Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. Н.Л. ДОБРЕЦОВА
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ГИН СО РАН)

УДК 556.314
Рег. № НИОКТР АААА-А21-121011890033-1
Инв. № 5

УТВЕРЖДАЮ
Директор ГИН СО РАН
д.г.-м.н.
_____ А.А. Цыганков
«21» декабря 2023 г.
Протокол № 12 от «21» декабря 2023 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Геоэкологические риски и экстремальные природные явления Сибири и Дальнего Востока
(промежуточный, 3 этап)

Номер проекта в ИС управления НИР
FWSG-2021-0005 (рег. № 1021062110752-6-1.5.4;1.5.12)

Приоритетное направление 1.5.10.6. Оценка рисков опасных природных процессов и экстремальных природных явлений

Руководитель НИР,
зав.лаб., д.г.-м.н. А.М. Плюснин

Улан-Удэ 2023

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Должность		ФИО
Руководитель НИР, зав. лаб., г.н.с., д.г-м.н.	подпись, дата	А.М. Плюснин (реферат, введение, заключение, разделы 1-6)
Отв. исполнитель, зав. лаб., к.г.-м.н.	подпись, дата	Ц.А. Тубанов (разделы 7-11)
Исполнители:		
с.н.с., к.х.н.	подпись, дата	Б.В. Дампилова (раздел 4)
с.н.с., к.ф.-м.н.	подпись, дата	А.А. Добрынина (раздел 9)
с.н.с., к.б.н.	подпись, дата	С.Г. Дорошкевич (раздел 5)
с.н.с., к.г.-м.н.	подпись, дата	Л.Р. Очирова (раздел 7)
с.н.с., к.г-м.н.	подпись, дата	А.В. Украинцев (раздел 1, 6)
с.н.с., к.ф.-м.н.	подпись, дата	З.И. Хажеева (раздел 3)
н.с., к.т.н.	подпись, дата	А.Д. Базаров (раздел 8)
н.с., к.г.-м.н.	подпись, дата	Д.И. Жамбалова (раздел 2)
н.с., к.г.н.	подпись, дата	Е.Г. Перязева (раздел 1)
н.с., к.г.-м.н.	подпись, дата	П.А. Предеин (раздел 8)
н.с., к.г.н.	подпись, дата	М.К. Чернявский (раздел 1, 6)
м.н.с., к.т.н.	подпись, дата	С.С. Санжанова (раздел 3, 4)

м.н.с.	_____ подпись, дата	Н.А. Ангахаева (раздел 6)
м.н.с.	_____ подпись, дата	Т.В. Чередова (раздел 5)
Нормоконтроль	_____ подпись	Д.П.-Д. Санжиева

РЕФЕРАТ

Отчет 36 с., 17 рис., 28 источн., 1 прил.

КОНДЕНСАЦИОННЫЕ ВОДЫ, СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ, ТЕХНОГЕННЫЕ ЛАНДШАФТЫ, ОТХОДЫ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ РУД, ЛАБОРАТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ, МИКРОЭЛЕМЕНТЫ, ТЕРМАЛЬНЫЕ ВОДЫ, БАЙКАЛЬСКИЙ РИФТ, ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ, СЕЙСМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ, ЛИНЕАМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ, ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ, СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ

Цель работы – выявление и исследование основных закономерностей формирования химического состава поверхностных и подземных вод в природных и техногенных ландшафтах Сибири и Дальнего Востока. 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 сейсмичности, процессов подготовки землетрясений, разработка методов оценки сейсмической опасности, изучение геолого-геофизических условий локализации сейсмичности и сейсмоопасных структур на основе разномасштабных наблюдений.

Методы исследования – наблюдение на природных объектах; лабораторный эксперимент, химический анализ; математическая обработка; экспериментальное и численное моделирование; мониторинг сейсмичности; геофизические методы.

Полученные результаты: закономерности протекания экстремальных природных процессов и явлений, оказывающих негативное воздействие на население и природную среду, исследование взаимосвязей в системе вода-порода-газ-живое вещество и оценка факторов определяющих сейсмическую опасность.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ…….…..… 8
ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ……..…. 9
Раздел 1……..… 9
Раздел 2……..… 11
Раздел 3……..… 12
Раздел 4…….… 14
Раздел 5..…… 15
Раздел 6……..…… 16
Раздел 7…….. 18
Раздел 8…….. 21
Раздел 9…….. 24
Раздел 10…… 26
Раздел 11…… 28
ЗАКЛЮЧЕНИЕ……..…. 31
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ……..… 32
ПРИЛОЖЕНИЕ А……..… 35

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем отчете о НИР применяют следующие термины с соответствующими определениями:

Хвостохранилище – комплекс специальных сооружений и оборудования, предназначенный для хранения или захоронения радиоактивных, токсичных и других отвальных отходов обогащения полезных ископаемых, именуемых хвостами

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

РЗЭ – редкоземельные элементы

P-волна – продольная волна

S-волна – поперечная волна

ЦМР – цифровая модель рельефа

ВВЕДЕНИЕ

Настоящий отчет является промежуточным, в нем представлены результаты работы за третий год по теме «Геоэкологические риски и экстремальные природные явления Сибири и Дальнего Востока».

Цель исследований по проекту: 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.

Задачи, поставленные на 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. Разработка методов мониторинга сейсмической активности. Районирование пространственного распределения естественной сейсмичности в центральной части Байкальского рифта.

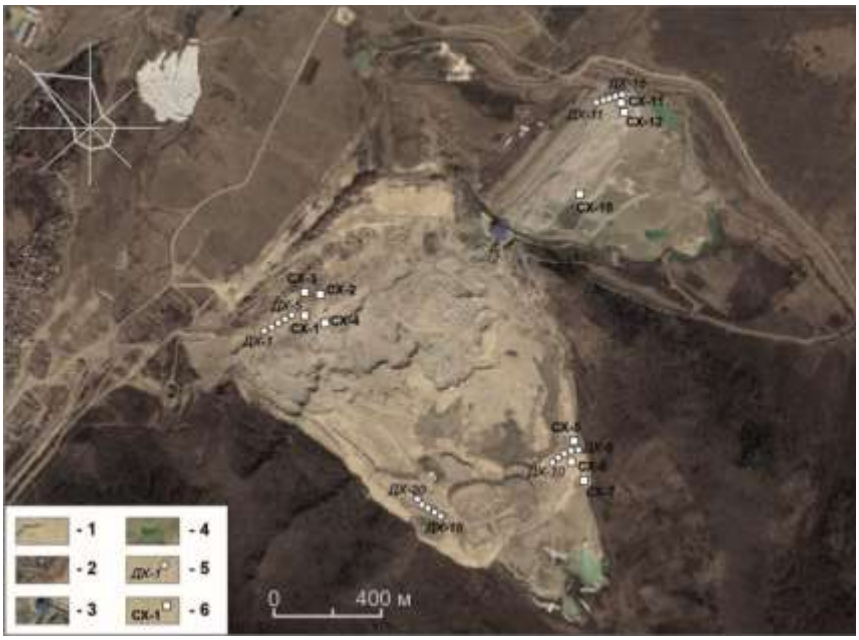
Ожидаемые результаты: Выявление и исследование закономерностей протекания экстремальных природных процессов и явлений, оказывающих негативное воздействие на население и природную среду, исследование взаимосвязей в системе вода-порода-газ-живое вещество и оценка факторов определяющих сейсмическую опасность.

При выполнении научно-исследовательских работ и подготовке отчета руководствовались государственными стандартами: ГОСТ 17.1.3.06-82; ГОСТ 17.4.4.02-ГОСТ 7.32-2001, ГОСТ 7.32-2017.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1 Установлено, что над хранилищами отходов горнодобывающих предприятий образуется постоянно существующий ореол загрязнения атмосферы аэрозолями серной кислоты, алюминия, железа, марганца, цинка, фосфора и др. Главными факторами, определяющими миграцию токсичных химических элементов в воздушной среде, являются: близкое к поверхности залегание грунтовых вод, которое определяет выделение аэрозолей минерализованных вод в атмосферу; окислительное разрушение сульфидной минерализации; кислотное разложение пород

В конденсате, собранном на хвостохранилищах (рисунок 1) содержание марганца, железа и цинка достигает значений более 1 мг/л. Высокие концентрации этих химических элементов связаны с окислительным разложением остаточной сульфидной минерализации. Литофильные химические элементы алюминий, кремний, фосфор, концентрация которых достигают 2.1-7.4 мг/л, поступают в атмосферу в результате кислотного разложения вмещающих оруденение пород. В результате рассеивания аэрозолей (рисунок 2) от хранилищ отходов переработки руд формируется ореол загрязнения атмосферы токсичными химическими элементами и тонкодисперсной пылью площадью в несколько десятков квадратных километров.



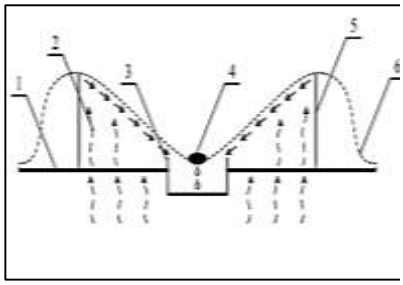


Рисунок 1 – Спутниковый снимок Барун и Зун-Нарынских хвостохранилищ с местами отбора проб конденсата (слева); схема (справа вверху) и общий вид установки для сбора конденсированной влаги (справа внизу). Условные обозначения для схемы установки сбора конденсированной влаги: 1 – поверхность почвы; 2 – испаряющаяся влага (конденсат); 3 – емкость для сбора конденсата; 4 – груз; 5 – стенки цилиндра; 6 – полиэтиленовая пленка

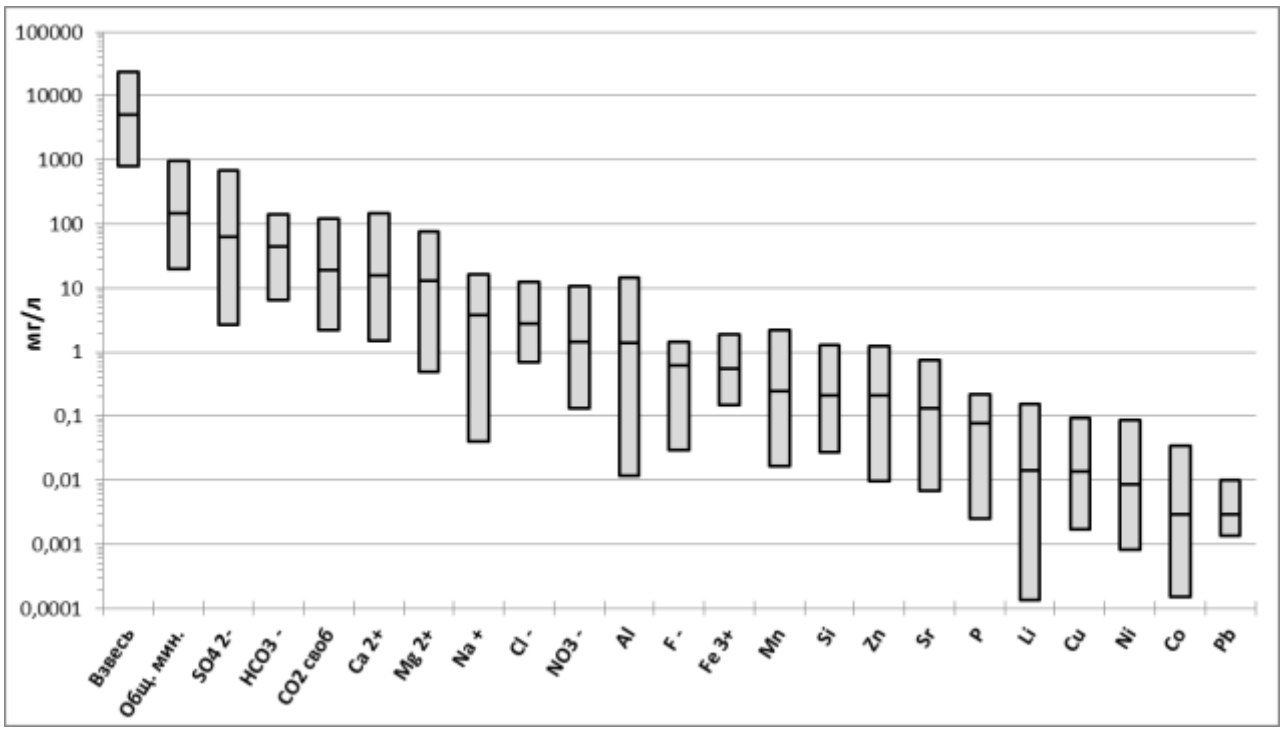


Рисунок 2 – Содержание компонентов в снежном покрове территории, подверженной воздействию хранилищ отходов добычи и переработки вольфрам-молибденовых руд. Столбиками показан диапазон изменения концентрации компонента, чертой внутри столбика указаны средние содержания

Плюснин А.М., Воронина Ю.С., Украинцев А.В., Чернявский М.К., Перязева Е.Г., Чебыкин Е.П. *Загрязнение атмосферы от хранилищ отходов добычи и переработки вольфрам-молибденовых руд // Геохимия. – 2023. – Том 68. – № 12. – С. 1295–1311. DOI:10.31857/S0016752523110092*

2 В снежном покрове в местах хранения отходов переработки руд и на окружающей территории установлена высокие содержания редкоземельных элементов. Их суммарная концентрация изменяется в широком диапазоне (0.552 – 1.396 мкг/дм^3), среднее содержание составляет 0.876 мкг/дм^3. Установлена взаимосвязь содержаний РЗЭ с сульфат-ионом и взвешенными веществами

Загрязнение снежного покрова связано с процессами, протекающими в хвостохранилищах. В отходах переработки руд происходит окисление оставшейся сульфидной минерализации. Реакции окисления протекают с выделением тепла. Создаются конвективные потоки газов и воды, которые выносят токсичные химические элементы из толщи песков к поверхности. Происходит миграция, как в водной, так и в воздушной среде. В хвостохранилищах активно протекают процессы окислительного разрушения не только остаточной сульфидной минерализации, но и вмещающих оруденение пород, в результате формируется тонкая взвесь продуктов их выветривания. Часть РЗЭ высаживается из поровых вод на взвеси. Эта взвесь под воздействием ветра переносится на окружающую территорию, зимой она накапливается в снежном покрове. При таянии снега РЗЭ частично десорбируются со взвеси и попадают в раствор, поэтому чем больше взвеси в снеге, тем выше концентрация РЗЭ. Основной формой миграции РЗЭ в атмосферных осадках выступают сульфатные комплексные соединения (REE[SO_4]+1 (рисунок 3). В нейтральных и кислых водных растворах ионы РЗЭ могут находиться в составе аквакомплексов и гидроаквакомплексов.

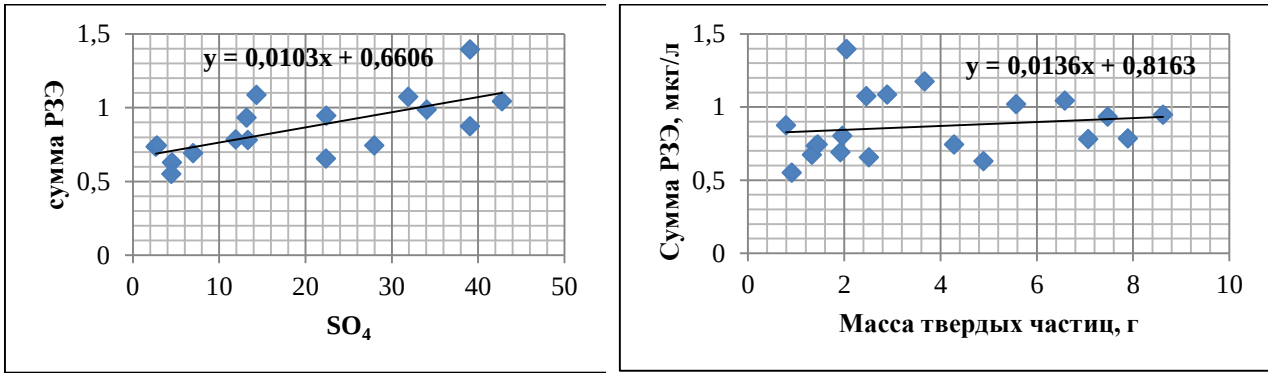


Рисунок 3 – Зависимость содержания редкоземельных элементов в снежном покрове от содержания сульфат-иона (слева) и массы твердых частиц (справа)

Воронина Ю.С., Плюснин А.М. *Содержание редкоземельных элементов в снежном покрове на территории Джидинского ГОКа // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2023. – № 2. – С. 122-132. DOI:10.17308/geo/1609-0683/2023/2/122-132*

3 Разработана и изготовлена экспериментальная установка, которая позволяет исследовать взаимодействие воды с породами в динамических условиях, производить отбор проб воды и твердой фазы по мере продвижения раствора по колонке (рисунок 4). Установлено, что объем промывных вод для полного вымывания из песков кислых поровых вод, сопоставим с объемом песков. Взаимодействие кислых поровых вод с известняком позволяет увеличить pH инфильтрационных вод на 0.2-1.4 единиц. Взаимодействие вод хвостов переработки вольфрамовых руд с известняком ведет к интенсивному высаживанию фтора, алюминия и серы. На поверхности известняка также происходит осаждение цветных и редкоземельных элементов

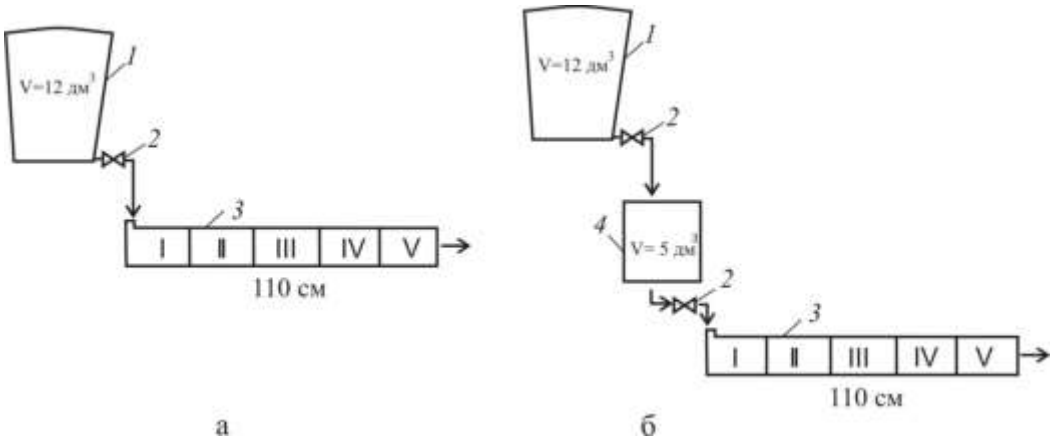


Рисунок 4 – Экспериментальная установка: 1 – контейнер с песком, 2 – механический фильтр, 3 – горизонтальная полимерная колонка с известняком, 4 – накопительная емкость для фильтрата

Отмечены очень высокие концентрации лантаноидов в промывной воде, некоторые из них достигают миллиграммовых значений (мкг/л): La – 2900, Ce – 7400, Pr – 750, Nd – 2600, Sm – 430, Eu – 81, Gd – 380, Tb – 45, Dy – 230, Ho – 44, Er – 124, Tm – 17.7, Yb –108, Lu – 15.5 (рисунок 5). При пропускании двух литров наблюдается уменьшение концентрации всех элементов в фильтрационных водах примерно в два раза.

В известняке после обработки его кислыми растворами инфильтрационных вод сохраняется общая закономерность в распределении лантаноидов. При этом тяжелые РЗЭ осаждается интенсивнее, чем легкие, при этом в первом отсеке происходит наибольшее их концентрирование. Известняк не обладает ионообменным ситовым свойством, поэтому селективного ионного обмена не происходит.

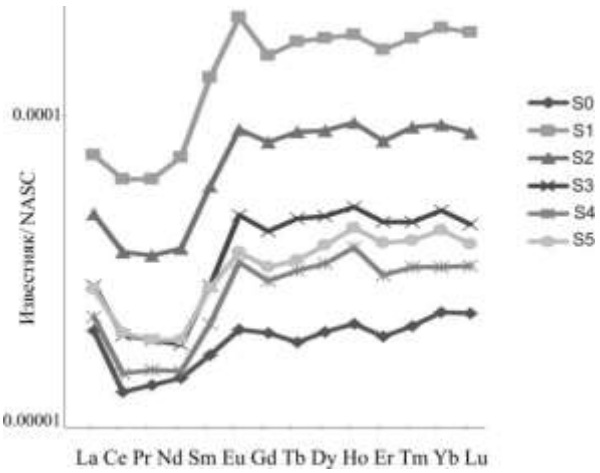


Рисунок 5 – Содержание лантаноидов, нормированное к NASC: S0 – в исходном известняке, S1-S5 – в известняке после взаимодействия с фильтратами из 1-5 отсеков колонки соответственно

На поверхности зерен известняка после воздействия фильтратов наблюдаются кристаллические осадки различных форм (рисунок 6). Вновь образованные осадки игольчатых форм с большим содержанием цинка (до 16.6 %) наблюдаются в виде смитсонита (рисунок 6б). Осадок чешуйчатой формы сложен из фторидов и сульфатов кальция, алюминия (рисунок 6в). По результатам исследования осадка установлено, что он состоит также из водорастворимых солей натрия, магния, марганца и аморфных соединений кальция, серы, алюминия, кремния, фтора. Рентгенограмма осадка показала присутствие гипса и доломита.

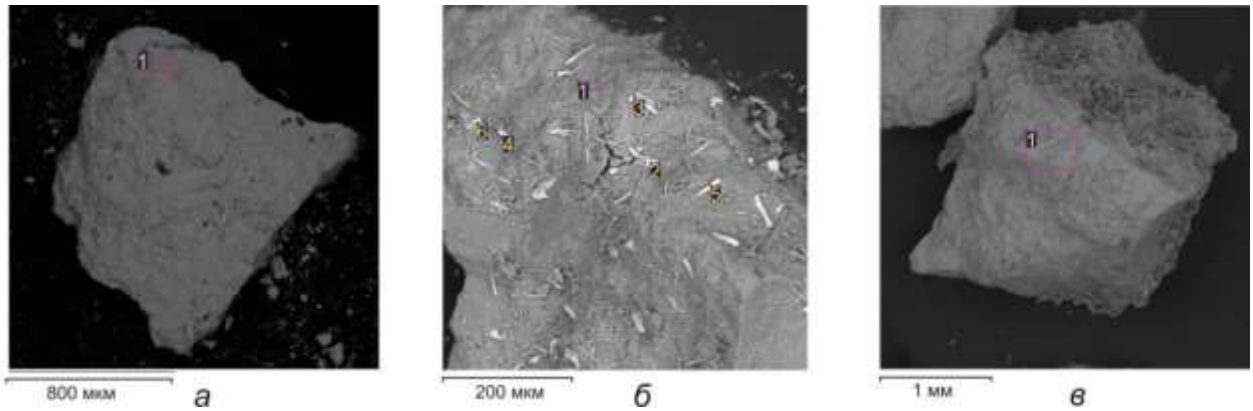


Рисунок 6 – Электронно-микроскопическая фотография поверхности зерен известняка: а – исходного; б, в - после действия фильтрата

Санжанова С.С., Плюснин А.М. *Исследование взаимодействия инфильтрационных вод хвостов переработки вольфрамовых руд с известняком // XXI век. Техносферная безопасность. – 2023. – Т. 8. – № 4. – С. 1–12. https://doi.org/10.21285/2500-1582-2023-4-1-12. EDN: CLTIWN*

4 Экспериментально изучена очистка рудничных вод шахты «Западная» Джидинского вольфрамо-молибденового месторождения, от ионов металлов и взвешенных веществ местными природными материалами (монтмориллонитовая глина, цеолитсодержащий туф, известняк, вулканический шлак, серпентин, кальцит, кварцит, каменный уголь, а также зола каменного угля)

Определяющим фактором удаления ионов металлов из раствора является нейтрализующая способность пород и осаждение в виде гидроксидов. Наиболее полно удаляются ионы свинца, менее – ионы меди, цинка, кадмия и вольфрама. Выявлено, что из испытуемых материалов морденитсодержащий туф, вулканический шлак, серпентин, кальцит и кварцит по показателям прочности пригодны для применения в качестве фильтрующих материалов. По степени очистки от взвесей рудничной воды в колонках лучшими признаны цеолитсодержащий туф и вулканический шлак фракции 0.5–1 мм (рисунок 7).

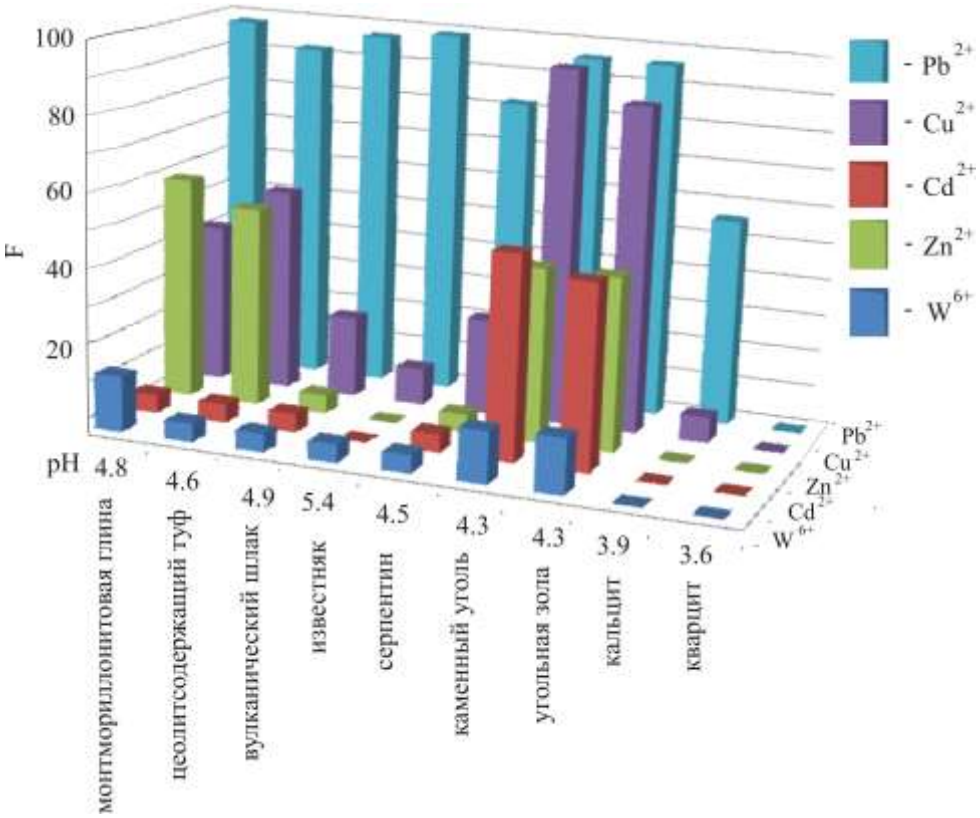
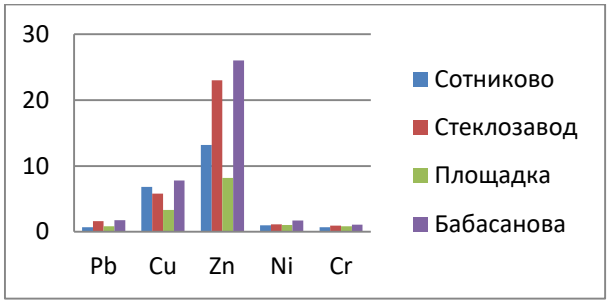


Рисунок 7 – Степень превращения металлов в сорбированную форму к их общему содержанию в рудничных водах, %

Санжанова С.С. *Очистка рудничных дренажных вод Джидинского вольфрамо-молибденового месторождения природными сорбентами // Горный журнал. – 2023. – №4. – С. 65-68. DOI 10.17580/gzh.2023.04.10*

5 Установлен уровень загрязнения атмосферы, растительности, почвы тяжелыми металлами под воздействием процессов, протекающих на свалках промышленных и бытовых отходов. В конденсате и растениях наблюдается схожий характер распределения тяжелых металлов. Более 80% суммарного вклада от содержания тяжелых металлов в составе конденсата и растений вносят Zn и Cu, в почве – Zn, Cr, Ni, Cu, Co, Pb (рисунок 8)



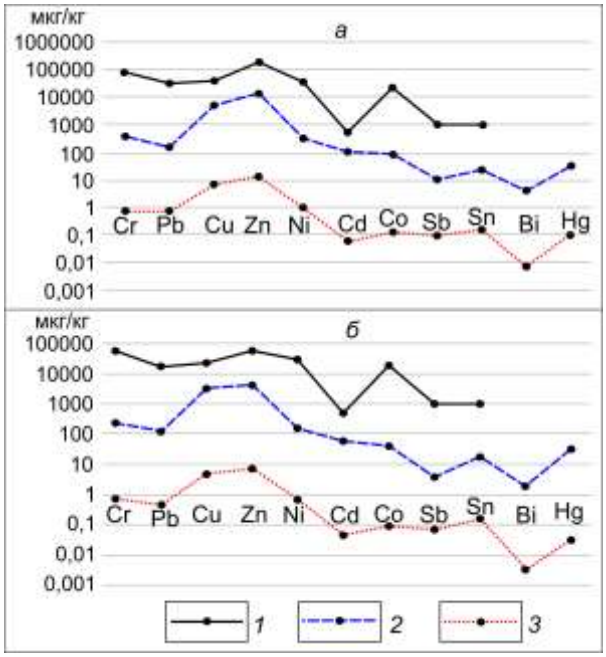
А.

в растениях:
Zn> Cu> Cr> Ni> Pb> Cd> Co> Hg> Sn> Bi

в конденсате:
Zn>Cu>Ni>Cr>Pb>Sn> Co> Hg> Sb> Cd> Bi

в почве:
Zn> Cr> Cu> Ni> Pb> Co> Sb=Sn> Cd

Б.



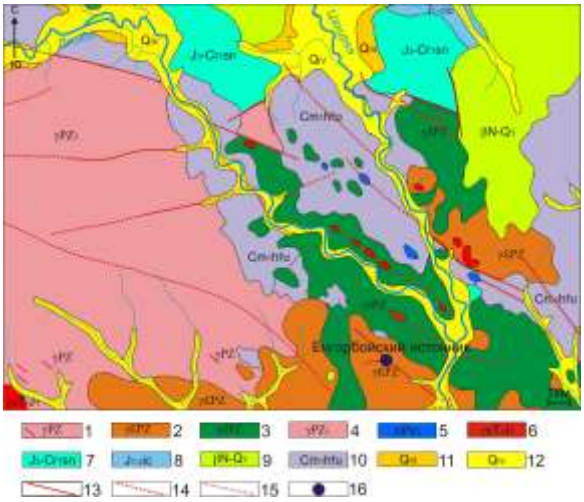
В.

Рисунок 8 – Содержание тяжелых металлов в конденсате, собранном на свалках, мкг/л (А), геохимические ряды распределения в исследованных средах (Б) и поведение металлов в системе "почва-конденсат-растения" (В) на свалке (а) и фоновом участке (б) п. Сотниково. Условные обозначения: *1*- почва, *2*- растительность, *3*- конденсат

Содержание тяжелых металлов во всех изучаемых средах, контактирующих со свалочным телом (почвы, растения, конденсат) превышает фоновые показатели, во многих случаях наблюдаются превышения норм предельно допустимых концентраций. Степень загрязнения почв на объектах размещения отходов зависит от степени их рекультивации и варьируется от допустимого уровня загрязнения для частично рекультивированных свалок до чрезвычайно-опасной категории загрязнения для нерекультивированных объектов. Суммарные показатели загрязнения почв, растений и конденсата позволили проранжировать изучаемые объекты размещения отходов по степени их влияния на окружающую среду

Чередова Т.В., Дорошкевич С.Г., Бартанова С.В. *Поведение тяжелых металлов в системе “почва–конденсат–растения” на объектах размещения отходов Г. Улан-Удэ // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2023. – № 1. – С. 50-58. – DOI 10.31857/S0869780923010022*

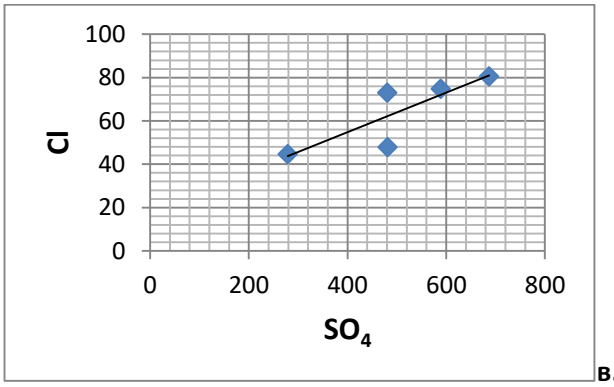
6 Исследованы закономерности формирования ресурсов и химического состава вод Енгорбойского термального источника, связанного с вздыманием Джидинского хребта, который представляет собой сводовое поднятие, образовавшийся в мезозое. Многие разломы в районе разгрузки источника относятся к сбросам, которые вследствие вертикальных тектонических движений, длительное время остаются открытыми. Атмосферные и поверхностные воды проникают в недра в верхних частях гидрогеологического массива и перемещаются под воздействием гидростатического давления к его периферии. Общая минерализация в наиболее горячих водах превышает 1 г/л. Выявлены высокие содержания сульфата-, хлорида- и фторид-ионов, которые находятся в корреляционной зависимости друг с другом (рисунок 9)



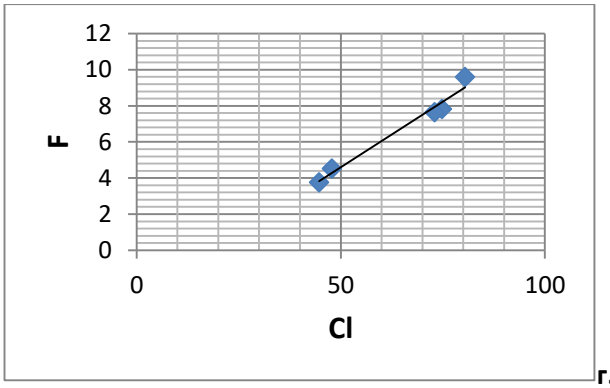
а.

$$M1.32\frac{SO_4 77 Cl12 HCO_3 11}{Na93Ca7}\ pH8{,}2T41{,}6$$

б.



в.



г.

Рисунок 9 – Геологическое строение территории в районе Енгорбойского источника азотных термальных вод (а), формула Курлова (б), корреляционная зависимость SO_4-Cl (в), Cl-F (г)

Установлено, что источник разгружается в трещиноватых породах, сформировавшихся в условиях растяжения при вздымании массива палеозойских гранитов. Выход источника находится на пересечении крупного разлома северо-западного простирания с субширотным разломом. Химический состав вод формируется при взаимодействии воды с горными породами. В районе выявлены метаморфогенно-осадочные отложения морского происхождения, при взаимодействии с которыми воды

источника обогащаются различными макро- и микрокомпонентами, среди которых сульфат- и хлорид-ионы. В районе имеются проявления рудной минерализации молибдена, флюорита, титана и вольфрама, что отражается в повышенном содержании этих элементов в термальной воде.

Чернявский М.К., Плюснин А.М., Украинцев А.В. *Условия формирования и геоэкологические особенности Енгорбойского термального источника (Республика Бурятия) // География и природные ресурсы. – 2023. – Т. 44. – № 3. – С. 127-135. DOI:10.15372/GIPR20230313*

7 Показано, что фактическая интенсивность сотрясений от сильного землетрясения с M=5.2 наблюдается на значительно бо́льших эпицентральных расстояниях, чем можно было бы ожидать из регионального макросейсмического уравнения, вне зависимости от используемого набора коэффициентов. Это подводит к необходимости калибровки значений региональных наборов коэффициентов уравнения макросейсмического поля с учетом инструментальных данных сети сейсмостанций

Голоустненское-II землетрясение 08.06.2022 г. с Mw=5.2, произошедшее вблизи дельты р. Голоустной (Южный Байкал), стало сильнейшим в данном локальном районе за почти 40-летний период. Ранее практически в этом же месте 22.05.1981 г. произошло очень близкое по параметрам сейсмическое событие с M_{LH} = 5.4, известное как Голоустненское землетрясение [1]. Землетрясение вызвало ощутимые эффекты (рисунок 10) и заметный общественный резонанс, в особенности в крупных городах, который можно объяснить тем, что событие 08.06.2022 г. стало четвертым землетрясением с сентября 2020 г., ощущавшимся во многих пунктах с интенсивностью V баллов. Столь частые сильные землетрясения, по-видимому, способствовали росту чувства тревожности и обеспокоенности у людей, а также развитию сейсмофобии в обществе [2].

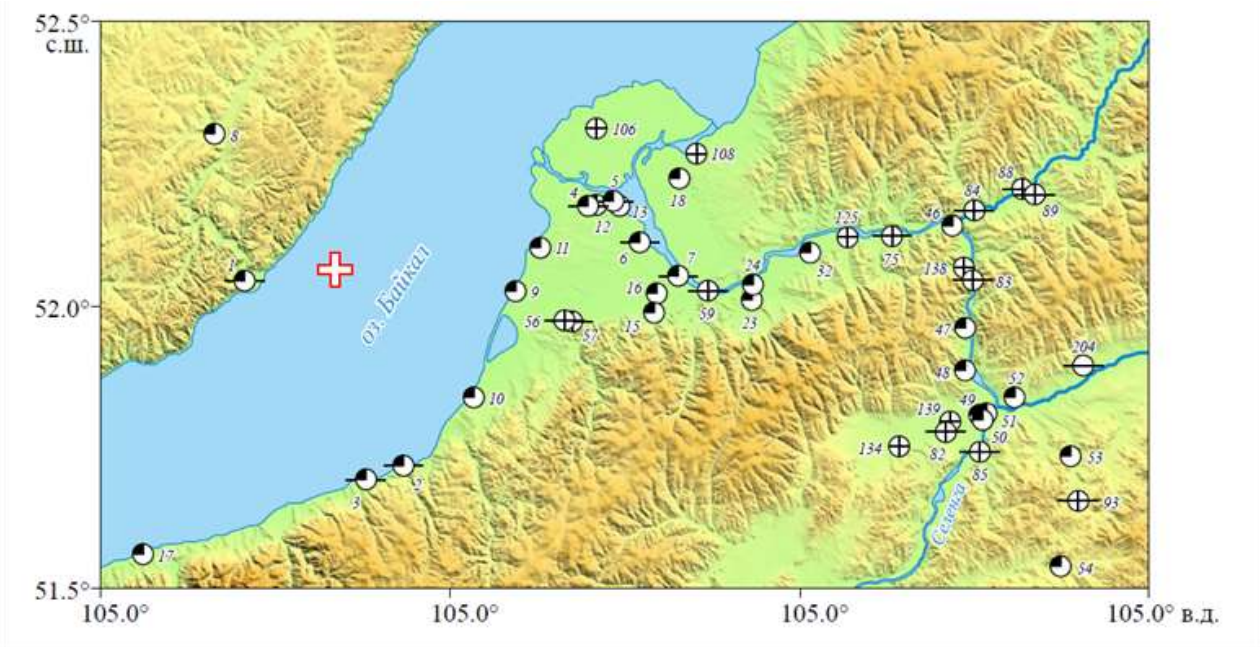


Рисунок 10 – Схема макросейсмических проявлений Голоустненского-II землетрясения 08.06.2022 г. в районе нижнего течения р. Селенга и г. Улан-Удэ

Макросейсмические данные, полученные непосредственно после ощутимого события, незаменимы для быстрой оценки интенсивности сотрясений, а также для принятия адекватных мер по смягчению последствий землетрясений. Собранная в

оперативном режиме макросейсмическая информация может быть востребована для разработки мер по снижению сейсмического риска [3], играя роль информационной основы в подобных исследованиях [4]. Нами разработана и внедрена в работу региональной сейсмологической службы методика онлайн-анкетирования при сильных землетрясениях. Результаты использования системы в целом оправдали ожидания и подтвердили ее довольно высокую эффективность в условиях Байкальского региона по сравнению с традиционными методами сбора макросейсмических данных.

Наиболее сильные макросейсмические эффекты, оцениваемые в V–VI баллов по шкале ШСИ-17, наблюдались как на западном (пос. Большое Голоустное), так и на восточном (г. Бабушкин, пос. Клюевка) побережьях оз. Байкал на эпицентральных расстояниях от 18 до 67 км (рисунок 10). Сильные колебания интенсивностью V баллов наблюдались на расстояниях от 35 до 191 км. Хорошо заметные макросейсмические эффекты, соответствующие интенсивности IV балла, распространялись на расстояния до 330 км, в основном к северо-западу и юго-востоку от эпицентра. Слабые сотрясения (II–III балла) наблюдались на расстояниях до 654 км, в том числе в городах Усть-Кут, Чита, Киренск. Наиболее удаленным пунктом, где землетрясение еще было замечено, стал г. Усть-Илимск (II балла, Δ = 686 км) (рисунок 11). В итоге информация была получена из 255 населенных пунктов.

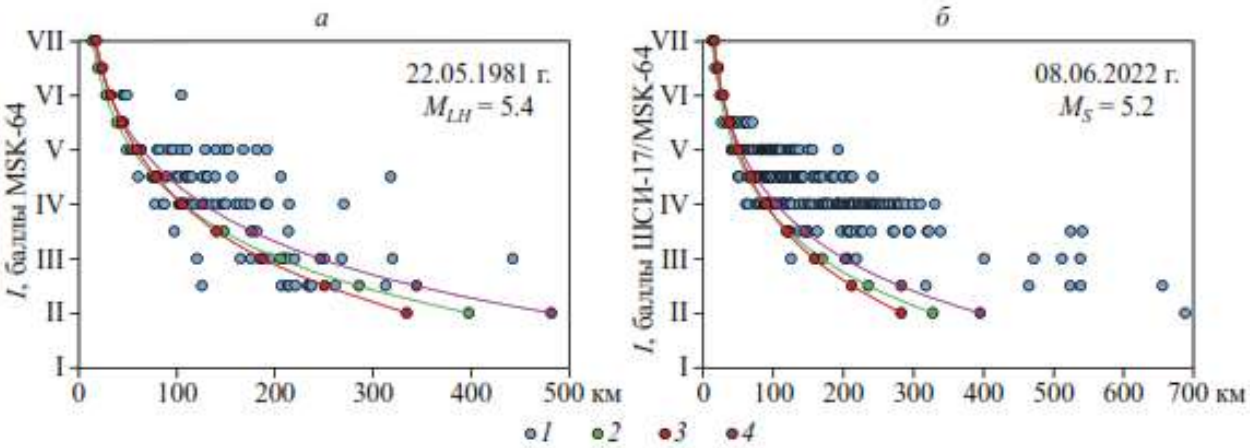


Рисунок 14 – Зависимость интенсивности сотрясений от гипоцентрального расстояния R при землетрясениях 22.05.1981 г., *M* = 5.4 (а) и 08.06.2022 г., *M* = 5.2 (б). Набор макросейсмических данных для землетрясения 22.05.1981 г. заимствован из работы [1]

1 – фактические данные; *2–4* – теоретические кривые затухания по макросейсмическому уравнению: *2* – со среднемировым набором коэффициентов (b = 1.5, v = 3.5, c = 3.0) [5], *3* – с региональным набором коэффициентов (b = 1.5, v = 4.0, c = 4.0) [6], *4* – с региональным набором коэффициентов (b = 1.5, v = 3.44, c = 3.13) [7]

Изучение макросейсмического поля Голоустненского-II землетрясения 08.06.2022 г. показало, что фактическая интенсивность сотрясений наблюдалась на значительно больших расстояниях, чем следовало из уравнения макросейсмического поля [5]. Сотрясения от землетрясения охватили довольно обширную территорию, однако его макросейсмическое поле было неоднородным: отчетливо ощущавшиеся макросейсмические эффекты, соответствующие интенсивности сотрясений от IV до V баллов, наблюдались главным образом в северо-западных и юго-восточных азимутах относительно эпицентра. Относительно слабое затухание интенсивности сотрясений в северо-западном направлении при землетрясениях с эпицентрами в пределах Южного и Среднего Байкала может иметь два объяснения. Первое из них – особенности размещения населенных пунктов в Восточной Сибири, сосредоточенных вдоль крупных рек, автомобильных и железнодорожных дорог. Территории приуроченных к ним населенных пунктов составляют значительную часть макросейсмического поля землетрясения 08.06.2022 г., что отчасти создает видимость распространения ощутимых колебаний на северо-запад. Также, повышенная ощутимость может быть связана с тем, что область Сибирской платформы, ограничивающая впадину оз. Байкал с северо-запада, характеризуется более высоким значением сейсмической добротности и низким затуханием сейсмических волн по сравнению со структурами Байкальской рифтовой зоны [8]. Соответственно, населенные пункты, расположенные к северу от оз. Байкал, могут испытывать ощутимые сотрясения на бóльших эпицентральных расстояниях, что хорошо соотносится с наблюдаемым макросейсмическим полем (рисунок 11).

Радзиминович Я.Б., Лухнева О.Ф., Новопашина А.В., ***Цыдыпова Л.Р., Тубанов Ц.А.****, Гилева Н.А. Землетрясение 08.06.2022 г. (Mw=5.2) в Южном Прибайкалье: анализ макросейсмических данных // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2023. – Т. 50. – № 2. – С. 25-48. DOI: 10.21455/VIS2023.2-2*

8 Разработано программное обеспечения для геофизического мониторинга очаговых областей центральной части Байкальского рифта

В ГИН СО РАН проводятся исследования по развитию методов пассивной и активной сейсмологии, в частности, площадного многовекторного вибросейсмического мониторинга (рисунок 12). Общая площадь, охваченная вибросейсмическим мониторингом, превышает 20 000 кв. км и позволяет контролировать не только разные направления, но и разные объемы сейсмогенерирующей среды. На данный момент существующая сеть сейсмологических станций позволяет вести мониторинг изменения напряженного состояния в зоне Усть-Селенгинской очаговой зоны [9].

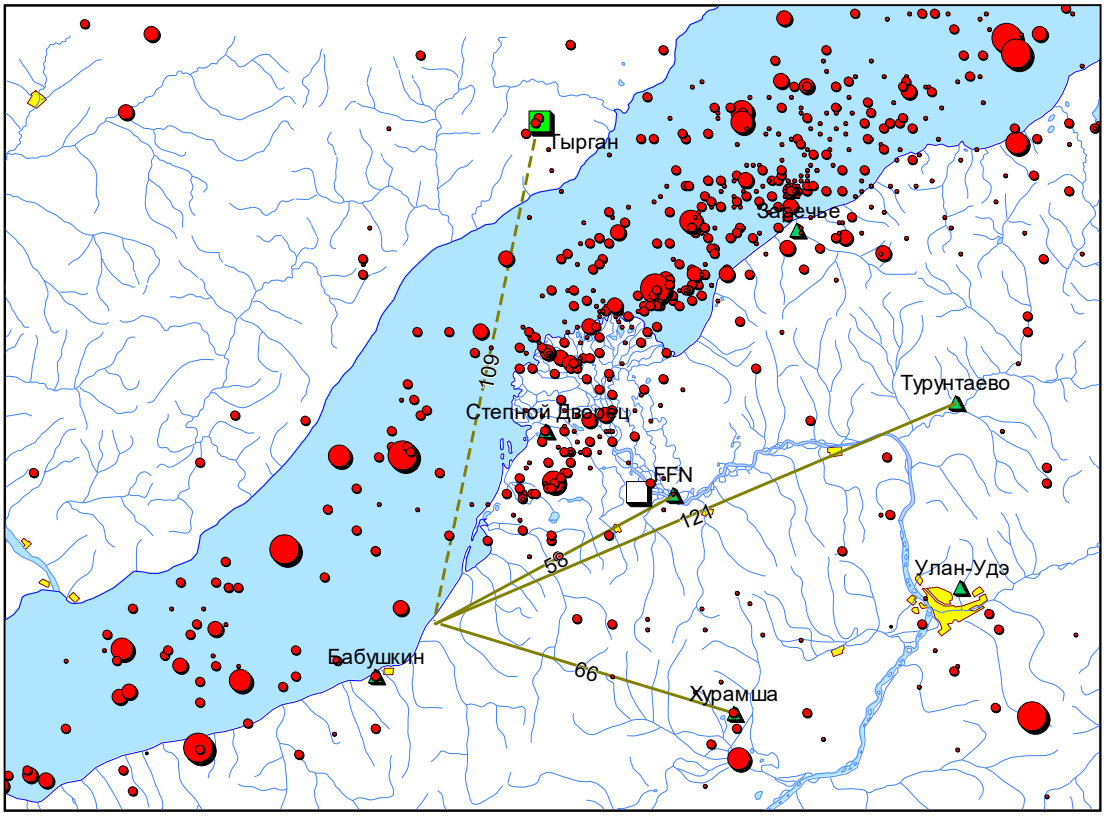


Рисунок 12 – Схема вибросейсмического просвечивания центральной части Байкальского рифта

Программа выделения монохроматических сигналов сейсмовибратора ЦВ-100. Программное обеспечение разработано с целью эффективного введения, обработки и анализа вибросейсмических данных, полученных в процессе проведения вибросейсмического мониторинга на Южно-Байкальском геодинамическом полигоне. Мониторинг осуществляется в условиях излучения монохроматического сигнала с использованием вибратора ЦВ100. Программа предоставляет разнообразный функционал, включающий в себя просмотр первичных данных, цифровую фильтрацию, выделение монохроматического сигнала и поляризационный анализ. Процесс обработки данных

направлен на выделение ключевых параметров, таких как частоты, амплитуды и поляризация монохроматического сигнала.

Программа отправки цифровых сейсмограмм «SendPick». Программное приложение предназначено для автоматизации сбора данных с сейсмических станций в режиме, близком к реальному времени, в региональную систему автоматизированной обработки данных и оперативного сообщения о сильных землетрясениях [https://seis-bykl.ru/]. Программа автоматически высылает при заданном условии электронной почтой по протоколу SMTP файлы сейсмограмм землетрясений, выделенных модулем scautopick программного комплекса SeisComp5 (Helmholtz-Centre Potsdam). При условии превышения амплитуды выделенного пика первых вступлений сейсмических волн установленного критерия формируется электронное сообщение и производится отправка по указанным адресам с прикрепленным файлом – цифровой сейсмограммой, сконвертированной из формата MiniSEED в формат Байкал-5.

База данных «Очаговые параметры землетрясений Центрального Байкала 2001-2013 гг.» содержит сведения об очаговых параметрах и спектрах волновых форм записей землетрясений, зарегистрированных пятью и более сейсмостанциями Прибайкалья из [10]. База включает данные для 2116 землетрясений, начиная с 4.5 энергетического класса о скалярном сейсмическом моменте M_0, моментной магнитуде M_W, радиусе круговой дислокации R (км), сброшенном напряжении $\Delta\sigma$ (бар), смещении по разрыву D (м). Для расчета очаговых параметров из спектра записи землетрясения использовалась стандартная модель круговой дислокации Бруна [11], по которой разрыв происходит в результате мгновенного приложения импульса тангенциального напряжения к его внутренней стороне. Спектр смещений в простейшем случае описывается с помощью двух прямых – горизонтальной в области низких частот, высота которой пропорциональна сейсмическому моменту, до некоторой частоты f_c, известной как угловая частота (corner frequency), и наклонной в области высоких частот, связанной с линейными размерами очага землетрясения. В первоначально полученный из сейсмограммы спектр скорости вносятся поправки: для перехода от спектра скорости к спектру смещений, далее геометрическое расхождение и неупругое затухание вдоль пути распространения сейсмического луча. Спектры рассчитывались для поперечных волн от момента вступления до момента спадания максимальной амплитуды до 1/3 по записям станций, расположенных в разных азимутах относительно эпицентра землетрясения.

Итоговые значения для каждого землетрясения получали осреднением результатов станционной обработки.

Базаров А.Д. *Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2023684362. Российская Федерация. «Программа выделения монохроматических сигналов сейсмовибратора ЦВ-100» / Правообладатель: ФГБУН ГИН СО РАН. – Дата регистрации: 16.11.2023.*

Предеин П.А. *Хритова М.А. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2023686037. Российская Федерация. «Программа отправки цифровых сейсмограмм SendPick» / Правообладатели: ФГБУН ГИН СО РАН, ФИЦ ЕГС РАН. – Дата регистрации: 01.12.2023.*

Санжиева Д.П.-Д., Тубанов Ц.А., Добрынина А.А. *Свидетельство о регистрации базы данных № 2023624589. Российская Федерация. «Очаговые параметры землетрясений Центрального Байкала 2001-2013 гг.» / Правообладатель: ФГБУН ГИН СО РАН. – Дата регистрации 12.12.2023.*

Модернизация сети сейсмического мониторинга, развитие сейсмопрогностических исследований

Многолетние исследования параметров сейсмического режима и механизмов очагов землетрясений Байкальского региона позволили оценить условия генерации сильнейших землетрясений, исследовать сценарии сейсмических активизаций, установить параметры сейсмотектонических деформаций земной коры Байкальской рифтовой зоны.

Сеть сейсмических станций создавалась в 1990-х гг. на базе стационаров и обсерваторий Геологического института СО РАН в рамках развития Южно-Байкальского сейсмопрогностического полигона [12]. Первым пунктом сейсмологических наблюдений был г. Улан-Удэ (код станции UUDB), где сейсмостанция начала работу в феврале 1996 г. в пригородном районе «Верхняя Березовка». Позднее, были открыты сейсмостанции Хурамша (HRMR) и Максимиха (MXMB) (рисунок 13).

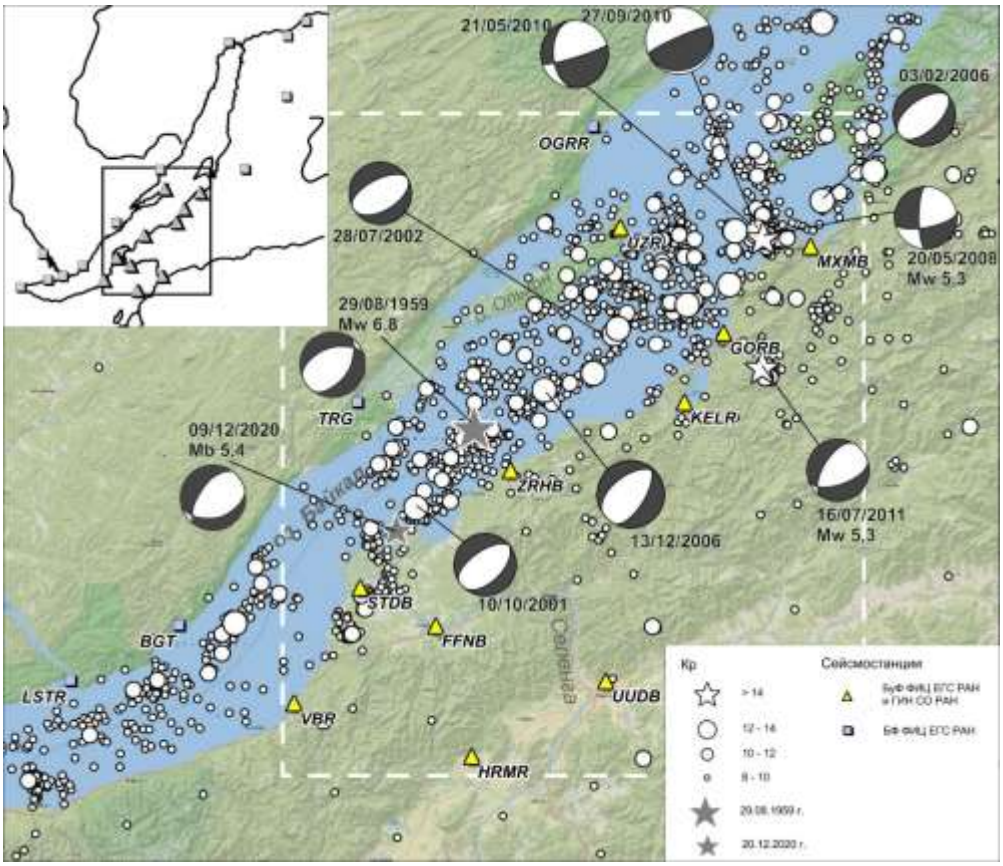


Рисунок 13 – Карта эпицентров землетрясений центральной части Байкальского рифта за 2001–2014 гг. Сейсмические станции ГИН СО РАН и Бурятского (код сети BUGSR) и Байкальского филиала (BAGSR) ФИЦ ЕГС РАН. Серыми звездочками обозначены Среднебайкальское (29 августа 1959 г.) и Кударинское (9 декабря 2020 г.) землетрясения

Исследуемая территория охватывает сейсмоактивную область акватории оз. Байкал в пределах координат 106.1°–109.1° в. д. и 51.7°–53.7° с. ш., для которой составляется локальный каталог землетрясений (рисунок 13). Область пассивного мониторинга

сейсмической активности выбрана с учетом расположения станций локальной, региональной сети и очаговых областей Центрального Байкала. Схема наблюдений локальной сети включает два уровня: автоматизированный пункт наблюдения, и центр обработки и хранения информации, находящийся в г. Улан-Удэ. Данные сейсмометрических наблюдений хранятся в виде бинарных файлов. Время синхронизировано с использованием системы GPS. Начиная со времени работы первой сейсмостанции производилась интеграция образующихся пунктов в региональную сеть сейсмологических наблюдений. Архивы с исходными сейсмограммами в едином формате (Байкал-5) передаются в Байкальский филиал ФИЦ ЕГС РАН. Для составления локального каталога в сводной обработке кроме сейсмостанций локальной сети использованы данные шести сейсмостанций Байкальского филиала ФИЦ ЕГС РАН, которые расположены на западном побережье оз. Байкал.

Уплотнение сети сейсмостанций в центральной части Байкальского рифта, модернизация оборудования, позволили увеличить представительность (в сторону меньших энергетических классов) и увеличить относительную точность локализации очагов землетрясений [13, 14, 15]. Более детально исследованы скоростная структура [16], изучены пространственные аномалии добротности [17, 18].

***Добрынина А.А.**, Саньков В.А., Борняков С.А., Король С.А., Саньков А.В. Аномалии микросейсмических шумов в связи с Кударинским землетрясением 9 декабря 2020 г. с Mw=5.6 в Байкальской впадине // ДАН. Науки о Земле. – 2023. – Т. 509. – № 1. – С. 74-80. DOI: 10.31857/S2686739722602733 RSCI*

***Тубанов Ц.А., Предеин П.А., Санжиева Д.П.-Д., Цыдыпова Л.Р.** Проблемы сейсмического мониторинга территории Байкальского региона // Геодинамика и минерагения Северной Евразии: материалы VI Международной научной конференции, посвященной 50-летию Геологического института им. Н.Л. Добрецова СО РАН (Улан-Удэ, 13-17 марта 2023 г.). – Улан-Удэ: Издательство Бурятского госуниверситета, 2023. – С. 524-526.*

10 По данным сейсмической сети сейсмостанций проведена томографическая инверсия времен пробега сейсмических волн от близких землетрясений центральной части Байкальского рифта

Использованы временах пробега P- и S-волн от землетрясений за период 2001–2011 гг. с K_P=6.5–12.2. Были использованы события, зарегистрированные минимум на 5 пунктах наблюдения, с удалением от эпицентра не далее, чем на 100 км. После отбора в каталоге осталось 826 событий с временами пробега *P*- волн (6391 шт.) и *S*- волн (6462 шт.). В расчетах были использованные данные с 11 станций ГИН СО РАН и БуФ ФИЦ ЕГС РАН, 5 станций БФ ФИЦ ЕГС РАН и 5 временных станций, установленных после Туркинского землетрясения 16.07.2011 г.

В работе используется метод локальной сейсмической томографии в программе LOTOS [19]. Методика позволяет проводить одновременное уточнение трехмерной скоростной модели и гипоцентров событий по временам пробега *P*- и *S*-волн. В результате получено трехмерное распределение скоростных аномалий для *P*- и *S*- волн, причем пространственное положение аномалий скоростей *P*- и *S*-сейсмических волн в целом коррелируются между собой. На рисунке 14 показана трехмерная структура аномалий скоростей *P*- волн по результатам томографической инверсии. На горизонтальном срезе 10 км отчетливо выделяется низкоскоростная аномалия, которая вероятно связана с низкоскоростными осадочными отложениями Усть-Селенгинской депрессии. В нижней части разреза (горизонтальное сечение 20 км) скоростное изображение характеризуется более раздробленной структурой, возможно имеющее определяющее значения для распределения очагов землетрясений. Следует отметить, что основная часть релоцированных очагов землетрясений сосредоточена на глубинах 10–22 км, что совпадает с оценками, полученными в исследованиях [13], но в районе дельты реки Селенги наблюдается скопление событий с глубокими гипоцентрами (больше 30 км). Известно, что томографическая инверсия с использованием одномерной слоистой скоростной модели позволяет только несколько уменьшить разброс гипоцентральных оценок, но не позволяет произвести точную релокацию местоположения очагов землетрясений [20, 21].

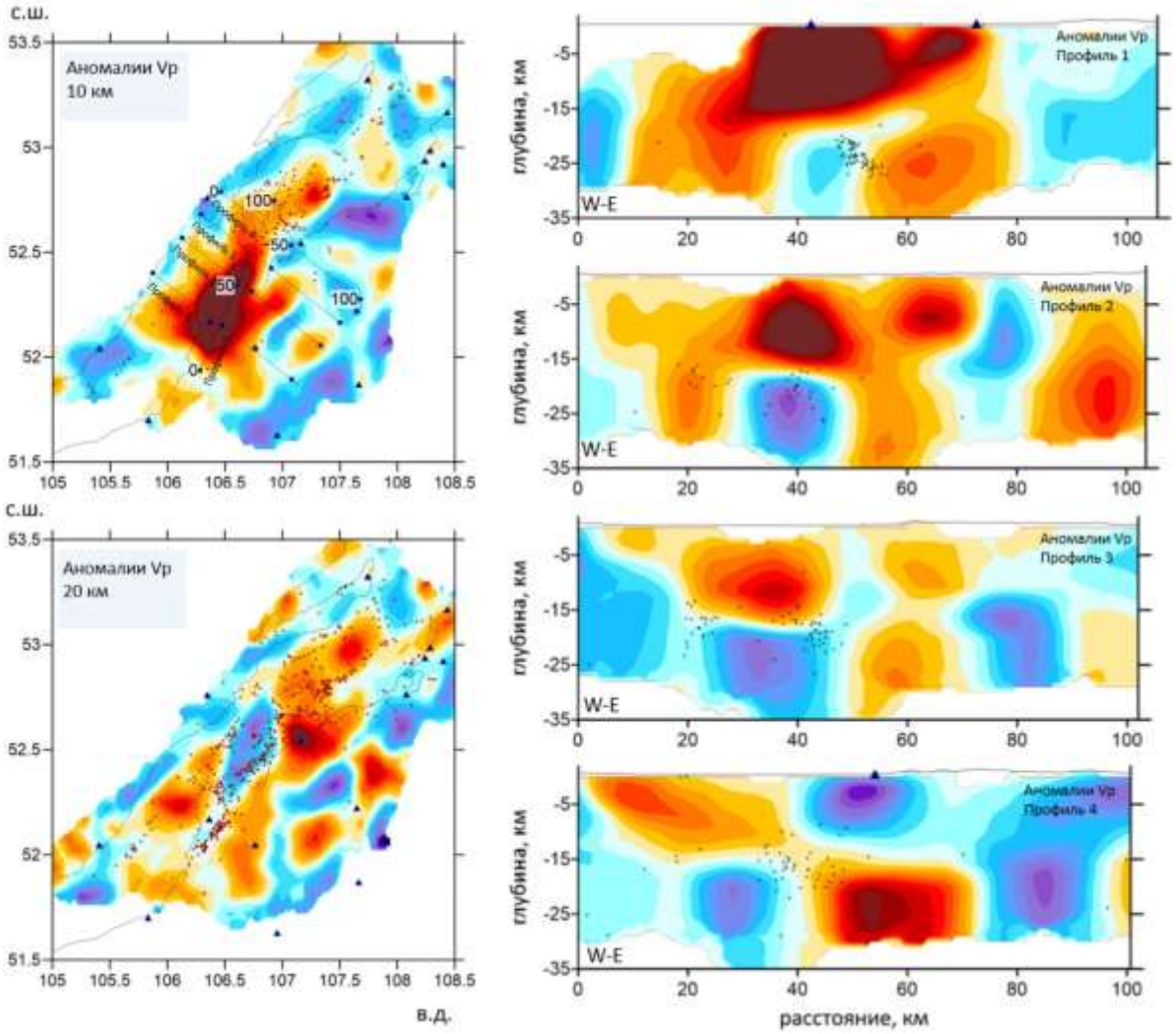


Рисунок 14 – Структура аномалий скоростей *P*- волн по результатам томографической инверсии: Слева – горизонтальные сечения на глубине 10 км (верхний ряд) и 20 км (нижний ряд); точки – события на соответствующей глубине; треугольники – сейсмические станции; местоположение профилей для построения вертикальных сечений указаны на верхнем левом рисунке. Справа – вертикальные сечения по профилям 1-4 в крест оси Байкальского рифта

Епонешникова Л.Ю., Дучков А.А., ***Санжиева Д.П.****, Яскевич С.В. Трехмерная скоростная структура земной коры центральной части озера Байкал по данным локальной сейсмической томографии // Геодинамика и тектонофизика. – 2023. – 14(1). https://doi.org/10.5800/GT-2023-14-1-0683*

11 Проведен анализ развития рельефа и морфоструктур Западного Забайкалья в кайнозое с помощью компьютерного дешифрирования. Проведена корреляция выделенных геоморфологических районов с сейсмическим режимом. Определена зона сгущения субмеридиональных морфолинеаментов и предполагаемого пластического течения, которая предопределила геодинамическую историю региона и возможное положение западной палеограницы Амурской плиты на раннем этапе рифтогенеза пассивного типа

Выводы сделаны на основе анализа сейсмичности, данных GPS-геодезии [22, 23, 24] и результатов физического моделирования [25, 26] в сопоставлении с линеаментным анализом [27] на основе компьютерного дешифрирования цифровой модели рельефа SRTM 04_115 с горизонтальным разрешением 90 м.

Геодинамическое районирование территории проведено на основе выделения протяжённых линеаментов на нескольких порогах выраженности, рисунку структурных линий (линий вытянутости) и анализу общей плотности малых морфолинеаментов. На основании этих характеристик, а также исследовании рельефа и линеаментного рисунка нами определяются три района: Усть-Селенгинский - (1), Западный – (2) и Восточный – (3) (рисунок 15).

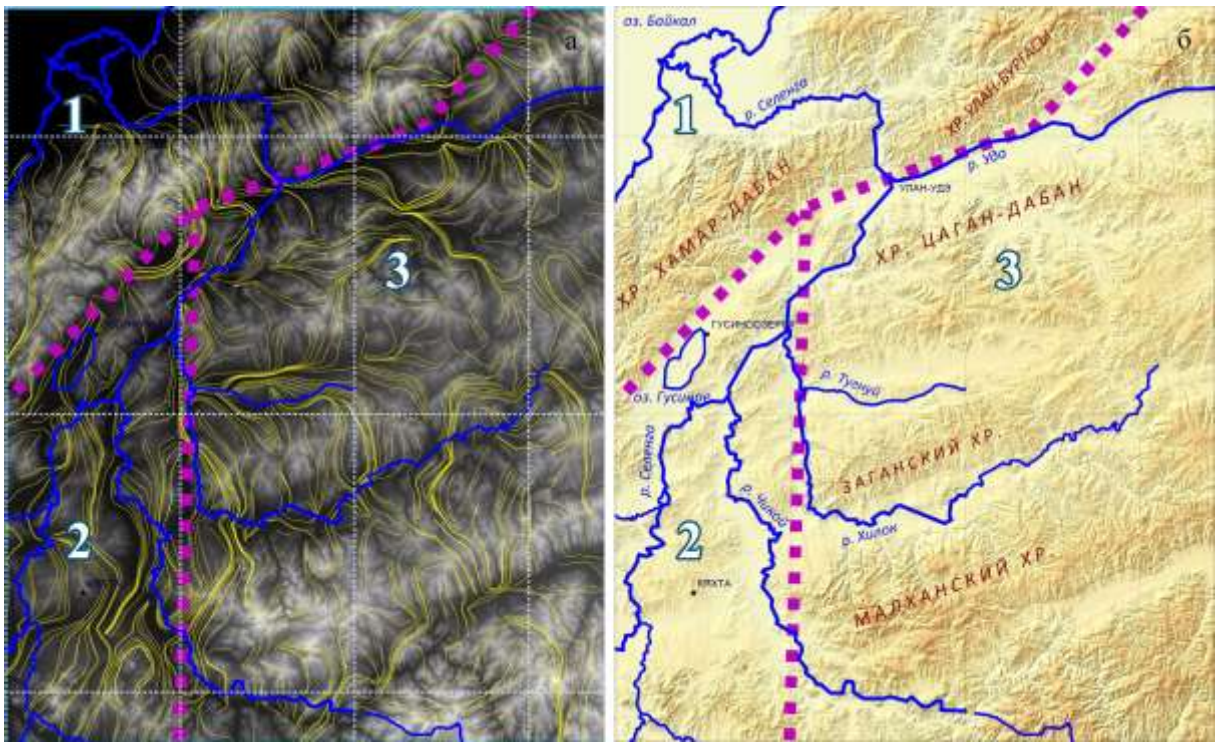


Рисунок 15 – а) Районирование ЦМР по рисунку структурных линий; б) эти же районы на фоне подсвеченной ЦМР

Границы районов маркируются протяженными морфолинеаментами, градиентными зонами плотности малых линеаментов и сгущений структурных линий,

совпадающими с геологическими глубинными разломами и зонами локализации деформаций. Выделены наиболее активные фрагменты линеаментов и определена их возможная кинематика, определена ведущая роль субмеридионального и ССЗ-ЮЮВ простираний в формировании розы-диаграммы морфолинеаментов (рисунок 16).

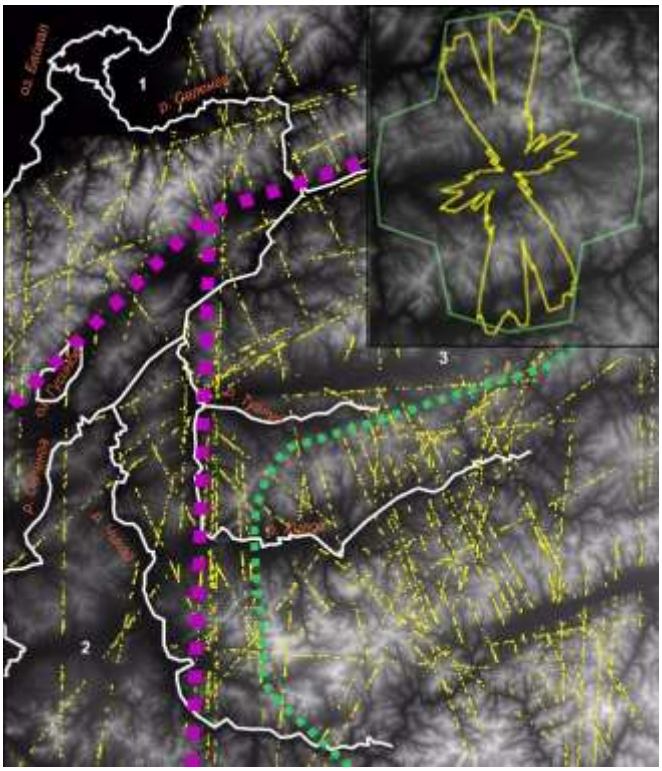


Рисунок 16 – Соотношение границ районов (розовые штриховые), выделенных по структурным линиям с линеаментами на пороге выраженности >110. Зелёная пунктирная линия - северо-западная границы Даурского мегасвода. На врезке представлена роза-диаграмма протяжённых линеаментов с порогом выраженности >110 (жёлтая) и 8-секторная роза диаграмма малых линеаментов (зелёная)

Выявлено приблизительное совпадение границ установленных геоморфологических районов с условными районами на основе параметров сейсмического режима, граница между которыми проходит примерно по 106 меридиану [28]. Определена зона сгущения субмеридиональных морфолинеаментов и предполагаемого пластического течения, которая предопределила геодинамическую историю региона и возможное положение западной палеограницы Амурской плиты на раннем этапе рифтогенеза пассивного типа. Выявлена роль протяжённых морфолинеаментов меридионального и С-СЗ простирания на локализацию сильных землетрясений (рисунок 17).

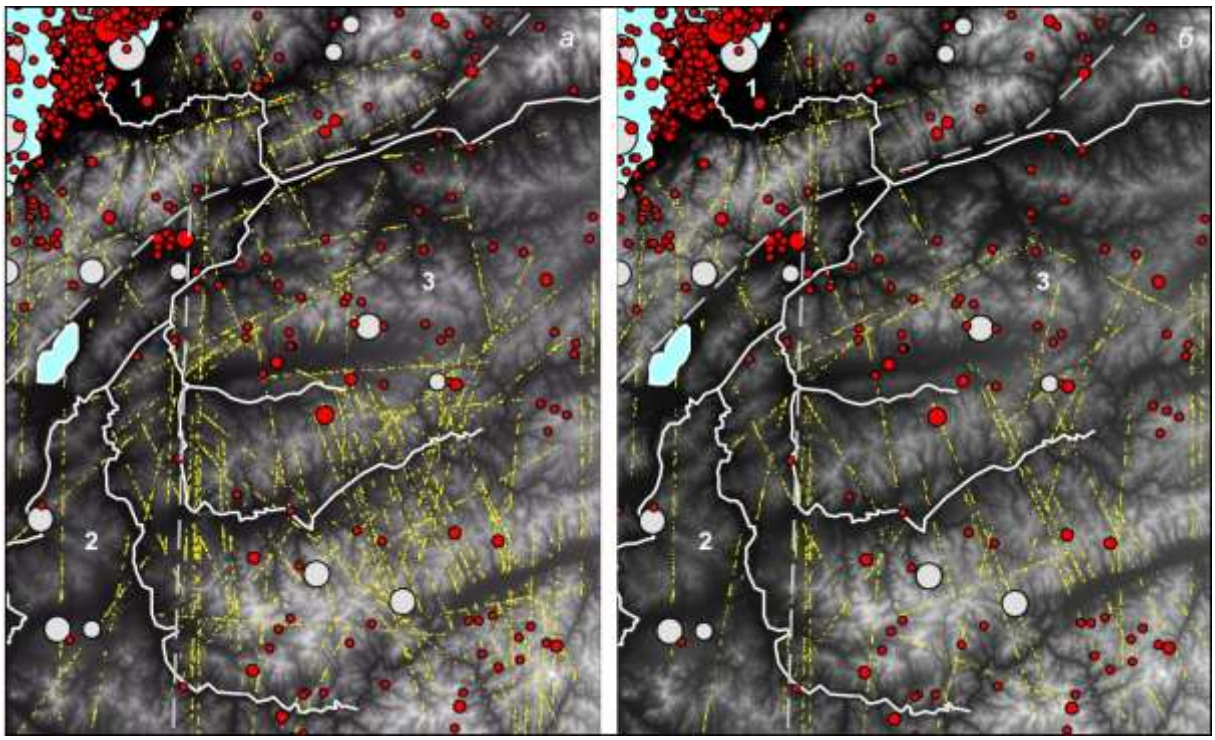


Рисунок 17 – Эпицентры землетрясений за исторический (белые кружки) и инструментальный периоды наблюдений (красные кружки), совмещённые с линеаментами с порогом выраженности: а) >110, б) > 115

Иванченко Г.Н., ***Тубанов Ц.А.*** *Геодинамическое районирование Западного Забайкалья методами компьютерного линеаментного анализа цифровой модели рельефа // Динамические процессы в геосферах. – 2023. – № 3. – С. 1-22. https://doi.org/10.26006/29490995_2023_15_3_1*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения проекта получены следующие наиболее значимые результаты.

Установлено, что над хранилищами отходов горнодобывающих предприятий образуется ореол загрязнения атмосферы аэрозолями сульфат-иона, алюминия, железа, марганца, цинка, фосфора и др. токсичными элементами. Показано, что в результате рассеивания аэрозолей от хранилищ отходов горнодобывающих предприятий формируется ореол загрязнения атмосферы токсичными химическими элементами и тонкодисперсной пылью площадью в несколько десятков квадратных километров. В снежном покрове территории, подверженной воздействию хранилищ отходов добычи и переработки вольфрамо-молибденовых руд обнаружено содержание алюминия более 10 мг/л, марганца, железа, цинка, фтора, кремния более 1 мг/л. Свалки промышленных и бытовых отходов являются источниками загрязнения воздуха, произрастающей на них растительности и почв, тяжелыми металлами. Наблюдается взаимосвязь загрязнения растительности и атмосферы потоками аэрозолей. С помощью разработанной установки проведено исследование нейтрализации дренажных вод известняком и осаждения на его поверхности редкоземельных элементов.

Показано, что фактическая интенсивность сотрясений от сильных землетрясений наблюдается на значительно бо́льших эпицентральных расстояниях, чем можно было бы ожидать из регионального макросейсмического уравнения, что требует его уточнения. Разработано новое программное обеспечения для геофизического мониторинга очаговых областей центральной части Байкальского рифта. Проводится модернизация сети сейсмического мониторинга и выявлен предвестник землетрясеня по микросейсмам. По данным сейсмической сети сейсмостанций проведена томографическая инверсия времен пробега сейсмических волн от близких землетрясений центральной части Байкальского рифта. Апробирована методика линеаментного анализа на основе компьютерного дешифрирования цифровой модели рельефа. Проведена корреляция выделенных геоморфологических районов с сейсмическим режимом. Выявлена зона сгущения субмеридиональных морфолинеаментов и предполагаемого пластического течения, которая предопределила геодинамическую историю региона и возможное положение западной палеограницы Амурской плиты на раннем этапе рифтогенеза пассивного типа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Голенецкий С.И., Демьянович М.Г., Фомина Е.В., Чипизубов А.В., Авдеев В.А., Кочетков В.М. Землетрясения 22 и 27 мая 1981 г. на Байкале // Землетрясения в СССР в 1981 году. – М.: Наука, 1984. – С. 66–74.

2 Лухнева О.Ф., Киселева И.Н., Радзиминович Я.Б., Новопашина А.В. Возникновение сенсорных аберраций у жителей Восточной Сибири при повторяющихся сейсмических воздействиях // Геофизические процессы и биосфера. – 2022. – Т. 21. – № 3. – С. 39–51. https://doi.org/10.21455/GPB2022.3-5

3 Bossu R., Roussel F., Fallou L., Landès M., Steed R., Mazet-Roux G., Dupont A., Frobert L., Petersen L.LastQuake: From rapid information to global seismic risk reduction // Int. J. Disast. Risk Reduct. – 2018. – V. 28. – P. 32–42. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.02.024

4 Бержинская Л.П., Радзиминович Я.Б., Саландаева О.И., Новопашина А.В., Лухнева О.Ф., Иванова Н.В. Комплексная оценка сейсмической опасности и уязвимости объектов как перспектива дальнейшего градостроительного развития территорий // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2022. – Т. 49. – № 1. – С. 18–33. https://doi.org/10.21455/VIS2022.1-2

5 Shebalin N.V. Macroseismic data as information on source parameters of large earthquakes // Physics of the Earth and Planetary Interiors. – 1972. – V. 6. – N 4. – P. 316–323. https://doi.org/10.1016/0031-9201(72)90016-7

6 Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / Ред. Кондорская Н.В., Шебалин Н.В. – М.: Наука, 1977. – 536 с.

7 Фролова Н.И., Габсатарова И.П., Петрова Н.В., Угаров А.Н., Малаева Н.С. Влияние особенностей затухания сейсмической интенсивности на надежность оперативных оценок потерь от землетрясений // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2019. – № 5. – С. 23–37. https://doi.org/10.31857/S0869-78092019523-37

8 Dobrynina A.A., Sankov V.A., Chechelnitsky V.V., Déverchère J. Spatial changes of seismic attenuation and multiscale geological heterogeneity in the Baikal Rift and surroundings from analysis of coda waves // Tectonophysics. – 2016. – V. 675. – P. 50–68. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2016.03.010

9 Санжиева Д.П.-Д., Тубанов Ц.А., Добрынина А.А. Очаговые параметры землетрясений Центрального Байкала 2001-2013 гг. // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023624589. Правообладатель: ФГБУН ГИН СО РАН. Дата регистрации 12.12.2023. – Официальный бюллетень «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем» №12.

10 Санжиева Д.П.-Д., Предеин П.А., Тубанов Ц.А., Базаров А.Д. База сейсмологических данных Среднебайкальского района Байкальской рифтовой зоны за 2001-2013 гг. // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2019621509. Правообладатель ФГБУН ГИН СО РАН, ФГБУН ФИЦ ЕГС РАН. Дата регистрации 27.08.2019 г. – Официальный бюллетень «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем», № 9.

11 Brune J.N. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes // J. Geophys. Res. – 1970. – Vol. 75. – N 26. – P. 4997–5009.

12 Гольдин С.В., Дядьков П.Г., Дашевский Ю.А. Стратегия прогноза землетрясений на Южно-Байкальском геодинамическом полигоне // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42. – № 10. – С. 1484–1496.

13 Суворов В.Д., Тубанов Ц.А. Распределение очагов близких землетрясений в земной коре под центральным Байкалом // Геология и геофизика. – 2008. – Т. 49. – № 8. – С. 805–818.

14 Тубанов Ц.А., Предеин П.А., Цыдыпова Л.Р., Санжиева Д.П.-Д., Радзиминович Н.А., Базаров А.Д. Результаты и перспективы детальных сейсмологических наблюдений в центральной части Байкальского рифта // Российский сейсмологический журнал. – 2021. – Т. 3. – № 1. – С.38–57.

15 Беляшов А.В., Тубанов Ц.А., Подбор скоростных моделей для локализации сейсмических событий в пределах Байкальской рифтовой зоны // Геофизические технологии. – 2021. – № 1. – С. 38–51

16 Епонешникова Л.Ю., Дучков А.А., Санжиева Д.П.-Д., Яскевич С.В. Трехмерная скоростная структура земной коры центральной части озера Байкал по данным локальной сейсмической томографии // Геодинамика и тектонофизика. – 2023. – 14(1). https://doi.org/10.5800/GT-2023-14-1-0683

17 Добрынина А. А., Предеин П. А., Саньков В. А., Тубанов Ц. А., Санжиева Д. Д., Горбунова Е. А. Пространственные вариации затухания сейсмических волн в Южнобайкальской впадине и прилегающих областях (Байкальский рифт) // Геодинамика и тектонофизика. – 2019. – Т. 10. – №. 1. – С. 147-166. https://doi.org/10.5800/GT-2019-10-1-0408

18 Предеин П. А. Затухание сейсмических волн в центральной части Байкальской рифтовой системы: специальность 25.00.10 "Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых": диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук / Предеин Петр Алексеевич, 2022. – 153 с. – EDN NSPHGL.

19 Koulakov I. LOTOS Code for Local Earthquake Tomographic Inversion: Benchmarks for Testing Tomographic Algorithms // Bulletin of the Seismological Society of America. – 2009. – V. 99 (1). – P. 194–214. https://doi.org/10.1785/0120080013

20 Kissling, E., Ellsworth, W.L., Eberhart–Phillips, D., Kradolfer, U. Initial reference models in local earthquake tomography // J. Geophys. Res. – 1994. – V. 99. – P. 19635–19646.

21 Spallarossa D., G. Ferretti, P. Augliera,D. Bindi, M. Cattaneo. Reliability of earthquake location procedures in heterogeneous areas: synthetic tests in the South Western Alps, Italy // Physics of the Earth and Planetary Interiors. – 2001. – V. 123. – P. 247–266.

22 Саньков В.А., Лухнев А.В., Мирошниченко А.И., Ашурков С.В., Бызов Л.М., Кале Э., Девершер Ж., Дембелов М.Г. Растяжение в Байкальском рифте: Современная кинематика пассивного рифтогенеза // Доклады академии наук. – 2009. – Т. 424. – № 5. – С. 664–668.

23 Ашурков С.В., Саньков В.А., Мирошниченко А.И., Лухнев А.В., Сорокин А.П., Серов М.А., Бызов Л.М. Кинематика Амурской плиты по данным GPS–геодезии // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52. – № 2. – С. 299–311.

24 Ашурков С.В., Саньков В.А., Серов М.А., Лукьянов П.Ю., Гриб Н.Н., Бордонский Г.С., Дембелов М.Г. Пупатенко В.В., Рябинкин К.С. Современные деформации Амурской плиты и окружающих структур по данным GPS измерений // Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57. – № 12. – С. 2059–2070. http://dx.doi.org/10.15372/GiG20161108

25 Malkin B.V., Shemenda A.I. Mechanism of rifting: considerations based on results of physical modelling and on geological and geophysical data // Tectonophysics. – 1991. – Vol. 199. – P. 193–210. https://doi.org/10.1016/00401951(91)90172-O

26 Shemenda A., Déverchère J., Calais E. Three-dimensional laboratory modelling of rifting: application to the Baikal Rift, Russia // Tectonophysics. – 2002. – Vol. 356 (4). – P. 253–273. https://doi.org/10.1016/S0040-1951(02)00389-X

27 Иванченко Г.Н., Горбунова Э.М. Формализованный линеаментный анализ геологических структур Прибайкалья // Физика Земли. – 2021. – № 5. – С. 1–12. https://doi.org/10.31857/S0002333721050082

28 Мельникова В.И., Гилева Н.А., Курушин Р.А., Массальский О.К., Шлаевская Н.С. Выделение условных районов для ежегодных обзоров сейсмичности региона Прибайкалья и Забайкалья // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. – Обнинск: ГС РАН, 2003. – С. 107–117.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Научные публикации в журналах, индексируемые в российских и международных информационно-аналитических системах научного цитирования

Воронина Ю.С., Плюснин А.М. Содержание редкоземельных элементов в снежном покрове на территории Джидинского ГОКа // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2023. – № 2. – С. 122-132. DOI: 10.17308/geo/1609-0683/2023/2/122-132

Добрынина А.А., Саньков В.А., Борняков С.А., Король С.А., Саньков А.В. Аномалии микросейсмических шумов в связи с Кударинским землетрясением 9 декабря 2020 г. с Mw=5.6 в Байкальской впадине // ДАН. Науки о Земле. – 2023. – Т. 509. – № 1. – С. 74-80. DOI: 10.31857/S2686739722602733

Епонешникова Л.Ю., Дучков А.А., **Санжиева Д.П.-Д.**, Яскевич С.В. Трехмерная скоростная структура земной коры центральной части озера Байкал по данным локальной сейсмической томографии // Геодинамика и тектонофизика. – 2023. – 14(1). https://doi.org/10.5800/GT-2023-14-1-0683

Иванченко Г.Н., **Тубанов Ц.А.** Геодинамическое районирование Западного Забайкалья методами компьютерного линеаментного анализа цифровой модели рельефа // Динамические процессы в геосферах. – 2023. – № 3. – С. 1-22. https://doi.org/10.26006/29490995_2023_15_3_1

Плюснин А.М., Воронина Ю.С., Украинцев А.В., Чернявский М.К., Перязева Е.Г., Чебыкин Е.П. Загрязнение атмосферы от хранилищ отходов добычи и переработки вольфрам-молибденовых руд // Геохимия. – 2023. – Том 68. – № 12. – С. 1295–1311. DOI: 10.31857/S0016752523110092

Радзиминович Я.Б., Лухнева О.Ф., Новопашина А.В., **Цыдыпова Л.Р., Тубанов Ц.А.,** Гилева Н.А. Землетрясение 08.06.2022 г. (Mw = 5.2) в Южном Прибайкалье: анализ макросейсмических данных // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2023. – Т. 50. – № 2. – С. 25-48. DOI: 10.21455/VIS2023.2-2

Санжанова С.С. Очистка рудничных дренажных вод Джидинского вольфрамо-молибденового месторождения природными сорбентами // Горный журнал. – 2023. – №4. – С. 65-68. DOI 10.17580/gzh.2023.04.10

Санжанова С.С., Плюснин А.М. Исследование взаимодействия инфильтрационных вод хвостов переработки вольфрамовых руд с известняком // XXI век. Техносферная безопасность. – 2023. – Т. 8. – № 4. – С. 1–12. https://doi.org/10.21285/2500-1582-2023-4-1-12. EDN: CLTIWN

Чередова Т.В., Дорошкевич С.Г. Этапы размещения промышленных и коммунальных отходов на территории города Улан-Удэ // Экология урбанизированных территорий. – 2023. – № 2. – С. 51-54. – DOI 10.24412/1816-1863-2023-2-51-54.

Чередова Т.В., Дорошкевич С.Г., Бартанова С.В. Поведение тяжелых металлов в системе “почва–конденсат–растения” на объектах размещения отходов Г. Улан-Удэ // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2023. – № 1. – С. 50-58. – DOI 10.31857/S0869780923010022

Чередова Т.В., Хромова Е.А., Дорошкевич С.Г. Минеральный состав и формы нахождения частиц твердого осадка снегового покрова на объектах захоронения промышленных и бытовых отходов // Геосферные исследования. – 2023. – № 4. – С. 102-112. – DOI 10.17223/25421379/29/7

Чернявский М.К., Плюснин А.М., Украинцев А.В. Условия формирования и геоэкологические особенности Енгорбойского термального источника (Республика Бурятия) // География и природные ресурсы. – 2023. – Т. 44. – № 3. – С. 127-135. DOI: 10.15372/GIPR20230313

Монографии, патенты, изобретения

Предеин П.А. Хритова М.А. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2023686037. Российская Федерация. «Программа отправки цифровых сейсмограмм SendPick», правообладатели: ФГБУН ГИН СО РАН, ФИЦ ЕГС РАН – Дата регистрации: 01.12.2023. – Официальный бюллетень №12 «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем».

Базаров А.Д. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2023684362. Российская Федерация. «Программа выделения монохроматических сигналов сейсмовибратора ЦВ-100», правообладатель: ФГБУН ГИН СО РАН. Дата регистрации: 16.11.2023. – Официальный бюллетень №11 «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем».

Санжиева Д.П.-Д., Тубанов Ц.А., Добрынина А.А. Свидетельство о регистрации базы данных № 2023624589. Российская Федерация. «Очаговые параметры землетрясений Центрального Байкала 2001-2013 гг.», правообладатель: ФГБУН ГИН СО РАН, дата регистрации 12.12.2023. – Официальный бюллетень №12 «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем».