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



ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Геоэкологические риски и экстремальные природные явления Сибири и Дальнего Востока (промежуточный, 2 этап)

> Номер проекта в ИС управления НИР FWSG-2021-0005 (рег. № 1021062110752-6-1.5.6.)

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

> Руководитель НИР, зав.лаб., д.г.-м.н.

Money

А.М. Плюснин

Улан-Удэ 2022

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Должность

Руководитель НИР, зав. лаб., д.г-м.н.

Отв. исполнитель, зав. лаб., к.г.-м.н.

Исполнители:

с.н.с., к.х.н.

с.н.с., к.ф.-м.н.

с.н.с., к.б.н.

с.н.с., к.г-м.н.

с.н.с., к.ф.-м.н.

н.с., к.т.н.

н.с., к.г.-м.н.

н.с., к.г.н.

н.с., к.г-м.н.

н.с., к.г.-м.н.

н.с., к.г.н.

M.H.C.

подпись, дата

А.М. Плюснин (реферат, введение, заключение, разделы 1-7)

подпись, дата

подпись, дата

10

подпись, дата

подпись, дата

подпись, дата

Son

подпись, дата

OL

подпись, дата

Дампилова Б.В. (раздел 1)

Ц.А. Тубанов

(разделы 8-13)

А.А. Добрынина (раздел 8, 10)

С.Г. Дорошкевич (раздел 2, 3)

О.К. Смирнова (раздел 3)

З.И. Хажеева (раздел 1)

А.Д. Базаров (раздел 11)

Д.И. Жамбалова (раздел 6, 7)

Е.Г. Перязева (раздел 6, 7)

А.В. Украинцев (раздел 5, 6, 7)

Л.Р. Цыдыпова (раздел 10, 13)

М.К. Чернявский (раздел 6, 7)

Н.А. Ангахаева (раздел 4)

ΦИΟ

М.Н.С., К.Г.-М.Н.

м.н.с., к.г.-м.н.

м.н.с., к.т.н.

вед. инж.

инженер 2 кат.

инженер

инженер

инженер

инженер

инж.-лаб.

Подпись, дата

They

подпись, дата

подпись, дата

on

подпись, дата

Милир подпись, дата

A -

подпись, дата

подпись, дата

gan

подпись, дата

Offeess

подпись, дата

подпись, дата

подпись, дата

Подпись, дата

Eg)

подпись, дата

подпись, дата

В.В. Дабаева (раздел 3, 4)

П.А. Предеин (раздел 8, 9)

С.С. Санжанова (раздел 3, 4)

И.В. Бардамова (раздел 6)

Б.А. Жигмытов (раздел 10)

Д.П.-Д. Санжиева (раздел 9, 10, 12)

В.В. Толочко (раздел 10)

А.Б. Цыденов (раздел 11)

Б.В. Цыденова (раздел 6)

Ю.С. Воронина (раздел 7)

Е.И. Герман (раздел 11)

Т.В. Чередова (раздел 2)

Р.С. Черниговский (раздел 6)

Е.С. Кушеева (раздел 6, 7)

Нормоконтроль

Д.П.-Д. Санжиева

ΡΕΦΕΡΑΤ

Отчет 38 с., 13 рис., 2 табл., 25 источн., 1 прил. ОЗЕРО, ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ, ТЕХНОГЕННЫЕ ЛАНДШАФТЫ, МИКРОЭЛЕМЕНТЫ, МИНЕРАЛЬНЫЕ ВОДЫ, ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ, СЕЙСМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ, ДОБРОТНОСТЬ, БАЙКАЛЬСКИЙ РИФТ, ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ

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; химический анализ; математическая обработка; экспериментальное и численное моделирование; мониторинг сейсмичности; геофизические методы.

Полученные результаты: Установлен уровень загрязнения донных осадков озера Гусиное подвижными формами тяжелых металлов (кадмий, хром, медь, цинк, свинец). Выделены обменная, восстанавливаемая и окисляемая формы их нахождения. Получены новые данные о пылевой нагрузке, морфологии и минеральном составе твердого осадка снежного покрова на законсервированных объектах промышленных и бытовых отходов. Показано, что в углекислых минеральных водах высокие содержания Cr, Mn, Fe, Sr, Zr, Nb, Sn, Hf, Ta связаны с их переносом в составе флюида CO₂.

Разработана методика оценки добротности литосферы, с использованием данных локальной сети сейсмостанций. С использованием коды региональных и локальных характеристик землетрясений получена оценка затухания сейсмических волн (сейсмическая добротность и частотный параметр) в литосфере Байкальского рифта. Усовершенствована методика локализации очагов землетрясений с учетом трехмерного изменения скоростей сейсмических волн. Уточнено региональное макросейсмическое уравнение, связывающее интенсивность, магнитуду и гипоцентральное расстояние. Показана необходимость комплексного использовании методов спутниковой радиолокационной интерферометрии для идентификации медленных тектонических движений, которые предшествуют сейсмическим событиям.

CO	π	DV	AL	ы	\mathbf{E}
υU	μ	JI JI	AI	ILI	Ľ

ВВЕДЕНИЕ	8
ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ	9
Раздел 1	9
Раздел 2	10
Раздел 3	11
Раздел 4	13
Раздел 5	15
Раздел 6	16
Раздел 7	18
Раздел 8	20
Раздел 9	22
Раздел 10	25
Раздел 11	27
Раздел 12	29
Раздел 13	31
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	33
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	34
ПРИЛОЖЕНИЕ А	37

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

ДВМК – Джидинский вольфрамо-молибденовый комбинат

ДРИ – дифференциальная радиолокационная интерферометрия

- МДУ максимально допустимый уровень
- ОГОП отходы горно-обогатительного производства
- ОДК ориентировочно допустимые концентрации химических веществ в почве
- ОСВ осадки сточных вод
- ПАВ поверхностно активные вещества
- ПДК предельно допустимая концентрация
- ЦКП центр коллективного пользования
- OEP odd-even predominance
- Р-волна продольная волна
- PS Persistent Scatterers (метод постоянных рассеивателей)

ВВЕДЕНИЕ

Настоящий отчет является промежуточным, в нем представлены результаты работы за второй 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 2022 г:

Изучение процессов взаимодействия в системах вода-донные отложения, породапочвы-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. Изучение корреляций пространственно-временного распределения сейсмичности с локальными структурно-тектоническими элементами и глубинным строением Байкальского рифта.

Ожидаемые результаты: Изучение экстремальных природных процессов и явлений, оказывающих негативное воздействие на население и природную среду, исследование взаимосвязей в системе вода-порода-газ-живое вещество.

При выполнении научно-исследовательских работ и подготовке отчета руководствовались государственными стандартами: ГОСТ 17.1.3.06-82; ГОСТ 17.4.4.02-84; ГОСТ 17.4.3.04-85; ГОСТ 7.32-2001, ГОСТ 7.32-2017.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1 Установлен уровень загрязнения донных осадков озера Гусиное подвижными формами тяжелых металлов (кадмий, хром, медь, цинк, свинец). В донных отложениях они находятся в виде коллоидных соединений (органоминеральных комплексов и золей) и адсорбированном виде на поверхности гидроксидов железа, марганца и алюминия

Озеро Гусиное является крупнейшим пресноводным водоемом Забайкалья. В течение 40 лет в оз. Гусиное сбрасывались шахтные и карьерные воды Холбольджинского угольного разреза. В северной части происходит загрязнение вследствие поступления сточных вод жилищно-коммунального хозяйства г. Гусиноозерск и выбросами продуктов сгорания угля ГРЭС [1]. Максимальные концентрации Zn, Cu и Mn зафиксированы в северо-западной части водоема вблизи Гусиноозерской ГРЭС и в юго-западной части у железнодорожной станции Гусиное озеро (рисунок 1). Определение формы нахождения металлов проведено методом фракционирования ВСR [2].



Рисунок 1 – Диаграммы распределения форм нахождения исследованных химических элементов в донных отложениях озера Гусиное: А – г. Гусиноозерск, Б – ст. Гусиное озеро

Суммарное содержание наиболее подвижных форм элементов обменной и восстанавливаемой фракций, представляющих опасность для окружающей среды, составляет: Pb 15.3 мг/кг – ст. Гусиное озеро и 16.6 мг/кг – г. Гусиноозерск, Cu 97 и 108 мг/кг и по Zn – 211 и 228 мг/кг соответственно. Исследования форм вблизи угольного разреза показали, что при ликвидации источника загрязнения содержание элементов в подвижной форме заметно уменьшилось, наблюдается высокое содержание прочно связанных с матрицей донных осадков, эта форма не представляет экологической опасности для биоты.

Dampilova B.V., Khazheeva Z.I., Plyusnin A.M. Heavy metal species in the bottom sediments of the aquatic system of lake Gusinoe (Buryatia) // Geochemistry International. $-2022. - T. 60. - N_{\odot}$ 3. -P. 279-285. **DOI:** 10.1134/S0016702922010037

2 Получены новые данные о пылевой нагрузке, морфологии и минеральном составе твердого осадка снежного покрова на законсервированных объектах промышленных и бытовых отходов г. Улан-Удэ

Объектом изучения являлись закрытые, но не рекультивированные к настоящему времени свалки промышленных и бытовых отходов, расположенные в окрестностях г. Улан-Удэ. Пробы были отобраны непосредственно на теле свалок и на фоновых площадках. В качестве фона были выбраны участки за границей свалки, с учетом розы ветров и орографических особенностей местности. Анализ морфологии и минерального состава частиц твердого осадка проводился на растровом электронном микроскопе LEO-1430VP (Carl Zeiss, Германия) с системой энергодисперсионного микроанализа INCA Energy 350 (Oxford Instruments, Великобритания) в ЦКП «Геоспектр» ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ) в режиме переменного давления (Variable Pressure, VP). Установлено, что пылевая нагрузка на свалках выше по сравнению с фоном в 2-6 раз. Минеральный состав твердого осадка снега на фоновых участках в основном представлен алюмосиликатами (плагиоклазы, амфиболы, хлориты, эпидот, каолинит, калиевый полевой шпат, биотит и др.) и углеродистыми частицами. В снеге свалок обнаружены такие минералы, как хромферид, пирофанит, касситерит, гётит, рабдофан, халькозин и др. Твердый осадок содержит микросферулы, глобулы, волокнистые частицы. В пробах со свалок встречены частицы неправильной формы с вкраплениями Fe, Co, Ni (рисунок 2 A), микросферулы, содержащие P, Ba, Gr, Fe, Cl, а также состоящие из оболочек разного состава (рисунок 2 Б).



Б



Рисунок 2 – Особенности морфологии частиц твердого осадка снега с территории свалок г. Улан-Удэ. А – алюмосиликат с включениями железа, кобальта и никеля; Б – 1 – наружный слой магнетит; 2 – внутренний слой углерод

Чередова Т.В., Дорошкевич С.Г., Хромова Е.А. Морфология и минеральный состав твердого осадка снегового покрова на объектах захоронения промышленных и бытовых отходов // Геосферные исследования (в печати)

3 Установлено, что содержание урана, тория и калия в почвогрунтах рекультивированных территорий Джидинского вольфрамового месторождения (Западное Забайкалье) находится в пределах фоновых для Байкальского региона значений. В разрезах почвогрунтов максимальное содержание урана и калия приурочено к лежалым отходам обогащения, тория – к органогенным горизонтам погребенных аллювиальных болотных почв

Аллювиальные болотные почвы рекультивированных территорий техногенных ландшафтов Джидинского месторождения длительное время были перекрыты отходами обогащения руд. В верхней части почвенного профиля развит темно-серый перегнойный горизонт ($A_{\Pi EP}$) мощностью до 30 см с содержанием органического вещества 47-52% высокой степени разложения. Нижележащие горизонты (гумусовый – A1, переходный – B, почвообразующая порода – C) представлены минеральной толщей разной степени оглеения (средняя – g, сильная – G). Для почв характерны высокие содержания относительно фона Fe, S, As, Zn, Cd, Pb, Cu, Mo, Mn, W и U [3].

Интегральную радиоактивность, содержание U, Th и K на рекультивированных территориях определяли в полевых условиях с помощью портативного цифрового прибора GS-512 по сетке 100×20. Интегральная радиоактивность колеблется от 8.2 до 35.8 ед. экв. U (со средним содержанием 14.5 ед. экв. U). Содержание U варьирует от 1.1 до 17.7 мг/кг, со средним содержанием 3.6 мг/кг (таблица 1), что в 1.8 раз выше регионального фона [4]. Концентрация тория находится в пределах от 1.8 до 33.1 мг/кг (со средним содержанием 6.8 мг/кг) на уровне региональных показателей [5]. Количество калия колеблется от 1.0 до 3.2 % (со средним содержанием 2.0 %).

Параметр	U, мг/кг	Th, мг/кг	K, %
Максимальное содержание	17.7	33.1	3,2
Минимальное содержание	1.1	1.8	1.0
Среднее содержание (n=581)	3.6	6.3	2.0
Кларк (Виноградов, 1957)	1.0	6.0	2.5
Региональный фон в аллювиальных почвах Байкальского региона [4, 5]	2.0	6.3	-

Таблица 1 — Содержание урана, тория и калия в поверхностных горизонтах рекультивированных территорий

Валовое содержание U (по Ra), Th и K в пробах почв, отобранных по генетическим горизонтам в местах максимального, минимального и среднего уровня интегральной радиоактивности определяли на низкофоновой гамма-спектрометрической установке (ГИН

СО РАН, Улан-Удэ). Максимальные валовые количества и удельная активность U и K на рекультивированных территориях приурочены к оставшимся лежалым отходам обогащения руд, Th – к перегнойным и гумусовым горизонтам погребенных аллювиальных болотных почв (рисунок 3). Удельная активность U в отходах обогащения и по генетическим горизонтам погребенных аллювиальных болотных почв находится в пределах от 23.8 до 573 Бк/кг (со средним значением 145 Бк/кг), Th – в пределах от 11.4 до 184 Бк/кг (со средним значением 49.5 Бк/кг), K – в пределах от 327 до 1545 Бк/кг (со средним значением 839 Бк/кг).



Рисунок 3 – Внутрипрофильное распределение урана и тория в почвогрунтах рекультивированных территорий, мг/кг

Дорошкевич С.Г., Бартанова С.В., Минеев А.В., Смирнова О.К. Содержание U, Th и K в почвах рекультивированных территорий горнопромышленных ландшафтов Джидинского вольфрамового месторождения // Эволюция биосферы и техногенез. Материалы Всероссийской конференции с международным участием. Чита: ИПРЭК СО РАН. – 2022. – Часть II. – С.329-333. 4 Показано, что на формирование микроэлементного состава углекислых минеральных вод большое влияние оказывает их миграция в составе флюида углекислого газа. За счет переноса в этой форме в углекислых минеральных водах обнаруживаются высокие содержания таких микроэлементов как Cr, Mn, Fe, Sr, Zr, Nb, Sn, Hf, Ta

Изотопный состав углерода в углекислом газе в подавляющем количестве источников находиться в интервале $\delta^{13}C_{PDB}$ % -5.5÷-6.77, что соответствует эманациям газов верхней мантии (MORB - $\delta^{13}C_{PDB}$ % -5÷-8) [6]. Обработана выборка данных анализа химического состава 22 проб углекислых, проанализированных ICP MS методом. Максимальные содержания установлены для железа, стронция и марганца, где их концентрация достигает миллиграммовых значений, микрограммовые концентрации установлены Сг, Zr. Проведено сравнение концентраций микроэлементов, установленных в углекислых минеральных и азотных термальных водах северо-восточной Азии. На рисунке 4 представлено распределение микроэлементов, обладающих значимой дисперсией в рассматриваемых водах, нормированное относительно их содержания в гранитах по А.П. Виноградову. В выборке использован химический состав 22 проб углекислых и 33 проб азотных термальных ICP MS методом.



Рисунок 4 – График распределения отношения содержания химических элементов в углекислых минеральных (1) и азотных термальных водах (2) Забайкалья к их концентрации в гранитах. Условные обозначения: 3 - химические элементы, которые привносятся потоком углекислого газа, 4 - химические элементы, переходящие в раствор при взаимодействии воды с гранитами

Отношения таких элементов, как Cr, Mn, Fe, Sr, Zr, Nb, Sn, Hf, Ta, в целом выше в углекислых минеральных водах, а концентрация Ni, Zn, Ga, Ge, Mo, W, Pb, Th больше в азотных термальных водах. Факторный анализ выборки позволил выявить три группы химических элементов (таблица 2).

В первой группе объединена ассоциация химических элементов, согласованное поведение которой наблюдается в углекислых минеральных водах. Во второй ассоциации объединены элементы, поведение которых коррелируется в азотных термальных водах. Эти две группы элементов находятся в обратной корреляционной зависимости друг с другом. Ассоциация элементов третьего фактора, определяется корреляционными зависимостями и в углекислых и в азотных термальных водах.

Таблица 2 – Ассоциации элементов химического состава углекислых минеральных и азотных термальных вод, характеризующиеся устойчивым сходством в поведении в выборке из 55 проб

№ фактора	Переменные, определяющие выделение фактора	Вес фактора, %	
1	Mn, Nb, Hf, Zr	17.2	
2	-(Ni, Pb, Zn, Ti)	13.4	
3	Rb, Li, Be, Sr, Cs	12.8	

В первом факторе объединена группа элементов, которые в целом, за исключением марганца, слабо подвижны в зоне активного водообмена. На их активную миграцию в минеральных водах оказывает влияние присутствие флюида углекислого газа. В углекислых минеральных водах фиксируются высокие содержания циркония, которые превышают его содержания в поверхностных водах на несколько математических порядков.

Плюснин А.М. Воздействие глубинных геологических процессов на химический состав углекислых минеральных вод Северо-Восточной Азии // Добрецовские чтения: Наука из первых рук. Материалы Первой Всероссийской научной конференции посвященной памяти выдающегося ученого и организатора науки академика РАН Н.Л. Добрецова. – Новосибирск: СО РАН, 2022. – С.250-253.

5 Состав растворенных органических соединений в углекислых минеральных водах Забайкалья характеризуется относительно высоким содержанием алканов. Их растворимость возрастает под воздействием флюида углекислого газа. Значения индекса OEP, близкие к единице, говорят о преобладающем абиогенном происхождении этих углеводородов

Исследованы углекислые воды четырех месторождений Забайкалья. Во всех пробах установлены относительно высокие содержания алканов, как нормального, так и разветвленного строения. В обычных условиях эти соединения плохо растворимы в воде. Их растворимость возрастает под воздействием углекислого газа, находящегося в сверхкритическом состоянии. Наибольший процент предельных углеводородов наблюдается в водах Дарасунского месторождения. Важной особенностью этих вод является их высокая газонасыщенность. Именно поступающая в большом количестве с глубины углекислота создает условия для накопления алканов различной структуры в водах Дарасуна.

О преобладающем источнике органического вещества может свидетельствовать индекс OEP (odd-even predominance), который рассчитывается по формуле (1) [7].

$$OEP_{i} = \left(\frac{C_{i+6}C_{i+2} + C_{i+4}}{4C_{i+1} + 4C_{i+3}}\right)^{(-1)^{i+1}}$$
(1)

где *C_i* – относительное содержание гомолога с длиной цепочки *i*.

Считается, что значения индекса ОЕР близкие к единице говорят об абиогенном происхождении углеводородов, а значения отличные от единицы в большую или меньшую сторону, говорят о доминирующем биогенном источнике органических веществ [8]. Индекс ОЕР для углеводородов исследуемых вод по пяти гомологам, начиная с C14 составил: Молоковка – 1.05; Шиванда – 1.02; Дарасун – 1.06; Кука – 1.52. Значения индекса ОЕР для углеводородов вод Молоковки, Шиванды и Дарасуна отклоняются от единицы не более, чем на 0.06. Это говорит о том, что органическое вещество глубоко преобразовано, состав углеводородов сформировался без участия биогенных факторов. Состав растворенных углеводородов воды Кукинского месторождения характеризуется индексом ОЕР, равным 1.52. По всей видимости, в формировании углеводородов в этих водах принимают участие факторы биогенной природы.

А. В. Украинцев. Состав растворенных органических веществ в углекислых минеральных водах Забайкалья // Материалы докладов IV Всероссийской (XIX) молодежной научной школы-конференции «Молодежь и наука на Севере – 2022». Сыктывкар, 2022. – Том I. – С. 133-134.

6 Установлены основные факторы и определены процессы преобразования аккумулятивных форм восточного побережья Байкала при подъеме его уровня. После зарегулирования стока реки Ангара происходит уменьшение площади дельты Селенги, связанное с изменением условий осадконакопления и уплотнением осадков в ее периферийной части. В приустьевой части рек в многоводные годы происходит разрушение песчаных баров, вызванное возрастанием гидростатического напора между заливом и озером. В результате усиливается водообмен между заливом и озером, температура воды в заливе понижается, что неблагоприятно воздействует на развитие биоты

В озерной части дельта сложена мелкозернистыми песками и илами, которые подвержены катагенезу. Глинистые илы с прослоями алевритов и песков на глубине 0–10 см имеют пористость 35-65 % и плотность 1.2-1.5 г/см³, а на глубине 10–80 см их пористость уже 30–48 %, а плотность возрастает до 1.4-1.6 г/см³. В результате уплотнения эти образования погружаются под поверхность воды (рисунок 5 А, Б). После подъема уровня озера подвергся интенсивному размыву песчаный бар Карга. Изменилась протяженность южной и северной частей бара. В средней части бара сформировался пролив пириной 1.1 км (рисунок 5 В). Его образование произошло не на месте существовавшего ранее пролива Прорва, а севернее, за счет размыва песков бара. Песчаный бар продолжает размываться в многоводные годы, в 2022 году на северном полуострове обнаружен новый пролив. Ширина образовавшегося пролива достигает 98 м, ширина косы в месте размыва – 16 м. Через бар происходит движение грунтовых вод в сторону Байкала, т.к. уровень воды всегда выше в заливе. В многоводные годы скорость движения грунтовых вод возрастает, соответственно, увеличивается их размывающая способность.



Рисунок 5 – Спутниковый снимок дельты Селенги (2020 г.) с контуром карты 1982г (А), график изменения площади в 1982-2020 гг. (Б) и карта залива Сор с контуром бара до строительства плотины Иркутской ГЭС (В)

Перязева Е.Г., Плюснин А.М., Украинцев А.В. Трансформация аккумулятивных форм рельефа в районе дельты Селенги под воздействием изменения уровня Байкала // География и природные ресурсы. – 2022. – №5. – С. 115-123. DOI: 10.15372/GIPR20220512

7 Отработана геолого-геофизическая методика выявления подтопления на прибрежной территории населенных пунктов, расположенных на восточном берегу Байкала. Установлено, что при подъеме уровня Байкала в многоводный период под воздействием озера происходит повышение уровня грунтовых вод в пределах расположения проницаемых отложений и открытых разрывных нарушений

Исследование проведено с использованием комплекса геолого-геофизических методов, который включал георадиолокацию и бурение гидрогеологических скважин (рисунок 6 А). По данным георадиолокации построены геолого-геофизические разрезы глубиной до 6 м, на которых выделяются границы слоев осадочных пород разного фациального состава и глубина залегания грунтовых вод. Выявлены элементы погребенного рельефа, позволяющие установить источники поступления вод и объяснить механизмы формирования подтопления. Определены площади, затронутые сильным (УГВ = 0.3-0.7 м), умеренным (УГВ = 0.7-2.0 м) и слабым подтоплением (УГВ = 2.0 - 3.0 м).



Рисунок 6 – Спутниковый снимок с. Гремячинск (А.) и разрез пород по георадарному профилю GR-1 с местами заложения гидрогеологических скважин (Б.). 1 – расположение георадарных профилей, 2 – места бурения гидрогеологических скважин, 3 – территория подверженная умеренному подтоплению

В с. Гремячинск по данным георадарного профилирования выделяется три комплекса пород (рисунок 6 Б). Первый комплекс фиксируется с поверхности до интервала глубин от 1.5 м до 2 м. Согласно данным бурения данный комплекс интерпретируется как озерные песчаные отложения. Для слоя определены электрофизические параметры, $\varepsilon \approx 6$, V \approx 133 мм/нс, которые соответствуют сухим пескам. Второй комплекс выделяется в интервале 0-120 м от начала профиля и соответствует обводненным пескам озерного генезиса с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon \approx 25$. Третий комплекс выделятся в прибрежной зоне в интервалах простирания 120-380 м, соответствует обводненным

песчано-галечным отложениям с косослоистой структурой, с падением в сторону оз. Байкал. При бурении скважин Г-2 и Г-3 выявлен хорошо проницаемый крупный песок рыжего цвета (пленка гидроокислов железа. В этом месте наблюдается купол в залегании грунтовых вод. Они располагаются на глубине 0.90 и 0.88 м. По выявленной хорошо проницаемой зоне осуществляется гидравлическая связь грунтовых вод с озером Байкал.

Plyusnin A.M., Peryazeva E.G., Ukraintsev A.V. Abrasion and accumulation processes on the eastern coast of Baikal: past, present, future // Ресурсы, окружающая среда и региональное устойчивое развитие в Северо-Восточной Азии. Тезисы докладов V Международной научной конференции. Иркутск. – 2022. – С. 185.

Базаров А.Д., Плюснин А.М., Украинцев А.В. Использование георадиолокационного профилирования для выявления подтопления поселений северо-восточного побережья Байкала // Современные направления развития геохимии: Материалы Всероссийской конференции, посвященной 65-летию Института геохимии им. А.П. Виноградова и 105-летию со дня рождения академика Л.В. Таусона. – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. – 2022. – Т.1. – С. 49-51.

8 С использованием коды региональных и локальных землетрясений получены оценки характеристик затухания сейсмических волн (сейсмическая добротность и частотный параметр) в литосфере Байкальского рифта. Разработанная методика оценки добротности литосферы, с использованием данных локальной сети сейсмостанций, является актуальной для исследования глубинного строения сейсмоактивных областей и решения задач сейсмического районирования

Высокая степень сейсмической активности территории Байкальского рифта определяет актуальность исследования закономерностей развития сейсмического процесса на основе мониторинга геофизических полей и моделирования глубинного строения литосферы. Затухание, наряду со скоростью, является одним из основных параметров сейсмических волн, позволяющих количественно оценить добротность среды и её изменения под действием геодинамических процессов, протекающих в земной коре и верхней мантии. Для оценки затухания сейсмических волн и расчетов добротности среды (Q) в центральной части Байкальской рифтовой системы использовался комплекс методов [9-13], основанных на анализе кода-волн.

Сопоставление полученных зависимостей добротности от частоты с помощью метода огибающей коды в литосфере Тянь-Шаня и Байкальского рифта показывает, что затухание сейсмических волн в литосфере Тянь-Шаня выше, в то время как неоднородность среды, характеризующаяся частотным параметром, несколько выше в Байкальском рифте. В целом, затухание сейсмических волн выше в литосфере Тянь-Шаня, что может объясняться большей раздробленностью и неоднородностью среды по сравнению с Байкальским рифтом и свидетельствует о различии геодинамических режимов. Результаты сопоставления полученных данных с приведенными в работе [14] значениями Q_C для ветви коды «с» – средней коде, для частот от 0.14 Гц до 10 Гц и эпицентральным расстояниям (временам пробега) до 450 км, и расчетными, приведены на графике (рисунок 7.).



Рисунок 7 – Сопоставление значений Q_C для длины окна 120 секунд и их эмпирических зависимостей от частоты: а – для Тянь-Шаня в настоящей работе (1) и по данным [14] (2) и; б – эмпирические зависимости для Тянь-Шаня и Байкальского рифта

Проведена оценка пространственных вариаций, полученных по записям местных (локальных) землетрясений. Область исследования ограничена только теми трассами, где есть принимающие станции и наблюдаются землетрясения в радиусе 70 км, поскольку только для них есть возможность оценить затухание. В результате, на основе анализа огибающей кода-волн местных землетрясений впервые получены детальные оценки добротности литосферы центральной части Байкальского рифта (рисунок 8).

Разделение затухания сейсмических волн на компоненты показало доминирующую роль поглощения, вклад рассеянной компоненты затухания зависит от преобладающих размеров неоднородностей среды. Был получен контраст затухания между южной и центральной частью Южнобайкальской впадины (рисунок 8). Положение областей повышенного и пониженного затухания определяется различиями в свойствах земной коры и верхней мантии. Разработанная методика является актуальной для исследования глубинного строения сейсмоактивных областей и для решения задач сейсмического районирования.



Рисунок 8 – Сейсмическое альбедо *B*₀ по методу инверсии огибающей коды в частотном диапазоне 2–4 Гц

Предеин П.А., Тубанов Ц.А. Оценка затухания сейсмических волн по огибающей коды в литосфере регионов с разным геодинамическим режимом на примере Тянь-Шаня и Байкальского рифта // Геодинамика и тектонофизика. – 2022. – Т. 13. № 2. DOI: 10.5800/GT-2022-13-2s-0625

Boulanouar A., **Dobrynina A.**, Rahmouni A., Samaouali A., Harnafi M., Sebbani J. Twodimensional variations of the coda Q in Northern Morocco and their interpretation // Journal of Seismology. – 2022. **DOI:** 10.1007/s10950-022-10103-x 9 Усовершенствована методика локализации очагов землетрясений с учетом трехмерного изменения скоростей сейсмических волн. Локализация гипоцентра землетрясения осуществляется путем объединения в единую технологическую линию известных методических решений

В настоящее время, исследование связи сейсмичности со структурно-тектоническим строением земной коры БРЗ остается в значительной степени актуальной задачей. Дискуссионным вопросом является характер распределения очагов землетрясений в земной коре. Так, в работах [15-16], где для локализации гипоцентров использованы простые скоростные модели, очаги землетрясений оказались размещенными практически по всей коре, вне зависимости от её сейсмоплотностной структуры. Это подчеркивает необходимость исследований трехмерного распределения скоростных неоднородностей и, соответственно, обоснования оценки глубины очагов землетрясений.

Точность определения глубины землетрясений при использовании стандартных сейсмологических пакетов, таких как Hypoellipse, определяется не только параметрами сети наблюдений, также важными факторами являются: особенности локальной и региональной геологической структуры, определяющей распространение сейсмических волн [17]; условия работы с исходными записями при определении типа сейсмической волны и измерения времени вступления; обоснованность используемой одномерной скоростной модели.

Предложено уточнение положения очага осуществлять путем объединения в единую технологическую линию известных методических решений, при этом некоторые из них для Центрального Байкала используются в новом качестве. Предлагается использовать время в очаге (T_0), полученное из графиков Вадати [18], в качестве ориентировочного параметра при подборе скоростных моделей в программе Hypoellipse и объективного критерия оценки точности подобранного решения. На рисунке 9 представлен пример графика Вадати для главного толчка Кударинского землетрясения, построенного по данным девяти станций в диапазоне эпицентральных расстояний от 28 до 107 км.



Рисунок 9 – График Вадати на примере главного толчка Кударинского землетрясения. Кружки – сейсмические станции с кодовым названием (черные – использованные для финального решения, красные - отбракованные)

Для учета латеральных скоростных неоднородностей при итерационном расчете времен пробега в программе Hypoellipse применяется многокомпонентная скоростная модель, основанная на априорной информации, где в качестве аналога 3D модели 1D используется набор скоростных моделей. Подбор модели, максимально соответствующих реальным скоростным условиям района исследований сделан на основании анализа опубликованных результатов сейсмической изученности района озера Байкал [19]. В результате анализа подобраны слоистые модели Р волн для двух ситуаций – высокоскоростных консолидированных пород по бортам озера и низкоскоростных осадочных отложений толщиной до 10 км под его дном, которые затем аппроксимированы градиентными скоростными моделями (рисунок 10).



Рисунок 10 – Набор 1D скоростных моделей для района центральной части озера Байкал (сплошные линии соответствуют низкоскоростным условиям, пунктирные – высокоскоростным): серые линии – модели, построенные по данным глубинных сейсмических исследований; красные – их аппроксимация градиентными моделями, используемая для расчетов в Hypoellipse

Беляшов А. В., **Предеин П.А.** Методические аспекты локализации коровых землетрясений по сейсмическим данным в центральной части озера Байкал // Геофизика. – 2022. – № 6. –С. 16–22.

Епонешникова Л. Ю., Дучков А. А., **Санжиева Д. П.-Д.**, Яскевич С. В. Трёхмерная скоростная структура земной коры центральной части озера Байкал по данным локальной сейсмической томографии // Геодинамика и тектонофизика. (в печати)

10 Разработана методика сбора макросейсмических данных от сильных землетрясений, что позволяет уточнить региональное макросейсмическое уравнение

Показано, что наблюдаемое распределение интенсивности сотрясений Кударинского землетрясения отличается от закономерности, которую дает региональное макросейсмическое уравнение, связывающее интенсивность, магнитуду и гипоцентральное расстояние, являющееся базовым соотношением для оценки сейсмической опасности землетрясений. Согласно уравнению, при магнитуде землетрясения М=5.5 и глубине очага h=20 км интенсивность сотрясений V баллов можно ожидать на расстояниях не более 60 км. Тем не менее V-балльные эффекты наблюдались на вчетверо больших расстояниях по сравнению с ожидаемыми (рисунок 11). То же самое можно сказать и о распределении пунктов, где интенсивность сотрясений составила IV балла.



Рисунок 11 – Затухание интенсивности сотрясений с расстоянием для землетрясений с эпицентрами в районе Среднего Байкала

Сильные землетрясения 2020 и 2022 годов в центральной части Байкальского рифта позволяют оценить эффективность и потенциал использования системы онлайнанкетирования населения, используемой для сбора макросейсмических данных. 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, в частности, был собран намного больший объем однородной информации, чем было возможно ранее. В настоящее время в ГИН СО РАН ведется работа по разработке и модернизация интерактивной онлайн-анкеты.

Radziminovich Y.B., Lukhneva O.F., Novopashina A.V., Gileva N.A., **Tubanov Ts.A.**, **Tcydypova L.R.** The December 9, 2020, Mw 5.5 Kudara earthquake (Middle Baikal, Russia): internet questionnaire hard test and macroseismic data analysis // Bulletin of Earthquake Engineering. -2022. - V. 20. - N 3. - P. 1297-1324. **DOI:** 10.1007/s10518-021-01305-8

Добрынина А.А., Перевалова Н.П., Саньков В.А., Едемский И.К., Лухнев А.В. Анализ сейсмических и ионосферных эффектов Кударинского землетрясения 9 декабря 2020 г. // Геодинамика и тектонофизика. – 2022. – Т. 13. – № 2. DOI: 10.5800/GT-2022-13-2s-0622

11 Показано, что комплексное использование кинематических и динамических характеристик сейсмических волн, геоэлектрических данных повышает информативность инженерно-геофизических работ и позволяет выделять границы слоев с разными петрофизическими параметрами

Для расширения информативности сейсморазведки при проведении сейсмического микрорайонирования проведено исследование возможности определения не только кинематических (V_P , V_S), но и динамических характеристик (коэффициент Пуассона, затухание амплитуд) сейсмических волн от ударных источников. На затухание сейсмических волн влияют как скоростные неоднородности разреза, так и поглощающие свойства среды.

На рисунке 12 показаны совмещенные по вертикали графики встречных годографов преломленной волны и амплитуды волны в логарифмическом масштабе (в линейном масштабе график будет в виде экспоненты), где видно, что изменение наклона кривой затухания сейсмической волны коррелируется с изломом годографа. Излом графика (изменение угла наклона) затухания свидетельствует о скачкообразном изменении параметров затухания среды, что говорит о том, что графики затухания могут быть полезными для уточнения границ преломления головной волны и определения параметров затухание для каждого слоя.

Создана база данных, которая объединяет в себе результаты геофизического исследования восточного побережья озера Байкал на территории республики Бурятия. В ней представлены: электрофизические параметры грунтов (диэлектрическая проницаемость и скорость электромагнитной волны); профильные амплитудные разрезы; координаты точки определения параметров; геоморфологическое описание выделенных слоев. База данных может быть использована для построения математических, геофизических и пространственных моделей побережья озера Байкал, расчетов в строительстве при проектировании зданий и сооружений, в учебных и образовательных процессах.



Рисунок 12 – Параметры затухания для профиля, пройденного в с. Максимиха. Сверху – годограф сейсмических волн, внизу амплитудный график

Базаров А.Д. Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2022623160. Российская Федерация. Электрофизические параметры грунтов восточного побережья озера Байкал // правообладатель: ФГБУН ГИН СО РАН – Заявка №2022623007; дата регистрации: 30.11.2022. – Официальный бюллетень «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем».

12 Проведено сопоставление интерпретации данных космического зондирования сильнейших землетрясений Байкальского региона. Полученные результаты показывают, что при комплексном использовании методов спутниковой радиолокационной интерферометрии даже в сложных условиях возможна оценка медленных тектонических движений, которые предшествуют сейсмическим событиям

Проведено сопоставление интерпретации данных космического зондирования Быстринского землетрясения 21.09.2020 г. M_W = 5.5 [20] и Хубсугульского землетрясений 11.01.2021 г., M_W 6.8 [21]. В работе использованы данные метода дифференциальной радиолокационной интерферометрии (ДРИ, DinSAR) [22] и метода постоянных рассеивателей (Persistent Scatterers, PS) [23] с использованием временных серий Sentinel-1В и ALOS PALSAR.

Быстринское землетрясения с магнитудой M_W =5,6 произошло 21 сентября 2020 г. вблизи южной оконечности озера Байкал (рисунок 13). По сравнению с другими землетрясениями, в условиях Байкальского региона выявление косейсмических смещений грунта методами космического дистанционного зондирования осложнено влиянием леса и сезонных изменений почвы.



Рисунок 13 – Землетрясения юго-западного фланга БРЗ с 1950 по 2021 гг.

Зонирование подвижных блоков и оценка трендов направленности движений проводились методом ДРИ, при помощи метода PS проведена детализация характера деформации поверхности. Для этих постоянных рассеивателей рассчитывается множество интерферометрических фазовых соотношений относительно одного опорного изображения, которые позволяет более точно, по сравнению с ДРИ, оценить величину и скорость деформаций, дискретно расположенных постоянных рассеивателей. Увеличение точности достигается за счет использования нескольких десятков интерферограмм. Это позволяет существенно уменьшить влияние атмосферы и неточностей опорной цифровой модели рельефа и орбитальные ошибки. Недостаток метода PS – результат в виде отдельных точек, поэтому логичным является его комбинирование с ДРИ, результатом применения которой является непрерывное поле деформаций поверхности [24].

Тубанов Ц.А., Чимитдоржиев Т.Н., Дмитриев А.В., **Будаев Р.Ц.** Проблемы идентификации тектонических движений методами спутниковой радиоинтерферометрии // Материалы докладов 6-ой Международной конференции «Триггерные эффекты в геосистемах» 21-24 июня 2022 г. г. Москва, Россия.

13 На основании накопленных данных широкополосных записей далёких землетрясений методом функции приемника обнаружены признаки значительной латеральной неоднородности мантии БРЗ. В центральной и северо-восточной части рифта на глубинах приблизительно от 350 до 410 км выделяется ярко выраженный слой низкой скорости поперечных волн, который практически отсутствует в югозападной части БРЗ. Происхождение этого слоя, по-видимому, связано с процессом подъема и дегидратации вадслеита в переходной зоне мантии

В работе использованы данные сейсмостанций Байкальского и Бурятского филиалов ФИЦ ЕГС РАН. В работе получено, что высокое отношение сигнал – помеха имеют результаты объединения сейсмических станций в группы и суммирования индивидуальных приемных функций с временными поправками. Результаты суммирования приемных функций двух групп станций, состоящих из пяти станций каждая, ORL, MOY, TLY, ZAK, IRK и TRG, KEL, MXM, UUD, YLY показаны на рисунок 14.



Рисунок 14 – Результаты суммирования PRF с временными поправками, рассчитанными для глубины обмена от 0 до 800 км. Выделенные стрелками сейсмические фазы P410s, P660s и их предвестники отмечены на трассах с наибольшей амплитудой сигнала. Волны-предвестники с отрицательной полярностью отмечены штриховыми стрелками

Записи первой группы освещают юго-западную часть БРЗ, записи второй группы – центральный и северо-восточный районы. В центральном и северо-восточном районах вступления волны P410s предваряются волной-предвестником с отрицательной полярностью и амплитудой, сравнимой с амплитудой P410s. Эта волновая форма означает, что непосредственно над 410-км границей находится слой с низкой скоростью поперечных волн. Мощность слоя составляет около 50 км. Таким образом, в интервале глубин от приблизительно 330 до 360 км присутствуют по меньшей мере две границы, на одной из которых (предположительно фазовом переходе от коэсита к стишовиту) скорость поперечных волн возрастает, а на второй падает с глубиной. Записи первой группы станций освещают юго-западный район БРЗ, где предвестник P410s не наблюдается. Результаты анализа означают, что в этом районе практически отсутствует низкоскоростной слой, характерный для центрального и северо-восточного районов.

Происхождение низкоскоростного слоя можно объяснить подъемом вещества мантии из переходной зоны в верхнюю мантию и фазовым переходом вадслеита в оливин на глубине 410 км [25]. При этом переходе высвобождается вода, которая понижает солидус оливина на несколько сотен градусов С и вызывает частичное плавление, сопровождаемое понижением скорости поперечных волн. Таким образом, сейсмические данные позволяют предполагать восходящее течение мантии из зоны фазовых переходов в верхнюю мантию в центральном и северо-восточном районах БРЗ, но это явление не наблюдается в югозападном районе БРЗ.

Винник Л.П., Орешин С.И., Макеева Л.И., Мордвинова В.В., Цыдыпова Л.Р. Структура мантии и процессы в переходной зоне Байкальской рифтовой зоны // Физика Земли. – 2022. – № 6. – С. 3–11. DOI: 10.31857/S000233372206014X

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения проекта получены следующие наиболее значимые результаты.

Установлен уровень загрязнения донных осадков озера Гусиное подвижными формами тяжелых металлов (кадмий, хром, медь, цинк, свинец), которое происходит под воздействием сточных вод г. Гусиноозерска ст. Гусиное Озеро. Выделены обменная, восстанавливаемая и окисляемая формы их нахождения. В донных отложениях озера вблизи угольного разреза после ликвидации источника загрязнения содержание элементов в подвижной форме заметно уменьшилось, наблюдается высокое содержание прочно связанных с матрицей донных осадков. Получены новые данные о морфологии и минеральном составе твердого осадка снежного покрова на законсервированных объектах промышленных и бытовых отходов. В составе твердых частиц присутствуют высокие содержания железа, кобальта, никеля. Показано, что в углекислых минеральных водах высокие содержания Cr, Mn, Fe, Sr, Zr, Nb, Sn, Hf, Ta связаны с их переносом в составе флюида CO₂.

По данным локальной сети сейсмостанций ГИН СО РАН, расположенной в центральной части Байкальского рифта, с использованием коды региональных и локальных землетрясений получены новые данные о затухании поперечных сейсмических волн в земной коре. Разработана методика оценки добротности литосферы, усовершенствована методика локализации очагов землетрясений с учетом трехмерного изменения скоростей сейсмических Сопоставлено пространственно-временное волн. распределения сейсмичности с локальными структурно-тектоническими элементами строения центральной части Байкальского рифта. Разрабатывается методика сбора данных по сотрясаемости от сильных землетрясений, что позволяет уточнить региональное макросейсмическое уравнение. Показано, что даже в сложных условиях возможна оценка медленных тектонических движений, которые предшествуют сейсмическим событиям, при комплексном использовании методов спутниковой радиолокационной интерферометрии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Хажеева З.И., Плюснин А.М. Современное состояние воды озера Гусиное (Западное Забайкалье) // Водные ресурсы. – 2018. – Т. 45. – №1. – С. 68–74.

2 Whalley C., Grant. A. Assessment of the phase selectivity of the European Community Bureau of Reference (BCR) sequential extraction procedure for metals in sediment // Analyt. chem. Acta – 1994. – N_{0} 61. – P. 2211–2221.

3 Дорошкевич С.Г., Смирнова О.К. Распределение потенциально токсичных элементов в профиле почв рекультивированных территорий хранилищ отходов обогащения сульфидно-вольфрамовых руд // Сергеевские чтения. Геоэкологическая безопасность разработки месторождений полезных ископаемых. Вып. 19. Мат. годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (4-5 апреля 2017 г.). – М.: РУДН. – 2017. – С. 287-291.

4 Гребенщикова В.И., Китаев Н.А., Лустенберг Э.Е., Медведев В.И., Ломоносов И.С., Карчевский А.Н. Распределение радиоактивных элементов в окружающей среде Прибайкалья (сообщение 1. Уран). // Сибирский экологический журнал. – 2009. – Т. 16. – № 1. – С. 17-28.

5 Гребенщикова В.И., Китаев Н.А., Лустенберг Э.Е., Медведев В.И., Ломоносов И.С., Карчевский А.Н. Распределение радиоактивных элементов в окружающей среде Прибайкалья (сообщение 2. Торий и цезий-137). // Сибирский экологический журнал. – 2010. – Т. 17. – № 3. – С. 493-503.

6 Галимов Э.М. Геохимия стабильных изотопов углерода / М.: Недра. – 1968. – 224 с.

7 Scalan E.S., Smith J.E. An improved measure of the odd-to-even predominance in the normal alcanes of sediment extracts and petroleum // Geochimica et cosmochimica acta. – $1970. - V. 34. - N_{2} 5. - P. 611-620.$

8 Потурай В.А., Компаниченко В.Н. Состав и распределение предельных углеводородов в термальных водах и пароводяной смеси Мутновского геотермального района и кальдеры Узон (Камчатка) // Геохимия. – 2019. – № 1. – С. 79–88.

9 Aki K., Chouet B. Origin of the coda waves: source, attenuation and scattering effects // Journal of Geophysical Research. – 1975. – N. 80 (23). – P.3322-3342. https://doi.org/10.1029/JB080i023p03322

10 Sato H. Energy propagation including scattering effects single isotropic scattering approximation // J Phys Earth. _ 1977. _ N. 25(1). P. 27-41. _ https://doi.org/10.4294/jpe1952.25.27

Aki K. Scattering and attenuation of shear waves in the lithosphere // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. – 1980. – T. 85. – №. B11. – C. 6496–6504.

12 Eulenfeld T., Wegler U. Measurement of intrinsic and scattering attenuation of shear waves in two sedimentary basins and comparison to crystalline sites in Germany // Geophysical Journal International. -2016. - T. 205. - N. 2. - 744-757.

13 Predein P.A., Dobrynina A.A., Tubanov Ts.A., German E.I. CodaNorm: A software package for the body-wave attenuation calculation by the coda-normalization method // SoftwareX. – 2017. – V. 6. – P. 30–35. Doi: 10.1016/j.softx.2016.12.004

14 Раутиан Т.Г., Халтурин М.С., Закиров М.С. Экспериментальные исследования сейсмической коды / М.: Наука, 1981. – 146 с.

15 Devershere J., Petit C., Gileva N., Radziminovich N., Melnikova, V. and San'kov, V., 2001. Depth distribution of earthquakes in the Baikal rift system and its implications for the rheology of the lithosphere // Geophys. J. Int. – V. 146. – P. 714-430.

16 Petit C., Deverchere J. Structure and evolution of the Baikal rift: a synthesis // Geochem. Geophys. Geosyst. – 2006. – V. 7. – Q11016.

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.

18 Бурмин В.Ю., Шумлянская Л.А. Современная сейсмичность Крыма // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2015. – Т. 42. – №2. – С. 5-16.

19 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.

20 Бондур В.Г., Чимитдоржиев Т.Н., Тубанов Ц.А., Дмитриев А.В., Дагуров П.Н. Анализ динамики блоково-разломной структуры в районе землетрясений 2008 и 2020 гг. на южном Байкале методами спутниковой радиоинтерферометрии // Доклады Российской академии наук. Науки о земле. – 2021. – Т. 499. – № 2. – С. 648–653. DOI: 10.1134/S1028334X21080031

Liu X., Xu W., Radziminovich N.A., Fang N., Xie L., Transtensional coseismic fault slip of the 2021 Mw 6.7 Turt Earthquake and heterogeneous tectonic stress surrounding the Hovsgol Basin, Northwest Mongolia // Tectonophysics. – 2022. – 836. – 229407. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2022.229407

22 Акопян С.Ц., Бондур В.Г., Рогожин Е.А. Технология мониторинга и прогнозирования сильных землетрясений на территории России с использованием метода

сейсмической энтропии // Физика Земли. – 2017. – № 1. – С. 34-53. DOI: 10.7868/S0002333717010021

23 Ferretti, A., Prati, C. and Rocca, F. Permanent scatterers in SAR interferometry // IEEE Trans Geosci Remote Sens. – 2001. – V. 39. – No. 1. – P. 8-20. DOI: 10.1109/36.898661.

24 Pawluszek-Filipiak K., Borkowski A. Monitoring mining-induced subsidence by integrating differential radar interferometry and persistent scatterer techniques // European Journal of Remote Sensing. – 2020. – P. 1-13. DOI: 10.1080/22797254.2020.1759455

25 Bercovici D., Karato S. Whole-mantle convection and the transition-zone water filter // Nature. – 2003. – V. 425. – P. 39–44.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Научные публикации в журналах, индексируемые в российских и

международных информационно-аналитических системах научного цитирования

Boulanouar A., **Dobrynina A.**, Rahmouni A., Samaouali A., Harnafi M., Sebbani J. Twodimensional variations of the coda Q in Northern Morocco and their interpretation // Journal of Seismology. – 2022. https://doi.org/10.1007/s10950-022-10103-x

Dampilova B.V., Khazheeva Z.I., Plyusnin A.M. Heavy metal species in the bottom sediments of the aquatic system of lake Gusinoe (Buryatia). // Geochemistry International. – 2022. – T. 60. – № 3. – P. 279-285. https://doi.org/10.1134/S0016702922010037

Radziminovich Y.B., Lukhneva O.F., Novopashina A.V., Gileva N.A., **Tubanov Ts.A.**, **Tcydypova L.R.** The December 9, 2020, Mw 5.5 Kudara earthquake (Middle Baikal, Russia): internet questionnaire hard test and macroseismic data analysis // Bulletin of Earthquake Engineering. – 2022. – V. 20. – N 3. – P. 1297–1324. DOI 10.1007/s10518-021-01305-8

Беляшов А. В., **Предеин П.А.** Методические аспекты локализации коровых землетрясений по сейсмическим данным в центральной части озера Байкал // Геофизика. – 2022. – № 6. –С. 16–22.

Винник Л.П., Орешин С.И., Макеева Л.И., Мордвинова В.В., Цыдыпова Л.Р. Структура мантии и процессы в переходной зоне Байкальской рифтовой зоны // Физика Земли. – 2022. – № 6. – С. 3–11. DOI: 10.31857/S000233372206014X

Дампилова Б.В., Хажеева З.И., Плюснин А.М. Формы нахождения тяжелых металлов в донных отложениях водной системы озера Гусиное (Бурятия). // Геохимия. – 2022. – Т. 67. – № 3. – С. 253-260. https://doi.org/10.31857/S0016752522010034

Добрынина А.А., Перевалова Н.П., Саньков В.А., Едемский И.К., Лухнев А.В. Анализ сейсмических и ионосферных эффектов Кударинского землетрясения 9 декабря 2020 г. // Геодинамика и тектонофизика. – 2022. – Т. 13. – № 2. https://doi.org/10.5800/GT-2022-13-2s-0622

Ковалевский В.В., Собисевич А.Л., **Тубанов Ц.А.**, Брагинская Л.П., Григорюк А.П. Вибросейсмические исследования Байкальской рифтовой зоны с мощным вибратором ЦВО-100 // Геодинамика и тектонофизика. – 2022. – Т. 13. – № 2. https://doi.org/10.5800/GT-2022-13-2-0589

Перязева Е.Г., Плюснин А.М., Украинцев А.В. Трансформация аккумулятивных форм рельефа в районе дельты Селенги под воздействием изменения уровня Байкала. // География и природные ресурсы. – 2022. – №5. – С. 115-123. DOI: 10.15372/GIPR20220512

Плюснин А.М., Перязева Е.Г. Воздействие подъема уровня Байкала на инженерные сооружения прибрежных поселений. // География и природные ресурсы. – 2022. – №5. – С. 74-82. DOI: 10.15372/GIPR20220508

Предеин П.А., Тубанов Ц.А. Оценка затухания сейсмических волн по огибающей коды в литосфере регионов с разным геодинамическим режимом на примере Тянь-Шаня и Байкальского рифта // Геодинамика и тектонофизика. – 2022. – Т. 13. № 2. https://doi.org/10.5800/GT-2022-13-2s-0625

Ребецкий Ю.Л., Добрынина А.А., Саньков В.А. Современное напряженное состояние и геодинамика Байкальской рифтовой системы // Геология и геофизика. – 2022. – Т. 62. doi: 10.15372/GiG2021110 (выпуск: ONLINE FIRST)

Санжанова С.С. Сорбция ионов вольфрама (VI) на цеолитсодержащих туфах месторождений Забайкалья // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2022. – Т. 22. – № 2. – С. 205-213. DOI: https://journals.vsu.ru/sorpchrom/article/view/9225

Монографии, патенты, изобретения

Базаров А.Д. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2022681831. Российская Федерация. ВСМ (программа обработки данных вибросейсмического мониторинга) // правообладатель: ФГБУН ГИН СО РАН – Заявка №2022680764; дата регистрации: 16.11.2022. – Официальный бюллетень «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем».

Базаров А.Д. Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2022623160. Российская Федерация. Электрофизические параметры грунтов восточного побережья озера Байкал // правообладатель: ФГБУН ГИН СО РАН – Заявка №2022623007; дата регистрации: 30.11.2022. – Официальный бюллетень «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем».

Предеин П.А. Затухание сейсмических волн в центральной части Байкальской рифтовой системы, специальность 25.00.10 - Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук / Предеин Петр Алексеевич. – Иркутск, 2022. – 16 с.

Предеин П.А., Тубанов Ц.А. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2022683207. Российская Федерация. PPSDAnalyzer (анализ спектральной плотности мощности микросейсмического шума) // правообладатель: ФГБУН ГИН СО РАН (RU). Заявка №2022683223/69; дата поступления: 02.12.2022; дата регистрации: 02.12.2022; опубл. 02.12.2022. – Официальный бюллетень «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем», 12.