи невозможно без проведения фундаментальных исследований разработки геолого-геофизических основ прогноза землетрясений, изучения связи распределения очагов землетрясений с структурно-тектоническими характеристиками земной коры (Гольдин, 2001; Соболев, 2003). Одним из сдерживающих факторов, в этом вопросе, является недостаточная плотность сейсмических станций. В настоящее время ГИН СО РАН и ФИЦ ЕГС РАН создана сеть локальная сейсмостанций, позволяющая существенно повысить разрешающую способность федеральной сейсмологической сети как по точности локализации очагов землетрясений, так и по диапазону регистрируемых энергий. С точки зрения исследования условий формирования природной сейсмичности исследование разномасштабного характера пространственно-временного распределения землетрясений представляет особый интерес. Множественная (в пределах Байкальского рифта) слабая сейсмичность, как показывают многие исследователи, более тесно связана с локальными неоднородностями среды. Более редкие сильные землетрясения отражают региональные и геодинамические процессы. В целом, полученные данные представляют основу для обоснованного анализа напряженно-деформированного состояния земной коры в связи с процессами сейсмогенеза.

#### **Описание задач, предлагаемых к решению**

***В рамках исследований основных закономерностей формирования химического состава поверхностных и подземных вод в природных и техногенных ландшафтах Сибири и Дальнего Востока*** в проекте предполагается сосредоточить внимание на процессах, протекающих в хвостохранилищах и на окружающей их территории. Будут проводиться полевые исследования и лабораторные эксперименты. В полевых условиях геофизическими методами будет исследована толща техногенных песков, выделены участки с наиболее активно протекающими окислительными процессами, измерены физико-химические параметры поровых вод. В лабораторных условиях будут подбираться условия для выделения ценных компонентов (благородные металлы, редкоземельные элементы), отработаться методики устранения агрессивности поровых вод и создания условий безопасного хранения отходов. Будут исследоваться условия образования углекислого газа в провинциях распространения углекислых минеральных вод, качественный и количественный состав растворенного органического вещества в трещинно-жильных, грунтовых и поверхностных водах рассматриваемого региона.

**2021 г.** Установление физико-химической подвижности и биологической доступности потенциально токсичных химических элементов в природных и геотехногенных

ландшафтах горнорудных территорий. Экспериментальное исследование концентрирования благородных металлов и редких земель из поровых вод хвостохранилищ в специально создаваемых ловушках. Отработка методики концентрирования и анализа ароматических углеводородов, растворенных в углекислых и азотных термальных водах.

**2022 г.** Изучение процессов взаимодействия в системах вода-донные отложения, порода-почвы-поверхностные воды-растительность в природных и техногенных обстановках. Исследование закономерностей формирования химического состава органических веществ в углекислых минеральных водах, выявление особенностей формирования газового и химического состава трещинно-жильных вод в районах проявления неогенового вулканизма.

**2023 г.** Экспериментальное исследование дренажа отложений хвостохранилищ и создание условий для концентрирования редкоземельных и благородных элементов на щелочном и сорбционном барьерах; разработка принципиальной схемы организации хранения и утилизации отходов горнодобывающих предприятий. Выявление особенностей формирования газового и химического состава трещинно-жильных вод в районах мезозойской тектономагматической активизации.

**2024 г.** Создание научных основ концентрирования благородных металлов и редкоземельных элементов из поровых вод хвостохранилищ в специально создаваемых ловушках. Выявление индикаторной роли редкоземельных элементов в углекислых минеральных водах, формирующих ресурсы в пределах распространения гранитных массивов на территории Забайкалья.

**2025 г.** Исследование газового и аэрозольного состава эманаций в пределах хранилищ отходов разработки рудных и угольных месторождений. Установление геохимических индикаторов взаимодействия сверхкритического углекислого газа с вмещающими породами.

***В рамках исследований по изучению естественной сейсмичности и прогнозу сейсмической опасности*** предполагается изучение разномасштабных пространственно-временных закономерностей эволюции сейсмичности очаговых зон землетрясений. Будут рассмотрены сейсмические активизации и очаговые зоны в пределах центральной части БРЗ и сопредельной территории умеренной сейсмичности Западного Забайкалья и Монголии. (Селенгинская локальная сеть сейсмостанций). Развитие методики локализации очагов землетрясений с учетом трехмерного изменения скоростей сейсмических волн, повышение точности локализации очагов, обеспечивающее обоснованное районирование характера пространственного распределения сейсмичности и связь с блоково-разломной структурой. Разработка и развитие методов сейсмического районирования, уточнение исходной сейсмичности, оценка интенсивности сейсмического воздействия.

**2021 г.** Изучение разномасштабных пространственно-временных закономерностей сейсмической активности очаговых зон землетрясений по инструментальным наблюдениям сетью сейсмостанций.

**2022 г.** Корреляции пространственно-временного распределения сейсмичности с локальными структурно-тектоническими элементами и строением земной коры Байкальского рифта.

**2023 г.** Развитие методики локализации очагов землетрясений с учетом трехмерного изменения скоростей сейсмических волн, приводящего к повышению точности локализации очагов землетрясений, обеспечивающей обоснованное районирование характера их пространственного распределения и связь с блоково-разломной структурой.

**2024 г.** Разработка методов сейсмического районирования, уточнение исходной

сейсмичности, оценка интенсивности сейсмического воздействия.

**2025 г.** Создание элементов геоинформационной системы для проведения комплексного геофизического мониторинга сейсмической опасности.

**Предполагаемые (ожидаемые) результаты и их возможная практическая значимость (применимость)**

*В рамках исследований основных закономерностей формирования химического состава поверхностных и подземных вод в природных и техногенных ландшафтах Сибири и Дальнего Востока:*

**2021 г.** Будет установлена физико-химическая подвижность и биологическая доступность потенциально токсичных химических элементов в природных и техногенных ландшафтах горнорудных территорий.

**2022 г.** Исследована возможность концентрирования благородных металлов и редкоземельных элементов из поровых вод хвостохранилищ в специально создаваемых ловушках.

**2023 г.** На основе новой методики концентрирования и определения растворенных органических веществ будет установлен качественный и количественный состав алифатических углеводородов в азотных термальных водах Байкальской рифтовой зоны и углекислых минеральных водах Саянской и Забайкальской провинций углекислых минеральных вод.

**2024 г.** Определены физико-химические условия концентрирования благородных металлов и редкоземельных элементов в хвостохранилищах для хранения токсичных отходов. Определены условия, определяющие различную миграционную способность легких и тяжелых редкоземельных элементов в углекислых минеральных водах.

**2025 г.** Определен качественный состав воздушных мигрантов над хранилищами отходов горнодобывающего производства, определена размерность, и морфологические особенности развеваемой пыли. Установлены органические и неорганические компоненты, поступающие в минеральные воды под воздействием аномальной растворяющей способности углекислого газа, находящегося в сверхкритическом состоянии.

*В рамках исследований по изучению естественной сейсмичности и прогнозу сейсмической опасности:*

**2021 г.** Будут получены данные характеризующие пространственно-временную эволюцию малоэнергетической сейсмичности сейсмоактивных областей Байкальского рифта. Разработаны трехмерно неоднородные геофизические модели земной коры.

**2022 г.** Будет проведено сравнительное изучение физических параметров очагов землетрясений (энергетический класс, момент и очаговые механизмы) и исследованы структурно-тектонические и геомеханические условия генерации землетрясений в земной коре.

**2023 г.** Будет разработана методика локализации очагов землетрясений с учетом трехмерного изменения скоростей сейсмических волн, приводящего к повышению точности локализации очагов землетрясений, обеспечивающей обоснованное районирование характера их пространственного распределения и связь с блоково-разломной структурой.

**2024 г.** Определены геолого-геофизические условия для подготовки сильных землетрясений Прибайкалья и Забайкалья.

**2025 г.** Создана электронная база данных в формате современных ГИС –технологий комплексного геофизического мониторинга сейсмической опасности Прибайкалья и Забайкалья.

**Возможная практическая значимость и применимость результатов:**

- Будет получена научная информация для создания новых технологий обращения с отходами горнодобывающей промышленности.
- Полученная информация может быть использована для определения условий формирования химического состава термальных и минеральных вод и обоснования их лечебного эффекта.
- Разработка методов оценки сейсмической опасности, с учетом других природных и техногенных процессов, имеет значимость для сейсмически активных территорий, к которым относится исследуемый регион, включая, как области с высокой плотностью населения и развитой инфраструктурой, так и участки высокого экологического риска (озеро Байкал) и промышленного освоения (БАМ, зоны горнодобывающего комплекса.)