

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАУКИ
ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ им. А.П.ВИНОГРАДОВА
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИГХ СО РАН)

УДК 550.4:552.57/.58)

Рег № НИОКТР

Инв. № _____



УТВЕРЖДАЮ

Директор ИГХ СО РАН,

Д. Г.-М. Н.

А.Б. Перепелов

«26» декабря 2025 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЭКОСИСТЕМ И
КЛИМАТА ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ В ПОЗДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ-
ГОЛОЦЕНЕ


(заключительный)

№ 0284-2021-0003

Направление фундаментальных и поисковых исследований
1.5.10. География, гессэкология и рациональное природопользование



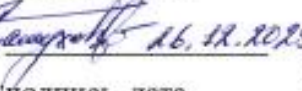
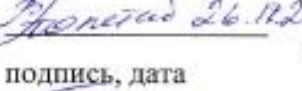
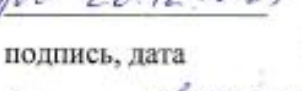
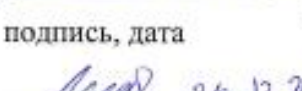
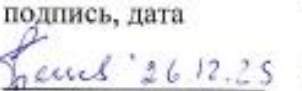
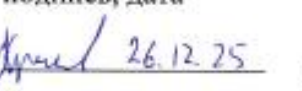
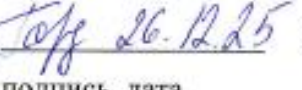
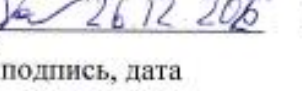
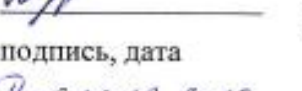




Протокол Ученого совета ИГХ СО РАН
№ Уот «26» декабря 2025 г.



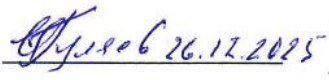
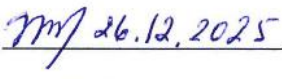
Руководитель темы
доктор географических наук

 26.12.2025 Е.В. Безрукова
(подпись, дата)

Иркутск 2025

СПИСОК ОСНОВНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ:

Руководитель темы, гнс., д-р географич. наук	 подпись, дата	Е.В. Безрукова (реферат, введение, раздел 5.1, заключение, компиляция отчета)
Исполнители: внс, д-р. геол.-мин. наук	 подпись, дата	В.И. Гребенщикова (раздел 2)
снс, канд. биол. наук	 подпись, дата	М.В. Пастухов (раздел 1.1)
внс, д-р. геол.-мин. наук	 подпись, дата	В.И. Полетаева (раздел 1.1)
снс, канд. геол.-мин. наук	 подпись, дата	А.А. Щетников (раздел 5.2)
снс, канд. мед. наук	 подпись, дата	Е.А. Мамонтова (раздел 3)
снс, канд. биол. наук	 подпись, дата	А.А. Мамонтов (раздел 4)
снс, канд. геол.-мин. наук	 подпись, дата	Г.А. Белоголова (раздел 1.2)
нс, канд. геол.-мин. наук	 подпись, дата	М.А. Крайнов (раздел 5.1, оформление отчета по ГОСТу)
нс, канд. геол.-мин. наук	 подпись, дата	О.Н. Гордеева (раздел 1.2)
нс, канд. геол.-мин. наук	 подпись, дата	П.Г. Долгих (раздел 1.1)
мнс, канд. геол.-мин. наук	 подпись, дата	Б.А. Баенгуев (раздел 1.2)
снс, канд. географич. наук	 подпись, дата	С.А. Решетова (раздел 5)
мнс	 подпись, дата	Е.В. Волчатова (раздел 5)
мнс	 подпись, дата	Е.А. Цветкова (раздел 1.1)

снс. канд. геол.-мин. наук	 подпись, дата	А.А. Амосова (раздел 5.2)
инж.-исслед	 подпись, дата	Г. Хомматлиев (раздел 1.1)
инж.-исслед	 подпись, дата	И.М. Гуляев (раздел 2)
снс, канд. геол.-мин. наук	 подпись, дата	Ю.Н. Шолохова (раздел 5.2)

РЕФЕРАТ

Отчет 122 с., 1 кн., 24 рис., 7 табл., 76 источн, 2 прил.

БАЙКАЛЬСКИЙ РЕГИОН, ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, ТАЛЫЕ ВОДЫ, ГЛАВНЫЕ ИОНЫ, МЫШЬЯК, ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ, ПОЧВЫ, ЭКОСИСТЕМА ОЗ. БАЙКАЛ, ГИДРОХИМИЯ, МОНИТОРИНГ, ФТОР, СЕЛЕН, ГЕКСАХЛОРБЕНЗОЛ, ПЕНТАХЛОРБЕНЗОЛ, АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ, СТОЙКИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ЗАГРЯЗНИТЕЛИ, ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ, МАГНИТНЫЕ МИНЕРАЛЫ, СТРАТИГРАФИЯ

Объекты исследования: снеговые и талые воды Усольской промзоны, техноземы гор. Свирск, вода Байкала, истока Ангары, притоков, минеральных источников, атмосферный воздух, донные отложения озер, субэдральные четвертичные образования

Цель – исследовать пространственно-временную изменчивость природной среды юга Восточной Сибири в настоящем и прошлом, установить механизмы и причины этих изменений.

В результате изучены пространственное распределение компонентов основного ионного состава талых вод, образованных в зоне воздействия промышленной зоны гор. Усолия-Сибирского, и основные факторы его формирования; установлено, что большая часть техноземов гор. Свирск имеют опасный уровни загрязнения и не пригодны для земледользования. Установлено, что повышенные содержания F, Se в источниках, скважинах и пониженные – в большинстве притоков являются результатом влияния слагающих водосбор оз. Байкал пород и глубинного поступления при землетрясениях. Изучены особенности внутри- и межгодовой изменчивости ГХБ и ПеХБ в атмосферном воздухе в жилой зоне гор. Иркутска и его пригорода. Показано, что изменчивость концентраций ГХБ и ПеХБ в воздухе за последние семь лет в большей степени больше обусловлена антропогенными факторами, включая выбросы предприятий теплоэнергетики в отопительный сезон и атмосферный транспорт со стороны «Усольехимпром». Обнаружено, что самыми массовыми загрязнителями среди всех СОЗ, поступающими с атмосферным переносом в оз. Байкал, являются ПХБ. Установлены природные циклические смены гидрологического режима оз. Ордынское (Усть-Ордынский Бурятский округ) в тысячелетнем масштабе в последние 2800 лет. Показано, что начавшееся около 130 лет антропогенное влияние на геосистему озера нарушило природную гидрологическую цикличность.

Основные научные показатели: высокая степень новизны полученных материалов и выводов. Степень внедрения – внедрено, результаты опубликованы в рецензируемых журналах, учитываемых в системах WoS, Scopus и РИНЦ.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	10
Основная часть.....	11
1 Эколого-геохимическая оценка степени загрязнения окружающей среды потенциально токсичными элементами	11
1.1 Основной ионный состав талых вод промышленной зоны гор. Усолья-Сибирского и факторы его формирования	11
1.1.1 Введение.....	11
1.1.2 Материалы и методы.....	11
1.1.3 Результаты и обсуждение	12
1.1.4 Заключение	18
1.2 Эколого-геохимическая оценка техногенно трансформированных почв промплощадки бывшего мышьякового завода гор. Свирска.....	19
1.2.1 Введение.....	19
1.2.2 Объекты и методы	19
1.2.3 Результаты исследований и их обсуждение	21
1.2.4 Заключение	24
2 Исследование распределения фтора и селена в воде сопряженных компонентов Байкальской экосистемы.....	25
2.1 Распределение фтора в воде сопряженных компонентов Байкальской водной экосистемы (Россия)	25
2.1.1 Введение.....	25
2.1.2 Геологическое строение	26
2.1.3 Методика отбора проб и анализа воды	27
2.1.4 Результаты анализа природной воды	29
2.1.4.1 Минеральные источники	29
2.1.4.2 Подземная вода (скважины)	30
2.1.4.3 Притоки Байкала.....	30
2.1.4.4 Вода Байкала	31
2.1.4.5 Вода истока р. Ангары	32
2.1.5 Обсуждение.....	32
2.1.6 Выводы	34
2.2 Особенности распределения селена в воде Байкальской экосистемы	34
2.2.1 Введение.....	34

2.2.2	Материал и метод исследования.....	35
2.2.3	Результаты и обсуждение	36
2.2.3.1	Вода скважин	36
2.2.3.2	Подземная вода (скважины)	38
2.2.3.3	Притоки Байкала.....	38
2.2.3.4	Горячие минеральные источники	39
2.2.3.5	Озеро Байкал	39
2.2.3.6	Снеговая вода.....	39
2.2.3.7	Исток р. Ангары.....	40
2.2.4	Выводы	41
3	Исследование влияния природных и антропогенных факторов на внутри- и межгодовую динамику концентраций гексахлорбензола и пентахлорбензола в атмосферном воздухе южного Прибайкалья	42
3.1	Введение.....	42
3.2	Материалы и методы	43
3.3	Результаты и их обсуждение.....	43
4	Исследование содержания стойких органических загрязнителей в главных притоках озера Байкал (реки Селенга, Верхняя Ангара, Баргузин, исток реки Ангара)	47
4.1	Введение.....	47
4.2	Материалы и методы	47
4.3	Результаты и их обсуждение.....	48
4.4	Выводы.....	51
5	Природно-климатические условия формирования региональных экосистем в плейстоцене и голоцене	51
5.1	Комплексные петромагнитные исследования донных отложений оз. Ордынское	51
5.1.1	Введение.....	51
5.1.2	Современные природные условия района исследования	52
5.1.3	Материалы и методы.....	54
5.1.4	Результаты.....	55
5.1.5	Обсуждение.....	59
5.1.6	Заключение	62
5.2	Геохронология, стратиграфия и условия формирования отложений опорного разреза многослойной стоянки Игетей (нижний-верхний палеолит, Предбайкалье)	63
5.2.1	Введение.....	63

5.2.2 Материалы и методы.....	64
5.2.3 Результаты и их обсуждение	65
5.2.4 Заключение	69
Заключение.....	71
Рекомендации по практическому применению	81
Список использованных источников.....	83
Приложение А. Достигнутые целевые показатели	91
Приложение Б. Список публикаций по теме исследований.....	92

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В настоящем отчёте о НИР используются следующие определения, сокращения и обозначения.

АМЗ – Ангарский металлургический завод

БВ – Братское водохранилище

БО – Бурятский округ

г. – год

гг. – года

гор. – город

ГХБ – гексахлорбензол

ГХЦГ – гексахлорциклогексан

ГЭС – гидроэлектростанция

ДДД – дихлордифенилдихлорэтан

ДДТ – дихлордифенилтрихлорэтан

ДДЭ – 1,1'-дихлор-2,2-бис(*n*-хлорфенил)этилен

ДК – дренажная канава

ИК-ОСЛ – метод инфракрасной оптико-стимулированной люминесценции

ИЮПАК – Международный союз теоретической и прикладной химии

кг - килограмм

км – километр

л – литр

л.н. – лет назад

м – метр

мВ - милливольт

мг – миллиграмм

МИС – морская изотопная стадия

мкг – микрограмм

млн – миллион

мм – миллиметр

мТл – миллитесла

нм – нанометр

о. – остров

об – оборот

ОБУВ – ориентировочный безопасный уровень воздействия

ОВ – органическое вещество

ОДК – ориентировочно допустимая концентрация

оз. – озеро

ок. – около

пг – пикограмм

ПДК – предельно допустимая концентрация

ПeXB – пентахлорбензол

ПСВ – плотность сухого вещества

ПXB – полихлорированные бифенилы

пос. – поселок

р. – река

рр. – реки

см – сантиметр

СОЗ – стойкие органические загрязнители

сут – сутки

т – тонна

ТМ – тяжёлые металлы

тыс. – тысяча

ТЭЦ – теплоэлектроцентраль

ХОП – хлорорганические пестициды

ЦКП – центр коллективного пользования

ARM – идеальная остаточная намагниченность

AMS – анизотропия магнитной восприимчивости

MS – магнитная восприимчивость

SIRM – остаточная намагниченность насыщения

TDS – Total Dissolved Solids (общая минерализация воды)

ВВЕДЕНИЕ

Исследования, направленные на изучение современного состояния, особенно химического загрязнения водных и почвенных экосистем, а также пространственно-временной изменчивости эко- и геосистем Восточной Сибири в настоящее время и в прошлом представляют одно из актуальнейших направлений в современной геоэкологии. Быстро ускоряющееся изменение климата [1] оказывает значительное воздействие на окружающую среду континентов, особенно в высоких и средних широтах планеты. Поскольку это, в свою очередь, влияет на экономическую деятельность и условия жизни населения в различных регионах [2], исследования различных способов взаимодействия человека с окружающей средой в настоящем и прошлом [3] становятся все более актуальными для понимания будущих направлений таких взаимодействий [4]. Поэтому, для создания надежной основы понимания сути происходящих изменений в региональных экосистемах, совершенствования прогнозных сценариев требуются новые данные о развитии природной среды регионов, полученные с использованием современных научных методов и подходов к изучению региональной экологии.

Соответственно, целями исследований в проекте были: изучение пространственной динамики концентраций основных ионов в талых водах на территории воздействия промышленной зоны г. Усолья-Сибирского и выявление факторов, влияющие на формирование их химического состава; установление причин отличий в содержаниях фтора и селена в воде сопряженных компонент Байкальской экосистемы; изучение влияния природных и антропогенных факторов на внутри- и межгодовую динамику концентраций гексахлорбензола и пентахлорбензола в атмосферном воздухе южного Прибайкалья; реконструкция гидрологического режима оз. Ордынское за последние 2800 лет для выявления особенностей антропогенной модификации озерной экосистемы.

Настоящий отчет является заключительным по теме: «Пространственно-временная изменчивость экосистем и климата Восточной Сибири в позднем плейстоцене-голоцене». Результаты реализации проекта были последовательно изложены в четырех промежуточных отчетах, представленных в 2021-2024 годах с соответствующими регистрационными номерами: 222022100008-5, 223020700607-9, 224021300389-4, 225021310028-8. Все промежуточные отчеты получили высокие оценки экспертов РАН, замечаний не имели.

Все цели проекта выполнены полностью. Основные научные показатели: высокая степень новизны полученных материалов и выводов. Степень внедрения – внедрено, результаты опубликованы в 101 статье в рецензируемых журналах, учитываемых в системах WoS, Scopus и РИНЦ.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1 Эколого-геохимическая оценка степени загрязнения окружающей среды потенциально токсичными элементами

1.1 Основной ионный состав талых вод промышленной зоны гор. Усолья-Сибирского и факторы его формирования

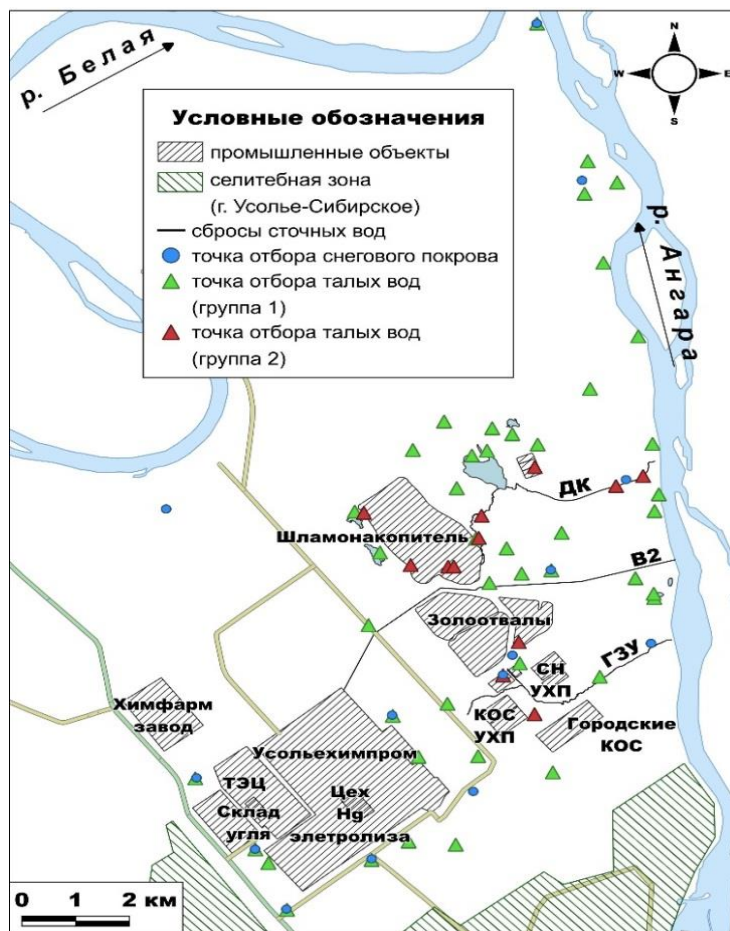
1.1.1 Введение

Актуальность изучения химического состава талых вод, формирующихся в пределах промышленной зоны гор. Усолья-Сибирского, определена катастрофическим загрязнением не только самой зоны, но и прилегающих к ней водных и наземных экосистем [5, 6]. Значительные концентрации элементов в воде р. Ангары на участках в 1,5 и 5 км ниже по течению от сброса сточных вод в период снижения техногенной нагрузки [7], показали, что, помимо организованных выпусков промышленной зоны существует дополнительный источник поступления загрязняющих веществ. Благоприятные для формирования поверхностного стока климатические и ландшафтные условия региона определяют, что одним из таких источников могут быть талые воды, стекающие с территории промышленной зоны в р. Ангару. В связи с этим, целью исследования стало: а) изучить пространственную динамику концентраций основных ионов в талых водах, образованных в пределах промышленной зоны гор. Усолья-Сибирского и на прилегающей к ней территории; 2) выявить основные факторы, влияющие на формирование химического состава талых вод.

1.1.2 Материалы и методы

Площадь промышленной зоны гор. Усолья-Сибирского составляет около 26 км². Самым мощным источником загрязнения считается закрытое в настоящее время предприятие «Усольехимпром», основной спецификой которого являлось химическое производство. После остановки предприятия основная часть его инженерных объектов и отходов производства осталась в заброшенном состоянии. К действующим производственным объектам промышленной зоны относятся ТЭЦ и ее золоотвальные сооружения, химико-фармацевтический завод, предприятия и пищевой промышленности. В пределах промышленной зоны гор. Усолья-Сибирского и на прилегающей к ней территории в период активного снеготаяния (начало апреля) проведен отбор проб талой снеговой воды (далее талая вода), образованной в понижениях местности или стекающей по земной поверхности. Отобраны талые воды в непосредственной близости от инженерных объектов и отходов производств (12 образцов, составивших группу 1), а также на удалении от них (45 образцов, составивших группу 2) (рисунок 1). Помимо этого, отобрано 14 проб снегового по-

крова (далее снеговая вода) на участках с разной степенью техногенной нагрузки (рисунок 1).



КОС – канализационно-очистные сооружения; В2, ДК – организованные выпуски УХП, ГЗУ – канава гидрозолоудаления

Рисунок 1 – Карта-схема промышленной зоны гор. Усолья-Сибирского и станций отбора проб снеговых и талых вод

Химический анализ проб снеговых и талых вод осуществлен в ЦКП «Изотопно-геохимических исследований» ИГХ СО РАН (гор. Иркутск, Россия). Измерение концентраций SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} и Mg^{2+} , Na^+ и K^+ проведено методом капиллярного электрофореза с использованием приборов серии «Капель» (Люмэкс, Россия), HCO_3^- – титриметрическим методом.

1.1.3 Результаты и обсуждение

TDS снеговых вод на удалении от промышленной зоны гор. Усолье-Сибирского составляет 10 мг/л, в пределах промышленной зоны – в диапазоне от 10 до 51 мг/л. TDS талых вод подвержена значительным вариациям (таблица 1). В группе 1 наиболее высокие

TDS зафиксированы в ДК, КОС УХП, золоотвалных сооружениях и шламонакопителе УХП (от 824 мг/л до 3850 мг/л). В группе 2 в 58% образцах TDS находится в диапазоне от 87 до 200 мг/л. Значительное увеличение количества растворенных веществ наблюдается в талых водах, образованных в прибрежной зоне р. Ангары (1068–2157 мг/л) и на удалении около 1 км от шламонакопителя УХП (962–1510 мг/л).

Таблица 1 – Статистические параметры концентраций основных ионов и минерализации в талых водах в зоне влияния промышленной зоны г. Усоля-Сибирского

Показатель	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	TDS
талая вода, группа 1 (n=12)								
Минимум, мг/л	26,8	16,1	13,5	0,4	20,0	10,0	0,3	149
Максимум, мг/л	388,0	2226,4	608,0	38,0	957,0	377,0	72,0	3850
Медиана, мг/л	76,2	104,5	56,6	4,7	97,0	63,0	4,4	705
Среднее, мг/л	114,8	358,1	125,9	7,9	178,3	102,0	15,0	906
SD, мг/л	100,3	621,3	166,4	10,4	260,6	113,4	21,7	1003
Cv, %	87	174	132	132	146	111	145	111
талая вода, группа 2 (n=45)								
Минимум, мг/л	20	3,5	1,5	2,1	0,1	14	2,2	87
Максимум, мг/л	225	1163,8	180,0	32,0	459,0	256	71,0	2157
Медиана, мг/л	76	12,4	20,6	9,3	2,2	27	5,6	174
Среднее, мг/л	90	153,7	37,9	11,6	64,2	51	12,1	425
SD, мг/л	47	293,9	46,0	7,5	125,8	57	17,2	523
Cv, %	52	191	121	65	196	112	142	123
снеговая вода (n=14)								
Минимум, мг/л	0,8	0,6	2,0	0,06	0,13	0,8	0,16	7,6
Максимум, мг/л	21,0	2,2	17,3	0,39	0,88	6,9	0,74	51,0
Медиана, мг/л	3,9	1,3	5,2	0,12	0,35	1,7	0,32	14,6
Среднее, мг/л	5,1	1,3	6,7	0,15	0,40	2,2	0,38	18,4
SD, мг/л	5,0	0,5	5,0	0,09	0,24	1,6	0,19	11,4
Cv, %	97	38	76	60	61	74	50	62

Примечание: SD – стандартное отклонение, Cv – коэффициент вариации.

Определено, что в пределах промышленной зоны концентрации большинства изучаемых компонентов в снеговых осадках выше, чем на удалении. Наибольшим вариациям (Cv 74–97%), обусловленным, в основном, атмосферной эмиссией от сжигания угля городской ТЭЦ, подвержены концентрации HCO_3^- , SO_4^{2-} и Ca^{2+} . Статистические показатели, рассчитанные для концентраций компонентов основного ионного состава в талых водах, указывают на неоднородность их распределения по всей территории исследования (таблица 1). Образование талых вод группы 1 вблизи техногенных объектов и отходов производств предопределяет очевидное влияние на их химический состав производственных процессов. Так, в составе талых вод, отобранных в дренажной канаве шламонакопителя «Усольехимпрома», содержатся значительные концентрации HCO_3^- (до 162 мг/л), Cl^- (до

2226 мг/л), Ca^{2+} (до 377 мг/л) и Na^+ (до 957 мг/л). Исследования, проведенные в период интенсивной работы предприятия (2006–2010 гг.), показали, что состав вод дренажной канавы был $\text{HCO}_3\text{--Cl--Na}$ или Cl--Na с минерализацией, достигающей 7921 мг/л [8]. В 2020 г., когда наполняемость ДК уже обеспечивалась, в основном, поверхностным стоком с прилегающей территории, состав вод был Cl--Ca--Na с минерализацией 7885 мг/л [7]. Талые воды вблизи золоотвалных сооружений ТЭЦ находятся под влиянием шлако-золевой пульпы, состав которой определяет высокие концентрации в них SO_4^{2-} (608 мг/л) и Ca^{2+} (266 мг/л).

На рисунке 2 показано пространственное распределение концентрации Cl^- , SO_4^{2-} и TDS в талых водах промышленной зоны г. Усолья-Сибирского и прилегающей к ней территории. В группе 2 наибольшей вариабельностью характеризуются концентрации Cl^- (таблица 1) распределение которого в талых водах территории исследования схоже с Na^+ . Для HCO_3^- наиболее часто встречаемыми являются концентрации от 40 до 97 мг/л (67 % образцов), для SO_4^{2-} – от 5 до 29 мг/л (62 % образцов), для Ca^{2+} – от 14 до 49 мг/л (78 % образцов), для Mg^{2+} – от 2,2 до 9,7 мг/л (78 % образцов), для K^+ – от 2 до 10 мг/л (62 % образцов). Матрица корреляционных зависимостей показала, что TDS, в большей степени ($p < 0,01$), связана с концентрациями Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} и Mg^{2+} .

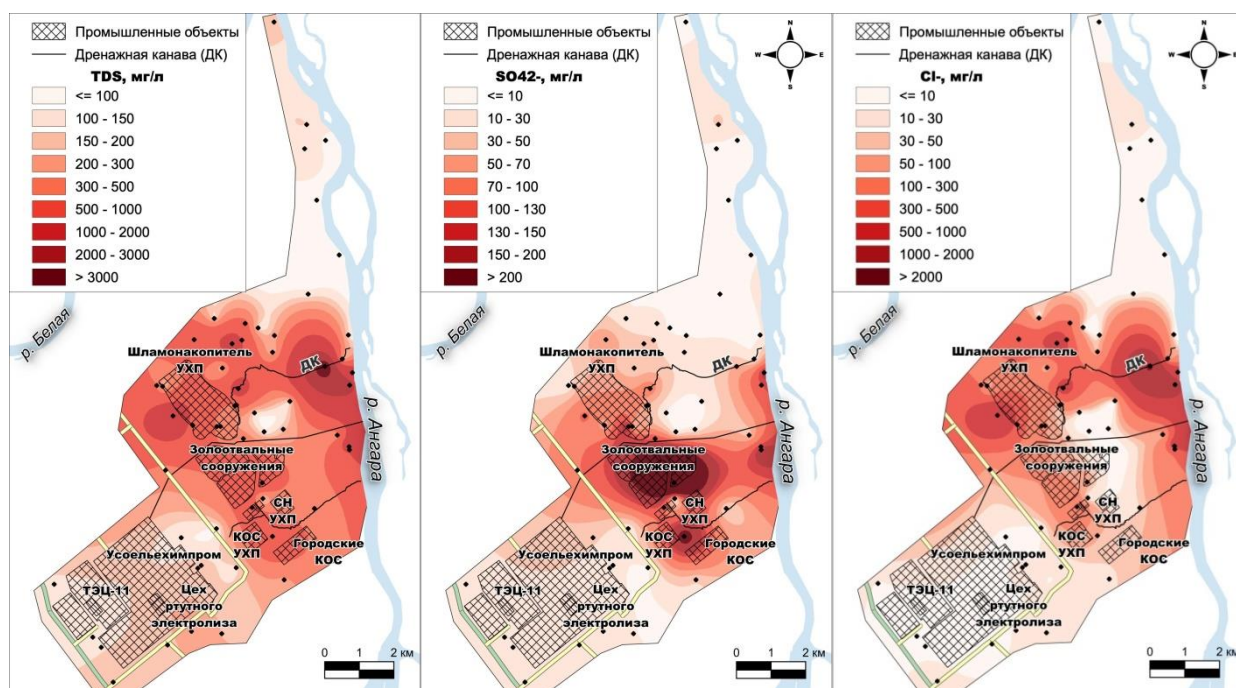


Рисунок 2 – Распределение концентраций Cl^- , SO_4^{2-} и TDS в талых водах промышленной зоны гор. Усолья-Сибирского и прилегающей к ней территории

Для выявления основных факторов формирования химического состава талых вод, в первую очередь, проведено его сравнение с составом снеговых осадков. Ряд коэффициентов концентрации, рассчитанных через медианные значения концентраций компонентов в снеговых и талых водах и отражающих обогащение талых вод, следующий: K^+ (78) > HCO_3^- (19) > Mg^{2+} (18) > Ca^{2+} (16) > Cl^- (10) > Na^+ (6) > SO_4^{2-} (4). Диаграмма Пайпера [9], используемая для классификации природных вод, показала, что гидрохимические характеристики сравниваемых вод существенно отличаются (рисунок 3). В основном ионном составе снеговых вод, как на удаленных от промышленной площадки участках, так и в ее пределах доминируют SO_4^{2-} и Ca^{2+} . В катионном составе большинства образцов талых вод также преобладает Ca^{2+} . При этом, доли Na^+ и K^+ значительно повышаются при приближении к техногенным объектам, а также в прибрежной зоне р. Ангара. В анионном составе большинства образцов талых вод преобладает HCO_3^- . Однако, в 30% образцов доминирует Cl^- , а в части образцов, отобранных вокруг производственных объектов «Усольехимпрома» – SO_4^{2-} . Снеговые воды, в основном, HCO_3 - SO_4 -Ca или SO_4 -Ca. Талые воды чрезвычайно разнообразны по своему составу. К наиболее распространенным относится HCO_3 -Ca тип. Далее по убывающей следуют Cl-Na, Cl-Ca-Na, HCO_3 - SO_4 -Ca, HCO_3 -K-Ca, SO_4 - HCO_3 -Ca, SO_4 - HCO_3 -Mg-Ca, HCO_3 -Na-Ca, SO_4 - HCO_3 -K-Ca, SO_4 - HCO_3 -Na-Ca, Cl-Mg-Ca, Cl- HCO_3 - SO_4 -Mg-Ca, HCO_3 -Cl- SO_4 -Ca-Na типы. Выделенные различия в химии снеговых и талых вод указывают на геохимические процессы, протекающие после контакта снеговых вод с подстилающей поверхностью, и предопределяют дальнейшее выявление тенденций, отражающих трансформацию природных вод при взаимодействии с геологическими образованиями.

Диаграмма Гиббса [10] позволяет выделить основные природные факторы, контролирующие химический состав природных вод. Положение большей части образцов талых вод группы 2 в области, соответствующей низкому ($< 0,50$) соотношению $Na^+/(Na^++Ca^{2+})$ и $Cl^-/(Cl^-+HCO_3^-)$ и в диапазоне TDS от ~ 100 до ~ 300 мг/л (рисунок 4), определяет, что выветривание горных пород является основным фактором, влияющим на их химический состав. На территории исследования распространены породы карбонатной и силикатной формаций. Значимые положительные корреляции между Ca^{2+} , Mg^{2+} и HCO_3^- ($r = 0,51-0,56$, $p < 0,01$) в талых водах показывают, что основным геохимическим процессом, участвующим в формировании состава талых вод, является растворение карбонатных пород, состоящих из доломитов ($CaMg(CO_3)_2$) и известняков ($CaCO_3$). В меньшей степени, на состав талых вод оказывает влияние выветривание силикатных пород.

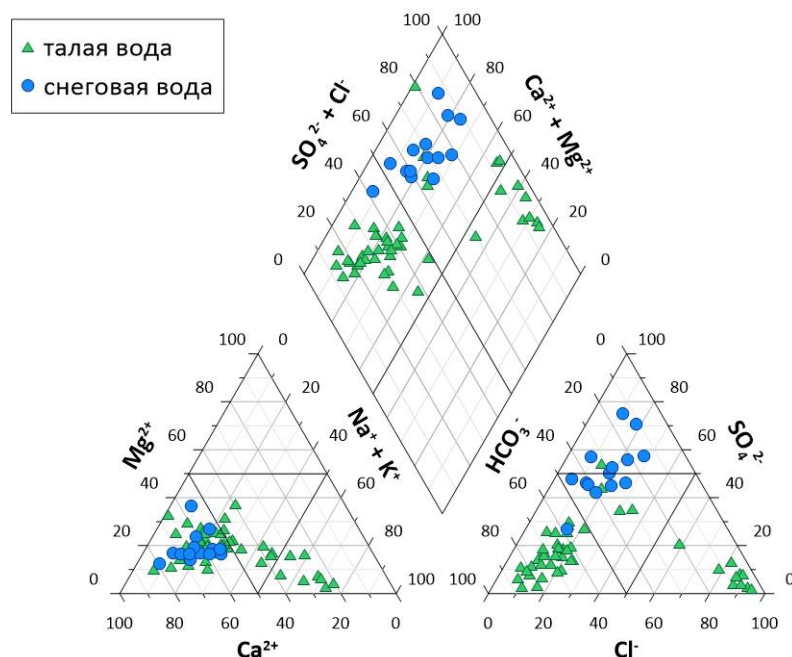
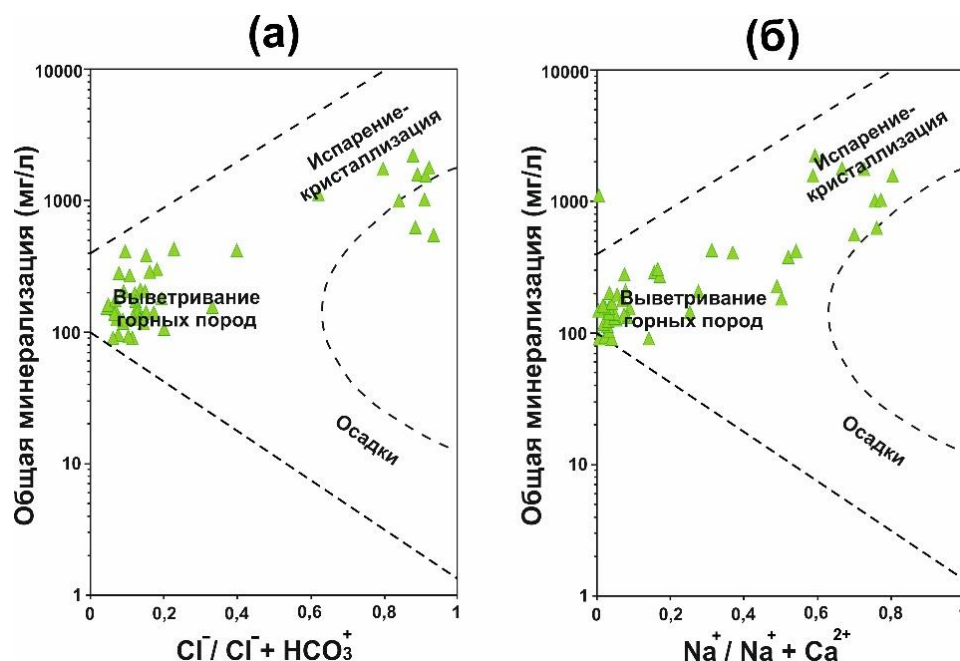


Рисунок 3 – Диаграмма Пайпера для снеговых и талых (группа 2) вод промышленной зоны гор. Усолье-Сибирского и прилегающей к ней территории

На диаграмме Гиббса (рисунок 4), часть образцов талых вод находятся в области доминирования испарительной кристаллизации. Эти талые воды приурочены к участкам с активно развивающимися процессами техногенного заболачивания, а также к прибрежной зоне р. Ангары. Несмотря на то, что эти талые воды формируются на участках, удаленных от инженерных объектов и промышленных отходов, в них определены повышенные, относительно медианных и средних значений по группе 2, концентрации Cl^- (до 1164 мг/л), Na^+ (до 459 мг/л), SO_4^{2-} (до 180 мг/л), Ca^{2+} (до 256 мг/л) и Mg^{2+} (до 71 мг/л).

На концентрацию этих компонентов, в особенности Cl^- , Na^+ и SO_4^{2-} , в природных водах могут влиять такие эвапоритовые минералы, как галит, калийные соли, гипс и т.д. В пределах рассматриваемой территории пласты каменной соли относятся к усольской свите нижнекембрийских отложений. Высокоминерализованные Cl-Na рассолы, приуроченные к соленосной толще, широко используются в технологических процессах предприятий различных отраслей промышленности гор. Усо́лья-Сиби́рского. Химический состав верхней гидродинамической зоны территории исследования кардинально изменен, вследствие утечек технических вод, неконтролируемого сброса промышленных стоков, а также восходящего потока напорных сульфатных и хлоридных вод нижележащих горизонтов подземных вод [11]. В связи с этим, химический состав образцов талых вод, попавших по концентрации элементов в зону испарительной кристаллизации, отражает техногенно-преобразованный состав подземных вод, близко залегающих к поверхности на участках

техногенного заболачивания или выходящих на поверхность в виде соляных родников на прибрежных участках р. Ангары.



а – зависимость минерализации от соотношения эквивалентности $\text{Cl}^- / (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$;
б – зависимость минерализации от соотношения эквивалентности $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$.

Рисунок 4 – Диаграмма Гиббса для талых вод (группа 2) промышленной зоны гор. Усолья-Сибирского и прилегающей к ней территории

Результаты исследования показали, что химический состав снеговых вод, основных составляющих поверхностного стока, территории исследования отражает, главным образом, влияние действующих предприятий, в первую очередь ТЭЦ, промышленной зоны гор. Усолья-Сибирского. В связи с этим, к антропогенной составляющей, участвующей в формировании состава талых вод, относятся твердые аэрозоли и растворенные вещества, образующиеся при сжигании топлива и накопившиеся в снеговых осадках в течении всего зимнего периода. В талых водах, также как в снеговых, выбросы ТЭЦ оказывают влияние на концентрации, в основном HCO_3^- , SO_4^{2-} и Ca^{2+} . Немаловажным антропогенным фактором, влияющим на химию талых вод, является перенос элементов с наземной пылью, особенно, на участках, прилегающим к грунтовым дорогам. Однако, выделить такие пылевые частицы, состав которых тесно связан с локальной минералогией и другими местными источниками [12], в качестве отдельного источника загрязнения талых вод довольно сложно из-за близости расположения автодороги и технических объектов промышленных предприятий. Как показано выше, в формировании состава талых вод после контакта снеговой воды с подстилающей поверхностью важную роль играет выщелачивание элементов. При

этом, основной ионный состав большинства талых вод, образованных в пределах промышленной зоны, отражает состав почвообразующих пород, распространенных на территории исследования. Однако, повышение концентраций изучаемых компонентов в талых водах на участках, приуроченных к инженерным объектам и отходам производства, указывает на их накопление в техногенно-преобразованном почвенном покрове.

1.1.4 Заключение

Результаты исследования показали, что концентрации HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ и K^+ в снеговых и талых водах промышленной зоны гор. Усолье-Сибирского и прилегающей к ней территории подвержены значительным вариациям. Для снеговых вод главным антропогенным источником, участвующим в формировании их химического состава, является атмосферные выбросы действующих предприятий, в первую очередь ТЭЦ. Повышение, по сравнению со снеговыми водами, концентраций компонентов основного ионного состава в талых водах и смена гидрохимического типа вод указывают на геохимические процессы, протекающие после контакта снеговых вод с подстилающей поверхностью. К основным природным факторам, контролирующим преобразование химического состава талых вод, относятся процессы выветривания силикатных и, в большей степени, карбонатных пород, распространенных на территории исследования. При этом, происходит обогащение талых вод, в основном, Ca^{2+} , Mg^{2+} и HCO_3^- . К основному антропогенному фактору, влияющему на концентрации всех изучаемых компонентов в талых, относится накопление огромных количеств веществ в отходах, сопутствующих производственным процессам. В большей степени, это отражает химический состав талых вод, образованных вблизи инженерных объектов УХП и ТЭЦ. Помимо этого, увеличение концентраций Cl^- , Na^+ и SO_4^{2-} в талых водах связано с гидрогеохимическим режимом, техногенно-преобразованным в пределах промышленной зоны. Результаты исследования являются первыми исследованиями, направленными на изучение миграции загрязняющих веществ, происходящей с поверхностным стоком, из катастрофически загрязненной промышленной зоны гор. Усолье-Сибирское на прилегающие территории, включая р. Ангара. Такие результаты могут быть востребованы природоохранными контролирующими организациями при проведении мероприятий по ликвидации накопленного экологического ущерба на территории промышленной площадки гор. Усо́лья-Сибирское.

1.2 Эколого-геохимическая оценка техногенно трансформированных почв промплощадки бывшего мышьякового завода гор. Свирска

1.2.1 Введение

Интенсивная эксплуатация минеральных ресурсов в XX веке привела к негативному воздействию на окружающую среду, в том числе загрязнению почв, особенно в районах длительного хранения горнопромышленных отходов. Одним из наиболее опасных элементов, вовлеченных в технологические процессы, является мышьяк. Он часто присутствует в рудах в форме арсенопирита и других примесных минералов, что приводит к его накоплению в отвалах металлургических предприятий.

В старых отвалах под воздействием гипергенных процессов происходит окисление сульфидов с образованием растворимых форм мышьяка и сопутствующих ТМ. Эти вещества мигрируют с водными потоками пылевыми частицами, вызывая устойчивые очаги загрязнения. Сукцессия растительного покрова и рекультивационные работы способствуют формированию техногенных почв – техноземов (Technosols), которые нередко характеризуются высоким загрязнением ТМ. Целью данного исследования являлась эколого-геохимическая оценка рекультивированных почв промплощадки бывшего мышьякового завода гор. Свирска.

1.2.2 Объекты и методы

Объектом данного исследования являлись техногенно трансформированные почвы (техноземы) территории бывшей промплощадки АМЗ гор. Свирска, выпускавшего мышьяк для оборонной промышленности до 1949 года. Для производства мышьяка использовались сульфидные руды, включающие также другие халькофильные элементы: свинец, медь, цинк, кадмий и др. В 2013–2015 годах была проведена ликвидация отвалов, строений завода и рекультивация техногенных почв. В настоящее время эта территория представляет собой выравненную площадку, покрытую травянистой растительностью. Изучены особенности распределения мышьяка и ТМ в техноземах в 70 пробах почв. Пробы почв анализировали РФА и атомно-абсорбционными методами. Статистический анализ содержаний поллютантов проведен на основе программы Statistica 10. Для построения картосхем использовали программу QGIS. Также были рассчитаны геохимические индексы загрязнения почв. Эколого-геохимическое состояние почв исследуемой территории оценивалось в соответствии [13] по следующим формулам:

Коэффициент концентрации K_c характеризует уровень техногенной аномальности содержания элемента и рассчитывается по следующей формуле:

$$Kc = \frac{Ci}{RB} \quad (1)$$

где C_i – валовое содержание металла i в почве; RB – региональное фоновое значение;

На основе Kc рассчитывался суммарный показатель геохимического загрязнения (Zc):

$$Zc = \sum Kc - (n - 1) \quad (2)$$

где Kc – коэффициент техногенной концентрации, превышающий 1, n – число учитываемых химических элементов с $Kc > 1$.

Согласно [14], территория с точки зрения опасности загрязнения может подразделяться на 4 категории: допустимая ($Zc < 16$), умеренно опасная ($16 < Zc < 32$), опасная ($32 < Zc < 128$) и чрезвычайно опасная ($Zc > 128$).

Для оценки загрязнения техноземов потенциально токсичными элементами был использован количественный показатель индекс геоаккумуляции (I_{geo}), предложенный Мюллером (1969) [15], и рассчитанный по следующей формуле:

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{Ci}{1,5 RB} \right) \quad (3)$$

Где C_i – валовое содержание металла i в почве; RB – региональное фоновое значение (таблица 2), а коэффициент 1,5 – это естественное колебание содержания тяжелых металлов в процессе диагенеза. I_{geo} был разделен на семь классов: незагрязненные (≤ 0), незагрязненные и умеренно загрязненные (0–1), умеренно загрязненные (1–2), умеренно и сильно загрязненные (2–3), сильно загрязненные (3–4), сильно и чрезвычайно загрязненные (4–5) и чрезвычайно загрязненные (≥ 5).

Таблица 2 – Характеристика концентраций As и ТМ (мг/кг) в техноземах территории АМЗ

№ участка	Количество проб	As	Pb	Cd	Cu	Zn
1	18	$\frac{43-8394}{2424}$	$\frac{53-4910}{1020}$	$\frac{1,2-3,4}{1,95}$	$\frac{33-1170}{469}$	$\frac{98-10250}{933}$
2	15	$\frac{11-1400}{178}$	$\frac{35-467}{117}$	$\frac{1-1,8}{1,33}$	$\frac{26-340}{67}$	$\frac{77-900}{195}$
3	37	$\frac{19-4550}{586}$	$\frac{43-1610}{263}$	$\frac{0,97-2,6}{1,55}$	$\frac{22-440}{135}$	$\frac{78-1000}{182}$
Региональный фон [16]		4	10	0,3	51	84
ОДК [14]		2	32	0,5	33	55

Примечание: в числителе минимальные-максимальные значения; в знаменателе – средние значения, мг/кг

1.2.3. Результаты исследований и их обсуждение

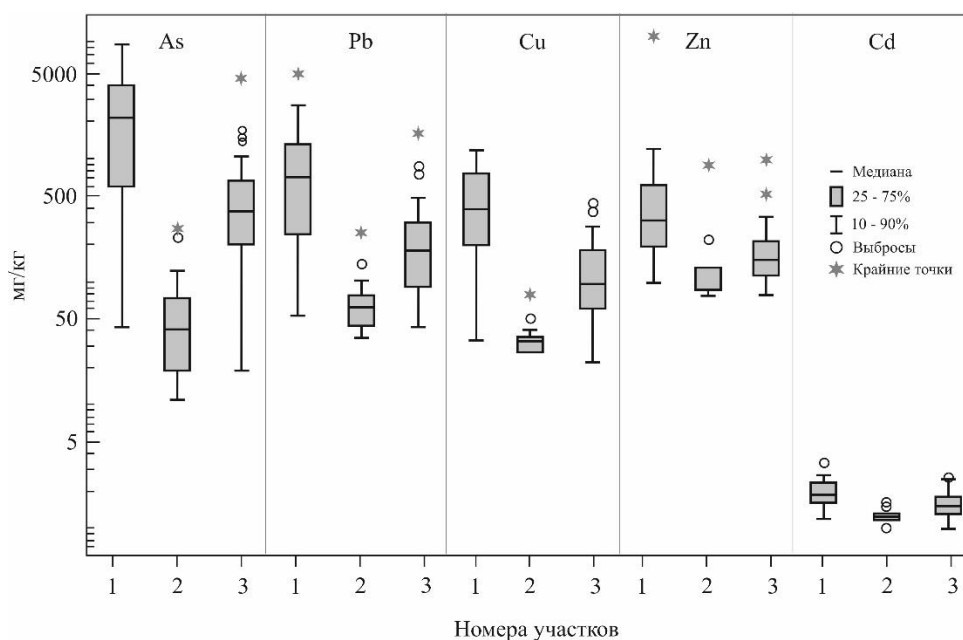
На исследуемой территории условно выделены три участка, отличающиеся источниками техногенного загрязнения. Участок 1 – зона влияния бывших отвалов, характеризующаяся максимальным загрязнением почв. Участок 2 – территория, где располагались строения АМЗ, на котором была проведена рекультивация с внесением чистых почв. Участок 3 – окрестности основной зоны загрязнения, где распространены дерново – карбонатные почвы с выраженным гумусовым горизонтом, загрязненным дисперсным материалом мышьяка и ТМ, привнесенным из отвала.

Распределение концентраций As и ТМ в техногенных почвах представлено в таблице 2. Мышьяк и тяжелые металлы в почвах исследованной территории характеризуются очень высокими концентрациями, превышающими значения ПДК и ОДК [14] в десятки-сотни раз.

По данным ранее проведенных исследований, до ликвидации завода, концентрации мышьяка в почвах на территории мышьяковистых отвалов достигали 21400 мг/кг, а на территории бывших строений АМЗ до 36700 мг/кг, концентрации свинца достигали 270000 мг/кг в пределах бывшей промплощадки АМЗ [16]. В настоящее время максимальные концентрации As в грунте отвала (участок 1) составляют 8394 мг/кг (таблица 2). Средние содержания ТМ также превышают значения регионального фона для почв Прибайкалья [17] и среднемировых значений для почв [18].

Установлено, что средние содержания As и ТМ (мг/кг) составляют для 1 участка исследуемой территории следующих ряд $As (2424) > Pb (1020) > Zn (933) > Cu (469) > Cd (1,95)$. Согласно [14] средние содержания на участке 1 превышают ориентировочно допустимые содержания (таблица 2) As (в 1212 раза), Pb (в 32 раза), Zn (в 17 раз), Cu (в 14 раз), Cd (в 4 раза).

На рисунке 5 представлены статистические параметры распределения As и ТМ в почвах бывшего АМЗ гор. Свирска. Самые низкие значения поллютантов характерны для почв участка 2, где проводились рекультивационные мероприятия, самые высокие – техноземы участка 1, зоны влияния мышьяковых отвалов. Содержание металлов в почвах характеризуется значительной пространственной неоднородностью распределения в локальном масштабе, что видно на рисунке 5. Такое неоднородное распределение металлов на территории исследования может быть связано с несколькими причинами. Во-первых, это высокое содержание тяжелых металлов в почвах, низкий уровень параметров pH, что может приводить к образованию растворимых форм металлов, которые могут переноситься с участка 1 на территорию окрестностей. Во-вторых, это атмосферный перенос пылевых частиц с основной зоны загрязнения (участок 1) на территорию участков 2 и 3.



Участок 1 – территория влияния бывшего отвала, участок 2 – территория бывшего здания завода, 3 – территория, расположенная за пределами участков 1, 2.

Рисунок 5 – Распределение концентрации As и ТМ (мг/кг) в техногенных почвах

По полученным валовым содержаниям As и ТМ была построена полиэлементная карта загрязнения почв, рисунок 6. Количественной оценочной мерой загрязнения почв является суммарный показатель геохимического загрязнения почвы (Z_c), который представляет собой аддитивную сумму превышений коэффициентов концентрации над единичным (фоновым) уровнем.

На участке 1 значения Z_c по оценочной шкале можно отнести к чрезвычайно высокому опасному ($Z_c > 28$), что указывает на интенсивное загрязнение As и ТМ техноземов на первом участке.

Участок 2 характеризуется меньшим загрязнением и, в основном, относится к допустимому загрязнению территории ($Z_c < 16$), территория участка 3 характеризуется допустимым ($Z_c < 16$) и умеренно опасным ($16 < Z_c < 32$) уровнем загрязнения с локальными аномальными содержаниями ТМ, и относящимся к категории опасной ($32 < Z_c < 128$) и чрезвычайной опасной ($Z_c > 128$).

Для оценки состояния загрязнения почв ТМ и выявления техногенного воздействия идеальным считается показатель I_{geo} [19]. Значения индексов геоаккумуляции I_{geo} были рассчитаны для каждой отдельной пробы, и эти результаты были усреднены для каждого участка и всей территории, в целом. Результаты расчетов индексов I_{geo} для исследуемой территории показаны на рисунке 7.

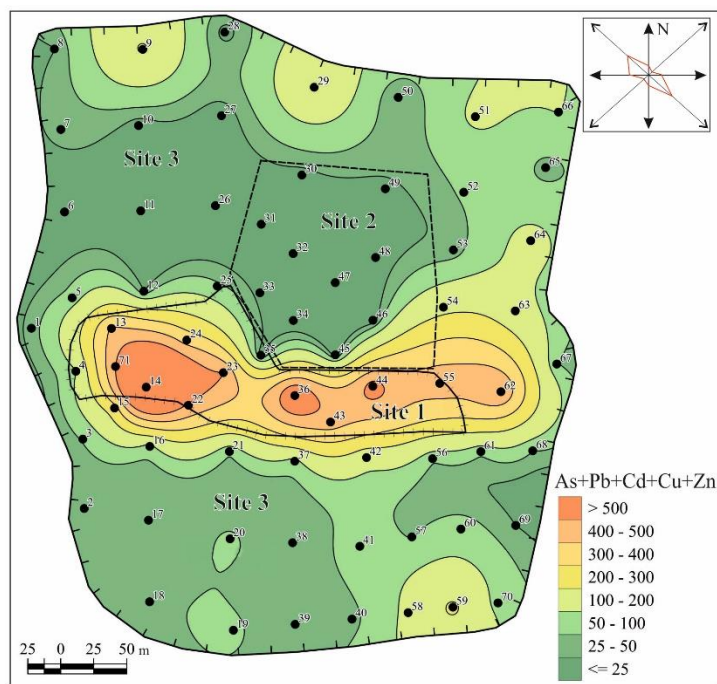


Рисунок 6 – Карта-схема пространственного распределения значений Zс техногенных почв для As и ТМ территории АМЗ после его ликвидации

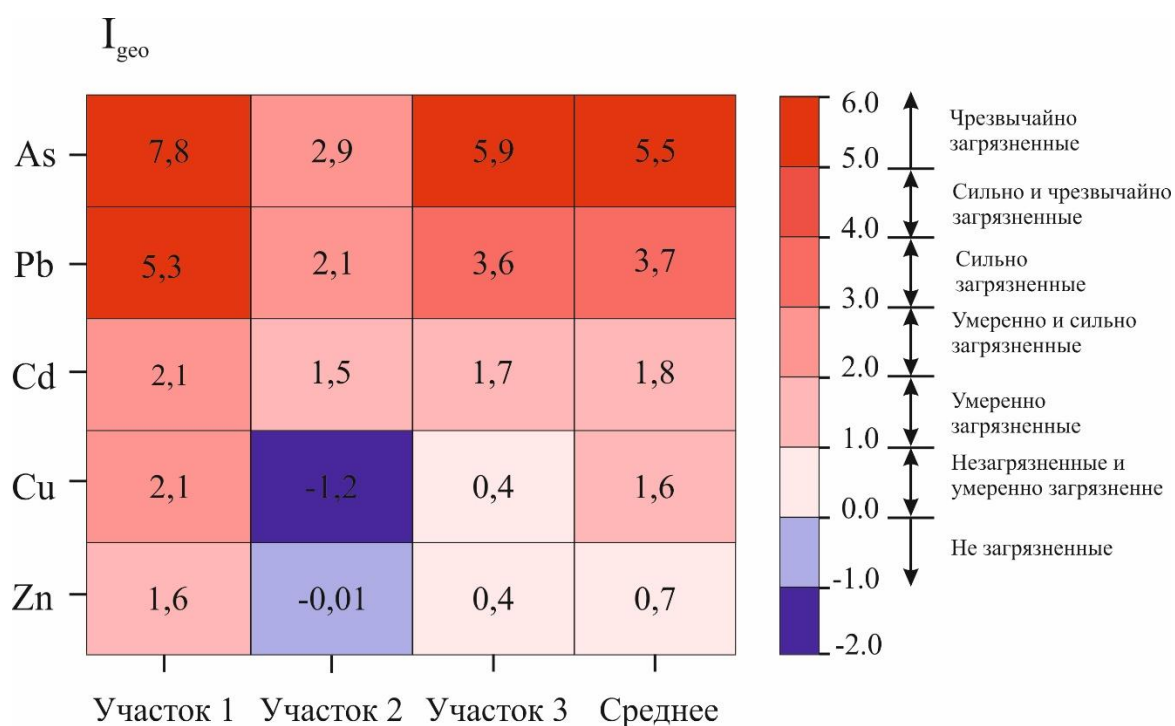


Рисунок 7 – Оценка рисков загрязнения техногенных почв АМЗ по I_{geo}

Обнаружено, что исследуемые техноземы наиболее загрязнены As в диапазоне 2,9–7,8 (от умеренно или сильно загрязненного до чрезвычайно загрязненного). Наиболее вы-

сокий показатель I_{geo} выявлен на участке 1, а также участке 3, указывая на сильное загрязнение мышьяком данной территории. Для свинца также выявлено высокое загрязнение техноземов участка 1, где I_{geo} составляет 5,3, что указывает также на экстремально загрязненный уровень данного участка, участок 3 характеризуется сильным загрязнением ($3,0 < I_{geo} < 4,0$), а территория участка 2 умеренно или сильно загрязнена ($2,0 < I_{geo} < 3,0$). Значения I_{geo} для Cd варьировало в пределах 1,0–2,0 (от умеренного до загрязненного), кроме участка 1, где I_{geo} для Cd составляет 2,1 (от умеренно или сильно загрязненный). Почвы участка 2 практически не загрязнены Cu и Zn ($I_{geo} < 0$), участок 3 для Cu и Zn характеризуется как незагрязненный до умеренно загрязненного ($0 < I_{geo} < 1$), а участок 1 от умеренной до загрязненной ($1 < I_{geo} < 2$) для Zn. В целом, максимальное загрязнение исследуемой территории характерно для участка 1, особенно для мышьяка и свинца [20, 21], что связано, в основном, с минеральными частицами арсенопирита и галенита, их окислением и выщелачиванием из остатков отвала. Территория участка 2 менее загрязнена, так как была рекультивирована, при этом уровень загрязнения As и Pb здесь характеризуется как умеренно или сильно загрязненный. Повышенные значения индексов геоаккумуляции, рассчитанные для участка 3, обусловлены атмосферным пылевым переносом As и ТМ с территории участка 1.

1.2.4 Заключение

Проведенная эколого-геохимическая оценка техногенно трансформированных почв бывшей промплощадки АМЗ гор. Свирска показала, что, после проведенной рекультивации содержания As, Pb, Cd, Cu, Zn существенно превышают региональный геохимический фон и значение ОДК. Выделены 3 участка, различающиеся по степени загрязнения и характеру источников поллютантов. Наиболее загрязненный участок 1 связан с остатками мышьяковистого отвала. Здесь зафиксированы максимальные концентрации As и тяжелых металлов, а значения суммарного показателя геохимического загрязнения (Z_c) соответствует категории чрезвычайно опасного. Индекс геоаккумуляции (I_{geo}) для As и Pb достигает уровней, характерных для экстремально загрязненных территорий.

Рекультивированный участок 2 имеет значительно меньшие концентрации поллютантов, при этом As и Pb все еще характеризуются уровнями умеренного и сильного загрязнения. В прилегающих территориях фиксируются локальные аномалии, связанные с пылевым переносом. Таким образом, основным источником техногенного воздействия остаются остатки мышьякового отвала, что определяет необходимость дальнейшего мониторинга и проведение дополнительных мероприятий по снижению миграции загрязняющих веществ.

2 Исследование распределения фтора и селена в воде сопряженных компонентов Байкальской экосистемы

2.1 Распределение фтора в воде сопряженных компонентов Байкальской водной экосистемы (Россия)

2.1.1 Введение

Озеро Байкал известно как самое глубокое озеро планеты, хранящее почти 20% мировых запасов поверхностных пресных вод. Концентрации кислорода в байкальской воде достигают от 8–9 мг/л (на глубине) до 12–18 мг/л на поверхности озера. Основными особенностями ионного состава байкальских вод являются близкие концентрации главных ионов, низкая концентрация биогенных элементов и органического вещества. Вода Байкала слабоминерализованная (90–100 мг/л), содержит незначительное количество примесей и является востребованной как в России, так и в других странах.

Многочисленные притоки Байкала приносят в него воды, значительно отличающиеся по своему химическому составу от воды самого озера. При этом в Байкале происходит ряд процессов, существенно видоизменяющих первоначальный химический состав воды притоков уже в литоральной зоне за счет различных течений, наличия геохимических барьеров и способности озера к самоочищению.

Ионный состав глубинной и поверхностной воды Байкала изменяется незначительно и не зависит от места ее опробования, несмотря на значительную протяженность озера (более 600 км) и меняющуюся глубину в котловинах. Исследователи объясняют этот факт интенсивным перемешиванием и поступлением глубинной (ювенильной) воды при сейсмических и геодинамических подвижках в Байкальской рифтовой зоне.

Байкальская водная экосистема представлена несколькими сопряженными в пространстве компонентами: водой Байкала, подземной водой из скважин на острове Ольхон и в береговой части, водой многочисленных притоков (более 330), минеральными источниками вокруг Байкала и на удалении в Байкальской рифтовой зоне и отражающим все это водное многообразие – единственным стоком Байкала – рекой Ангарой.

Большая часть территории Прибайкалья относится к биогеохимической провинции с дефицитом F, Se, I в поверхностных водах [22]. В пределах Южного Прибайкалья и Забайкалья средняя концентрация F в природных водах составляет 0,2 мг/л (рисунок 8). Фтор, присутствующий в природной воде, относится к биогенным элементам и имеет важное значение для здоровья человека и биоты. Избыток или недостаток F в воде и соответственно в живом организме отражается в различных заболеваниях.

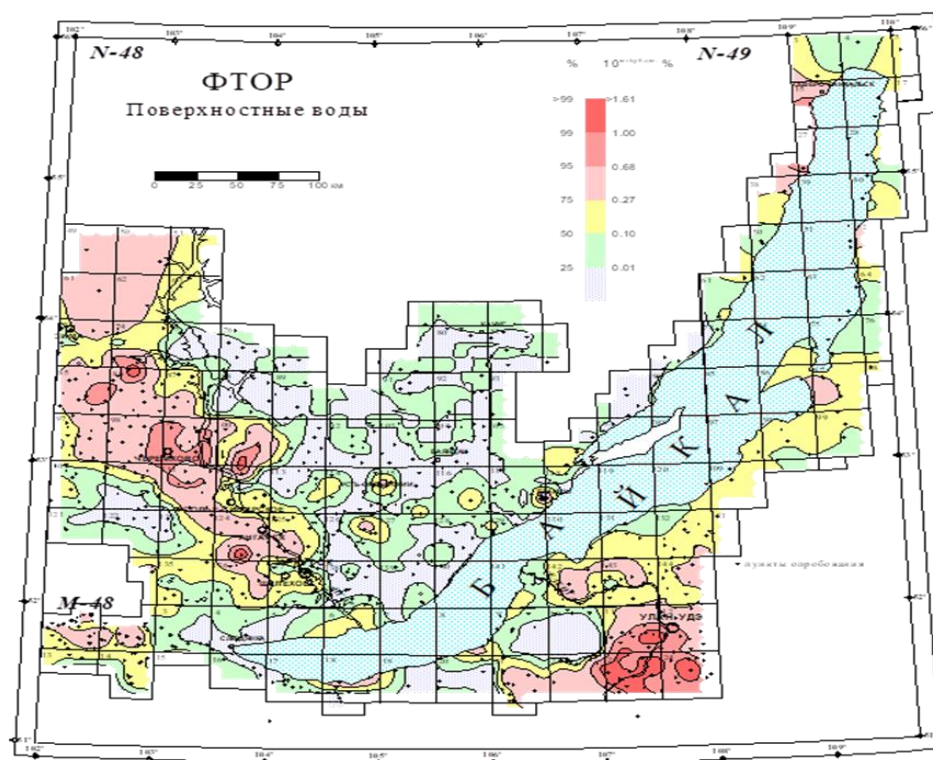


Рисунок 8 – Распределение концентраций фтора (мг/л) в поверхностных водах Байкальского региона [23]

Целью данной работы является сравнение и объяснение возможных причин значимых различий в распределении фтора в воде некоторых сопряженных компонентов Байкальской экосистемы.

Важной фундаментальной задачей является сравнение и выявление причин установленных отличий в содержаниях фтора в воде между сопряженными компонентами Байкальской экосистемы. Ранее такие отличия были выявлены преимущественно только при сравнении воды истока Ангары и Байкала.

2.1.2 Геологическое строение

По геологическому строению на территории Прибайкалья можно выделить две части – западную, включающую южную часть Сибирской платформы (Южное Прибайкалье), и восточную, представленную горными сооружениями, обрамляющими озеро Байкал с восточной стороны (Забайкалье) (рисунки 8, 9).

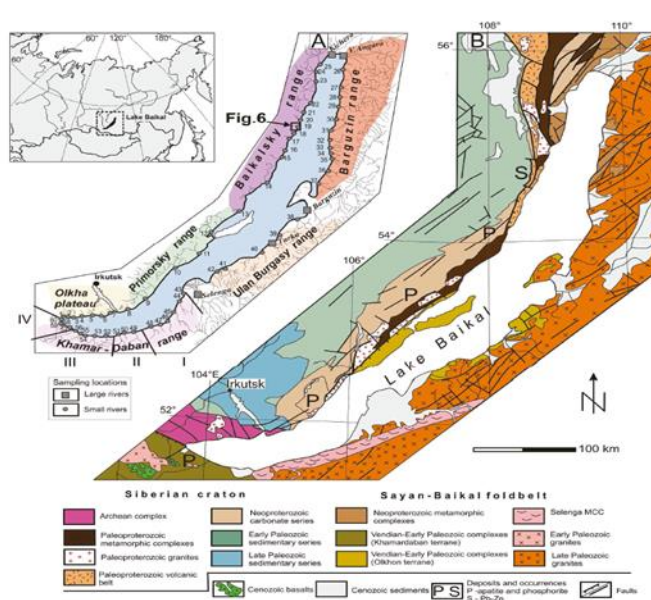


Рисунок 9 – Карта-схема геологического строения Байкальской водной экосистемы [24]

Чехол Сибирской платформы Южного Прибайкалья сложен соленосными осадочно-терригенными отложениями фанерозойского возраста, не содержащими фтористой минерализации. Поверхностные воды здесь обеднены фтором (рисунок 8). При этом в реке Ангаре и ее притоках на удалении от Байкала содержания фтора несколько повышены за счет антропогенного влияния ТЭЦ, нефтеперерабатывающего, алюминиевого производства в городах Шелехово, Братск, Зима, находящихся на берегах Ангары и влияния ТЭЦ и котельных (рисунки 8, 10).

Южное Забайкалье характеризуется широким развитием редкометалльных гранитоидов с повышенным содержанием фтора и присутствием флюоритового оруденения. Содержание фтора в поверхностных водах соответствует предельно допустимым концентрациям – 0,7–1,5 мг/л, но чаще бывает ниже этих значений и составляет 0,2–0,3 мг/л. На северо-востоке и востоке Байкальской рифтовой системы на поверхность выходит огромный Ангаро-Витимский батолит, сложенный гранитоидными и монцонитоидными породами палеозойского возраста (рисунок 9).

2.1.3 Методика отбора проб и анализа воды

Достижению поставленной цели способствует многолетний ежегодный (и ежемесячный) мониторинг состава воды истока Ангары (1997–2025 гг.), а также проводимые в разные годы анализы проб воды минеральных источников, устьев притоков, скважин, воды Байкала, в которых выполнен химический анализ на широкий круг элементов, включая фтор. В поселке Листвянка ранее проводился мониторинг воды из скважин (рисунок 10).

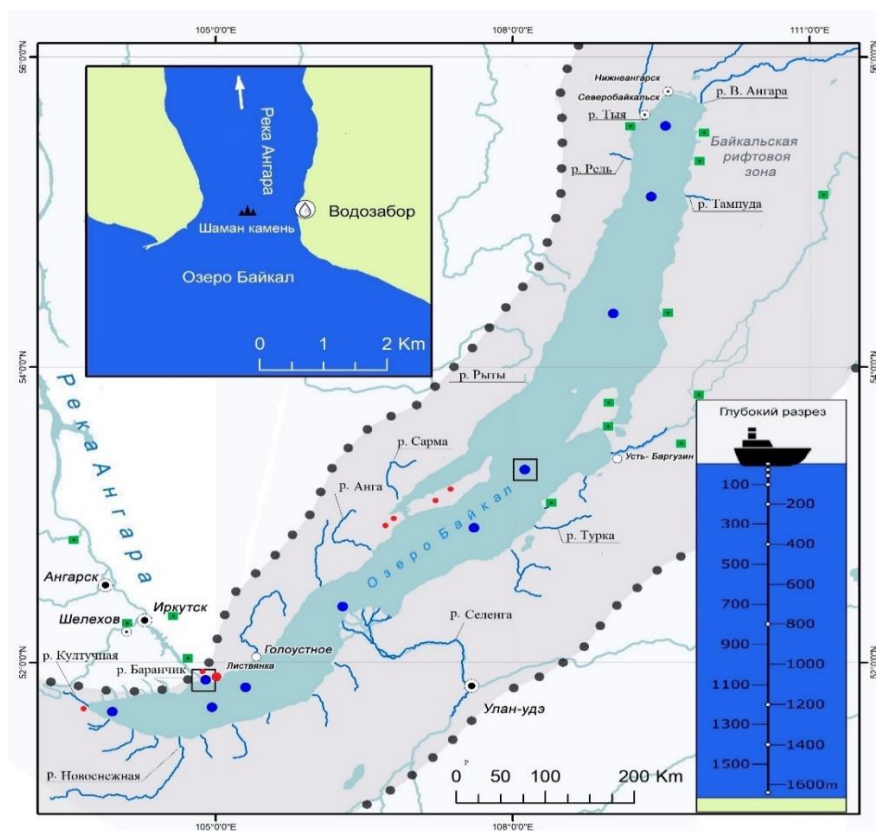


Рисунок 10 – Схема опробования воды сопряженных компонентов Байкальской экосистемы (синие точки – вода Байкала, квадраты с точками – места отбора глубинной воды и истока Ангары, красные – вода из скважин, зеленые квадраты – вода минеральных источников)

Определение концентраций фтор-иона в воде сопряженных компонентов Байкальской экосистемы выполнено потенциометрическим методом в ЦКП «Изотопно-геохимические исследования» ИГХ СО РАН (таблица 3).

Таблица 3 – Концентрация F- (мг/л) в воде сопряженных компонентов Байкальской экосистемы

концентрация/ компонент	Минеральные источники	Подземная вода (скважины)	Притоки	Байкал (поверхностная и глубинная вода)	Исток р. Ангары
Максимум	23,0	1,13	0,65	0,40	0,30
Минимум	0,1	0,07	0,02	0,16	0,11
Среднее	11,0	0,35	0,17	0,22	0,20
Медиана	12,0	0,30	0,13	0,22	0,20
Кол-во проб	32	23	214	118	488

2.1.4 Результаты анализа природной воды

2.1.4.1 Минеральные источники

Имеющаяся информация по содержанию фтор-иона в 14 минеральных источниках (32 определения фтора в разное время года) показала изменения его концентрации от 20 до 40 мг/л, на удалении от Байкала – 0,1 мг/л (рисунок 11, таблица 3).

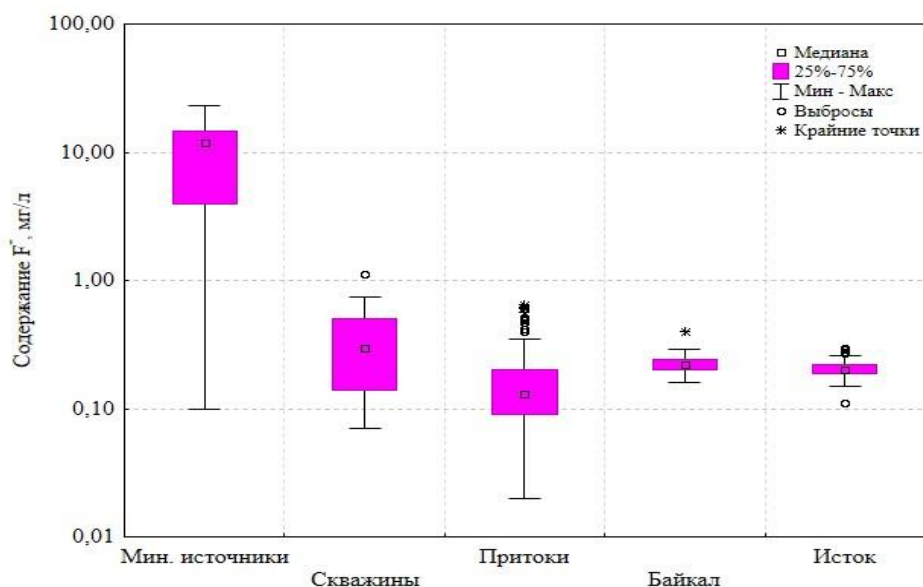


Рисунок 11 – Диаграмма распределения концентраций F⁻ в сопряженных водных компонентах Байкальской экосистемы

Повышенные (иногда в 100 и более раз) концентрации F⁻ в воде относительно средних значений по региону – 0,2 мг/л характерны преимущественно для горячих минеральных источников: Котельниковский, Змеиный, Кулиные болота и др. Источники с более низкой концентрацией F⁻ (2–3,5 мг/л) – Горячинск, Фролиха, Хакусы. Повышенные концентрации F⁻ в горячих минеральных источниках фиксируют их связь с более глубинными флюидно-гидротермальными системами Байкальской рифтовой зоны. При этом предполагается как мантийное (астеносферное) поступление фтора, серы, хлора и других элементов, так и из вмещающих гранитоидных пород с фторсодержащими минералами при взаимодействии гидротермальных флюидов с алюмосиликатными породами.

Было предположено, что, поскольку в минеральных источниках часто отмечаются рудные элементы, то некоторые термальные источники вокруг Байкала могут являться «природными загрязнителями» воды Байкала [24]. Однако, в силу особых течений а также осаждения элементов на геохимических барьерах в литоральных частях озера и быстрого перемешивания воды на Байкале, они не оказывают заметного влияния на изменение концентраций элементов в воде Байкала, в том числе и фтора (рисунок 11).

2.1.4.2. Подземная вода (скважины)

Анализ подземных вод на определение концентраций фтора в воде вокруг Байкала (пос. Листвянка, пос. Никола, пос. Олха и др.) и на острове Ольхон выполнен в 17 скважинах. Вода в пос. Листвянка (юго-западный берег Байкала) анализировалась в 7 скважинах. Вода из скважин имеет более низкие концентрации фтора, чем вода горячих минеральных источников, но иногда достигает нормальных значений ПДК – 0,75–1,5 мг/л (на острове Ольхон, пос. Еланцы, пос. Никола, Олхинская в пригороде Иркутска и др.).

Повышенное содержание фтора в подземной воде Прибайкалья обусловлено его повышенными содержаниями в палеопротерозойских гранитоидных и субщелочных породах, распространенных на западном берегу Байкала, где добывается лечебно-столовая минеральная вода «Иркутская» с полезным для человека содержанием фтора (>1 мг/л) [25] (рисунок 11). Именно по относительно повышенному содержанию фтора в воде из скважин просматривается его генетическая связь с дренируемыми глубинной водой вмещающими породами.

2.1.4.3. Притоки Байкала

Химический состав воды 30–35 устьев притоков вокруг Байкала исследовался с 2007 по 2022 гг. в разное время года. Вода притоков заметно различается по концентрациям фторид-иона, что обусловлено влиянием различных по составу дренируемых коренных пород. Соответственно геологической карте Байкала [24] повышенные содержания F^- (0,3–0,65 мг/л) отмечаются в устьях тех крупных притоков, которые дренируют разновозрастные гранитоидные породы с восточной (огромный Ангаро-Витимский гранитоидный батолит) и западной стороны Байкала (палеопротерозойские граниты) – рр. Рель, Анга, Верхняя Ангара, Баргузин, Бугульдейка, Кучелга и некоторые другие.

В большинстве притоков в юго-восточной части Байкала (рр. Снежная, Харамурин, Слюдянка и др.) в разные сезоны года (рисунок 12) отмечаются низкие концентрации F^- – 0,05–0,1 мг/л. Здесь вмещающими являются породы основного состава хребта Хамар-Дабан с низкими концентрациями фтора.

В юго-западной части Байкала многочисленные притоки (рр. Ангасолка, Маритуй, Большая Половинная, Шумиха и др.) дренируют архейские метаморфизованные породы (мрамора, кварциты, кристаллические сланцы и др.). В устьях этих притоков концентрации фторид-иона возрастают в 2 раза по сравнению с юго-восточными притоками – до 0,2 мг/л и близки к значениям в воде Байкала и истока Ангары.

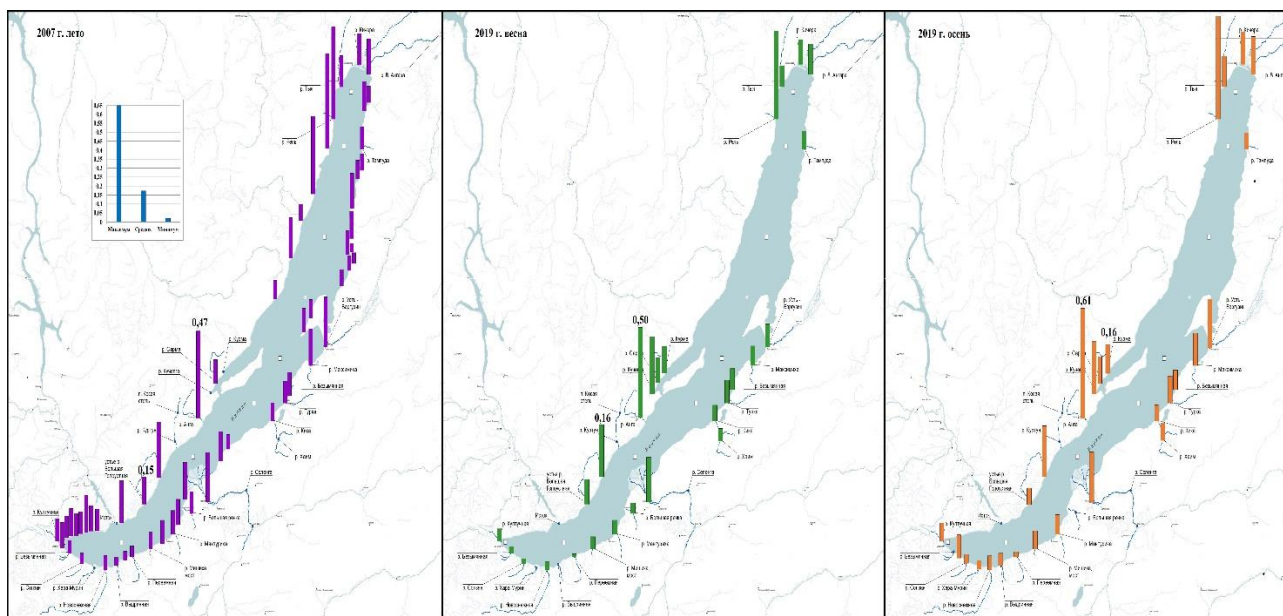


Рисунок 12 – Распределение концентраций фторид-иона в воде устьев притоков Байкала: лето 2007 г., весна 2019 г., осень 2019 г.

В устье р. Селенги содержание F^- иногда достигает 0,4 мг/л в разное время года, но здесь влияние может оказывать и антропогенный фактор за счет имеющихся промышленных объектов в ее бассейне.

2.1.4.4. Вода Байкала

В 2011–2022 гг. выполнено 118 анализов воды на определение концентраций F^- . В глубинной и поверхностной воде оз. Байкал содержания фторид-иона очень близки и не превышают 0,2–0,3 мг/л. Заметных изменений содержаний от поверхности озера на глубину 1640 м в течение 2018–2022 гг. не установлено (рисунок 13). Нет различий и в его концентрациях в разное время года (весна, осень). Максимальное содержание F^- – 0,4–0,54 мг/л отмечено в поверхностной воде в центре Байкала только 2 раза весной и осенью 2020 г. – напротив устья р. Селенги, в которой концентрации фтора достигают 0,4 мг/л (рисунок 11). Это обстоятельство можно объяснить только быстрым течением при резком изменении погодных условий (шторм, ураган, сильный ветер и др.) в устье Селенги и на Байкале или разовым увеличением содержаний фтора в воде Селенги за счет антропогенного воздействия промышленных предприятий в ее бассейне. Возможно влияние частых сейсмических подвижек в Байкальском регионе в 2020 г.

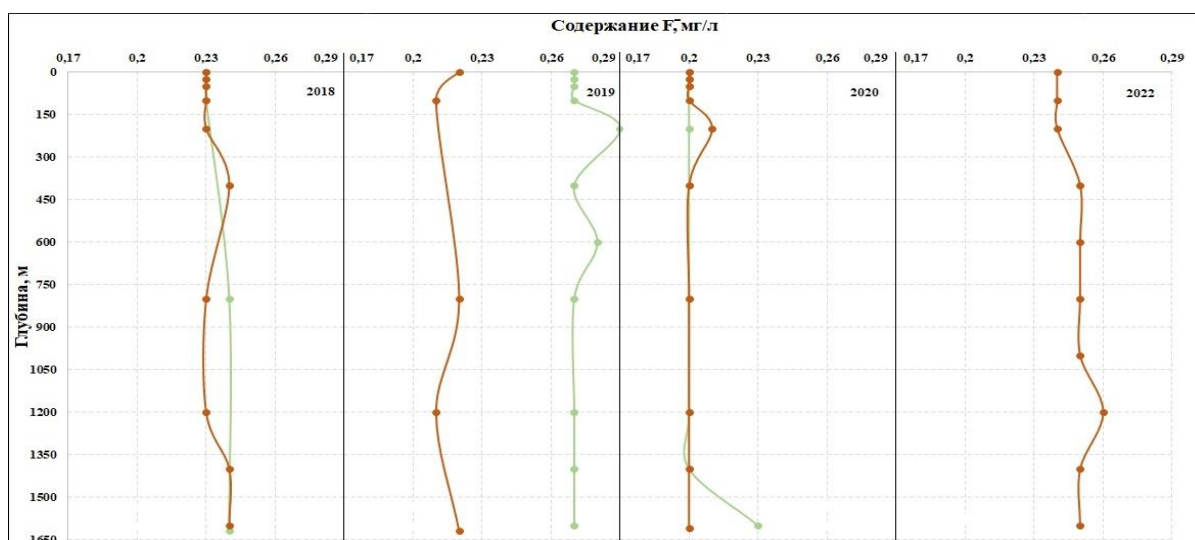


Рисунок 13 – Распределение концентраций F^- (мг/л) в поверхностной и глубинной воде Байкала в 2018–2020 гг. и 2022 г. (зеленые линии – весна, коричневые – осень)

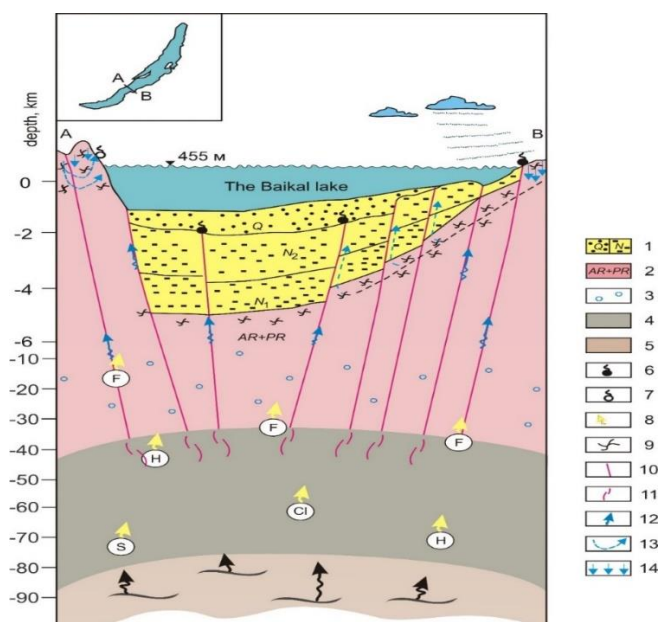
2.1.4.5. Вода истока р. Ангары

За 1998–2022 гг. в мониторинговом ежемесячном опробовании истока Ангары получены результаты анализа на фторид-ион по 488 пробам воды (рисунок 11, таблица 3). Установлено, что концентрации F^- в воде истока бывают довольно низкие – до 0,11 мг/л, максимум редко достигает 0,3 мг/л, среднее и медиана одинаковы – 0,2 мг/л, т.е. концентрация F^- в 5–10 раз ниже, чем ПДК для питьевых вод – 0,7–1,5 мг/л. За рассмотренный период относительно повышенные значения F^- в воде истока отмечались в 1997–2003 гг. Затем с 2007 г. наблюдается заметное уменьшение его концентраций. В последние 2017–2022 гг. среднегодовые значения фторид-иона в истоке Ангары незначительно увеличиваются до 0,22–0,23 мг/л (рисунок 12), что возможно объясняется увеличением туристической нагрузки в этот период в районе южного Байкала и истока Ангары.

2.1.5. Обсуждение

Высокие содержания фтора в термальных источниках Прибайкалья до сих пор являются предметом дискуссии исследователей. Если раньше считалось, что источником этого элемента в термах являются растворы магматического генезиса (ювенильные воды) [26], то в настоящее время многие исследователи считают источником фтора вмещающие породы. Но механизм мобилизации фтора из горных пород рассматривается по-разному: одни исследователи связывают его с наличием высоких концентраций этого элемента во вмещающих породах, в частности, в слюдах, исходя из равновесно-неравновесного состояния системы вода-порода, со временем взаимодействия воды с горными породами и связанным с этим характером геохимической среды.

Полученные данные о распределении фтора в водных компонентах Байкальской экосистемы позволили авторам представить геолого-геохимическую модель возможного поступления фтора из высокотемпературных ювенильных водно-газовых флюидов, вероятно присутствующих в проводящем слое земной коры Байкальской рифтовой зоны на глубинах 7–27 км под впадинами и 15–35 км под поднятиями (рисунок 14).



1 – кайнозойские отложения (Q – полигенетические фации молассовой формации четвертичного возраста; N2 – грубообломочная молассовая формация верхнего неогена; N1 – тонкообломочная молассовидная формация нижнего неогена); 2 – земная кора (магматические и метаморфические образования архейско-протерозойского возраста AR+PR); 3 – проводящий слой; 4 – верхняя мантия; 5 – астеносфера; 6 – современные гидротермы; 7 – естественные выходы холодных вод; 8 – химические элементы в газовой фазе; 9 – трещиноватость пород; 10 – активные разломы; 11 – зона меланитизации; 12 – направление движения фтора; 13 – направление движения метеорных вод; 14 – атмосферные осадки.

Рисунок 14 – Обобщенная схема геолого-геохимической модели поступления фтора в воду Байкальского рифта

Предполагается, что фтор может диффундировать и проникать по активным разломам сквозь слои сухой верхней мантии и нижней земной коры из астеносферного расплава, находящегося на глубинах 78–130 км. Активные разломы также могут обеспечивать транзит фтора к поверхности с проводящего слоя средней коры, в результате чего в современных гидротермах наблюдается повышенное содержание многих химических элементов [27]. Фтор в воде есть везде, однако распределен в разных компонентах Байкала по-разному. В воде Байкала, истока Ангары его концентрация ниже ПДК питьевых вод. В воде многих притоков и подземных вод Байкала его концентрация увеличивается до уров-

ня предельно допустимых концентраций. При этом максимальные количества F-иона характерны для термальных источников вокруг Байкала.

2.1.6. Выводы

Анализ полученной геолого-геохимической информации по распределению концентраций фтора в воде рассмотренных сопряженных компонентов Байкальской экосистемы позволяет сделать следующие выводы.

1. Значительные различия в содержаниях фтора в разных водных компонентах Байкальской экосистемы свидетельствуют о влиянии ее приуроченности к Байкальской рифтовой зоне, где часто происходят землетрясения и геодинамические подвижки, что сопровождается незначительными изменениями содержания фтора в оз. Байкале и, соответственно, в истоке р. Ангары, но при этом продолжающейся активностью термальных источников в его окружении.

2. Повышенные содержания фтора в минеральных источниках и в воде скважин некоторых прибрежных районов Байкала, приближающиеся к концентрациям необходимым для здоровья человека, свидетельствуют о влиянии на подземную воду дренируемых гранитоидных пород с относительно повышенными содержаниями фтора.

3. Проникающие из глубоких слоев Земли (2–5 км) флюидно-гидротермальные растворы в благоприятных для этого структурно-тектонических условиях (зоны глубинных разломов) способны доставлять на поверхность ювенильные растворы, обогащенные многими элементами, в том числе и рудными из водосодержащих слоев Земли.

2.2. Особенности распределения селена в воде Байкальской экосистемы

2.2.1. Введение

Селен, являясь одним из эссенциальных химических элементов, входит в состав более 30 гормонов и ферментов и обеспечивает нормальное функционирование организма. В организм человека 90% селена поступает с пищей и 10% с питьевой водой. Недостаток или избыток селена, как и других химических элементов, одинаково опасен для здоровья. Основными формами нахождения селена в поверхностных водах Байкала, где $Eh > +200$ мВ являются гидроселенит-ион $-HSeO_3^-$ и селенит-ион SeO_3^{2-} , а при $Eh -50 - -70$ мВ (глубинная вода Байкала) - гидроселенид-ион $-HSe^-$ [28]. Байкальский регион относится к селендефицитным провинциям [22], что сопровождается наличием у населения соответствующих заболеваний [29, 30].

2.2.2. Материал и метод исследования

Детальное геохимическое исследование компонентов окружающей среды Прибайкалья было начато П.В. Ковалем в рамках программы «Полигоны России» в 1991–1994 гг. и продолжено в последующие годы [23]. Были установлены содержания химических элементов в коренных породах, почвах, донных осадках, речной и озерной воде, снеговом покрове Байкальского региона.

Исследование распределения концентраций Se в водных объектах Байкальской экосистемы продолжалось в мониторинговом режиме ежемесячно в 2006–2022 гг. только в истоке р. Ангары (с перерывом в 2014–2016 гг.). В остальных сопряженных водных объектах (вода Байкала, скважин, притоков, минеральных источников, родников) отбор проб воды осуществлялся в теплое время года (рисунок 15).

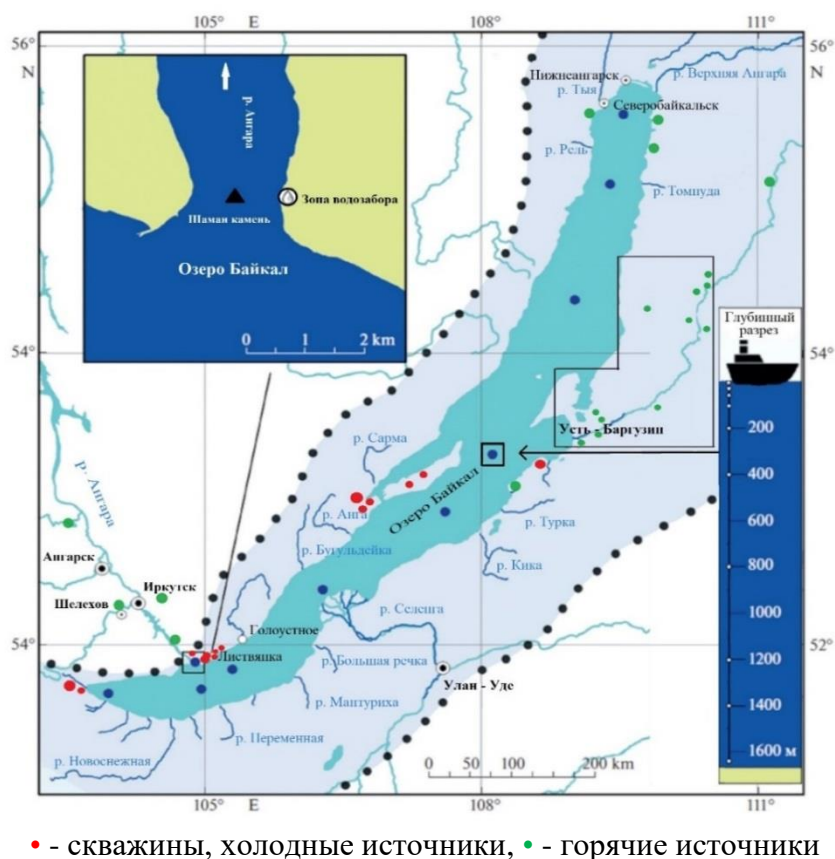


Рисунок 15 – Карта-схема отбора проб воды в Байкальской экосистеме (поверхностная и глубинная вода Байкала, исток Ангары, притоки, скважины). Врезка на карте справа – место нахождения баргузинских термальных источников

Снегогеохимическая съемка проводилась в конце сезона устойчивого снежного покрова перед началом подтаивания и гранулирования снега (преимущественно конец марта). Снеговой покров исследовался в ю-з береговой зоне в пос. Листвянка на берегу Байкала вблизи истока Ангары в 2018–2020 гг. Образцы снега отбирали на всей протяженно-

сти поселка вдоль берега со стороны Байкала. Отбор проб (15–20 кг) осуществляли в полиэтиленовые пакеты, доставляли в Иркутск, оттаивали и фильтровали.

По минеральным источникам использована авторская информация за 2008–2020 гг. и ранее опубликованные данные [22]. Соответственно по различным водным объектам отобрано и проанализировано различное количество проб воды. Данные о количестве отобранных проб воды приведены ниже (таблица).

Таблица 4 – Распределение концентраций селена (мкг/л) в водных объектах Байкальской экосистемы

Показатель	Скважины	Притоки	Холодные источники	Горячие источники	Байкал	Снеговая вода	Исток Ангары
Кол-во значений	22	147	10	26	129	36	153
Среднее	0,51	0,13	0,34	0,08	0,05	0,07	0,08
Максимум	3,08	2,88	1,75	0,37	0,28	0,16	0,51
Минимум	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01
Медиана	0,18	0,07	0,11	0,06	0,04	0,08	0,05

Химический анализ сопряженных в пространстве водных объектов Байкальской экосистемы проводился с использованием научного оборудования аккредитованного и сертифицированного аналитического центра «Изотопно-геохимические исследования» Института геохимии СО РАН. Селен и другие микроэлементы в воде определялись методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (MS-ICP) (ELEMENT 2, «Finnigan MAT», Германия).

2.2.3. Результаты и обсуждение

Концентрация селена в питьевых водах в Прибайкалье только в одном из общего числа обследованных источников (скважина) достигла оптимального значения и составила – 7,1 мкг/л. Этот источник расположен на удалении около 80 км на юго-запад от береговой части Байкала и приурочен к отложениям юрской угленосной толщи.

Рассмотрим особенности распределения Se в воде сопряженных в пространстве объектах Байкальской экосистемы.

2.2.3.1 Вода скважин

Концентрации селена определены в пробах воды скважин береговой части Байкала и на острове Ольхон (в некоторых дважды, в разное время года) (таблица 4). Максималь-

ное содержание Se установлено только в скважине на ю-з берегу Байкала в районе пос. Листвянка – до 3,08 мкг/л (рисунок 16).

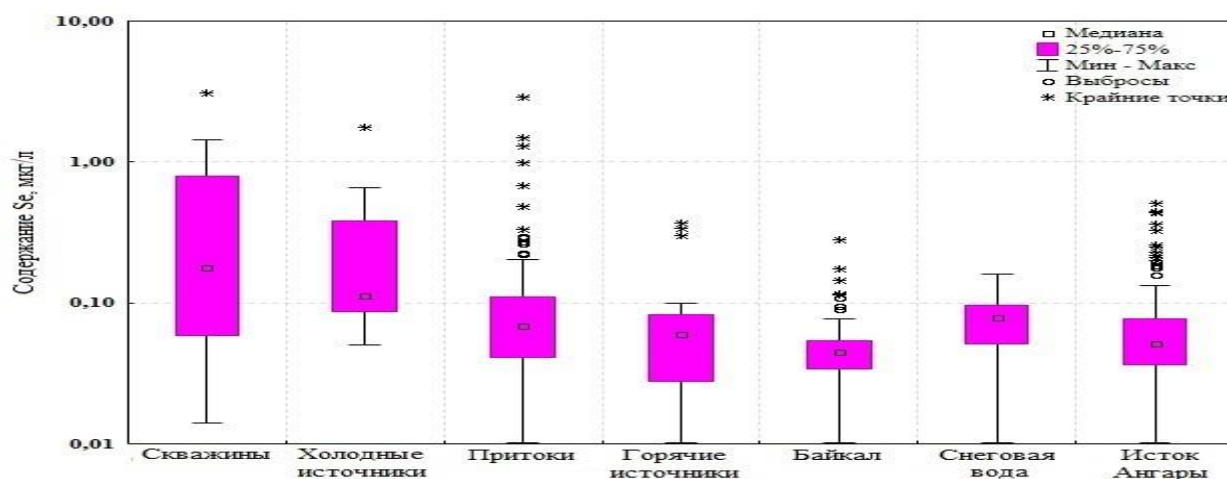


Рисунок 16 – Блок-диаграмма распределения концентраций селена в водных объектах Байкальской экосистемы

На о. Ольхон отбор воды из скважин глубиной 60–70 м проведен в разное время года 4 раза и показал следующие значения содержания Se – 1,4; 1,3; 0,9; 0,8 мкг/л. В воде двух скважин напротив о. Ольхон на берегу Байкала (район Ольхонских ворот) концентрации Se в воде составили 1,2 и 0,4 мкг/л. В остальных изученных скважинах вокруг Байкала и на некотором удалении от него содержания селена не превышало значения 0,6 мкг/л.

Известно, что главным источником поступления селена в природные объекты служат коренные породы – магматические, вулканогенные и осадочные, содержащие незначительные концентрации селена. Селен является халькофильным рассеянным элементом, входящим в состав сульфидных минералов. Сравнение геологического строения и геохимических особенностей вмещающих коренных пород береговой линии Байкала свидетельствует о заметных различиях: изученная вода из скважин и родников с повышенным содержанием селена приурочена к выходам гранитов, сиенитов на о. Ольхон и к области угольных прослоев в юрской угленосной толще ю-з побережья Байкала. В воде из скважины в районе Черемховского угольного бассейна в Прибайкалье содержание селена также повышено – 1,41 мкг/л.

На восточном берегу Байкала рядом с Бодонским месторождением бурого угля в поверхностной воде отмечалось повышение содержания селена. В районах угольных отвалов ТЭЦ Прибайкалья содержание селена в водных объектах также повышено. Рассчитанный коэффициент миграции Se из золоотвалов ТЭЦ Иркутской области, составляет 0,84. Таким образом, селен в данном случае относится к элементам с сильной водной ми-

грацией. Естественно, выщелачиваемый из золоотвалов многочисленных котельных и ТЭЦ, а также из пород, селен в Прибайкалье может поступать в поверхностные воды притоков Байкала, в Байкал и в р. Ангара.

2.2.3.2 Холодные источники

Содержание селена в воде холодных источников и родников вокруг Байкала находится в закономерно близких значениях к содержаниям его в воде скважин, что соответственно подчеркивает воздействие состава вмещающих их пород при выходе источника на поверхность. Повышенное содержание селена (1,75 мкг/л) отмечено только однажды в источнике (пос. Никола) недалеко от скважины в пос. Листвянка, где также была отмечена повышенная концентрация селена. Но повторный анализ воды этого источника позднее показывал содержания селена на порядок ниже. Разброс данных по концентрациям Se в холодных источниках более компактный, чем в скважинах и медианное значение ниже ~ в 2 раза (таблица).

2.2.3.3 Притоки

Определение селена проведено в воде в устьях почти 40 притоков вокруг Байкала. Отбор проб воды осуществлялся в течение последних 5 лет весной и осенью. Всего выполнено 147 анализов (таблица). Вода некоторых притоков была опробована 2–3 раза в разное время года. Относительно повышенные концентрации Se неоднократно (но не всегда) отмечены в нескольких притоках с западной стороны Байкала (реки Анга, Кучелга, Бугульдейка, ее приток Куртун, Голоустная) и с восточной стороны (реки Томпуда, Баргузин, Мишиха, Максимиха, Селенга, Солзан). Максимальная концентрация Se отмечена в воде устья р. Мишиха в восточной части Байкала осенью 2019 г. – 2,89 мкг/л. Объяснить такое резкое повышение селена, вероятно, можно не только дренированием вмещающих гранитоидных пород разного возраста, углеродсодержащих пород, но и заметным повышением уровня воды в реках юго-восточного берега Байкала за счет сильных дождей и схода селя в 2019 г.

Значительный вклад в формировании микроэлементного химического состава речной воды вносит процесс дренирования коренных пород. Коэффициент корреляции содержаний Se в воде и донных отложениях рек бассейна озера Байкал составляет 0,8, что свидетельствует о влиянии химического состава коренных пород, окружающих и контактирующих с речными водами в Прибайкалье. Концентрации многих микроэлементов в притоках в большинстве случаев повышены весной, в период таяния снегового покрова и

выноса органического вещества с водосборного бассейна Байкала. Возможно поэтому в весенний период в истоке Ангары иногда отмечаются повышенные содержания селена.

2.2.3.4 Горячие минеральные источники

Исследованные источники имеют высокую температуру ($> 40^0$) и относятся к азотному типу минеральных вод. Находки гейзеритов и травертинов в Ольхонском районе вблизи термальных источников позволили определить возраст гидротермальной активности – 20–24 тыс. лет. [31], которая продолжается до настоящего времени к востоку от Байкала. В большинстве горячих источников содержания селена $< 0,01$ мкг/л (рисунок 16). Содержания селена 1 мкг/л и более обнаружены только в некоторых источниках (Хакусы, Кулиные болота, Змеиный), что ниже, чем в воде скважин, притоков и холодных источников и не достигают оптимальных значений для человека 2,5–3,3 мкг/л, но содержат в необходимом количестве другой дефицитный для Прибайкалья элемент – фтор. Горячие источники широко используются для оздоровления местным населением и туристами.

2.2.3.5 Озеро Байкал

Вода анализировалась с 2011 по 2022 гг. на селен 129 раз в разное время года (таблица 4). Содержания Se в воде Байкала изменяются от менее 0,01 мкг/л (предел обнаружения метода) до 0,28 мкг/л. Среднее значение содержания селена и его медиана близки между собой и составляют 0,04–0,05 мкг/л, что свидетельствует о постоянно низкой концентрации Se в воде Байкала. Однако стоит отметить, что часто фиксировалось незначительное повышение концентраций селена в поверхностной воде озера Байкал по сравнению с глубинной водой. Исследователями химического состава прибрежной воды Байкала [32] было показано, что байкальская вода является «агрессивной» и способна выщелачивать многие элементы из различных пород в литоральной части Байкала в результате воздействия биохимических процессов, обусловленных жизнедеятельностью гидробионтов.

2.2.3.6 Снеговая вода

Зимой Байкал замерзает и покрыт снежным покровом, мощность которого может достигать 1 м и более. Снеговая вода и твердый осадок снега исследовался в Иркутске и других городах и сельских районах Южного Прибайкалья [33]. Полученные данные по распределению селена в снежном покрове показали значительное накопление многих элементов, в том числе и селена, в снеговой воде и твердом осадке снега вблизи нефтехимических, топливно-энергетических предприятий Прибайкалья и в районе закрытого в 2013 г. Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (гор. Байкальск). Точки отбора

снеговой воды с повышенным содержанием селена были отмечены в пос. Листвянка и в заливе Лиственничном ранее в 2016 г. [34] и подтверждены нашими данными в 2018–2020 гг. Содержания Se в снеговой воде пос. Листвянка были близкими в 2018–2020 гг. – от 0,01 до 0,16 мкг/л, среднее и медиана (0,07–0,08 мкг/л), что в 2 раза выше, чем в Байкале.

2.2.3.7 Исток р. Ангары

Вода в истоке Ангары не замерзает зимой, что объясняется большим напором и скоростью при выходе воды из Байкала с глубины около 400 м. Среднегодовая температура воды в истоке Ангары составляет около 4-6 °С. Ниже истока и далее по течению Ангара зимой замерзает. Начиная с 2006 г. в истоке проводится постоянный ежемесячный мониторинг воды на макро- и микроэлементный состав – 153 пробы. Содержания селена в истоке Ангары имеют большой разброс значений, фиксируется больше относительно повышенных значений, чем в воде Байкала (рисунок 17). Однако среднее значение и медиана, как и в воде Байкала, фактически близки между собой. Повышенное значение Se (0,51 мкг/л) отмечено осенью 2018 г. в период сильных дождей.

На территории гор. Иркутска в воде Ангары содержание селена изменяется от 0,03 до 0,14 мкг/л. Относительно повышенное значение Se в воде Ангары в городской черте отмечено после слияния ее с р. Иркут. В целом, содержание селена в водах рек, расположенных в городской черте, выше, чем в речных водах сельских районов, что связано с более значительной антропогенной нагрузкой на водные объекты. В водных пробах, отобранных вблизи населенных пунктов, как правило, обнаруживаются значимые концентрации этого элемента, что подтверждает ведущую роль техногенных источников поступления селена в окружающую среду Прибайкалья.

Возможно, что более частые, но незначительные повышения концентраций селена в истоке Ангары объясняются антропогенным воздействием – приуроченностью к истоку Ангары жилого пос. Листвянка с печным отоплением, котельными, большим потоком туристов (более 2 млн в год), количеством машин и водного транспорта. Однако есть еще один фактор, а именно, атмосферный ветровой перенос с близлежащих городов в зимний период, его последующего таяния в южной части Байкала и поступления тающей массы снега в исток Ангары. Так, известно, что ветровой поток от промышленных городов Прибайкалья, в частности с Ново-Иркутской ТЭЦ направлен вдоль Ангары и достигает по долине Ангары южной части Байкала и истока Ангары.

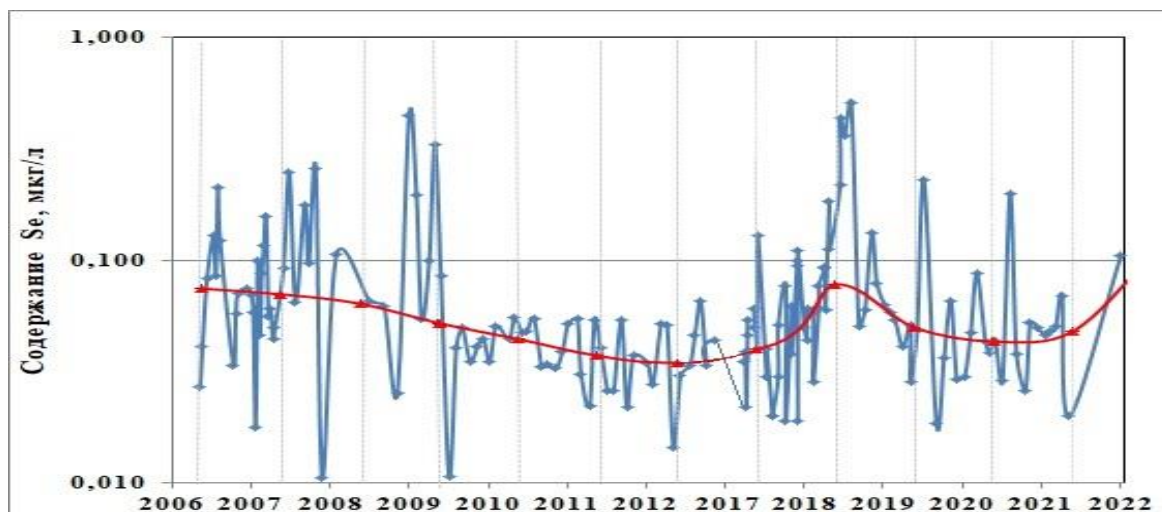


Рисунок 16 – Ежемесячное распределение селена (синие точки и линии) в воде истока Ангары в 2006–2022 гг. Годовые медианные содержания селена – (красные точки и линия). В 2013–2016 гг. – перерыв в опробовании

2.2.4 Выводы

Выполненный сравнительный анализ особенностей распределения концентраций селена в воде сопряженных компонентов Байкальской экосистемы показал его индикаторную роль для Байкальского региона, заключающуюся в дефиците его концентраций во всех водных компонентах окружающей среды Прибайкалья. Изменения концентраций селена в водных объектах Байкала происходит в пределах 0,01–3,1 мг/л, т.е., иногда достигается жизненно необходимые для человека значения (2,5–3,3 мг/л).

Показано влияние окружающих и вмещающих коренных пород на повышение содержания селена в воде скважин и холодных источников, расположенных в юрских угленосных породах, в субщелочных гранитоидах о. Ольхон.

Установлена возможность химического влияния снегового покрова и снеговой воды, поступившей в Байкал на воду истока р. Ангары, что доказывает повышение в воде истока концентраций Se, привнесенного снеговыми потоками с городских территорий Прибайкалья с нефтеперерабатывающих, угольных предприятий, а также за счет многочисленных котельных и ТЭЦ. Предполагается, что резко континентальный климат, повышенная сейсмичность, тектонические подвижки в Байкальской рифтовой зоне, особенности течения воды в Байкале способствуют глубинному обновлению воды и поддерживают ее постоянный геохимический состав и чистоту, несмотря на поступление техногенного селена с удаленных промышленных предприятий. Недостаток селена в байкальской воде жители региона могут компенсировать, используя известные в Прибайкалье и России, богатые селеном минеральные источники (Аршан, Жемчуг, Нилова Пустынь и др.).

3 Исследование влияния природных и антропогенных факторов на внутри- и межгодовую динамику концентраций гексахлорбензола и пентахлорбензола в атмосферном воздухе южного Прибайкалья

3.1 Введение

Гексахлорбензол и пентахлорбензол – высокотоксичные соединения, длительное время сохраняющиеся в окружающей среде и способные к локальному региональному и глобальному атмосферному транспорту. ГХБ входит в первый список (СОЗ) Стокгольмской конвенции 2001 года. ПеХБ был включен в число СОЗ позже [35]. В СССР ГХБ производился в Чапаевске [36]. ПеХБ в России не производили [37].

ГХБ и ПеХБ – целевые и побочные продукты хлорорганического синтеза, производства пестицидов (например, пентахлорнитробензола) и других промышленных производств, а также процессов горения, в том числе при сжигании твердых бытовых, медицинских, промышленных отходов, при сжигании органических топлив и т.д. ГХБ в составе с другими хлорорганическими пестицидами использовался для протравливания семян. Также ГХБ применяли в производстве пиротехнических изделий, поливинилхлорида и т.п. ПеХБ входил вместе с полихлорированными бифенилами в состав диэлектрических жидкостей для электротехнического оборудования [37, 38].

Исследования ГХБ в атмосферном воздухе Прибайкалья проводились в 2008–2017 гг. методом пассивного пробоотбора и с использованием газового хроматографа с детектором электронного захвата [39]. Было показано увеличение концентраций в воздухе ГХБ за период 2018–2017 гг. в отличие от остальных СОЗ, концентрации которых снижались. После приобретения в рамках нацпроекта по обновлению приборной базы научных институтов хромато-масс-спектрометра Хроматэк Кристалл 5000 в ИГХ СО РАН появилась возможность расширить число определяемых соединений, в том числе ПеХБ.

Исследования СОЗ, включая ГХБ и ПеХБ, в атмосферном воздухе также рекомендуется для мониторинга эффективности выполнения мероприятий по предотвращению неблагоприятного воздействия на здоровье человека и загрязнения окружающей среды в рамках Стокгольмской конвенции по СОЗ.

Цель работы: определить влияние природных и антропогенных факторов на внутри- и межгодовую динамику концентраций гексахлорбензола и пентахлорбензола в атмосферном воздухе южного Прибайкалья.

3.2 Материалы и методы

Исследования проводились с использованием метода пассивного воздушного пробоотбора. Пробоотборники устанавливались в жилой зоне гор. Иркутска (условно станция – город) и в пригороде в садоводстве в долине р. Олха (условно станция – пригород). Рас-

стояние между станциями около 20 км. Замена картриджей проводилась с периодичностью в среднем 62 дня. Всего на каждой станции с 2018 года было установлено по 41 картриджу, которые были рассмотрены в настоящей работе. Для контроля качества и коррекции полученных результатов были параллельно проанализированы 41 не экспонировавшихся картриджей (полевых бланка), которые подвергались такой же процедуре очистки, хранения, транспортировки и установки в пробоотборник (в пробоотборнике картриджи находились не более 2 минут), как и экспонировавшиеся картриджи. Коррекция по полевым бланкам проводилась для учета возможного загрязнения картриджей во время хранения, транспортировки и установки. Концентрации ГХБ и ПеХБ в полевых бланках не превышали 8-10% от полученных концентраций в экспонированных картриджах.

Анализ проб производился в ИГХ СО РАН и включал экстракцию в аппаратах Сокслетта метиленом хлористым в течение 8 ч, очистку с использованием гелипроникающей хроматографии (Bio-Beads S-X3) и Al-Si-колонки, доупаривание в токе азота. Анализ производился с использованием хромато-масс-спектрометра Хроматэк Кристалл 5000 оснащенного капиллярной колонкой Rxi-5ms (60 м × 0,25 мм × 0,25 мкм) (Restek). Расчет концентраций в воздухе производился с учетом температур в соответствующий период установки пробоотборника [40, 41]. Статистический анализ проводили с использованием программы Statistica 6.

3.3 Результаты и обсуждения

Концентрации ГХБ в 2018–2024 гг. значительно ниже, чем в 2009–2017 гг. как в городе, так и в пригороде Иркутска. Наибольшие концентрации ГХБ в воздухе найдены в марте–апреле 2021 г. (город – 170 пг/м³, пригород – 70 пг/м³). Наибольшие концентрации ПеХБ в городе отмечены в декабре 2019 – январе 2020 г. (110 пг/м³) и в октябре–ноябре 2020 г (80 пг/м³), а в пригороде – в декабре 2020 г. – январе 2021 г. (70 пг/м³). Все полученные концентрации ГХБ в воздухе городской и пригородной станции были значительно ниже существующих в РФ нормативов в атмосферном воздухе – ОБУВ ГХБ 0,013 мг/м³ [42]. ПеХБ в воздухе в РФ не нормируется в настоящее время. Если сравнивать с нормативами других стран, например Республики Беларусь (ОБУВ ПеХБ – 3 мкг/м³) [43], то полученные концентрации ПеХБ в воздухе также значительно ниже принятых в этой республике.

Средние концентрации ГХБ и ПеХБ в атмосферном воздухе (рисунок 17) на городской станции были выше ($p < 0,001$), чем в воздухе пригородной станции в 1,5 и 1,6 раз, соответственно, а концентрации ГХБ выше ПеХБ на обеих станциях - в 1,3 раза ($p < 0,01$).

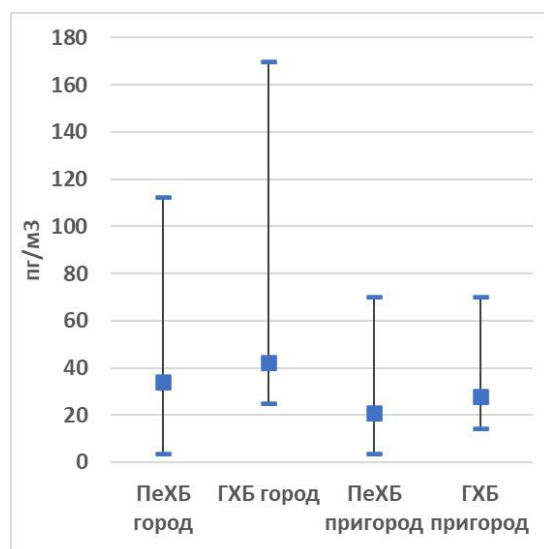


Рисунок 17 – Средние значения и размах концентрации ГХБ и ПеХБ в атмосферном воздухе на городской и пригородной станциях (пг/м³)

Концентрации ГХБ и ПеХБ в воздухе на городской и пригородной станции изменяются взаимосвязанно (рисунок 18).

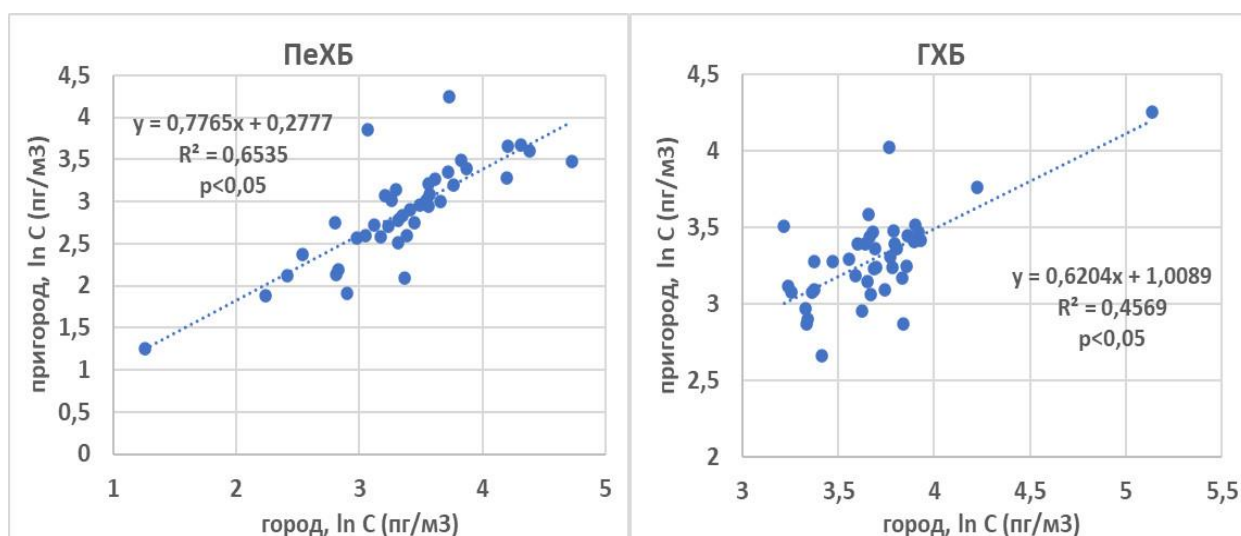


Рисунок 18 – Взаимосвязь распределения концентрации ГХБ и ПеХБ в атмосферном воздухе на городской и пригородной станциях (пг/м³)

Для ПеХБ характерна сезонная изменчивость (рисунок 19): концентрации ПеХБ в воздухе летом ниже, чем осенью–зимой. Согласно спектральному анализу Фурье, периодичность изменений концентраций ПеХБ составляет 6 периодов наблюдений (6 постановок пассивных воздушных пробоотборников по ~2 месяца), что соответствует 1 году. Получена также статистически достоверная отрицательная зависимость содержания ПеХБ со средней температурой воздуха соответствующего периода ($r = (-0,48) - (-0,49)$, $p < 0,01$). Для

ГХБ такая связь концентраций в воздухе с сезоном года и температурой воздуха менее выражена, хотя и отмечается некоторое повышение концентраций во время понижения температур осенью и в начале зимы. Это может объясняться функционированием источников ГХБ в течение всего года в отличие от источников ПеХБ, деятельность которых явно привязана к холодному сезону года, т.е. к отопительному сезону. Такими доминирующими источниками в холодный сезон года могут быть как домашние печи, так и котельные и ТЭЦ.

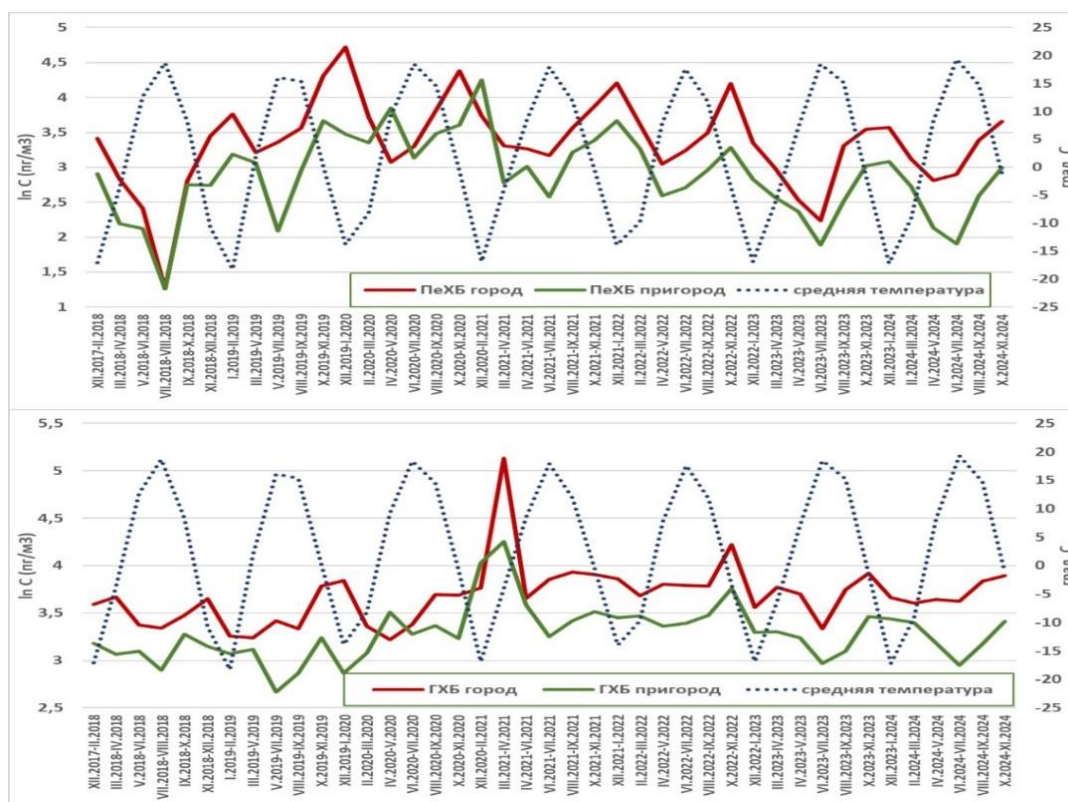


Рисунок 19 – Изменчивость концентраций ГХБ и ПеХБ в атмосферном воздухе на городской и пригородной станциях за 2018–2024 гг. ($\text{In C (нг/м}^3\text{)}$)

Учитывая обнаружение ранее повышенных концентраций ГХБ в объектах окружающей среды в Усольской промышленной зоне [44], а также известный ассортимент выпускаемой в прошлом хлорорганической продукции на «Усольехимпром» [45, 46], производство которой является потенциальным источником как ГХБ, так и ПеХБ [37], также вероятно поступление этих соединений с атмосферными выбросами в окружающую среду Прибайкалья, включая район исследования в гор. Иркутске и его пригороде в результате атмосферного переноса.

Это подтверждается нарушением четкой выраженности сезонности распределения и максимальными для данного исследования концентрациями в воздухе ПеХБ и ГХБ во второй половине 2020 г. – первой половине 2021 г., что соответствует началу проведения мероприятий по ликвидации накопленного экологического вреда на промплощадке «Усо-

льехимпрома». Статистически достоверное повышение концентраций рассматриваемых соединений найдено в 2021–2022 гг. по сравнению с 2018 г., с последующим снижением в 2023 г. по сравнению с 2021–2022 гг. ($p < 0.05$). Такое распределение по годам совпадает по времени с началом демонтажа производственных строений на промплощадке осенью 2021 г. [45]. Это привело к интенсификации осенью 2021 вторичного поступления/возгонки токсикантов в окружающую среду/атмосферу с последующим атмосферным переносом доминирующими северо-западными ветрами в район Иркутска, а также с проводимой с 2023 г. отсыпкой грунта на поверхности шламонакопителя [45], что должно предотвратить пыление и поступление токсикантов из шламонакопителя в воздух. Такой вывод подтверждается проведенными ранее исследованиями СОЗ в снеговом покрове [47], где было показано увеличение в 2021–2023 гг. концентраций низкохлорированных конгенов ПХБ в снеговом покрове на этих же станциях в г. Иркутске и пригороде.

Для подтверждения эффективности мероприятий, проводимых на промплощадке «Усольехимпром», для снижения концентраций в компонентах наземных экосистем необходимо продолжение рядов наблюдения СОЗ в атмосферном воздухе и снеговом покрове, а также определение современного содержания СОЗ в почвах и биоте в Усольской промышленной зоне и прилегающих к ней районах Прибайкалья.

Таким образом, в 2025 г. изучены особенности внутри- и межгодовой изменчивости гексахлорбензола (ГХБ) и пентахлорбензола (ПeХБ) в атмосферном воздухе в жилой зоне гор. Иркутска и его пригорода. Исследования выполнены на основе многолетних рядов наблюдения ГХБ и ПeХБ в атмосферном воздухе с использованием метода пассивного воздушного пробоотбора. Впервые получен ряд данных по содержанию в воздухе ПeХБ в Прибайкалье. Найденные концентрации ГХБ и ПeХБ в воздухе не превышают существующие нормативы. Концентрации ГХБ были выше, чем ПeХБ. Уровни ГХБ и ПeХБ выше в воздухе городской станции, чем в воздухе пригородной станции. Изменения концентраций во времени на обеих станциях происходят взаимосвязанно. Внутригодовая изменчивость концентраций ПeХБ и ГХБ связана с сезонным ходом температур воздуха: повышение в холодный период времени и снижение в теплый, что, предполагается, обусловлено работой предприятий теплоэнергетики в отопительный сезон. В полученном ряду наблюдений ГХБ и ПeХБ с 2018 г. по настоящее время отмечено повышение концентраций в 2020–2022 гг. относительно 2018–2019 гг. с последующим снижением в 2023–2024 гг., что может быть обусловлено вторичным поступлением в окружающую среду ГХБ и ПeХБ во время проведения мероприятий по ликвидации накопленного экологического вреда на промплощадке «Усольехимпром», начиная с осени 2020 г.

4 Исследование содержания стойких органических загрязнителей в главных притоках озера Байкал (реки Селенга, Верхняя Ангара, Баргузин, исток реки Ангара)

4.1 Введение

Значительное поступление СОЗ в озеро Байкал происходит за счет локального, регионального и межрегионального воздушного переносов. Площадь водосборного бассейна Байкала составляет 570 тыс. км², что почти в 20 раз больше площади его водного зеркала (31500 км²) [48]. В регионе до сих пор остается ряд источников, связанных, прежде всего, с процессами сжигания топлива, отходов различных производств и печей частного сектора, куда попадают современные синтетические материалы, неорганические вещества, способные при горении образовывать различные СОЗ [49]. В условиях умеренного климата СОЗ чаще всего осаждаются в пределах ближайших долин. СОЗ способны к повторным возгонкам в результате колебания температур [50]. Однако в большинстве своем, осаждаемые на почвы, смываются с них дождевыми водами в реки и с ними попадают в Байкал в растворенном состоянии или в сорбированном на терригенном материале в зависимости от физико-химических свойств самих СОЗ и условий среды.

Исследуя состав и количество СОЗ в водах больших и малых притоков, мы можем находить следы присутствия их источников в границах водосборных бассейнов притоков, что значительно упрощает их идентификацию. С другой стороны, зная концентрацию СОЗ в водах притоков, мы можем прогнозировать изменение содержания СОЗ в водоеме, куда стекают речные воды, и содержание токсикантов во всей трофической сети.

Цель настоящего исследования - на основе полученных данных оценить возможность дальнейшего снижения концентраций СОЗ в экосистеме озера.

4.2 Материалы и методы

В настоящем исследовании применена технология концентрирования СОЗ на активированном угле из больших объемов воды (до 210–300 литров), дальнейшая экстракция недоксиноподобных ПХБ и ХОП ацетоном и хлористым метиленом в течение 24 часов в аппаратах Сокслетта с очисткой от мешающих примесей [51]. Затем проведен анализ очищенной смеси на хромато-масс-спектрометрическом комплексе «Кристалл-5000» с моно квадрупольным масс-спектрометрическим детектором и 60-метровой колонкой RTX-5ms. Данная технология требует доработки в плане совершенствования технологии полного извлечения диоксиноподобных СОЗ с активированного угля, тем не менее, для скринингового анализа, где нет необходимости рассчитывать токсичность, может быть успешно использована.

Отбор проб воды из устьев притоков озера Байкал проводился летом 2024 и 2025 гг. – бралось от 90 до 300 литров в зависимости от загрязненности воды (Таблица 5).

Таблица 5 – Описание отобранных проб

№	Река	Объем фильтрованной воды	Дата отбора пробы
1	Водопроводная вода. Иркутск	335 л	19-21.07.2024
2	Тыя	90 л	12-13.07.2024
3	Верхняя Ангара	210 л	11-12.07.2024
4	Баргузин	210 л	25-26.06.2024
5	Селенга	210 л	1-2.07.2024
6	Ангара (исток)	140 л	8-9.08.2025
7	Снежная	210 л	14-15.08.2025
8	Половинная	210 л	9-10.09. 2025
9	Бугульдейка	300 л	29-30.07.2025

4.3 Результаты и их обсуждение

В водах притоков озера Байкал надежно определялись следующие ПХБ (по классификации ИЮПАК): ПХБ 8, ПХБ 31, ПХБ 28, ПХБ 52, ПХБ 49, ПХБ 47, ПХБ 44, ПХБ 74, ПХБ 91, ПХБ 97, ПХБ 85, ПХБ 110, ПХБ 149, ПХБ 118, ПХБ 153, ПХБ 132, ПХБ 138, ПХБ 128, ХОП (ПеХБ, ГХБ, α -ГХЦГ). Для количественного определения этих веществ и ХОП в наличии были стандарты от компании Dr. Ehrenstorfer (Augsburg (Германия)). ПХБ 118 и ПХБ 105 прочно сорбировались на активированном угле, полностью снять их за 24 часа не удалось. Результаты определения СОЗ в притоках озера приведены в таблице 6.

Такие СОЗ, как гептахлор (до 0,5 пг/л), о,п-ДДЭ (до 3 пг/л), диэлдрин (до 23 пг/л), о,п-ДДД (до 23 пг/л), эндрин (до 4 пг/л), п,п'-ДДД (до 4 пг/л), β -ГХЦГ (до 143 пг/л) встречались эпизодически. Алдрин, транс и цис-гептахлорэпоксиды, хлорданы, цис- и трансноахлоры в водах притоков имели соотношение сигнал/шум менее, чем 1/10, и в дальнейшем для расчетов не использовались. Эти же вещества в высших звеньях трофической сети Байкала и ранее обнаруживались в следовых количествах [51]. Полученные результаты показывают возросшее содержание ПХБ по сравнению с пестицидами в речных водах. В разы упало содержание п,п'-ДДТ. В выполненных ранее исследованиях (в печати) отмечаются тренды снижения многих СОЗ в биоте озера, и самое значительное падение приходится на соединения группы ДДТ. Таким образом, если раньше лидирующее значение в загрязнении биоты озера занимали пестициды и, прежде всего, п,п'-ДДТ,

то в ближайшие годы самыми массовыми загрязнителями станут ПХБ за счет значительно большего сокращения поступления соединений группы ДДТ.

Таблица 6 – Концентрация СОЗ в воде притоков озера Байкал и в гор. Иркутск (пг/л)

Река	Σ_{19} ПХБ	ПсХБ	ГХБ	α -ГХЦГ	п,п'-ДДТ	п,п'-ДДЭ
Иркутск (водопровод)	106	14	8	21	0,9	но
Тья	281	17	12	162	но	но
Верхняя Ангара	143	8	8	17	но	5
Баргузин	121	7	7	84	4	9
Селенга	129	10	8	47	2	5
Ангара	186	4	5	76	4	24
Снежная	104	7	6	108	4	26
Половинная	74	8	5	149	2	6
Бугульдейка	71	5	4	63	3	3

Примечание: но – не обнаружено.

В настоящее время из всех исследованных рек, только р. Тья является самой загрязненной по всем показателям кроме ДДТ и его производных. Причиной этого может быть влияние источников города Северобайкальск или иных локальных источников прямого сброса токсикантов в воды реки. Загрязненность ПХБ и ХОП р. Ангара частично обеспечивается исторически сложившимся содержанием СОЗ в самом озере. Воды р. Бугульдейки оказались самыми чистыми среди исследованных притоков озера.

Рассматривая вопрос изменения концентраций СОЗ во времени, следует отметить, что наиболее полными являются данные о содержании ПХБ в водах озера Байкал и его притоков (Таблица 7). Исходя из имеющихся данных, пока сложно сказать, происходит ли снижение концентраций ПХБ в водах озера и его притоков, как это наблюдается в жире большой голомянки [52]. Исследование, выполненное Лимнологическим институтом СО РАН в последние годы [53], показывает, насколько сложна водная среда для исследования СОЗ, насколько велики сезонные колебания содержания ПХБ в притоках озера. По этой причине исследование содержание СОЗ в воде Байкала и его притоков должно быть продолжено.

Таблица 7 – Содержание суммы ПХБ в водах озера Байкал и его притоков в разные периоды с 1985 по 2025 гг.

Год	Место отбора пробы	Месяц отбора	ΣПХБ (пг/л)	Ссылка
1985	Оз. Байкал	Не известно	2000000-5000000	[54]
1991	Южный Байкал	Июнь	900	[55]
1991	Селенга	Июнь	4000	[56]
1991	Ангара (Исток)	Июнь	2580	[56]
1992	В районе БЦБК	Май	590	[57]
1992	Селенга	Февраль	130000	[58]
1992	В районе БЦБК	Февраль-Март	100000-120000	[58]
1993	Южный Байкал	Август	1870	[59]
2009(10)	Селенга	Июнь-Август	3600	[60]
2013(14)	Северобайкальск	Июнь-Август	28000	[61]
2013(14)	Северный Байкал	Июнь-Август	1630	[61]
2013(14)	Селенга	Июнь-Август	4860	[61]
2013(14)	Южный Байкал	Июнь-Август	2600	[61]
2015	Исток Ангары	Июнь	535	[62]
2019	Южный Байкал	Сентябрь	7200	[53]
2019	Снежная	Сентябрь	200	[53]
2024	Южный Байкал	Сентябрь	3000	[63]
2024	Селенга	1-2.07.2024	129	Это исследование
2025	Исток Ангары	8-9.08.2025	186	Это исследование
2025	Снежная	14-15.08.2025	104	Это исследование

4.4 Выводы

Таким образом, в настоящее время самыми массовыми загрязнителями среди всех СОЗ, поступающими с атмосферным переносом в озеро Байкал, являются ПХБ. Концентрации СОЗ всех исследованных притоков, кроме р. Тья ниже, чем их значения в водах Байкала. Р. Тья является самой загрязненной из всех исследованных рек, и ее загрязнение не связано с воздушным переносом. Вероятно, это влияние сточных вод города Северобайкальск или иных локальных источников.

Следует ожидать в ближайшем будущем постепенного снижения содержания СОЗ во всей трофической сети, если не будут иметь место прямые сбросы СОЗ в воды озера. Контроль содержания СОЗ в водах максимального числа притоков следует продолжить. Это станет основой обнаружения наиболее значимых в регионе загрязнителей.

5 Природно-климатические условия формирования региональных экосистем в плейстоцене и голоцене

5.1 Комплексные петромагнитные исследования донных отложений оз. Ордынское

5.1.1 Введение

Палеоэкологические реконструкции высокого разрешения необходимы для понимания прошлых климатических и экологических изменений разного масштаба - от глобальных до субрегиональных. При этом важными носителями информации о природной среде прошлого являются, например, магнитные минералы из донных отложений озер. Методы и петромагнитного анализа озерных отложений широко используются во всем мире, поскольку представляют собой надежный подход в получении информации об условиях и особенностях седиментогенеза для реконструкции притока обломочного материала и аутигенных процессов в ответ на изменчивость климата изучаемого региона [64, 65]. Эти методы позволяют использовать различные параметры, полезные для оценки концентрации, магнитного состояния и размера зерен различных оксидов железа, чувствительных к осадочным процессам, управляемых транспортировкой материала и режимами его отложения, которые, в свою очередь, связаны с климатическими изменениями в бассейнах озер, самих озерных системах [64, 66]. Между тем для южной части Предбайкальского прогиба, территории между Лено-Ангарским плато и Приморским хребтом, существует ограниченное количество реконструкций природной среды голоцена. При этом все они основаны преимущественно на палинологических записях без использования результатов петромагнитного анализа.

Для обширной территории Ангарской степи и, особенно, Усть-Ордынского БО, отсутствуют детальные, с шагом в несколько десятилетий, реконструкции природной среды последних трех-двух тысячелетий. Поэтому, цель настоящего исследования – получить высокоразрешающую запись изменений природной среды в Ангарской степи за последние ~2800 лет из донных отложений оз. Ордынское.

5.1.2 Современные природные условия района исследования

Летом 2022 г. было отобрано два керн из оз. Ордынское, расположенного в междуречье рр. Ордушка и Ирсай, в 15 км к северо-востоку от пос. Усть-Ордынский (рисунок 20). Площадь водоема составляет 0,37 км² при глубине до 13 м, площадь водосбора – ок. 400 км². Берега озера, в основном, низкие, заболоченные, с востока и юга к водоему примыкает 5–7-метровой высоты террасовал. Озеро фиксирует локальный гидрографический узел с центростремительным рисунком водотоков и представляет собой типичное озеровидное расширение. На тектоническое происхождение котловины озера указывают и его аномальные глубины с резкими свалами при сравнительно малых, но близких к изометричным плановых размерах и наличие двух, разделенных перемычкой депоцентров, при отсутствии в бассейне водоема карстующихся пород. Постоянно в озеро впадает р. Ирсай. С севера к озеру подходит р. Ишин-Гол, которая ранее в него также впадала, о чем свидетельствует хорошо сохранившийся участок ее сухого брошенного русла, подходящий к вдающейся в оз. Ордынское клювовидной дельте (рисунок 20.3). При строительстве дамбы в районе истока озера был оборудован обводной канал, и вытекающая из озера р. Ордушка с перекрытием в устье р. Ишин-Гол, пущена по нему. Однако в большую воду река Ишин-Гол, по всей видимости, временно соединяется с оз. Ордынским, обеспечивая поддержку морфологической сохранности тальвега ее брошенного приустьевых участка.

По данным метеорологической станции в пос. Усть-Ордынский среднегодовая сумма атмосферных осадков в районе составляет 310 мм, средняя температура января - -25,1 °С, июля – 17,7 °С, а среднегодовая температура воздуха -1,1 °С [67]. В более широком географическом плане оз. Ордынское располагается на территории Ангарской степи, простирающейся к югу от г. Братска и на востоке примыкающей к оз. Байкал (Тажеранская степь). Ангарская степь известна богатой археологической летописью голоцена. Место же археологических памятников Кудинской долины в истории Предбайкалья считается неопределенным из-за малого объема проведенных полевых работ, большая часть результатов которых до сих пор не опубликована. Но именно в позднем голоцене здесь происходила смена культуры курыкан на культуру бурят.

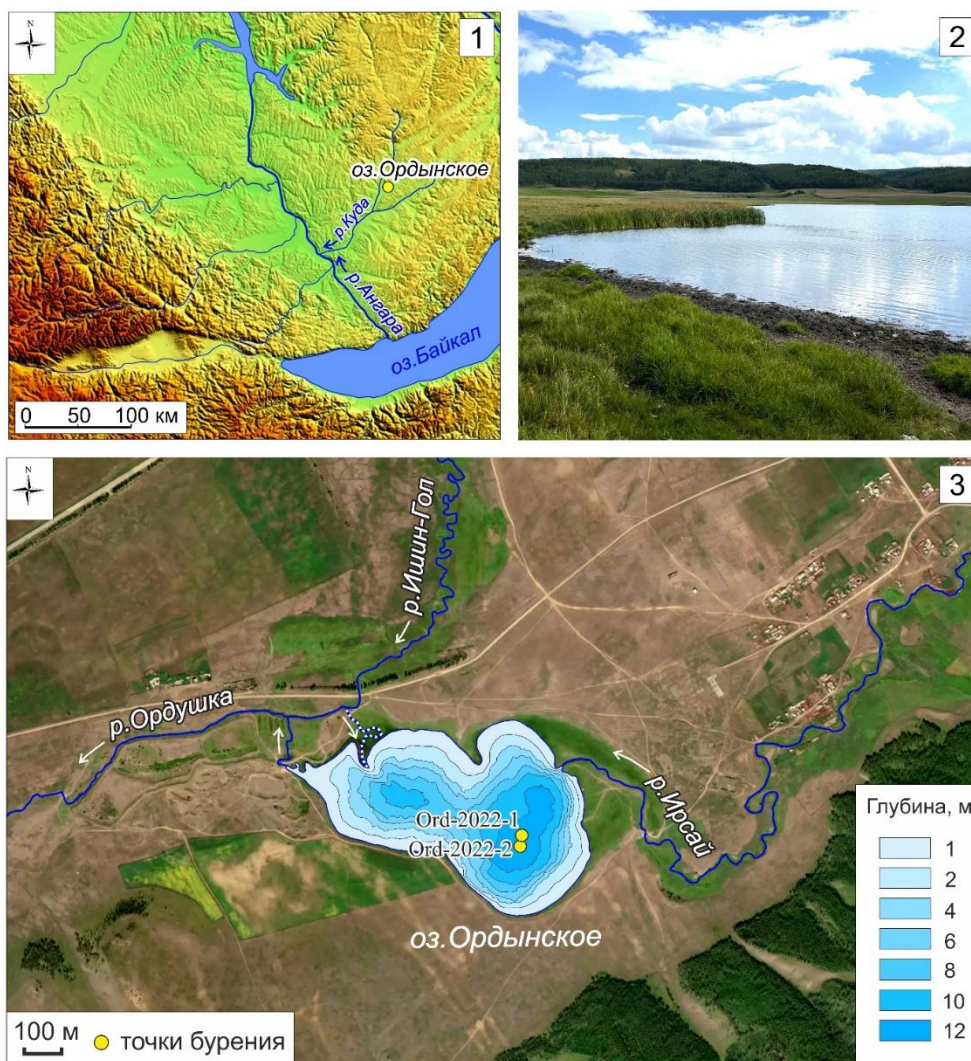


Рисунок 20 – Озеро Ордынское. 1) местоположение озера на гипсометрической карте; 2) фотография озера; 3) батиметрическая схема на спутниковом снимке, показана речная сеть, пунктирной линией обозначено бывшее устье р. Ишин-Гол

В настоящее время на территории Ангарской степи находятся основные сельскохозяйственные и животноводческие районы Иркутской области, в т.ч., Усть-Ордынского БО. Здесь преобладает лесостепная растительность, в составе которой степи чередуются с осиновыми, березовыми, сосновыми разнотравными лесами.

В растительности вокруг самого озера господствуют мелкозлаково-разнотравные степи. На части прибрежной зоны озера растительность вытоптана мелким и крупным рогатым скотом или нарушена отдыхающим на берегах озера местным населением и туристами. Субаквальная прибрежная часть береговой зоны оз. Ордынское в значительной степени заросла рогозом.

5.1.3 Материалы и методы

Донные отложения оз. Ордынское были опробованы в 2022 году с использованием гравитационного керноотборного устройства UWITEC (Австрия) с ПВХ трубками диаметром 63 мм. Глубина воды в точке опробования составила 13 м. Длина полученных кернов оказалась 135 см (кern Ord-2022-1) и 165 см (кern Ord-2022-2). Образцы для исследований отбирались в пластиковые кубики сплошным отбором с шагом 2,15 см (63 образца).

Магнитная восприимчивость отложений образцов измерена на каппаметре KLY-3 (Agico) в ИЗК СО РАН; идеальная остаточная намагниченность – на спин-магнитометре JR-6 (Agico) в ИГХ СО РАН с применением установки для размагничивания в переменном магнитном поле и намагничивания в магнитном поле Земли при величине переменного магнитного поля 10 мТл. Остаточная намагниченность насыщения измерена на коэрцитивном спектрометре J_meter (Россия) в Казанском федеральном университете. По результатам было рассчитано межпараметрическое отношение ARM/SIRM и построена диаграмма Дзя-Данлопа для оценки типа доменной структуры носителей магнитного сигнала. Для определения магнитных минералов, вносящих вклад в ферромагнитные характеристики осадка, было отобрано 5 образцов с максимальными значениями MS с глубины 18, 46, 72, 117 и 135 см. Термомагнитный анализ указанных образцов осуществлялся в КФУ на авторегистрирующих крутильных магнитных весах.

Гранулометрические исследования выполнены с использованием навески массой ~0,5 г сухого вещества. Органическое вещество выжигалось 10%-м раствором пероксида водорода (H_2O_2) в пробирках, помещенных в шейкер. После этого пробы в пробирках центрифугировались 15 мин на скорости 3000 об/мин, затем пероксид водорода удалялся, вместо него добавлялась дистиллированная вода, и процесс повторялся. Затем образцы высушивались при температуре 105 °С.

Для каждого сантиметра отложений в керне Ord-2022-2 была измерена магнитная восприимчивость устройством ПИМВ (портативный измеритель магнитной восприимчивости) и определены влажность, плотность сухого вещества отложений и содержание биогенного кремнезема ($SiO_{2\text{био}}$) с применением стандартных методов.

Измерения активности изотопов Cs-137 и Pb-210 в верхних 15 см отложений в керне выполнены в Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН. С использованием результатов измерения активности Cs-137 и Pb-210 была рассчитана средняя скорость поступления сухого вещества, равная 22,69 г/см³. Далее, приняв допущение, что эта величина постоянна для всего разреза, и, зная значения ПСВ для каждого сантиметра в керне, мы рассчитали время аккумуляции каждого сантиметра по формуле: ((ПСВ,

г/см³)*(объем каждого образца, см³)*(скорость поступления сухого вещества, лет/г)). Затем, суммируя значения возраста каждого сантиметра, рассчитали возрастную модель. Для выделения значимых изменений в измеренных параметрах отложений в обоих кернх применен стратиграфически ограниченный кластерный анализ CONISS. Корреляция отложений в кернх и границ выделенных интервалов проведены на основе схожести кривых MS в отложениях обоих кернов и сопоставления тёмных прослоев (см. ниже рисунок 21).

5.1.4 Результаты

Верхние 24 см в обоих кернх состоят из темно-серых озерных иловатых глин с редкими прослойками серых/серовато-коричневых отложений (рисунок 21). Верхний слой имеет самую высокую влажность с тенденцией к повышению и самую низкую магнитную восприимчивость. Результаты гранулометрического анализа показали, что темно-серые отложения сложены пелитовой фракцией с частицами мельче 0,01 мм. Серые/серовато-коричневые прослойки отложений соответствуют алевритовой фракции (0,01-0,1 мм.).

Для керна Ord-2022-1 CONISS выделил три интервала глубин (рисунок 21). Отложения в интервале 135–83 см от верха керна представлены чередованием слоев пелитовой и алевритовой фракций с повышающимся значением пелитовой. Значения MS, ARM и SIRM в интервале 135–83 см изменяются синхронно. Содержание общего органического вещества и медианный размер осадка снижаются к верхней части интервала.

Интервал 82–25 см от поверхности керна начинается с резкого снижения всех измеренных показателей, кроме органического вещества и пелитовой фракции. Значения двух последних несколько повышаются. Выше 78 см все значения резко повышаются, но к вершине интервала происходит снижение MS, ARM, SIRM, OB. Показатели медианного размера минеральных зерен, содержания пелитовой и алевритовой фракций изменяются незначительно.

В отложениях интервала 23–1 см резко снижаются значения MS, ARM, SIRM. В верхних 5 см отложений существенно повышаются значения OB, медианный размер зерен, содержания алевритовой фракции при резком снижении пелитовой.

Согласно диаграмме Дзя-Данлопа (рисунок 22), большая часть образцов локализуется в псевдоодноименной области, указывая на практически неизменный источник поступления осадочного материала. Исключением являются образцы интервала 23–1 см (красные символы) и интервала 81–78 см (сиреневые символы), расположенные в области, указывающей на суперпарамагнитное состояние. При этом образцы с 18 и 20 см (зелёные

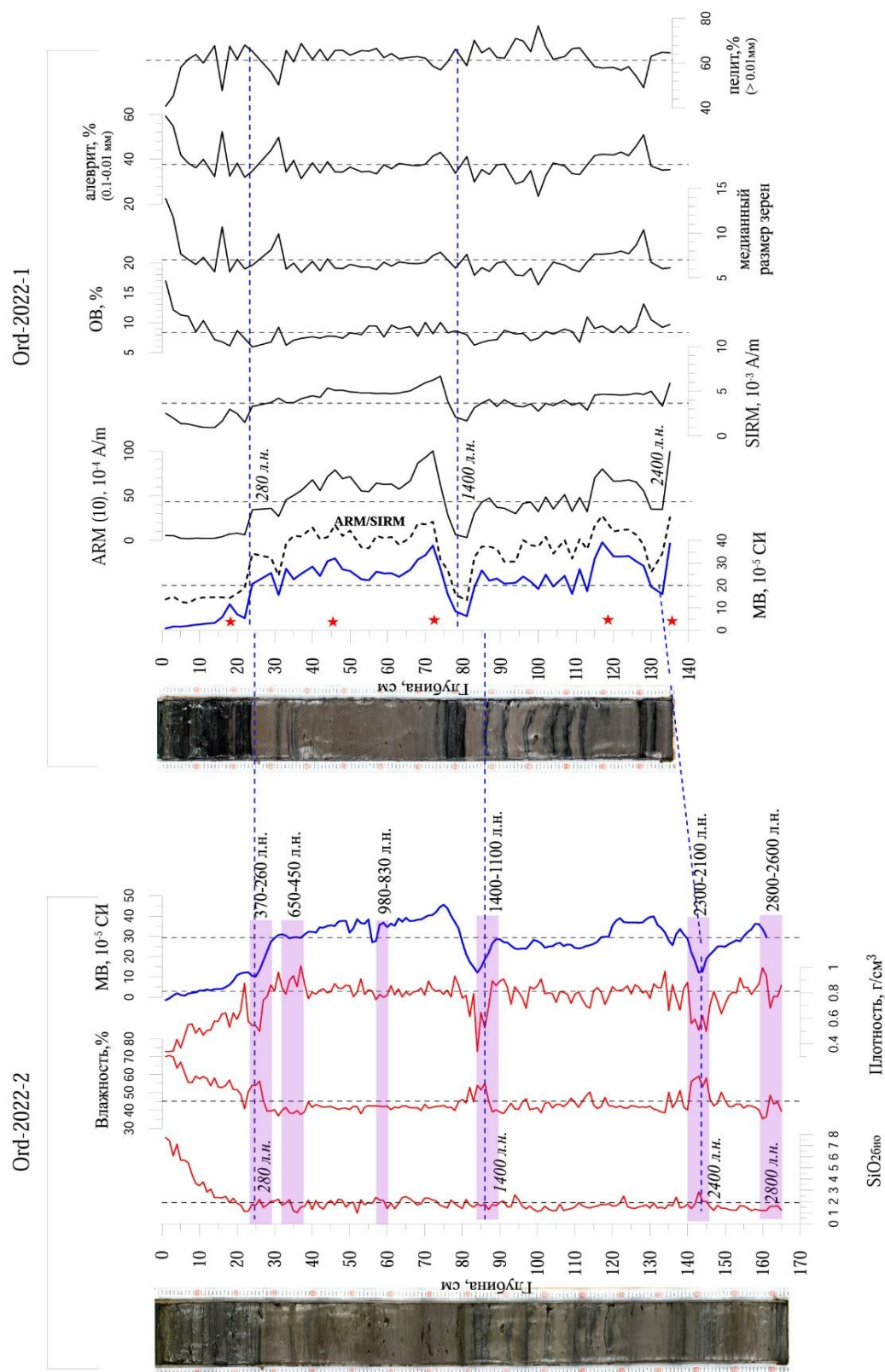


Рисунок 21 – Результаты измерений петромагнитных и физических параметров, а также биогенного кремнезёма в отложениях кернов Ord-2022-1 и Ord-2022-2, а также их корреляция друг с другом. Обычным шрифтом отмечены известные периоды похолодания, курсивом – расчётные значения возраста отложений. Звёздочками обозначены места взятия образцов на терромагнитный анализ

символы) расположены в псевдоодноменной области. Вариативность магнитных компонент по разрезу говорит об изменяющихся условиях во время осадконакопления.

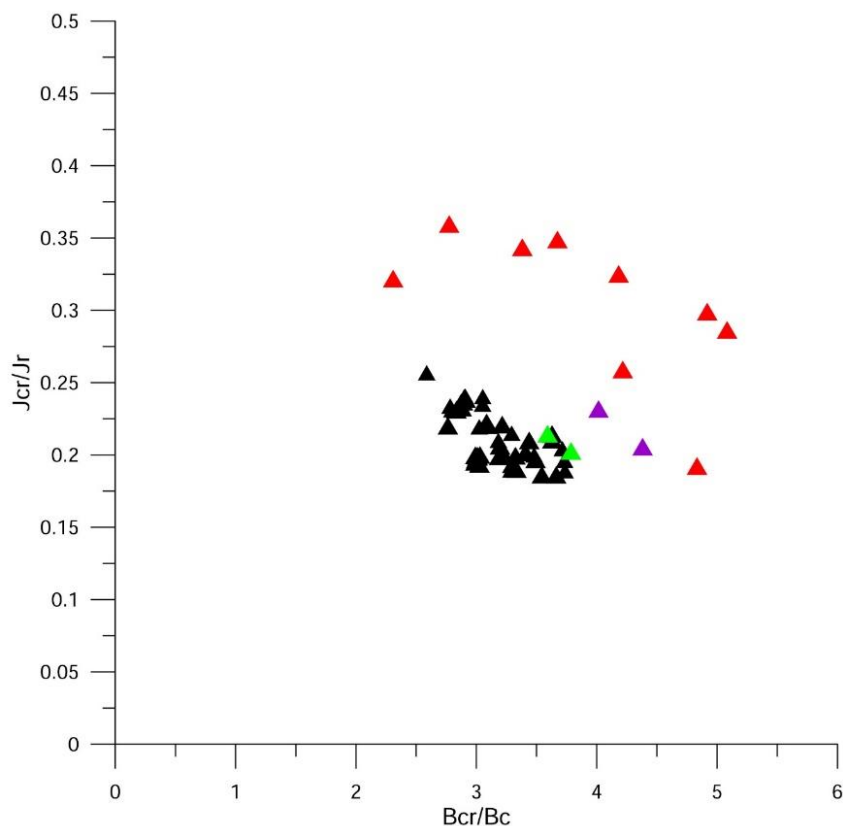


Рисунок 22 – Диаграмма Дя-Данлопа для образцов скважины Ord-2022-1. Цветными треугольниками выделены образцы с отдельных интервалов (см. текст)

Типичный результат термомагнитного анализа образца, отобранного с глубины разреза 46 см (рисунок 23) показал, что резкий рост намагниченности при температуре 500 °С связан с образованием магнетита из сульфидов железа.

Для керна Ord-2022-2 выделено четыре интервала (рисунок 21). В основании разреза, в самом нижнем интервале 163–145 см, в серых и коричневых алевроитах происходит резкое снижение, а затем - повышение влажности отложений, сопровождаемое снижением их плотности и MS. В слое темно-серых илов на глубине 145-141 см происходит кратковременное повышение концентрации $\text{SiO}_{2\text{био}}$ и влажности, сопровождаемое снижением значением плотности и MS. Минимум MS в отложениях керна Ord-2022-2 на глубине 144 см соответствует таковому в керне Ord-2022-1 на глубине 132 см (рисунок 21).

Следующий интервал, 145–85 см, начинается с резкого повышения влажности и снижения плотности отложений. Однако уже с глубины 135 см значения влажности снова снижаются, оставаясь низкими до верхней границы интервала. Значения $\text{SiO}_{2\text{био}}$ на протяжении всего интервала изменяются очень слабо. Величины MS увеличиваются в интерва-

ле глубин со 145 до 120 см, показывая максимум для этой зоны, затем снижаются, достигая минимума в слое темных илов на глубине 85–84 см.

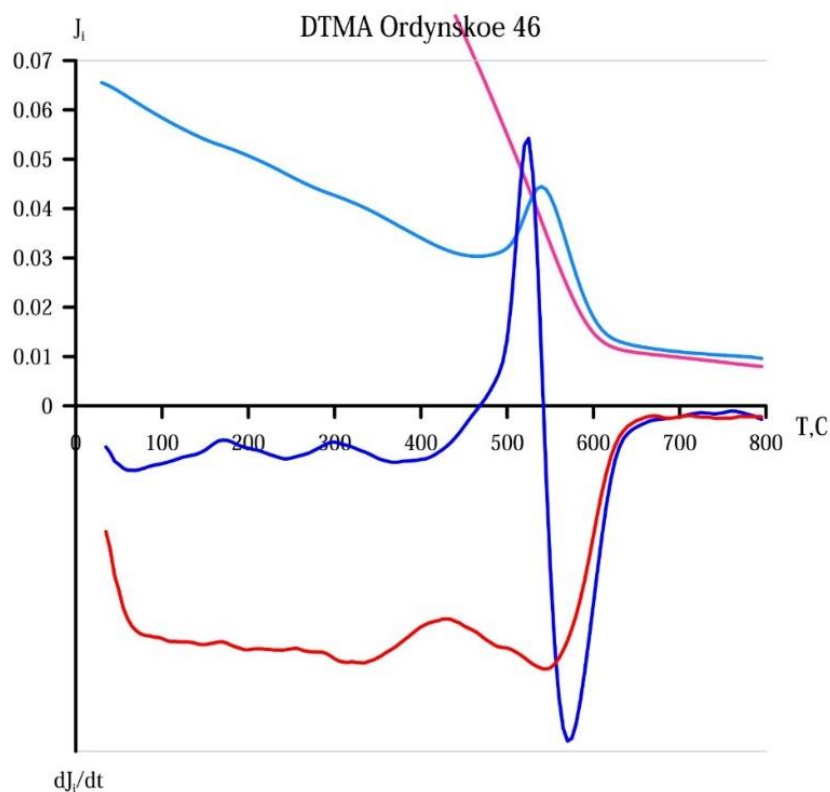


Рисунок 23 – Результаты термомагнитного анализа для образца с глубины 46 см из скважины Ord-2022-1. Синим оттенком показаны первые кривые размагничивания, красным – вторые

В отложениях начала интервала 85–26 см резко повышаются значения влажности при сопутствующем снижении их плотности и MS. Однако уже с глубины 82 см снова происходит повышение плотности и MS и снижение влажности отложений при почти неизменной концентрации $\text{SiO}_{2\text{био}}$.

Интервал 26–0 см начинается с резкого повышения влажности и снижения плотности и MS в отложениях на глубине 26–23 см. Эти значения меняют направления на обратные в интервале 22–21 см. Затем, в верхних 20 см происходит значительное изменение всех характеристик. Причем, если значения $\text{SiO}_{2\text{био}}$ и влажности значительно повысились к вершине интервала, то значения плотности и MS снизились.

Рассчитанные возрастные модели и интервал опробования позволяют предположить, что среднее временное разрешение записи изменения природной среды из керна Ord-2022-2 составляет 17 лет, а из керна Ord-2022-1 – 40 лет.

5.1.5 Обсуждение

Результаты исследования донных отложений оз. Ордынское показывают, что низкое содержание в них ОВ и $\text{SiO}_{2\text{био}}$ (рисунок 21) не подразумевает разбавления MS этими компонентами. Мы также определили, что основными носителями магнитного сигнала является образующийся из сульфидов железа магнетит. С другой стороны, магнетит в отложениях озера находится в псевдооднодоменном состоянии, с размером частиц <100 нм, что может означать его преимущественно бактериальное происхождение. Кроме того, если источники сноса в озеро неизменны, гранулометрический состав отложений будет важным фактором, влияющим на их магнитные свойства. Для оз. Ордынское преобладающие в его отложениях псевдооднодоменные ферромагнитные минералы указывают как раз на стабильный источник поступления осадочного материала. И это вполне объяснимо, если учесть, что в озеро минеральная фракция попадает с водами небольших рек Ирсай-Гол и Ишин-Гол (последняя прекратила основной принос после строительства дамбы в 1980-е гг.), с атмосферными осадками, золовым переносом. К тому же слабо меняющиеся содержания господствующих пелитовой и алевроитовой фракции также свидетельствуют о относительно стабильных источниках поставляемого озеру материала и равномерных скоростях седиментации.

Комплекс же всех полученных нами результатов предполагает, что в интервале времени от ~ 2800 до ~ 2400 л.н. (Ord-2022-2) система озера была низкопродуктивной. Низкие концентрации $\text{SiO}_{2\text{био}}$ означали незначительное содержание в воде растворенной кремнекислоты, фосфатов и нитратов, особенно необходимых для диатомовых водорослей, и, возможно, значительный привнос мелких минеральных примесей, лимитировавших освещенность [68]. Постепенно снижающееся поступление в озеро минерального вещества следует из снижения плотности (рисунок 21), а тренд значений MS свидетельствуют о снижении концентрации мелких ферромагнитных минералов. Это свидетельствует об относительно спокойной гидродинамике озерной системы.

Около 2400 л.н. привнос в озеро минеральных примесей был очень низким, приводивший к наступлению благоприятных условий для небольшого повышения продуктивности озерной системы, что поддерживается несколько повышенными значениями $\text{SiO}_{2\text{био}}$ в записи Ord-2022-2 и ОВ – в Ord-2022-1 (рисунок 21). Кратковременная смена гидрологических условий около 2400 л.н. на более спокойные предполагается и аккумуляцией пелитовой фракции, минимумами MS, ARM, SIRM в записях обоих кернов.

Позднее, повышение значений MS, ARM, SIRM, алевроитовой фракции предполагает повышение концентраций магнитных минералов при постоянно низкой продуктивно-

сти. Однако ок. 2000–1400 л.н. приток минерального вещества в озеро сокращался, возможно, из-за ослабления гидродинамики в оз. Ордынское.

Новое кратковременное изменение условий седиментации в озере, сопровождавшееся произошло ~ 1400 л.н. Реконструкции предполагают в это время еще большее затухание гидродинамики в оз. Ордынское. Позднее ~ 1400 л.н. повышающиеся значения MS, ARM, SIRM с господством в них псевдооднородных ферромагнитных минералов предполагают преимущественно бактериальное происхождение магнитного сигнала. Позднее ~1200 л.н. (75 см от поверхности керна) эта тенденция постепенно снижается и достигает минимума ~ 300–260 л.н. В интервале времени ~300–260 л.н. начинается значительное повышение продуктивности озерной системы, что нашло выражение в аккумуляции темно-серых тонких илов, почти 4-х кратном возрастании значений $\text{SiO}_{2\text{био}}$, ОБ. Вероятно, все эти причины приводили к разбавлению магнитного сигнала, особенно в последние десятилетия, когда усилившиеся процессы эвтрофикации водоема из-за повышенного антропогенного воздействия на озерную экосистему привели к кратному росту содержания ОБ в водоеме. В то же время магнитные и гранулометрические параметры свидетельствуют о некотором снижении уровня озера.

На рисунке 21 видна цикличность изменения характеристик донных отложений оз. Ордынское. Первый цикл начинается ок. 2800 л.н. с высокого поступления терригенной фракции, возможно, в условиях повышенного количества атмосферных осадков. Это приводило к возрастанию эрозионной и транспортирующей способности водотоков, поставлявших в озеро большие объемы минеральных, в том числе магнитных частиц. Позднее 2800 л.н. наступил интервал снижения поступающей в озеро минеральной фракции. Это согласуется с реконструкциями для Приольхонья, согласно которым [69] изменения регионального климата 2,75–2,48 тыс.л.н. были как раз и связаны с понижением среднегодовой суммы атмосферных осадков и некоторым потеплением. Значения MS и SIRM снижаются до минимума ок. 2400 л.н. из-за ослабления эрозионной и транспортирующей способности водотоков, вероятно, вследствие усиления аридности климата. Следующий цикл высокого поступления в озеро терригенного материала начинается ок. 2450 л.н. и сходит к минимуму ок. 1400 л.н. Позднее 1280 л.н. начинается третий реконструированный цикл повышенного привноса в отложения оз. Ордынское терригенной фракции. Позднее минимума, имевшего место ок. 300–260 л.н. этот цикл не завершился, и до настоящего времени повышенное поступление в озеро терригенного материала продолжает сокращаться. Одной из причин повышенной продуктивности системы оз. Ордынское в последнее столетие могло стать динамичное социально-экономическое развитие Эхирит-Булагатского аймака

с 1918 года с административным центром в пос. Усть-Ордынский, население которого занималось сельскохозяйственной деятельностью, прежде всего животноводством.

При ограниченном наборе петромагнитных и иных характеристик отложений оз. Ордынское, мы также попытались оценить возможность растворения магнитных минералов следующим образом. Процесс разбавления MS биогенным кремнеземом или органическим веществом в случае с оз. Ордынское не может иметь важного значения из-за низких содержаний $\text{SiO}_{2\text{био}}$, и ОВ за исключением последних $\sim 100\text{--}150$ лет (рисунок 21). Низкие значения MS в конце каждого цикла могли бы быть и результатом растворения магнитных минералов в бескислородных условиях из-за длительного ледового покрова [70]. В настоящее время такой сценарий для оз. Ордынское маловероятен, поскольку озеро полгода свободно ото льда. К тому же почти абсолютное преобладание в отложениях тонких фракций (рисунок 21) подразумевает относительно слабый гидродинамический режим впадающих рек и/или постоянно высокий уровень воды в озере, неблагоприятный для ее перемешивания. Тогда, возможно, что завершение каждого из трех реконструированных циклов гидродинамического режима озера (ок. 2800, 1400 и 280 л.н.) происходило при возникновении бескислородных условий на границе вода-дно, приводивших к растворению магнетита (низкой MS). Почему возникали такие условия?

Несмотря на расчетный характер возрастной модели для оз. Ордынское, мы, тем не менее, попробовали соотнести три выделенных интервала резкого изменения параметров озерных отложений (рисунок 21) с известными событиями похолодания северного полушария и Восточной Сибири для лучшего понимания причин реконструированных нами изменений экосистемы оз. Ордынское.

Так, для последних трех тысяч лет в северном полушарии выделяются шесть заметных интервалов похолоданий столетнего масштаба [71], на протяжении которых реконструированные отклонения температуры воздуха во внетропической зоне полушария от их среднегодовых значений достигали $0,6\text{--}0,8$ °C, особенно в малый ледниковый период. Мы показали интервалы этих похолоданий на рисунке 21 (горизонтальные лиловые прямоугольники). Из рисунка видно, что в записях из кернов Ord-2022-1 и Ord-2022-2 в эти интервалы происходила аккумуляция темно-серых слоев с господством пелитовой фракции и, соответственно, минимумы значений MS, ARM, SIRM. Такое видимое совпадение изменения характеристик донных отложений оз. Ордынское с кратковременными похолоданиями климата может предполагать удлинение времени ледового покрова на оз. Ордынское, формирование бескислородных условий на границе вода-дно, приводивших к растворению магнитных минералов. Учитывая глубоко внутриконтинентальное положение озера в межгорном понижении, следует допустить возможность того, что интервалы

похолоданий были аридными, что приводило еще и маловодности рек и к снижению приносимых ими в озеро минеральных отложений. По крайней мере, менее детальная запись природной среды последних 3000 лет из оз. Очаул [72], свидетельствует о некотором повышении роли тундровой и степной растительности в вышеуказанные интервалы, поддерживая наши выводы. Формирование относительно продуктивной системы оз. Очаул произошло, как и в оз. Ордынское, лишь в последние 250–200 лет, скорее всего из-за возросшего на нее влияния человека. После завершения вековых похолоданий и сокращения времени ледового покрова на озере в него начинал поступать повышенный объем минеральной фракции и, соответственно, магнитных зерен.

Высокоразрешающие, комплексные реконструкции для Приольхонья [69] также указывают на похолодания регионального климата ок. 2750–2480, 2100–1900, 780–450 л.н. и его потепление, особенно, зимой, начиная с 1845 года. Небольшие сдвиги по времени (100–90 лет) между событиями в региональных и глобальных записях могут быть отнесены к некоторым неопределенностям возрастных моделей записей.

В целом, результаты термомагнитного анализа отложений в керне Ord-2022-1 (рис. 21, красные звездочки) показали, что основными носителями магнитного сигнала в донных отложениях озера является магнетит, скорее всего, смешанной биогенно-терригенной природы.

5.1.6 Заключение

Получена первая запись петромагнитных параметров пойменного озера Ордынское, отражающая условия осадконакопления в позднем голоцене, контролируемые, главным образом, климатом. Основным носителем магнитного сигнала в донных отложениях озера был магнетит смешанной природы. Вариации палео- и петромагнитных характеристик, влажности, плотности отложений свидетельствуют о циклично изменяющихся условиях гидроклимата бассейна озера в интервале ок. 2800–280 л.н., прерывавшемся кратковременными интервалами его резких изменений ок. 2800, 1400 и 280 л.н. Установлена связь магнитных и гранулометрических характеристик озерных осадков, при которой пелитовые размерности имеют пониженные значения MS, ARM, SIRM по сравнению с алевритовыми отложениями. Показано, что низкие содержания общего органического вещества и биогенного кремнезема не приводили к разбавлению магнитных минералов за исключением последних примерно 280 лет. Антропогенное влияние на геосистему оз. Ордынского стало заметным, начиная с 300–280 л.н., но особенно ярко проявилось в последнее столетие и было связано с развитием сельскохозяйственной деятельности населения Усть-Ордынского БО.

Хорошее временное совпадение реконструированных изменений климата средней части Предбайкальского прогиба с таковыми из северной его части, а также с серией глобально проявившихся кратковременных похолоданий позднего голоцена подтверждает адекватность возрастной модели донных отложений в керне Ord-2022-2, а подобие кривых MS в отложениях обоих кернов стало основой корреляция их отложений.

Таким образом, вариации магнитных параметров в донных отложениях оз. Ордынское могут рассматриваться как надежные показатели изменения как местных, так и региональных палеоэкологических условий, связанных с изменениями глобального климата и деятельностью человека в изучаемом районе.

5.2 Геохронология, стратиграфия и условия формирования отложений опорного разреза многослойной стоянки Игетей (нижний-верхний палеолит, Предбайкалье).

5.2.1 Введение

Игетей считается одним из ключевых геоархеологических объектов юга Восточной Сибири и важнейшим опорным разрезом континентальных отложений верхнего кайнозоя Байкальского региона. В него входит комплекс палеолитических местонахождений с содержанием разновозрастного археологического материала (от раннего до позднего палеолита). В разрезе выделялась среднеплейстоценовая толща возрастом до 300 тыс. лет (МИС 9 – МИС 6) и все стратиграфические подразделения верхнего плейстоцена (МИС 5 – МИС 2), а также голоцен (МИС 1). Геохронологические исследования на Игетее ранее проводились ^{14}C жидкостно-сцинтилляционным методом в отношении культуросодержащих горизонтов кровли разреза (МИС 3–2); подстилающие образования до последнего времени не были обеспечены определениями возраста. Более 30 лет на разрезе Игетей работы не проводились и полученные ранее данные требовали актуализации и дополнения с использованием современных методов исследования. В 2023-2025 гг. нами были проведены ревизионные мультидисциплинарные (геохронологические, петро- и палеомагнитные, изотопные и геохимические, литолого-минералогические и палеонтологические) работы на разрезе Игетей. Целью настоящих исследований было уточнение и детализация имеющихся сведений о геохронологии многослойной стоянки Игетей и строении разреза с реконструкцией обстановок и условий осадконакопления.

5.2.2 Материалы и методы

Раскопки на археологической стоянке Игетей проводились двумя ступенчатыми врезками в абразионном уступе Осинского залива Братского водохранилища. Датирование отобранных из отложений разреза 7 образцов проводилось в лаборатории геохронологии четвертичного периода "GeoAge" Таллиннского технологического университета. Петромагнитные исследования 240 образцов, отобранных с интервалом 10 см, выполнялись в лаборатории палеомагнетизма ГИН РАН. Величина объемной магнитной восприимчивости и ее анизотропия измерялись на каппа-мосте MFK-1 (AGICO, Чехия), а их интерпретация выполнена с помощью программного комплекса Anisoft-5.1.08 (Agico, Чехия). Все параметры магнитного гистерезиса получены с помощью коэрцитивного спектрометра J_meter.

Гранулометрические исследования мелкозернистых фракций (<1000 мкм) отложений (200 образцов) были выполнены в лаборатории палеомагнетизма ГИН РАН (Москва) на лазерном анализаторе размеров частиц Bettersizer S. Результаты получены в виде содержания 84 фракций (размером от 0,1055 до 948,05 мкм) в объемных процентах по каждому образцу.

Геохимические исследования (200 образцов) включали определение содержаний оксидов породообразующих элементов, редких и рассеянных элементов в породах, которое выполнено рентгенофлуоресцентным методом в ИГХ СО РАН. Определение потерь при прокаливании проводилось при 1000°C. Результаты анализа содержаний оксидов пересчитаны на прокаленную бескарбонатную навеску, а затем на молярную массу для расчета основных петрохимических параметров. Для общей характеристики отложений проведен анализ распределения по разрезу основных литохимических индикаторов интенсивности процессов выветривания и почвообразования (петрохимические модули: ГМ – гидролизатный, ТМ – титановый, НМ – натриевый, КМ – калиевый, ЩМ – щелочной, НКМ – нормированная щелочность, АМ – алюмокремниевый; коэффициента интенсивности химического выветривания CIA, индекса зрелости осадков ICV). Нормативный минеральный состав отложений определен с помощью алгоритма MINLITH [73].

Палеонтологический материал (малакофауна) был собран методом послойной промывки отложений разреза. Количество раковин моллюсков подсчитывали по методике В. Ложека. Всего определено 12646 раковин наземных и пресноводных моллюсков удовлетворительной сохранности. Для наземных моллюсков в ИГ УФИЦ РАН (гор. Уфа) были приведены параметры в соответствии с их современными экологическими предпочтениями по температуре воздуха, влажности и растительному покрову.

Для определения изотопного состава Sr отобраны раковины гастропод из семи интервалов с наиболее высоким содержанием ископаемых моллюсков. Определение изотопного состава Sr в карбонатных раковинах моллюсков выполнено с использованием предварительного выщелачивания, химическая обработка образцов, изотопный анализ и хемотратиграфическая интерпретация проведены согласно методике [74]. Изотопный состав Sr измерялся на многоколлекторном масс-спектрометре Triton TI (ИГГД РАН, г. Санкт-Петербург).

5.2.3 Результаты и их обсуждение

Разрез Игетей (рисунок 24) расположен на склоне долины р. Ангара и приурочен к активно формирующемуся абразионному уступу Братского водохранилища. До строительства Братской ГЭС в 60-х годах 20 века объект располагался в километре от русла р. Ангара, выше террасового комплекса долины и не обнажался. Затопление ложа водохранилища и формирование нового местного базиса эрозии привели к существенной перестройке структуры экзогенных геологических процессов в Верхнем Приангарье и общей трансформации экзолитодинамики региона. На склонах долины Ангара и ее притоков активизировались денудационные процессы и прежде всего абразионная деятельность. Широкие аллювиальные равнины оказались затоплены, а интенсивному размыву стали подвергаться расположенные гипсометрически выше и опирающиеся на них конусы выноса в устьях падей и подгорные шлейфы в основаниях склонов речных долин. Разрез Игетей вскрывает внутреннее строение одного из таких шлейфов, облекающего подножие расчлененного суходольными распадками склона долины р. Ангара. Здесь обнажается сложно построенная толща песчано-глинистых накоплений среднеплейстоцен–голоценового возраста с заключенным в них комплексом погребенных почв и культуросодержащих горизонтов.

Полученные в настоящей работе геохронометрические данные, в целом, согласуются с общепринятыми представлениями, но уточняют стратиграфическое положение в разрезе некоторых границ, в т.ч. между средним и верхним плейстоценом, сокращая временной объем представленного в разрезе среднего плейстоцена, а также между горизонтами МИС 5 и 4, увеличивая с 2 м до 5–6 м мощность горизонта МИС 5 (рисунок 24). Согласно полученным датировкам начало формирования рассматриваемых отложений относится ко второй половине МИС 6 (с 155–160 тыс. лет н.), а не МИС 9, как считалось ранее [75]. Соответственно меняется и возрастная оценка заключенных в разрезе культуросодержащих горизонтов старше каргинского (МИС 3) возраста. Археологический горизонт 5, ранее считавшийся муруктинским (МИС 4), датируется

оптимумом казанцевского криохрона (МИС 5e) 125–115 тыс. лет н., а горизонты 6 и 7 приходятся на финальную подстадию МИС 6 среднего плейстоцена между 142 и 126 тыс. л.н. Причем для горизонтов 5 и 6 выполнено прямое датирование вмещающих отложений.

Новая возрастная модель в одном принципиально противоречит прежним данным. Слои 9 и 10 в разрезе представляют собой сдвоенный педокомплекс из развитых черноземной и бурой погребенных почв. Подстилающие каргинские (МИС 3) солифлюцированные почвы погребенные черноземы в Байкальском регионе являются маркирующим стратиграфическим горизонтом, который здесь выделяется во многих опорных разрезах в качестве казанцевского (МИС 5), в т.ч. и геохронометрически охарактеризованных. Полученные ИК-ОСЛ датировки удревняют время его формирования до финальной подстадии МИС 6 среднего плейстоцена - криохрона. Причем в этот горизонт объединяются и остальные почвы основания разреза, образуя мощный педокомплекс из пяти погребенных почв, фиксирующий ранний этап последнего плейстоценового межледникового, который, согласно полученным данным, захватывает финал среднего плейстоцена.

По гранулометрическому составу пород разрез отчетливо подразделяется на две части – верхнюю алевро-песчаную и нижнюю алевро-глинистую, граница между которыми проходит над кровлей верхней почвы игетейского педокомплекса. Значительное количество глины, мелкозернистого алеврита и органического вещества в слоях 1, 3, 7, 9, 10, 12 и 16 позволяет интерпретировать их как ископаемые почвы. Анализ литохимических характеристик отложений показывает их существенное сходство с раннеюрскими породами Иркутского амфитеатра. Это позволяет считать, что основным источником обломочного материала в процессах позднечетвертичного седиментогенеза являлись осадочные породы дабатской и черемховской свит и магматические породы присаянской свиты.

При накоплении слоев 9 и 14 нижней части разреза Игетей максимально проявлен вклад пород основного состава. В слоях (5, 6 и 8) верхней части разреза преобладают продукты выветривания кислых пород, что подтверждается низкими значениями отношений Ni/Co и V/Ni , и характером трендов выветривания на диаграмме CIA–ICV. Величина отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ в раковинах гастропод из исследованных отложений варьирует от 0.70933 (слои 6, 9, 11) до 0.70996 (слои 7–8). Максимальные значения $^{87}Sr/^{86}Sr$, установленные в раковинах гастропод слоя 8, согласуются с литогеохимическими данными, показывающими, что в области размыва преобладали аркозы и кислые породы. Значения $^{87}Sr/^{86}Sr$ во всей изученной коллекции моллюсков из разреза Игетей (до глубины 4,5 м) резко отличаются от отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ в воде

современной р. Ангара, что однозначно указывает на формирование этих отложений до открытия Ангарского направления стока Байкала и свидетельствует, согласно [74], о перестройке гидросети, вероятно произошедшей здесь порядка 70–80 тыс. л.н.

Палеопочвенные горизонты, затронутые криогенезом (слои 1, 7, 8, 10–12), характеризуются пониженным значением LaN/SmN и фракционированием средних и тяжелых лантаноидов, что связано с появлением в них диагенетических Fe-Mn гидроксидов и карбонатных цемента, и отражает высокую миграционную способность РЗЭ при повышении щелочности поровых растворов. Установлено, что накопление отложений нижней (среднелепесточной) части разреза, до формирования палеопочв игетейского педокомплекса (слои 9 и 10), происходило при пониженной влажности и ослаблении химического выветривания, т.е. в условиях относительной аридизации климата. Осадки верхней части толщи (слои с 8 по 2) разреза Игетей накапливались в более холодных и влажных климатических условиях.

Исходя из суммы всех полученных литологических и геоморфологических данных, верхняя часть разреза (до глубины 12 м) вскрывает строение конуса выноса с, эоловыми образованиями и заключенными в них почвами в кровле данной толщи. Ниже обнажаются покровные отложения предгорного шлейфа с мощным педокомплексом.

Поведение петромагнитных характеристик по разрезу свидетельствует о том, что формирование магнитных свойств лессово-почвенной части разреза Игетей происходило в соответствии с «сибирским» механизмом [76] – горизонты погребенных почв характеризуются снижением концентрационных магнитных параметров, а разделяющие их осадки, напротив, их увеличением, при этом в почвах уменьшается эффективный размер магнитного зерна и возрастает концентрация парамагнитных минералов. Все интервалы с низкими значениями концентрационных магнитных параметров совпадают с горизонтами погребенных почв, установленных на основании гранулометрических данных. Увеличение же в них концентрации суперпарамагнитных частиц свидетельствует о достаточно высокой степени развитости рассматриваемых палеопочв. Петромагнитные характеристики также позволяют различить верхнюю и нижнюю толщи разреза, граница между которыми фиксируется на глубине 12 м. В целом отложения нижней толщи содержат большее количество парамагнитных минералов и имеют меньший эффективный размер магнитного зерна, чем отложения верхней толщи. Это непосредственно свидетельствует о различии климатических условий во время формирования верхней и нижней толщ.

Данные, полученные в результате изучения видового и количественного разнообразия наземных и пресноводных моллюсков, позволили в целом проследить

изменения в структуре биотопов и восстановить палеоэкологические условия в районе местонахождения Игетей от среднего к позднему плейстоцену. Так, согласно этим данным, климат среднего плейстоцена (финальная подстадия МИС 6), был умеренно-прохладным, преобладали биотопы открытых пространств. Однако при формировании слоев 17 и 14, а также слоев 11 и 9, климат становился умеренно-теплым. В это время биотопы открытых пространств дополняются промежуточными. Состав малакокомплекса позднего плейстоцена (МИС 5) указывает на умеренный климат и по температурам, и по влажности (слой 7), преобладают виды открытых пространств (80%, 4 вида) и промежуточных биотопов (20%, 1 вид). О благоприятных условиях обитания – смягчении климата (более высокие температуры и влажность по сравнению с предыдущим временным интервалом), можно судить по увеличению находок раковин моллюсков (почти 10 тыс.), а также находкам новых таксонов из родов *Vertigo*, *Columella*. Кроме того, в слое 7 были обнаружены остатки пресноводного двустворчатого моллюска *Pisidium* sp. и остракоды, что указывает на субаквальные условия осадконакопления. В осадках слоя 6 преобладают виды открытых пространств (66.7%, 2 вида) и один вид, занимающий промежуточные местообитания (33.3%). Условия обитания моллюсков в это время были схожи с условиями во время накопления слоя 8. На близость реки (водоёма) указывают находки раковин пресноводных моллюсков *Gyraulus rossmaessleri* и Planorbidae – обитатели хорошо прогреваемых мест в прибрежной зоне с илистым дном и водной растительностью. Климат был умеренно-влажным, прохладным. Выше по разрезу моллюски не обнаружены.

5.2.4 Заключение

Подведен итог комплексных исследований отложений многослойного палеолитического местонахождения Игетей (Предбайкалье). На основе ИК-ОСЛ датирования получено первое детальное обоснование возраста выделенных в разрезе стратиграфических подразделений, составлена его литолого-фациальная характеристика. Установлено, что разрез Игетей представлен сложно построенной толщей гетерогенных образований склонового и субаэрального ряда с 8 горизонтами педогенеза и 7 культуросодержащими слоями. В финале среднего плейстоцена, 160–135 тыс. л.н., на открытых пространствах происходило накопление лессовидных субаэральных отложений с активным проявлением педогенеза. В это время, около 140 тыс. л.н., здесь появляется первый человек. В начале позднего плейстоцена интенсивность экзолитодинамики возрастает, в седиментогенезе преобладают склоновые и пролювиальные процессы, формируется мощная песчаная линза с включением грубообломочного материала. Древний человек на это время меняет место

обитания. В МИС 4 на фоне возрастающей аридизации усиливается роль эоловых процессов с формированием ок. 70 тыс. л.н. хорошо выраженной поверхности дефляции, субаэральные накопления опесчаниваются. Значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в раковинах ископаемых моллюсков из разных стратиграфических уровней разреза Игетей указывают на формирование отложений до открытия Ангарского направления стока Байкала и свидетельствует о перестройке местной гидросети, вероятно произошедшей порядка 70–80 тыс. л.н. В это время древний человек снова заселяет территорию стоянки и уже не уходит с нее вплоть до бронзового века.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализация проекта позволила получить ряд новых и важных в научном и практическом плане результатов и сделанных на их основе выводов. Так, проведенные комплексные исследования водоемов Байкало-Ангарской системы и прибрежных промышленных центров (гор. Ангарск, гор. Усолье-Сибирское и гор. Свирск) позволили дать эколого-геохимическую оценку состояния окружающей среды, выявить антропогенные источники поступления потенциально токсичных веществ, установить основные факторы, влияющие на динамику концентраций химических элементов в компонентах водных и наземных экосистем Прибайкалья. В ходе выполнения проекта получены нижеследующие значимые результаты.

Обобщены результаты долговременного эколого-геохимического мониторинга ртутного загрязнения экосистемы Братского водохранилища. По вертикальным профилям концентраций ртути в донных осадках БВ четко выделяются периоды, отражающие долю антропогенной составляющей: годы заполнения водохранилища и работы предприятия «Усольехимпром». Определено, что работа цеха ртутного электролиза обусловила формирование протяженной зоны загрязнения (более 180 км) донных осадков БВ. Интенсивность накопления Hg связана, в большей степени, с гидрологическими параметрами, в частности со скоростью осадконакопления. После остановки цеха ртутного электролиза и последующего полного прекращения работы предприятия «Усольехимпром» в БВ донные отложения формируются из терригенной взвеси с более низкими концентрациями ртути, которые, однако, на порядок превышают фоновые концентрации. Пространственно-временная динамика концентраций ртути в промысловых рыбах БВ указывает на постепенную нормализацию экологической обстановки в водоеме. За период 2008–2018 гг. концентрации ртути в рыбах в среднем снизились на 42%. Установлено, что определяющими факторами аккумуляции Hg в рыбах являются периодические изменения уровня режима водоема, влияющие на вторичное поступление ртути из донных осадков в водную среду и трофические цепи гидробионтов, а также, индивидуальные экологические особенности разных представителей ихтиофауны. Опасность ртутной интоксикации жителей прибрежных населенных пунктов при употреблении промысловых рыб БВ значительно снизилась за 10-летний период. В то же время, на речном участке БВ постоянное использование в рационе местных видов рыб может привести к неблагоприятным последствиям для здоровья населения. В связи с этим, необходим регулярный мониторинг загрязнения ртутью донных осадков и рыб БВ, для своевременного предупреждения развития негативных экологических ситуаций. Это становится наиболее актуальным в период демеркуризации техногенных отходов предприятия «Усольехимпром»;

Проведена биогеохимическая оценка антропогенного загрязнения заливов БВ, используемых для лесосплавных работ. Установлено, что фито- и зоопланктон заливов БВ в значительной степени аккумулируют потенциально токсичные элементы из водной среды. Фитопланктон наиболее интенсивно сорбирует из воды основные и слабо мобильные элементы (Al, Fe, As и Pb), в то время как, зоопланктоне, использующем и пищевую стратегию поглощения веществ, преимущественно ассимилируются подвижные и биодоступные в водных экосистемах элементы – Cu, Cd, Hg, Mn, Zn. Определенные уровни биомагнификации в планктоне заливов БВ позволили выявить группу элементов, усиливающих свои концентрации при трофической передаче (V, Cu, Zn, Mn и Hg), и, следовательно, представляющих потенциальную опасность для высших уровней пищевой цепи. Биогеохимическая индикация фито- и зоопланктоном поступления металлов и мышьяка в водную среду показала, что заливы БВ эксплуатируемые лесодобывающими организациями имеют высокий уровень загрязнения по Al, V, Pb, Mn, Fe и As. Применение планктона как инструмента интегральной оценки поступления потенциально опасных элементов в водные экосистемы может дать более объективную картину загрязнения, по сравнению с точечным анализом воды и донных отложений;

Гидрохимические исследования Иркутского водохранилища показали, что в русловой части состав главных ионов обладает достаточным постоянством как во временном аспекте, так и по акватории водоема, включая глубоководную зону. Это обусловлено доминирующим влиянием стабильных по гидрохимическому составу чистых вод оз. Байкал, питающих водохранилище, и интенсивным водообменом. В то же время в водохранилище выявлены заливы с повышенными концентрациями ионов хлора и сульфатов, в значительной мере отклоняющиеся от средних и медианных значений этих компонентов, определенных для всего водоема. Максимальные концентрации Cl⁻ приурочены к приплотинным заливам водохранилища, испытывающим значительную антропогенную нагрузку от жилых комплексов, от многочисленного водного транспорта. Напротив, увеличение содержания SO₄²⁻ наблюдается в воде заливов верхней части водохранилища и обусловлено преимущественно природными факторами – влиянием вод впадающих притоков;

Пионерные исследования миграции загрязняющих веществ с поверхностным стоком из катастрофически загрязненной промышленной зоны гор. Усолье-Сибирское на прилегающие территории показали, что концентрации HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ и K⁺ в снеговых и талых водах подвержены значительным вариациям. Для снеговых вод главными антропогенными источниками, участвующими в формировании их химического состава, является атмосферные выбросы действующих предприятий, в первую очередь ТЭЦ. Повышение по сравнению со снеговыми водами концентраций компонентов

основного ионного состава в талых водах и смена гидрохимического типа вод указывают на геохимические процессы, протекающие после контакта снеговых вод с подстилающей поверхностью. К основным природным факторам, контролирующим преобразование химического состава талых вод, относится выветривания силикатных и карбонатных пород, распространенных на территории исследования. При этом, происходит обогащение талых вод преимущественно Ca^{2+} , Mg^{2+} и HCO_3^- . Наиболее значимым антропогенным источником, влияющим на концентрации всех изучаемых компонентов в талых водах, является огромные количества веществ в промышленных отходах. В большей степени, это отражает химический состав талых вод, образованных вблизи инженерных объектов «Усольхим-пром» и ТЭЦ. Помимо этого, увеличение концентраций Cl^- , Na^+ и SO_4^{2-} в талых водах связано с гидрогеохимическим режимом, техногенно-преобразованным в пределах промышленной зоны;

Пространственное распределение концентраций элементов в твердом осадке снежного покрова гор. Ангарск показало, что техногенная нагрузка на атмосферу города значительна. Из элементов основного состава широкий диапазон концентраций в промышленной зоне отмечен для Са, концентрации которого связаны с выбросами Ангарского цементно-горного комбината. К элементам, факторные нагрузки и положительные корреляционные связи которых определяют единый источник их поступления с Са, относятся Cd, Pb и Zn. Также к крупным источникам загрязнения атмосферы гор. Ангарск относятся Ангарский нефтехимический комбинат и технические объекты тепловых электростанций. Геохимическая специфика специализации твердого осадка снега этих источников проявляется в повышенных уровнях накопления элементов, в основном Al, U, As, V, Co и Ni. Большинство концентраций элементов на территории исследования превышают фоновые значения. Для промышленной зоны к элементам с наибольшими коэффициентами концентрации относятся по убыванию Pb, Cd, As, Zn, V, Mo, для городской зоны – Pb, As, Mo. Высокие значения потенциального экологического риска, рассчитанного с учетом уровня токсичности элементов преимущественно связаны с поступлением на городскую территорию пылевых частиц, обогащенных Hg, Cd и As. Экологическая опасность связана также и с миграцией пылевых частиц, содержащих повышенные концентрации элементов, в водные объекты питьевого и хозяйственно-бытового назначения – р. Ангара и р. Китой.

Изучено распределение концентраций мышьяка в почвах территории бывшего Ангарского металлургического завод. Установлено, что поверхностные горизонты почв характеризуются экстремально высокими концентрациями As, значительно превышающими значения ОДК в десятки–сотни раз. Выявлен очаг загрязнения, приуроченный к остаткам бывшего отвала, где мышьяк достигает больших концентраций до 6000–8390 мг/кг. Про-

странственное распределение концентраций As отличается высокой неоднородностью, что подтверждается значительной величиной стандартного отклонения. Вертикальное распределение мышьяка в почвенных разрезах показало, что его концентрации остаются высокими до глубины 40 см, затем резко снижаются. На глубине 60–70 см наблюдается вторичная сорбция. Это связано с присутствием глинистого горизонта, функционирующего как геохимический барьер. Регрессионный анализ подтвердил значимую взаимосвязь между As, pH и Сорг. Исследование форм соединений мышьяка выявило преобладание закрепленных фракций в техноземах отвала, тогда как на удалении в зоне бывшие строения АМЗ и в окрестности изученной территории мышьяк переходит в более подвижные фракции ионно-обменную, сорбированную, органическую, меньше накапливается в легко разрушаемых минералах и практически отсутствует в твердом остатке, что указывает на его способность легко переходить в подвижное состояние в почвах;

В зоне бывшего отвала установлены также аномально высокие концентрации Pb до 4910 мг/кг, превышающее ПДК в 28 раз. Это связано с продуктами разрушения сульфидных руд, в частности, с минералами галенита. Статистическое распределение концентраций подтверждает, что именно техноземы остатков отвала являются основным очагом загрязнения. В почвенном профиле наблюдается резкое снижение Pb с глубиной, что отражает наличие корневой части отвала после его ликвидации. На территории бывших строений завода загрязнение свинцом существенно меньше вследствие проведенной здесь рекультивации почв, однако в глубинных горизонтах отмечено увеличение концентраций Pb, что, также, как и для As связано с сорбцией свинца на карбонатах и глинах. Изучение форм соединений Pb выявило преобладание слабо подвижных силикатных и остаточных фракций в зоне отвала и более высокую долю подвижных форм (ионно-обменных, органических, гидроксиды Fe) на удалении от основного очага загрязнения. Это указывает на потенциальное увеличение биодоступности Pb в этих зонах. Установлено, что, несмотря на рекультивацию, техноземы остатка отвалов сильно загрязнены свинцом. Изучение форм нахождения соединений As и Pb дало возможность оценить особенности их трансформации и степень подвижности в техногенной почве изученной территории.

Изучены механизмы транслокации мышьяка в системе «почва-растение» с использованием повсеместно распространенного травянистого многолетнего злака – пырея ползучего (*Elytrigia repens* L.) как индикаторного вида. Анализ изученных растений показал, что концентрации As в надземных частях значительно превышают обычные содержания мышьяка в травах (0,3 мг/кг). Максимальное накопление As в растениях зоны техногенных грунтов достигает 50–100 мг/кг. Статистические зависимости установили прямую связь между содержанием As в почве, корнях и побегах растений. Основная часть мышьяка

ка аккумулируется в корнях, выступающих как барьер, снижающий поступление токсиканта в надземные органы. Коэффициенты биологического накопления и транслокации имеют максимальные значения в растениях зоны бывших строений АМЗ, где мышьяк в почве присутствует в наиболее подвижных фракциях, так как здесь производилась возгонка мышьякового концентрата с выделением триоксида мышьяка As_2O_3 и других его подвижных форм, которые обладают также повышенной токсичностью. Таким образом, установлено, что интенсивность биологического накопления мышьяка степень его транслокации в растениях зависит не только от валового содержания, но и от его формы нахождения в почве.

Проведено изучение биогеохимических особенностей свинца в системе «почва–растение». Максимальные концентрации Pb в растениях установлено в зоне бывшего отвала, где в корнях *Elytrigia repens* зафиксированы значения существенно превышающие фоновые уровни. На участке бывших строений АМЗ концентрации Pb в растениях близки к нормальным концентрациям для травянистых растений, что связано с проведенной рекультивацией на этой территории. Выявлено, что основная масса Pb аккумулируется именно в корнях, что соответствует типичному биогеохимическому механизму иммобилизации свинца на уровне ризосферы. В зоне бывших строений АМЗ транслокационный индекс оказался повышенным, что связано с более подвижными формами Pb в результате рекультивационных мероприятий при меньших валовых концентрациях. Полученные данные подчёркивают, что фракционный состав Pb в почве определяет его аккумуляцию в растениях. Установлено, что при высоких концентрациях Pb в почве пырей демонстрирует способность к фитостабилизации, удерживая основную долю Pb и As в корневой системе, что указывает на его высокую толерантность.

Также изучены закономерности распределения и степень накопления потенциально опасных химических элементов Cd, Cu, Zn в 70 пробах техноземов, на основе которых проведена комплексная оценка состояния рекультивированных почв с использованием геохимических индексов загрязнения почв: суммарного показателя загрязнения почв (Zc) и индекса геоаккумуляции (Igeo). Установлены чрезвычайно высокие уровни загрязнения почв в зоне остатков отвалов. Средние концентрации составляют As, Pb и Zn превышают ОДК в десятки и сотни раз. Значения Zc для этого участка превышают порог категории «чрезвычайно опасное загрязнение». Зона бывших строений АМЗ характеризуется допустимыми или умеренными уровнями загрязнения, на удалении от импактной зоны – локальными аномалиями вследствие пылевого переноса. Расчёты Igeo подтвердили, что As и Pb находятся на уровнях от сильно загрязнённых до экстремально загрязнённых, особенно

в зоне бывших отвалов. Для Cd выявлен умеренный уровень загрязнения, Cu и Zn на рекультивированном участке бывших строений АМЗ близки к фоновым уровням.

Для Байкальской водной экосистемы установлено, что значимые максимумы содержания ртути в воде оз. Байкал являются откликами на сильные геодинамические воздействия. Прогнозные оценки тренда среднегодового содержания ртути указывают на возможность существенного повышения концентрации ртути в локальной области флюидной разрядки разлома при мощном геодинамическом воздействии. В качестве механизма реализации предположено, что раскрытие локальных областей глубинных разломов при сильном геодинамическом воздействии приводит к декомпрессии со вскипанием, дегазацией ртути и ее быстрым подъемом на поверхность по зонам раскрытых разломов.

Установлено, что макрокомпонентный состав воды Байкальской экосистемы (Байкал и его сток – река Ангара) в 1960–2022 гг. имел циклически-волновой характер и положительный или отрицательный тренд изменения, обусловленный климатическими процессами в регионе (температура, уровень Байкала, состав притоков, засухи, наводнения, пожары), что указывает на наличие эффекта долговременной памяти в химических временных рядах элементов (HCO_3^- , SO_4^{2-} , TDS и др.).

Микрокомпонентный состав воды Байкальской экосистемы во время природных катаклизмов (землетрясения, геодинамические подвижки в придонной части Байкала, возникновение сипов и небольших вулканов и др.) может кратковременно, но резко изменяться за счет дополнительного поступления некоторых токсичных элементов (Hg, CH_4 , U, Rn и др.), не оказывающих влияния на человека, но способных приводить к гибели эндемиков Байкала.

Показано, что стабильные содержания урана в воде Байкала и его стока Ангары поддерживаются как его поступлением с глубинной водой во время частых сейсмогеодинамических активизаций блоков литосферы, так и дополнительным выщелачиванием из урансодержащих вмещающих Байкальскую экосистему пород. Сравнительный анализ распределения концентраций урана в воде в сопряженных компонентах Байкальской экосистемы позволил выявить различия в концентрациях между подземными водами вокруг Байкала и водой устьев притоков, при этом установлены близкие концентрации урана в воде Байкала с его стоком – водой реки Ангары.

Отмечено одновременное повышение в воде Байкала Li и U, что может быть обусловлено сейсмическими подвижками в Байкальской рифтовой зоне. Показана близость концентраций редких щелочей в горячих источниках с источниками Камчатки, что подчеркивает их близкие генетические условия происхождения. Концентрации редких щелочей в притоках и скважинах объясняются составом дренируемых и окружающих пород.

Анализ распределения концентраций редких щелочей (Li, Rb, Cs) в воде сопряженных компонентов Байкальской экосистемы показал их значимые различия в концентрациях между термальными источниками, притоками, скважинами в береговой зоне, родниками, водой Байкала и истока Ангары.

Результаты долговременных наблюдений показали, что вода оз. Байкал и истока р. Ангары содержит стабильно низкие концентрации F и Se, значения которых близки между собой. Постоянство концентраций этих элементов обеспечивается вертикальными и горизонтальными течениями Байкала, литоральными геохимическими барьерами и буферирующей способностью озера. В то же время, наблюдается значительное повышение концентраций F и Se в прибрежных скважинах, минеральных источниках и некоторых притоках оз. Байкал. Основным фактором, обуславливающим повышенное поступление селена в водные объекты Байкальской экосистемы, является влияние вмещающих коренных пород – гранитоидов, юрских угленосных пород. Наиболее высокие концентрации Se установлены в воде скважин и холодных минеральных источников. Напротив, наибольшее обогащение вод фторидами наблюдается в термальных источниках, что свидетельствует не только о влиянии на их концентрации вмещающих пород, но и о поступлении в разломных зонах из глубоких водосодержащих слоев Земли с флюидно-гидротермальными растворами. Этому способствуют частые сейсмические подвижки и землетрясения в Байкальском регионе.

Изучение многолетних изменений концентраций полихлорированных бифенилов ПХБ и хлорорганических пестицидов ХОП в атмосферном воздухе южного Прибайкалья показало, что уровни ПХБ и ГХЦГ в атмосферном воздухе в 2000–2010-х значительно снизились по сравнению с концом 1980-х гг. В 2010-х гг. Отмечена выраженная цикличность во внутригодовых изменениях концентраций ПХБ и ХОП, связанная с влиянием температуры воздуха. Исследования содержания ПХБ и ХОП в планктоне южного Байкала позволили установить, что там концентрации СОЗ в планктоне зависят от внешнего поступления токсикантов и от колебания биомассы самого планктона в разные периоды наблюдений. Выявлено, что к началу XXI века уровень концентраций СОЗ в среднем снизился в 5 раз.

Исследование особенностей распределения ПХБ и ХОП в наземной растительности в фоновом районе (о. Ольхон) позволило обнаружить изменчивость относительного состава ПХБ в зависимости от типа растительного сообщества. В растениях открытых пространств он близок к таковому в почвах, а в растениях лесов смещается в сторону увеличения доли низкохлорированных конгенов ПХБ и снижения – высокохлорированных конгенов ПХБ, также, как и в атмосферном воздухе. Коэффициенты распределения ПХБ

и ХОП в системе растение-воздух (КРВ) для представителей всех рассмотренных растительных сообществ значительно выше, чем коэффициенты распределения в системе растение-почва (КРП). Найдена зависимость КРП и КРВ от типа растительного сообщества, яруса растительности и органа растения. На величину КРП также влияет содержание органического углерода в почвах.

Исследование особенностей распределения ПХБ и ХОП в наземной растительности в антропогенно-измененном районе Прибайкалья – на примере лесных сообществ в рекреационной зоне гор. Иркутска, показало, что хвойные деревья обладают фильтрующей способностью ПХБ и ХОП в течении всего года, в сравнении с лиственными деревьями. Относительный состав гомологов ПХБ и ДДТ и его метаболитов в растениях, почве и атмосферном воздухе говорит о комбинированном поступлении в растения ПХБ и ДДТ в результате атмосферного переноса, испарения с поверхности почв в районе произрастания растений и с частицами почв. Величины коэффициентов распределения растения-почва (КРП) и растение-воздух (КРВ) зависят от вида и структурной части растения, а также от химической структуры ПХБ и ХОП.

Исследование динамики ПХБ и ХОП в почвенных разрезах из антропогенно-измененных районов Прибайкалья на примере искусственно созданных в конце 1960 гг. лесных экосистем рекреационных зон г. Иркутск и природной лесной экосистемы в рекреационной зоне гор. Усолье-Сибирское показало, что основное количество ПХБ и ХОП накапливается в почвах до глубины 5–6 см и зависит от содержания органического вещества в почвах. Найдено, что в растительных остатках (корнях и отмерших органов растений) концентрация ПХБ и ХОП выше, чем во фракции до 2 мм почвы и разница между этими фракциями увеличивается с глубиной отбора. На изменение качественного состава ПХБ и ХОП в почве по глубине оказывают влияние метаболизм почвенными микроорганизмами (увеличивается доля метаболитов ДДТ по сравнению с исходным соединением) и физико-химические свойства самих соединений (миграция низкохлорированных конгенов ПХБ).

Исследования донных отложений озер высоко- и среднегорного пояса Окинского плато (Восточный Саян), как источников чистой питьевой воды для значительной части населения юга Бурятии и Иркутской области, позволило установить время формирования озер, реконструировать историю растительности, ландшафтов, климата, гидрологического режима озер после последнего оледенения. Так, установлено, что процесс лимногенеза в высокогорном поясе Окинского плато (озера Каскадное, Хикушка) начался 13500–13200 л.н. и находился под влиянием как климатических, так и геологических факторов. Озерные отложения накапливались в результате сочетания флювиогляциальных, склоновых

процессов, особенности протекания которых контролировались изменением регионального климата в позднеледниковье-голоцене. Климат контролировал деятельность ледников, колебания уровня озера, биопродуктивность бассейна, а геологические факторы обусловили состав пород водосборных бассейнов озер и проявления молодого вулканизма;

Реконструированный состав растительности и биомов высокогорного и среднегорно-таежного поясов Окинского плато за последние 13500 лет показал, что преобладание тундрового биома ок. 13500–12600 л.н. свидетельствует о континентальном и холодном климате. Кратковременное сокращение лесного биома ок. 12600–12500 л.н. может быть реакцией региональной растительности на похолодание климата в стадиал поздний дриас. Позже, ок. 12500–11200 л.н., реконструкция предполагают сокращение степного и тундрового биомов за счет продолжающегося распространения лесного из лиственницы и ели. Короткий интервал времени ок. 11200–10500 л.н. характеризуется максимальным распространением пихты и таежного биома, свидетельствуя о самом влажном и умеренно-континентальном климате в высокогорной зоне Окинского плато за последние 13500 лет. В следующий интервал времени, ок. 10500–6500 л.н., происходило постепенное расширение таежного биома с преобладанием сосны обыкновенной что согласуется со многими другими палинологическими записями из умеренных широт Евразии. Лесной биом доминировал на исследуемой территории последние 6500 лет. Начиная примерно с 5000 л.н. в горах Восточного Саяна реконструировано повышение верхней границы лесной растительности из лиственницы и сосен, а растительность стала приобретать современный характер.

Установлено, что изменения растительности и биомов на этой территории обусловлены изменениями глобального климата, приводившего к таянию горно-долинного оледенения и перестройке речной сети региона. Для озер среднегорного пояса Окинского плато (на примере для оз. Саган-Нур) выявлена 200-летняя ритмика прохождения катастрофических паводков.

Палинологическими индексами (непыльцевыми палиноморфами) обоснована слабая антропогенная нагрузка на экосистемы среднегорно- и высокогорного поясов Окинского плато в позднем голоцене.

Также реконструкции показывают, что при реализации сценария продолжающегося потепления климата верхняя граница горно-лесного пояса в Восточном Саяне продвинется выше по склонам, возрастет сомкнутость травяно-кустарниковых тундровых ассоциаций. В результате, повысится приток органического вещества и мелкой фракции, например, в оз. Ильчир – истока р. Иркут, что может привести к негативным изменениям озерной биоты и качества поступающей через р. Иркут в многочисленные поселки Иркутско-

Черемховской равнины пресной воды. Полученные выводы будут способствовать определению наиболее перспективных озер и их бассейнов в горах Восточного Саяна для потенциального устойчивого развития с помощью специальных проектов: образовательных, туристических, геоохранных, сельскохозяйственных.

Реконструкции природной среды, в частности, гидрологического режима оз. Ордынское (Предбайкалье) за последние 2800 лет позволили установить, что гидрологический режим озера испытывал кратковременные и резкие изменения ок. 2800, 2400, 1400 и 280 л.н., совпадавшие с известным в северном полушарии похолоданиями. Антропогенное влияние на геосистему оз. Ордынского стало заметным, начиная с 280 л.н., но особенно ярко проявилось в последнее столетие из-за развития сельскохозяйственной деятельности населения Усть-Ордынского Бурятского округа.

Обнаруженные и изученные комплексом литолого-геохимических, минералогических, гранулометрических, палеонтологических методов, хорошо датированные новые разрезы Улан-Жалга (Западное Забайкалье), Китойский Мост и Игетей (Предбайкалье), содержащие отложения всех основных стратиграфических подразделений среднего плейстоцена – голоцена или позднего плейстоцена – голоцена, предложены к включению в число ключевых опорных разрезов верхнего кайнозоя юга Восточной Сибири.

В проекте логично сочетаются исследования современного состояния различных составляющих региональной экосистемы (вода рек и озер, почвы и растения, атмосферный воздух) и особенности их развития с финала последнего оледенения. Это позволяет внести важный вклад в понимание причин становления современного облика региональной экосистемы, в целом, и ее составляющих.

Таким образом, все задачи проекта выполнены полностью. Полученные результаты являются новыми и вносят существенный вклад в понимание современного состояния и динамики экосистем Восточной Сибири в недавнем прошлом, закономерностей их функционирования, а также причин, вызывающих разномасштабные по времени и амплитуде проявления сдвигов в состоянии региональных экосистем. Научный уровень выполненной научно-исследовательской работы по проекту соответствует мировому уровню аналогичных исследований. Полученные результаты важны для реализации современных подходов в региональной системе рационального природопользования.

Результаты имеют очевидную научную новизну, заключающуюся в фундаментальном увеличении суммы наших знаний о понимании современного состояния и динамики эко- и геосистем Восточной Сибири в недавнем прошлом, закономерностей их функционирования и выработке прогнозных рекомендаций.

Рекомендации по практическому применению

Полученные при реализации проекта результаты могут иметь важное практическое значение:

- пополняют разработанную в ИГХ СО РАН и зарегистрированную базу данных «Неорганические загрязнители в стоке оз. Байкал» и будут востребованы в природоохранных контролирующих организациях при проведении экологического мониторинга состояния Иркутского водохранилища;

- будут востребованы природоохранными контролирующими организациями при проведении мероприятий по ликвидации накопленного экологического вреда на промплощадке гор. Усолье-Сибирского и оценке воздействия на р. Ангару;

- позволяют более детально подойти к изучению потоков химических элементов на урбанизированных территориях, а также послужат полезным инструментом для разработки природоохранных стратегий, направленных на улучшения качества атмосферного воздуха в крупной промышленной зоне;

- необходимы для оценки особенностей трансформации форм нахождения соединений As и Pb и степени их подвижности в техногенной почве территории бывшего Ангарского металлургического завода;

- важны для фитостабилизации потенциально токсичных элементов в техногенных почвах;

- геохимические индексы загрязнения почв мышьяком и тяжёлыми металлами большей части территории АМЗ имеют практическое значение для оптимизации природоохранных мероприятий;

- результаты многолетних исследований содержания СОЗ в атмосферном воздухе могут быть использованы Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации для оценки эффективности выполнения обязательств по предотвращению неблагоприятного воздействия на здоровье человека и загрязнения окружающей среды в рамках Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях, Базельской и Роттердамской конвенций, подписанных и ратифицированных Российской Федерацией;

- также эти данные могут быть использованы природоохранными организациями для оценки эффективности выполнения мероприятий по ликвидации накопленного экологического вреда на промплощадке «Усольехимпром», а также определения вторичного загрязнения стойкими органическими загрязнителями наземных экосистем Прибайкалья во время проведения этих мероприятий;

- новые знания о механизмах формирования и динамики гидрохимического режима Байкальской экосистемы важны для прогнозирования изменений, оценки устойчивости

экосистемы и разработки научно обоснованных мер по сохранению объекта всемирного природного наследия - озера Байкал;

- результаты реконструкции возникновения и функционирования лимносистем будут способствовать определению наиболее перспективных озер и их бассейнов на юге Восточной Сибири для потенциального устойчивого развития с помощью специальных проектов: образовательных, туристических, геоохранных, сельскохозяйственных.

Результаты реализации проекта опубликованы в 99-ти статьях, индексируемых в базах данных WoS, Scopus, Российский индекс научного цитирования, РИНЦ, в 112 тезисах и материалах конференций различного уровня.

На их основе создана Пространственная база данных «Неорганические загрязнители в стоке оз. Байкал» // Свидетельство о государственной регистрации № 2023620234 от 16 января 2023 г. – Правообладатель ИГХ СО РАН.

Также часть материалов проекта вошла в два Государственных доклада: «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2023 году» и «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2024 году».

В «Атлас. Байкальский регион: общество и природа.– Москва: Изд-во Паулсен. Научно-справочное издание. ISBN 978 5-98797-313-4.– 2021.– 320 с. Коллектив авторов, включая Гребенщикову В.И. (стр. 298–303).

Исполнители проекта стали авторами глав в трех коллективных монографиях (см. Приложение).

Защищены три диссертации:

Долгих. П.Г. представил диссертацию на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по теме: "Геоэкологические особенности химического состава вод и донных отложений Усть-Илимского водохранилища" по специальности 1.6.21 – Геоэкология, и защитил ее 19 июня 2024 г.;

Баенгуев Б.А. представил диссертацию на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по теме: "Эколого-геохимическое состояние почвенно-растительной системы техногенной зоны мышьякового завода г. Свирска после его ликвидации" по специальности 1.6.21 – Геоэкология и защитил ее 24 декабря 2024 г.;

Полетаева В.И. представила диссертацию на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по теме: "Геоэкологическая оценка сопряженных сред "вода - донные отложения" и геохимический отклик крупной водной системы на антропогенное воздействие (р. Ангара и каскад ее водохранилищ)" по специальности 1.6.21 – Геоэкология и защитила ее 5 февраля 2025 г.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 IPCC, 2023. In: Core Writing Team, Lee H., Romero J. (Eds.), Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change // IPCC, Geneva, Switzerland, p. 184. DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647
- 2 Bradtmöller M., Grimm S.B., Nyland A.J., Lavi. Under Pressure? Living with Climate Change and Environmental Hazards in the Past and Now. Springer, Dordrecht, 2025.– p. 345. DOI: 10.1007/978-3-031-85348-7
- 3 Manninen M.A., Kaaronen R.O., Eronen J.T., Tallavaara M. The effect of the 8.2 ka cold event on Fennoscandian hunter-gatherer metapopulation inferred from climatic, environmental, and archaeological signals // Quaternary Environments and Humans.– 2025.– 100065. DOI: 10.1016/j.qeh.2025.100065
- 4 Casadevall A. Pandemics past, present, and future: progress and persistent risks // The Journal of clinical investigation.– 2024.– 134(7).– e179519. DOI: 10.1172/JCI179519
- 5 Gordeeva O., Pastukhov M. Forms of mercury in soils and its accumulation by herbs in the zone of influence of the sludge storage of a chlor-alkali plant (Southern Baikal region) // E3S Web of Conferences GEOTECH-2023. – 2023. – Vol. 417. – Art. 02013.
- 6 Poletaeva V.I., Pastukhov M.V., Tirskikh E.N. Dynamics of Trace Element Composition of Bratsk Reservoir Water in Different Periods of Anthropogenic Impact (Baikal Region, Russia) // Archives of Environmental Contamination and Toxicology. – 2021. – № 80. – P. 531–545.
- 7 Цветкова Е.А., Полетаева В.И., Пастухов М.В. Характеристика сточных вод промышленной зоны г. Усолья-Сибирского и их влияние на гидрохимический состав р. Ангары в периоды с разной техногенной нагрузкой // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 5. – С. 39–58.
- 8 Алиева В.И., Пастухов М.В. Гидрохимическая характеристика реки Ангары в районе влияния Усольского промышленного узла // География и природные ресурсы.– 2012.– № 1.– С. 68–73.
- 9 Piper A.M., 1984. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. // Neurochemistry International.– 1984.– Vol. 6.– № 1.– P. 27–39.
- 10 Gibbs R.J. Mechanisms controlling world water chemistry. // Science, New Series.– 1970.– Vol. 170.– № 3962.– P. 1088–1090.

- 11 Овчинников Г.И., Павлов С.Х., Тржицинский Ю.Б. Изменение геологической среды в зоне влияния Ангара-Енисейских водохранилищ. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1999.– 254 с.
- 12 Adamiec E., Jarosz-Krzemińska E., Wieszala, R. Heavy metals from non-exhaust vehicle emissions in urban and motorway road dusts.– *Environ Monit Assess.*– 2016.– Vol. 188.– P. 369.
- 13 Саэт А. И., Ревич Б. А., Янин Е. П. Геохимия окружающей среды.– М.: Недра, 1990.– 335 с.
- 14 СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.– М.: Роспотребнадзор, 2021.– 469 с.
- 15 Müller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River // *Geojournal.*– 1969.– Vol. 2.– P. 108–118.
- 16 Гордеева О.Н., Белоголова Б.А., Гребенщикова В.И. Распределение и миграция тяжелых металлов и мышьяка в системе «почва–растение» в условиях г. Свирска (Южное Прибайкалье) // *Проблемы региональной экологии.*– 2010.– № 3.– С. 108–113.
- 17 Гребенщикова В.И., Лустенберг Э.Е., Китаев Н.А., Ломоносов И.С. Геохимия окружающей среды Прибайкалья (Байкальский геоэкологический полигон).– Новосибирск: Акад. изд. “Гео”, 2008.– 234 с.
- 18 Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soil and Plants. (4rd edn.) CRC Press Taylor and Francis Group, LLC. New York.– 2011.– 548 p.
- 19 Miao, X., Hao, Y., Zhang, F., Zou, S., Ye, S., & Xie, Z. Spatial distribution of heavy metals and their potential sources in the soil of Yellow River Delta: A traditional oil field in China // *Environmental Geochemistry and Health.*– 2019.– Vol. 42(1).– P. 7–26.
- 20 Баенгуев Б. А., Белоголова Г. А., Чупарина Е. В., Просекин С. Н., Долгих П. Г., Пастухов М. В. Распределение содержания свинца и формы его соединений в техногенной почве г. Свирска (Южное Прибайкалье) // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов.*– 2022.– Т. 333.– № 8.– С. 205–214.
- 21 Belogolova G.A., Baenguev B.A., Chuparina E.V., Pastukhov M.V., Prosekin M.V., Sokolnikova Yu.V. The mechanism of arsenic behavior in the soil-plant system and its interaction with biogenic macroelements of plants under conditions of toxic stress // *Chemistry and ecology.* – 2025.– Vol. 41 (2).– P. 173–193.

- 22 Ломоносов И.С., Гребенщикова В.И., Склярова О.А., Брюханова Н.Н., Носков Н. А., Яновский Л. М., Диденко Ю.Н. Токсичные (ртуть, бериллий) и биогенные (селен, фтор) элементы в аквальных экосистемах Байкальской природной территории // Водные ресурсы.– 2011.– Т. 38.– № 2.– С. 193–204.
- 23 Гребенщикова В.И., Лустенберг Э.Е., Китаев Н.А. Геохимия окружающей среды Прибайкалья (Байкальский геоэкологический полигон). Новосибирск: Академическое изд-во «Гео».– 2008.– 234 с.
- 24 Sklyarova O.A., Sklyarov E.V., Och .L, Pastukhov M.V., Zagoruiko N.A. Rare Earth Elements in Tributaries of Lake Baikal (Siberia, Russia) // Applied Geochemistry.– 2017.– Is. 82.– P. 164–176. DOI: 0.1016/j.apgeochem.2017.04.018
- 25 Алиева В.И., Загорулько Н.А. Влияние природных и техногенных факторов на гидрохимический состав рек промышленной зоны г. Иркутска // Вода: химия и экология0020– 2013.– №6 .– С. 18–23.
- 26 Ломоносов И.С. Геохимия и формирование современных гидротерм Байкальской рифтовой зоны.– Новосибирск, изд-во Наука СО РАН. – 1974.– 159 с.
- 27 Kuz'mina E.A., Novopashina A.V. Groundwater outflows and fault density spatial relation in the Baikal rift system (Russia) // Italian Journal of Groundwater (Acque Sotterranee).–2018.– Vol. 7.– No. 1.– P. 19–27.
- 28 Losev V.N., Didukh-Shadrina S.L, Orobyeva A.S., Borodina E., Elsufyev E.V., Metelitsa S., Ondar U. Speciation of inorganic selenium in natural water by in situ solid-phase extraction using functionalized silica // Analytical Methods.– 2022.– Vol. 14.– Is. 28.– P. 2771–2781.
- 29 Синицина О.О., Плитман С.И., Амплеева Г.П., Гильденскиольд О.А., Ряшенцева Т.М. Эссенциальные элементы и их нормирование в питьевой воде // Анализ риска здоровью.– 2020.– № 3.– С. 30–38.
- 30 Титов А.Ф., Казнина Н.М., Карапетян Т.А., Доршакова Н.В., Тарасова В.Н.. Роль селена в жизнедеятельности растений, животных и человека // Успехи современной биологии.– 2021.– Т. 141.– № 5.– С. 443–456.
- 31 Скляров Е.В., Федоровский В.С., Склярова О.А., Сквитина Т.М., Данилова Ю.В., Орлова Л.А., Ухова Н.Н. Гидротермальная активность в Байкальской рифтовой зоне: горячие источники и продукты отложения палеотерм // Доклады Академии наук.– 2007.– Т. 412.– № 2.– С. 257–261.
- 32 Сутурин А.Н., Куликова Н.Н., Бойко С.М., Сайбаталова Е.В. Извлечение химических элементов из горных пород байкальской водой и органическими соединениями // Геохимия.– 2013.– №5.– С. 471–480.

- 33 Гребенщикова В.И. Геохимическая специфика состава снеговой воды некоторых городов Иркутской области // Вода: химия и экология.–2013.– № 2.– С. 19–25.
- 34 Чебыкин Е.П., Дамдинов Ю.А., Хахураев О.А., Сутурин А.Н.. Источники поступления химических элементов в снежный покров береговой зоны поселка Листвянка (озеро Байкал) // География и природные ресурсы. — 2018. — № 3. — С. 74-85.
- 35 Stockholm Convention on persistent organic pollutants (POPs). Text and Annexes. Revised in 2023. Switzerland.– 2023.– 86 p.
- 36 Федоров Л.А., Яблоков А.В. Пестициды – токсический удар по биосфере и человеку.– М.: Наука, 1999.– 462 с.
- 37 Амирова З. К., Сперанская О. А. Новые стойкие органические супертоксиканты и их влияние на здоровье человека.– Коломна: ГУП МО «Коломенская типография», 2016.– 86 с.
- 38 ЮНЕП, 2002. Региональная оценка стойких токсичных веществ. Центральная и северо-восточная Азия. Региональный доклад.– Женева.– 2002.– 134 с.
- 39 Mamontova E.A., Mamontov A.A. Air monitoring of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in Eastern Siberia: levels, temporal trends, and risk assessment // Atmosphere.– 2022.– Vol. 13(12).– 1971.
- 40 Harner T. 2020 v2 Template for calculating PUF and SIP disk sample air volumes.– 2020.– URL: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.21968.46082> (дата обращения 30.07.2025).
- 41 Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (ТТТР). Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620942 от 2 июля 2014 г.– URL: <http://meteo.ru/data/temperature-precipitation/> (дата обращения 08.07.2025).
- 42 Постановление Главного государственного санитарного врача РФ № 2 от 28 января 2021 г. об утверждении Санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (Зарегистрировано в Минюсте России 29 января 2021 г. N 62296).– URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202102030022> (дата обращения 01.12.2025).
- 43 Постановление Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь № 23 от 31 декабря 2008 года об утверждении Гигиенических нормативов «Предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочные безопасные уровни

воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест».— URL: https://minzdrav.gov.by/upload/dadvfiles/000355_91199_Gigiena_22146_2008.doc (дата обращения 01.12.2025).

44 Мамонтова Е.А., Мамонтов А.А., Тарасова Е.Н. Эколого-гигиеническая оценка последствий загрязнения стойкими органическими соединениями промышленного города (на примере г. Усолье-Сибирское). Сообщение 1: атмосферный воздух, снег, почва // Экологическая химия.— 2016.— Т. 25.— № 2.— С. 100–110.

45 Что на “Химпроме“ в Усолье-Сибирском?.— URL: <https://vk.com/usolesibir> (дата обращения: 02.12.2025).

46 Шаманский В.Ф. Усолье-Сибирское.— Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд., 1994.— 219 с.

47 Mamontova E.A., Mamontov A.A. Persistent organic pollutants and suspended particulate matter in snow of Eastern Siberia in 2009–2023: temporal trends and effects of meteorological factors and recultivation activities at former industrial area // Toxics.— 2024.— Vol. 12(1).— 11.

48 Атлас Байкала. — М.: Федеральная служба геодезии и картографии России, 1993. — 160 с.

49 Мамонтов А.А. Полихлорированные дибензо-пара-диоксины и родственные соединения в экосистеме озера Байкал.— М.: Академия наук о Земле, 2001. — 68 с.

50 Wania F., Mackay D. Tracking the distribution of persistent organic pollutants // Environmental Science and Technology.— 1996.— Vol. 30.— 9.— P. 390A-396A.

51 Mamontov A.A., Mamontov A.M., Mamontova E.A. POPs Assessment for Biomonitoring of Lake Baikal Pelagical (1997–2017): Results of Using Big Golomyanka *Comephorus Baicalensis* (Pallas, 1776) Species // Russian Journal of General Chemistry.— 2023.— Vol. 93(13).— P. 3353-3362.

52 Мамонтов А.А., Мамонтова Е.А. Временные тренды и пространственное распределение полихлорированных бифенилов (ПХБ) в большой голомянке *Comephorus Baicalensis* (Pallas, 1776) из озера Байкал в период с 2000 по 2023 гг. // Экологическая химия.— 2025.— Т. 34.— №2.— С. 78–86.

53 Gorshkov A.G., Kustova O.V., Tomberg I.V., Zhuchenko N.A., Sakirko M.V., Khutoryansky V.A. Polychlorinated biphenyls in the tributaries of Southern Baikal // Limnology and Freshwater Biology.— 2020.— Vol. 1.— P. 353–357.

54 Bobovnikova T.I., Dibtseva A.V., Malakhov S.G., Siverina A.A., Yablokov A.V. The accumulation of chlororganic pesticides and polychlorobiphenils in the hydrobionts of Lake Baikal // Proceeding of the Soviet-Swedish symposium “Effects of Toxic substances on

dynamics of seal populations” (April 14–18, 1986, Moscow, USSR). Yablokov A.V., Olsson M., Eds., Leningrad: Gidrometeoizdat.– 1989.– P. 130–136.

55 Kucklick J.R., Bidleman T.F., McConnell L.I., Walla M.D. and Ivanov G.P. Organochlorines in the Water and Biota of Lake Baikal, Siberia // *Environmental Science and Technology*.– 1994.– Vol. 28.– № 1.– P. 31–37.

56 McConnell L. L., Kucklick J. R., Bidleman T. F., Ivanov G. P., Chernyak S. N. Air-Water Gas Exchange of Organochlorine Compounds in Lake Baikal, Russia // *Environmental Science and Technology*.– 1996.– Vol. 30.– P. 2975–2983.

57 Iwata H., Tanabe S., Ueda K. and Tatsukawa R. Persistent organochlorine residues in air, water, sediment and soil from the lake Baikal region, Russia // *Environmental Science and Technology*.– 1995.– Vol. 29.– P. 792–801.

58 Тарасова Е.Н., Коморникова Н.В., Мамонтов А.А., Мамонтова Е.А., Митрошков–А.В. Об источниках поступления, миграции и устойчивости диоксинов и родственных им соединений в экосистеме Байкала // Тезисы Всероссийской научной конференции «Диоксины: экологические проблемы и методы анализ» / г. Уфа (13–17 февраля, 1995 г.).– Уфа.– 1995.– С. 74–81.

59 Kucklick J.R., Harvey H.R., Ostrom P.H., Ostrom N.E. and Baker J.E. Organochlorine dynamics in the pelagic food web of Lake Baikal // *Environmental Toxicology and Chemistry*.– 1996.– Vol.15.– № 8.– P. 1388–1400.

60 Чебунина Н.С. Сравнительная оценка аккумуляции стойких органических загрязнителей в экосистемах дельты реки Селенги и озера Гусино: Автореферат дис. ... к-та геогр. наук: 25.00.36. БИП СО РАН.– Улан-Удэ.– 2011.– 25 с.

61 Самсонов Д.П., Кочетков А.И., Пасынкова Е.М., Запечалов М.А. Содержание стойких органических загрязнителей в компонентах уникальной экологической системы озера Байкал // *Метеорология и гидрология*.– 2017.– Т. 5.– С. 105–115.

62 Мамонтов А.А., Тарасова Е.Н., Мамонтова Е.А. Стойкие органические загрязнители в водах Ангарского каскада водохранилищ // *Вода: химия и экология*.– 2019.– № 3-6.– С. 45–53.

63 Горшков А.Г., Кустова О.В., Изосимова О.Н., Григорьева Т.А., Максимова Н.В., Федотов А.П. Прибрежная зона – объект аналитического контроля стойких органических загрязнителей // Тезисы докладов и стендовых сообщений VIII Международной Верещагинской Байкальской конференции / Иркутск, (8–14 сентября 2025 г.).– Иркутск: Изд-во ИГУ.– 2025.– С. 172–173.

64 Thompson R., Oldfield, F., *Environmental Magnetism*, London: Allen and Unwin.– 1986.– 228 p.

- 65 Irurzun M.A., Orgeira M.J., Gogorza C.S.G., Sinito A.M., Compagnucci R., Zolitschka B. Magnetic parameters and their palaeoclimatic implications-the sediment record of the last 15 500 cal. BP from Laguna Potrok Aike (Argentina) // *Geophysical Journal International*.– 2014.– Vol. 198(2).– P. 710–726.
- 66 Maher B.A. Environmental magnetism and climate change // *Contemporary Physics*.– 2007.– Vol. 48 (5).– P. 247–274.
- 67 Байкал. Атлас / РАН. Сибир. отд-ние; Межведомственный науч. совет по программе "Сибирь"; предс. ред. кол. гл. ред. Г.И. Галазий, член-кор. РАН, науч. ред. В.М. Картушин; спец. содерж. разработ. В.Н. Александров; ред. В.А. Байбородин; ред. В.И. Верболов; редактирование, сост.-оформ. работы выполнены коллективом Восточно-Сибир. аэрогеодезич. предприятия Роскартографии; ст. ред. Н.С. Овчинникова; ред. Н.В. Захарчук; сост. и подгот. к печати Омской картогр. ф-кой, ред.: Н.Д. Стоялова, Т.П. Филатова.– Москва : Роскартография, 1993.– 1 атл. (160 с.): цв.: карты, табл., диагр., граф., ил.; 33x25 см.; ISBN 5-85120-009-X
- 68 Curnow P., Senior L., Knight M.J., Thamtrakoln K., Hildebrand M., Booth P.J. Expression, purification, and reconstitution of a diatom silicon transporter // *Biochemistry*.– 2012.– Vol. 51.– N 18.– P. 3776–3785.
- 69 Mackay A.V., Bezrukova E.V., Boyle J.F., Holmes J.A., Panizzo V.N., Piotrowska N., Shchetnikov A., Shilland E.M., Tarasov P., White D. Multiproxy evidence for abrupt climate change impacts on terrestrial and freshwater ecosystems in the Ol'khon region of Lake Baikal, central Asia // *Quaternary International*.– 2013.– Vol. 290–291, P. 46–56.
- 70 Haltia E.M., Nowaczyk N.R. Magnetostratigraphy of sediments from Lake El'gygytgyn ICDP Site 5011-1: paleomagnetic age constraints for the longest paleoclimate record from the continental Arctic // *Climate of the Past*.– 2014.– Vol. 10.– P. 623–642.
- 71 Gorbarenko S.A., Shi X., Liu Y., Bosin A.A., Vasilenko Y.P., Artemova A.V., Yanchenko E.A., Zou J., Yao Z., Kirichenko I.S. Reconstructing Holocene centennial cooling events: synthesized temperature changes, chronology, and forcing in the Northern Hemisphere // *Frontiers in Earth Science*.– 2024.– Vol. 12.– 1415180.
- 72 Kobe F., Hoelzmann Ph., Gliwa J., Olschewski P., Peskov S.A., Shchetnikov A.A., Danukalova G.A., Osipova E.M., Goslar T., Leipe Ch., Wagner M., Bezrukova E.V., Tarasov P.E. Lateglacial–Holocene environments and human occupation in the Upper Lena region of Eastern Siberia derived from sedimentary and zooarchaeological data from Lake Ochaul // *Quaternary International*.– 2022.– Vol. 623. P. 139–158.

73 Rosen O. M., Abbyasov A. A., Tipper J. C. MINLITH-an experience-based algorithm for estimating the likely mineralogical compositions of sedimentary rocks from bulk chemical analyses // Computers and Geosciences.– 2004.– Vol. 30(6).– P. 647–661.

74 Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Горохов И.М. Стронциевая изотопная хемотратиграфия: основы метода и его современное состояние // Стратиграфия. Геологическая корреляция.– 2018.– Т. 26.– № 4.– С. 3–23.

75 Воробьева Г.А. Игетей – опорный геоархеологический объект Прибайкалья: климатостратиграфия, педогенез, субэразальное осадконакопление // *Esse quam videri*: к 80-летию со дня рождения Германа Ивановича Медведева / И.М. Бердников, Е.А. Липнина (отв. ред.).– Иркутск: Изд-во ИГУ.– 2016.– С. 152–166.

76 Матасова Г.Г., Казанский А.Ю., Зыкина В.С. Наложение «аляскинской» и «китайской» моделей записи палеоклимата в магнитных свойствах отложений верхнего и среднего неоплейстоцена на юге Западной Сибири // Геология и геофизика.– 2003.– Т. 44.– № 7.– С. 638–651.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Достигнутые целевые показатели

Индикатор	2021г.	2022 г	2023 г.	2024 г.	2025 г.	2021-2025 г.г.
РИД	-	-	1	-	-	1
Монографии (главы)	1	-	-	3	-	4
Гос.доклады	-	1	-	1	-	2
Статьи / в изданиях WoS	19 / 12	24 / 14	18 / 11	19 / 12	17 / 9	97 / 58
Материалы конференций	11	18	18	18	18	83
Тезисы конференций	2	6	9	1	10	28

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Список публикаций по теме исследований

РИД

2023 год

1 Полетаева В.И., Пастухов М.В. Пространственная база данных «Неорганические загрязнители в стоке оз. Байкал» // Свидетельство о государственной регистрации № 2023620234 от 16 января 2023 г. – Правообладатель ИГХ СО РАН

Монографии

2021 год

1 Атлас. Байкальский регион: общество и природа.– Москва: Изд-во Паулсен. Научно-справочное издание. ISBN 978 5-98797-313-4, 2021.– 320 с. Коллектив авторов, включая Гребенщикову В.И. (стр. 298–303).

2022 год

1 Гребенщикова В.И., Кузьмин М.И. О температурном режиме и химическом составе воды истока Ангары (сток Байкала) в 2021 г. // Государственный доклад «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2020 году». – Иркутск: ФГБУН Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2022.– С. 297–298.

2024 год

1 Гребенщикова В.И. Раздел 2.6. Исследование и научное обеспечение сохранения озера Байкал. Стр. 298-296. // Государственный доклад «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2023 году». — Москва: ФГБУ «ВНИИ Экология», 2024. — 412 с.

2 Гребенщикова В.И. Глава 4. Антропогенные риски Байкальской природной территории // В кн.: Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Тематический блок «Региональные проблемы безопасности». Раздел II. Территориальные риски регионов Сибири. Кузбасс. Енисейская Сибирь. Байкал. / Научн. руков. чл.-корр. РАН Махутов Н.А., под ред. Москвичева В.В. – М.: МГОФ «Знание», 2024.– С. 322–330 и 412–422.

3 Мамонтова Е.А., Мамонтов А.А. Оценка загрязнения окружающей среды г. Усолье-Сибирское и его окрестностей стойкими органическими загрязнителями и риск здоровью населения / В моногр.: Безопасность России. Правовые, социально-

экономические и научно-технические аспекты. Тематический блок "Региональные проблемы безопасности". Раздел II. Территориальные риски регионов Сибири. Кузбасс. Енисейская Сибирь. Байкал. Глава 4.6.1. / Научн. руков. чл.-корр. РАН Махутов Н.А., под ред. В.В. Москвичева. – М.: МГОФ "Знание", 2024. – С. 402–412.

4 Пастухов М.В., Полетаева В.И. Экологические последствия техногенного загрязнения экосистемы Братского водохранилища // В кн.: Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Тематический блок "Региональные проблемы безопасности". Раздел II. Территориальные риски регионов Сибири. Кузбасс. Енисейская Сибирь. Байкал. Глава 4.6.1. / Научн. руков. чл.-корр. РАН Махутов Н.А., под ред. В.В. Москвичева. – М.: МГОФ "Знание", 2024. – С. 375–385.

2024 год

1 Гребенщикова В.И., Гордеева О.Н., Гуляев И.М. Причины возникновения положительных и отрицательных межгодовых трендов макрокомпонентов в воде истока р. Ангара (сток Байкала) // Государственный доклад «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2024 году». – Изд-во ФГБУ «ВНИИ Экология», 2025. – С. 384–387.

Статьи

2021 год

1 Безрукова Е.В., Кулагина Н.В., Волчатова Е.В., Кузьмин М.И. Постледниковая история растительности и климата Окинского плато (Восточный Саян, Южная Сибирь) // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2021. – Т. 496 (2). – С. 211–214. DOI:10.31857/S2686739721020043

2 Волчатова Е.В., Безрукова Е.В., Кулагина Н.В., Кербер Е.В., Решетова С.А., Щетников А.А., Филинов И.А. История растительности бассейна озера Ильчир (Восточный Саян) за последние 8500 лет // Геосферные исследования. – 2021. – №1. – С. 49–60. DOI:10.17223/25421379/18/4

3 Ключевский А.В., Гребенщикова В.И., Кузьмин М.И., Демьянович В.М., Ключевская А.А. О связи сильных геодинамических воздействий с повышением содержания ртути в воде истока р. Ангара // Геология и геофизика. – 2021. – Т. 62. – № 2. – С. 293–311. DOI: 10.15372/GiC2070150

4 Кузнецов П.В., Гребенщикова В.И. Химический состав компонентов окружающей среды района Белозиминского Та-Nb месторождения (Восточный Саян, Иркутская область) // Геохимия. – 2021. – Т.66. – № 9. – С. 851–856

- 5 Солотчин П.А., Кузьмин М.И., Солотчина Э.П., Безрукова Е.В., Страховенко В.Д., Щетников А.А., Жданова А.Н. Позднечетвертичное осадконакопление в высокогорном озере Хикушка (Восточный Саян): роль климатического и вулканического факторов // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле.— 2021.— Т. 501 (1).— С. 49–56. DOI: 10.31857/S2686739721110153
- 6 Bezrukova E.V., Shchetnikov A.A., Kulagina N.V., Amosova A.A. Lateglacial and Holocene vegetation and environmental change in the Jom-Bolok volcanic region, East Sayan Mountains, South Siberia, Russia // *Boreas*. – 2021. – Vol. 50. – №4. – P. 935–947. – DOI: 10.1111/bor.12518
- 7 Bybin V.A., Belogolova G.A., Markova Yu.A., Sokolova M.G., Sidorov A.V., Gordeeva O.N., Poletaeva V.I. Influence of Heavy Metals and Arsenic on Survival and Biofilm Formation of Some Saprotrophic Soil Microorganisms // *Water, Air, & Soil Pollution*. – 2021. – Vol. 232. – №8. – 343. – DOI: 10.1007/s11270-021-05288-9
- 8 Gordeeva O., Belogolova G., Pastukhov M. Mercury bioaccumulation by higher plants and mushrooms around chlor-alkali and metallurgical industries in the Baikal region, Southern Siberia, Russia // *Chemistry and ecology*. – 2021. – Vol. 37. – №8. – P. 729–745. – DOI: 10.1080/02757540.2021.1972983
- 9 Grebenshchikova V.I., Kuzmin M.I., Rukavishnikov V.S., Efimova N.V., Donskikh I.V., Doroshkov A.A. Chemical Contamination of Soil on Urban Territories with Aluminum Production in the Baikal Region, Russia // *Air, Soil and Water Research*.— 2021.— Vol. 14.— P. 1–11. DOI:10.1177/11786221211004114
- 10 Grebenshchikova V.I., Kuzmin M.I., Suslova M.Y. Long-term cyclicity of trace element in the Baikal aquatic ecosystem (Russia) // *Environmental Monitoring and Assessment*. – 2021. – Vol. 193. – №5. – DOI: 10.1007/s10661-021-09021-1
- 11 Khenzykhenova F., Dorofeyuk N., Shchetnikov A., Danukalova G., Bazarova V. Palaeoenvironmental and climatic changes during the Late Glacial and Holocene in the Mongolia and Baikal region: A review // *Quaternary International*. – 2021. – Vol. 605–606. – P. 300–328. – DOI: 10.1016/j.quaint.2021.04.038
- 12 Kobe F., Leipe C., Shchetnikov A.A., Hoelzmann P., Gliwa J., Olschewski P., Goslar T., Wagner M., Bezrukova E.V., Tarasov P.E. Not herbs and forbs alone: pollen-based evidence for the presence of boreal trees and shrubs in Cis-Baikal (Eastern Siberia) derived from the Last Glacial Maximum sediment of Lake Ochaul // *Journal of Quaternary Science*. – 2021. – Special Issue. – DOI: 10.1002/jqs.3290
- 13 Kostrova S.S., Biskaborn B.K., Pestryakova L.A., Fernandoy F., Lenz M.M., Meyer H. Climate and environmental changes of the Lateglacial transition and Holocene in

northeastern Siberia: Evidence from diatom oxygen isotopes and assemblage composition at Lake Emanda // Quaternary Science Reviews. – 2021. – Vol. 259. – 106905. – DOI: 10.1016/j.quascirev.2021.106905

14 Poletaeva V.I., Pastukhov M.V., Tirskikh E.N. Dynamics of Trace Element Composition of Bratsk Reservoir Water in Different Periods of Anthropogenic Impact (Baikal Region, Russia) // Archives of Environmental Contamination and Toxicology. – 2021. – Vol. 80. – №3. – P. 531–545. – DOI: 10.1007/s00244-021-00819-1

15 Poletaeva V.I., Tirskikh E.N., Pastukhov M.V. Hydrochemistry of sediment pore water in the Bratsk reservoir (Baikal region, Russia) // Scientific reports. – 2021. – Vol. 11. – DOI: 10.1038/s41598-021-90603-x

16 Raputa V.F., Grebenshchikova V.I. et al. Analysis of aerosol pollution processes in the vicinity of the Irkutsk aluminium plant // IOP Publishing. Journal of Physics: Conference Series/ 2099.– 2021.– 012030 DOI: 10.1088/1742-6596/2099/1/01/2030

17 Sheinkman V., Sedov S., Shumilovskikh L.S., Bezrukova E., Dobrynin D., Timireva S., Rusakov A. and Maksimov F. A multiproxy record of sedimentation, pedogenesis, and environmental history in the north of West Siberia during the late Pleistocene based on the Belaya Gora section // Quaternary Research. – 2021. – Vol. 99. – P. 204–222. – DOI: 10.1017/qua.2020.74

18 Vike-Jonas K., Gonzalez S.V., Mortensen K., Ciesielski T.M., Farkas J., Venkatraman V., Pastukhov M.V., Jenssen B.M., Asimakopoulos A.G. Rapid determination of thyroid hormones in blood plasma from Glaucous gulls and Baikal seals by HybridSPE®-LC-MS/MS // Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences. – 2021. – Vol. 1162. – DOI: 10.1016/j.jchromb.2020.122447

19 Volchatova E.V., Bezrukova E.V., Levina O.V., Kerber E.V., Krainov M.A., Kulagina N.V., Shchetnikov A.A., Filinov I.A. The history of vegetation and landscapes of the lake Ilchir basin for understanding the modern vegetation structure in the Okinsky plateau // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.– Vol. 629.– Issue 1.– Номер статьи: 0120462020. International Online Conference on Environmental Transformation and Sustainable Development in Asian Region, EnTransAsia.– 2020.– Irkutsk.– Russian Federation.– 8–10 September 2020. DOI: 10.1088/1755-1315/629/1/012046

2022 год

1 Баенгуев Б.А., Белоголова Г.А., Чупарина Е.В., Просекин С.Н., Долгих П.Г., Пастухов М.В. Распределение содержания свинца и формы его соединений в техногенной почве г. Свирска (Южное Прибайкалье) // Известия Томского политехнического

университета. Инжиниринг георесурсов.– 2022.– Вып. 333(8).– С. 205–214. DOI: 10.18799/24131830/2022/8/3670

2 Безрукова Е.В., Крайнов М.А., Щетников А.А. Новые гранулометрические и петромагнитные записи из озерных отложений юга Восточной Сибири: применение для реконструкции природной среды в позднем ледниковье и голоцене // Геология и геофизика.– 2022.– 5.– С. 729–744.– DOI 10.15372/GiG2020190 (англ. DOI: 10.2113/RGG20204249

3 Безрукова Е.В., Кулагина Н.В., Решетова С.А., Щетников А.А., Крайнов М.А., Филинов И.А. Природная среда Окинского плато (горы Восточного Саяна) в позднем ледниковье и голоцене: пример палинологической летописи из отложений озера Хикушка // Геоморфология.– 2022.– 53(3).– С. 61–73.– DOI: 10.31857/S043542812203004X

4 Безрукова Е.В., Решетова С.А., Волчатова Е.В., академик РАН Кузьмин М.И. Первые реконструкции ландшафтно-климатических изменений в центральной части Окинского плато (Восточный Саян) в среднем-позднем голоцене // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле.– 2022.– 506(1).– С. 104–110. DOI: 10.31857/S2686739722600722 (англ. DOI: 10.1134/S1028334X22700064)

5 Гребенщикова В.И., Кузьмин М.И. Геохимический мониторинг опасных природных и антропогенных процессов в Байкальской водной экосистеме // Сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием «Экологические проблемы бассейна озера Байкал» (28 августа – 1 сентября 2022 г., Улан-Удэ): электронное издание. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН.– 2022.– С. 48–53. DOI: 10.31554/978-5-7925-0621-3-2022-48-53

6 Гребенщикова В.И., Кузьмин М.И. Циклически-волновой характер распределения химических элементов в воде истока р. Ангара (сток Байкала) // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле.– 2022.– 505 (2).– С. 199–206. DOI: 10.31857/S2686739722080084 (англ. DOI: 10.1134/S1028334X22080086)

7 Мамонтов А.А., Ермолаева Н.И., Мамонтова Е.А. Состав и концентрации ПХБ снегового покрова сибирских городов Иркутск и Новосибирск // Проблемы региональной экологии.– 2022.– 2.– С. 24–29.– DOI: 10.24412/1728-323X-2022-2-24-29

8 Полетаева В.И., Пастухов М.В. Техногенное воздействие сточных вод на гидрохимический состав р. Ангары // Теоретическая и прикладная экология.– 2022.– Т. 3.– С. 90–95.– DOI: 10.25750/1995-4301-2022-3-090-095

9 Решетова С.А., Безрукова Е.В., Тетенькин А.В., Кузьмин М.И. Первая реконструкция среды обитания охотников-собирателей Мамаканского археологического района в среднем голоцене, Патомское нагорье // Доклады Российской академии наук.

Науки о Земле.– 2022.– 502(1).– С. 32–37.– DOI: 10.31857/S2686739722010066. (англ. DOI: 10.1134/S1028334X22010068)

10 Хассан А.И., Рассказов С.В., Чувашова И.С., Решетова С.А., Рубцова М.Н., Ясныгина Т.А., Будаев Р.Ц., Аль Хамуд А., Титова Л.А., Родионова Е.В., Усольцева М.В. Кайнозойские осадочные отложения Селенгино-Витимского прогиба и Байкальской рифтовой зоны, пространственно совмещенные в разрезе Уро // Литосфера.– 2022.– Vol. 22(6).– Р. 796-817. DOI: 10.24930/1681-9004-2022-22-6-796-817

11 Холодова М.С., Пастухов М.В., Бычинский В.А., Просекин С.Н., Белозерова О.Ю. Минерально-вещественный состав твердого осадка снегового покрова в различных функциональных зонах г. Усолье-Сибирское // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов.– 2022.– 333 (9).– С. 219–203. DOI: 10.18799/24131830/2022/9/3687

12 Amosova A.A., Chubarov V.M., Finkelshtein A.L. Features of X-ray fluorescence determination of rock-forming elements in powder samples of peat sediments // X-Ray Spectrom.– 2022.– Vol. 51.– P. 129–135.– DOI: 10.1002/xrs.3267

13 Bezrukova E.V., Reshetova S.A., Kulagina N.V., Volchatova E.V., Tkachenko L.L., Shchetnikov A.A., Krainov M.A., Filinov I.A. Late Glacial and Holocene environmental history of the Oka Plateau, East Sayan Mountains (Siberia): a palaeolimnological study of several lakes // Limnology and Freshwater Biology.– 2022.– №4.– P. 1397–1399.

14 Bezrukova E.V., Reshetova S.A., Tetenkin A.V., Tarasov P.E., Leipe Ch. The Early Neolithic–Middle Bronze Age environmental history of the Mamakan archaeological area, Eastern Siberia // Quaternary International.– 2022.– Vol. 623.– P. 159–168. DOI: 10.1016/j.quaint.2021.12.006

15 Grebenshchikova V.I., Kuzmin M.I. Mercury in the Baikal aquatic ecosystem (Lake Baikal, its tributaries, Angara River source) // Limnology and Freshwater Biology.– 2022.– 3.– P. 1302-1304.– DOI:10.31951/2658-3518-2022-A-3-1302

16 Ivanova V., Shchetnikov A., Semeney E., Filinov I., Simon K. LA-ICP-MS analysis of rare earth elements in tooth enamel of fossil small mammals (Ust-Oda section, Fore-Baikal area, Siberia): paleoenvironmental interpretation // Journal of Quaternary Science.– 2022.– DOI: 10.1002/jqs.3428

17 Kobe F., Hoelzmann P., Gliwa J., Olschewski P., Peskov S., Shchetnikov A.A., Danukalova G., Osipova E.M., Goslar T., Leipe C., Wagner M., Bezrukova E.V. Lateglacial–Holocene environments and human occupation in the Upper Lena region of Eastern Siberia derived from sedimentary and zooarchaeological data from Lake Ochaul // Quaternary International.– 2022.– Vol. 623.– P. 139–158. DOI: 10.1016/j.quaint.2021.09.019

- 18 Kobe F., Leipe C., Shchetnikov A.A., Hoelzmann P., Gliwa J., Olschewski P., Goslar T., Wagner M., Bezrukova E.V., Tarasov P.E. Not herbs and forbs alone: pollen-based evidence for the presence of boreal trees and shrubs in Cis-Baikal (Eastern Siberia) derived from the Last Glacial Maximum sediment of Lake Ochaul // *Journal of Quaternary Science*.– 2022.– Vol. 37 (5).– P. 868–883. DOI: 10.1002/jqs.3290.
- 19 Mamontova E.A., Mamontov A.A. Air monitoring of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in Eastern Siberia: levels, temporal trends, and risk assessment // *Atmosphere*.– 2022.– Vol. 13.– №12.– 1971. DOI: 10.3390/atmos13121971
- 20 Mamontova E.A., Mamontov A.A. Spatial and temporal variations of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in snow in Eastern Siberia // *Atmosphere*.– 2022.– Vol. 13.– №12.– 2117. DOI: 10.3390/atmos13122117
- 21 Reshetova S.A. New results of a palynological study of the Lake Doroninskoe sediments (Eastern Siberia, Transbaikalia) // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.– 2022.– Is. 962 (1).– 2nd National Conference with International Participation on Evolution of Biosphere and Technogenesis, EBT 2021.– Chita 30.08.–02.09.2021. DOI: 10.1088/1755-1315/962/1/012033
- 22 Sedov S., Sheinkman V., Bezrukova E., Zazovskaya E., Yurtaev A. Sartanian (MIS 2) ice wedge pseudomorphs with hydromorphic pedosediments in the north of West Siberia as an indicator for paleoenvironmental reconstruction and stratigraphic correlation // *Quaternary International*.– 2022.– Vol. 632.– P. 192–205. DOI: 10.1016/j.quaint.2022.05.002
- 23 Sizykh A., Poletaeva V. Plant communities of “insular forest-steppe” and “insular steppes” as paragenese in vegetation structure of Western Pre-Baikal // *International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES)*.– 2022.– 12(2).– P. 329–336.– DOI: 10.31407/ijeess12.203
- 24 Tsvetkova E.A., Poletaeva V.I., Pastukhov M.V. Dynamics of mercury concentrations in wastewater from the Usolye-Sibirskoye industrial zone in periods with different technogenic loads // *Limnology and Freshwater Biology*.– 2022.– №3.– P. 1346–1348. <https://doi.org/10.31951/2658-3518-2022-A-3-1346>

2023

- 1 Безрукова Е.В., Решетова С.А., Волчатова Е.В., Кулагина Н.В., Щетников А.А., Крайнов М.А., Филинов И.А. Субрегиональные особенности формирования растительности юга Восточной Сибири в среднем-позднем голоцене // *География и природные ресурсы*.– 2023.– №5.– с. 16–26. DOI: 10.15372/GIPR20230502

- 2 Герман А.В., Мамонтов А.А., Мамонтова Е.А. Полихлорированные бифенилы в леще *abramis brama* Волжского плеса Рыбинского водохранилища: зависимость от возраста рыб и оценка риска для здоровья человека // Биология внутренних вод.– 2023.– 3.– С. 405-406. DOI: 10.31857/S0320965223030099
- 3 Гребенщикова В.И., академик РАН Кузьмин М.И., Демьянович В.М. Уран в воде Байкальской экосистемы // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле.– 2023.– Т. 512(2).– С. 332-340. DOI: 10.31857/S2686739723601114
- 4 Мамонтов А.А., Мамонтов А.М., Мамонтова Е.А. Результаты использования большой голомянки *Comerphorus baikalensis* (Pallas, 1776) для биомониторинга пелагиали озера Байкал с 1997 по 2017 гг. на предмет содержания стойких органических загрязнителей // Экологическая химия.– 2023.– Т. 32.– №3.– С. 119–129. DOI: 10.1134/S107036322313011X
- 5 Тарасюк Н.А., Полетаева В.И., Пастухов М.В. Факторы формирования гидрохимического состава поверхностных вод бассейна реки Куды (Иркутская область) // Геосферные исследования.– 2023.– №4.– С. 86–103. DOI: 10.17223/25421379/296
- 6 Щетников А.А., Казанский А.Ю., Ербаева М.А., Матасова Г.Г., Иванова В.В., Филинов И.А., Хензыхенова Ф.И., Намзалова О.Д.Ц., Нечаев И.О. Строение и условия формирования верхнекайнозойских отложений опорного разреза Улан-Жалга, Западное Забайкалье // Стратиграфия. Геологическая корреляция.– 2023.– 31(6).– Р. 113-139. DOI: 10.31857/S0869592X2306011X
- 7 Berdnikov I.M., Berdnikova N.E., Lipnina E.A., Zolotarev D.P., Shegutov I.S., Shchetnikov A.A., Bezrukova E.V., Matasova G.G., Kazansky A.Yu., Ivanova V.V., Danukalova G.A., Filinov I.A., Khenzykhenova F.I., Osipova E.M., Rogovskoi E.O., Vorobyeva G.A. Reply to the comment on “Upper Paleolithic site Tuyana – A multi-proxy record of sedimentation and environmental history during the late Pleistocene and the Holocene in the Tunka rift valley, Baikal region [Quat. Int. 534 (2019) 138–157]” // Quaternary International.– 2023.– Vol. 658.– P. 84–96. DOI: 10.1016/j.quaint.2023.04.006
- 8 Bezrukova E.V., Amosova A.A., Chubarov V.M. Geochemical Records of the Late Glacial and Holocene Paleoenvironmental Changes from the Lake Kaskadnoe-1 Sediments (East Sayan Mountains, South Siberia) // Minerals.– 2023.– 13(3).– 449. DOI: 10.3390/min13030449
- 9 Chuparina E.V., Poletaeva V.I., Pastukhov M.V. Metals Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn and Pb in Aquatic Plants of Man-made Water Reservoir, Eastern Siberia, Russia: Tracking of Environment Pollution // Pollution.– 2023.– 9(1).– P. 23-38. DOI: 10.22059/POLL.2022.339248.1374

- 10 German A.V., Mamontov A.A., Mamontova E.A. Polychlorinated Biphenyls in the Bream *Abramis brama* from the Volga Reach of the Rybinsk Reservoir: Effect of Fish Age and Assessment of Risk to Human Health // *Inland Water Biology*.– 2023.– Vol. 16.– №2.– P. 377–384. DOI: 10.1134/S1995082923020074
- 11 Gordeeva O., Pastukhov M. Forms of mercury in soils and its accumulation by herbs in the zone of influence of the sludge storage of a chlor-alkali plant (Southern Baikal region) // *E3S Web of Conferences*. 417: 02013.– 2023 (21.08.2023). DOI: 10.1051/e3sconf/202341702013
- 12 Losey R.J., Nomokonova T., Pastukhov M.V., Hunter A., Novikov A.G., Goriunova O.I., Weber A.W. A body size approach to understanding Holocene seal hunting at Lake Baikal in Siberia // *Archaeological and Anthropological Sciences*.– 2023.– Vol. 15.– Art. 49.– <https://doi.org/10.1007/s12520-023-01753-0>
- 13 Sait S.T.L., Rinø S.F., Gonzalez S.V., Pastukhov M.V., Poletaeva V.I., Farkas J., Jenssen B.M., Ciesielski T.M., Asimakopoulou A.G. Occurrence and tissue distribution of 33 legacy and novel per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in Baikal seals (*Phoca sibirica*) // *Science of the Total Environment*.– 2023.– 889: 164096. (01.09.2023) DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.164096
- 14 Subetto D.A., Bezrukova Y.V., Nazarova L.B., Fedotov A.P. Foreword to the Special Issue of Quaternary International “Late Quaternary Paleolimnology N Eurasia” // *Quaternary International*.– 2023.– Vol. 644-645.– P. 1–4. DOI: 10.1016/j.quaint.2022.12.013
- 15 Usoltseva M., Titova L., Hassan A., Reshetova S., Rodionova E., Maslennikova M., Chuvashova I., Rasskazov S. Diversity, stratigraphy and ecology of diatoms and plant pollen in the Miocene-Pliocene sediments of the Vitim Plateau (Baikal region, Russia) // *Acta Biologica Sibirica*.– 2023.– Is. 9.– P. 643–682. DOI: 10.5281/zenodo.8373408
- 16 Van Hardenbroek M., Edwards M., Blyakharchuk T., Lozhkin A., Bezrukova E., Grenaderova A., Ryabogina N., Antipina T., Cherepanova M., and Anderson P. The DIMA Network: Bridging boundaries via shared scientific interests // *Polar Record*.– 2023.– Vol. 59 (e21).– P. 1–5. DOI: 10.1017/S0032247423000116
- 17 White D., Parfitt S.A., Shchetnikov A.A., Tesakov A.S., Preece R.C. A Holocene floodplain sequence from the Kirenga Valley, Lake Baikal region (Siberia), and its significance for molluscan and mammalian biogeography // *Quaternary International*.– 2023.– 646.– P. 51-67 (10.02.2023) DOI: 10.1016/j.quaint.2022.09.005
- 18 Zhang D., Blyakharchuk T.A., Bezrukova E.V., Huang X., An C., Su C., Li Y. Holocene rates of vegetation composition change differ between high and middle-to-low

elevations in the Central Arid Zone of Asia // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*.– 2022.– 618: 111526. (15.05.2023) DOI: 10.1016/j.palaeo.2023.111526

2024 год

1 Агатова А.Р., Непоп Р.К., Щетников А.А., Крайнов М.А., Иванов Е.В., Филинов И.А., Динг П., Шу Я. Первые результаты исследований отложений высокогорных озер аридной зоны Русского Алтая (максимум последнего оледенения – голоцен) // *Доклады Российской Академии Наук. Науки о Земле*.– 2024.– Т. 514(1).– С. 172–180.– DOI: 10.31857/S2686739724010201

2 Волчатова Е.В., Безрукова Е.В., Кулагина Н.В., Решетова С.А., Щетников А.А., Крайнов М.А. История растительности долины реки Сенцы (Окинское плато, Восточный Саян) за последние 4700 лет. // *Геосферные исследования*.– 2024.– №1.– С. 60–71.– DOI: 10.17223/25421379/30/4

3 Долгих П.Г., Полетаева В.И., Пастухов М.В. Условия формирования гидрохимического режима р. Вихорева и Усть-Вихоревского залива (Усть-Илимское водохранилище) // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*.– 2024.– Т. 335(3).– С. 92–107.– DOI: 10.18799/24131830/2024/3/4524

4 Гребенщикова В.И., Кузьмин М.И. Индикаторная роль редких щелочей (Li, Rb, Cs) в воде Байкальской экосистемы (Россия) // *ДАН. Науки о Земле*.– 2024.– Т. 518.– № 9.– С. 57–66. DOI: 10.1134/S1028334X2460261X

5 Гребенщикова В.И., Кузьмин М.И., Демьянович В.М. Разнонаправленная динамика химического состава воды Байкальской экосистемы (Байкал, притоки, исток р. Ангара) // *Геология и геофизика*.– 2024.– Т. 65(3).– С. 386–400.– DOI: 10.15372/GiG2023162

6 Еникеев Ф.И., Решетова С.А. Палеогеография сартанского оледенения гор Северного Прибайкалья и Северо-Западного Забайкалья // *География и природные ресурсы*.– 2024.– Т. 45.– № 2.– С. 52–68. DOI: 10.15372/GIPR20240206

7 Русинек О.Т., Мамонтова Е.А. К юбилею ученого-байкаловеда Е.Н. Тарасовой (1938–2017) // *Труды Карельского научного центра РАН*.– 2024.– №2.– С. 108–116. DOI: 10.17076/lim1868

8 Цветкова Е.А., Полетаева В.И., Пастухов М.В. Характеристика сточных вод промышленной зоны г. Усолья-Сибирского и их влияние на гидрохимический состав р. Ангары в периоды с разной техногенной нагрузкой // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*.– 2024.– Т. 335.– № 5.– С. 39–58.– DOI: 10.18799/24131830/2024/5/4314

- 9 Amosova A.A., Chubarov V.M., Bezrukova E.V. Reconstruction of the geochemical evolution of the saline lake Shira (Southern Siberia, Russia) in the late Holocene // *Limnology and Freshwater Biology*.– 2024.– 7(4).– pp. 239–243.– DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-239 (Scopus)
- 10 Bezrukova E.V., Reshetova S.A., Amosova A.A., Shchetnikov A.A., Zykov V.V., Chubarov V.M., Bulkhin A.O., Filinov I.A., Krainov M.A., Rogozin D.Y. Vegetation and climate of southern Siberia in the Late Holocene at decadal resolution: a multiproxy study of the Lake Shira lacustrine sediments, Minusa Basin // *Limnology and Freshwater Biology*.– 2024.– 7(4).– pp. 292–297.– DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-292
- 11 Bezrukova E.V., Reshetova S.A., Kulagina N.V., Shchetnikov A.A., Filinov I.A., and Academician Kuzmin M.I. Vegetation and Climate in the North of the Minusinsk Basin in the Late Holocene: A Record from Shira Lake Resolved by Decade // *Doklady Earth Sciences*.– 2024.– 518(2).– P. 1755–1760. (11.08.2024).– DOI: 10.1134/S1028334X2460316X.
- 12 Grebenshchikova V.I., Kuzmin M.I. The Role of Rare Alkalis (Li, Rb, and Cs) as Indicators in Water of the Baikal Geosystem, Russia // *Doklady Earth Sciences*.– 2024.– Vol. 518(1).– P. 1457–1464. DOI: 10.1134/S1028334X2460261X
- 13 Krikunova A.I., Kobe F., Long T., Leipe C., Gliwa J., Shchetnikov A.A., Olschewski P., Hoelzmann P., Wagner M., Bezrukova E.V., Tarasov P.E. Vegetation and fire history of the Lake Baikal Region since 32 ka BP reconstructed through microcharcoal and pollen analysis of lake sediment from Cis- and Trans-Baikal // *Quaternary Science Reviews*.– 2024.– V. 340.– 108867 (15.09.2024).– DOI: 10.1016/j.quascirev.2024.108867
- 14 Mamontova E.A., Mamontov A.A. Persistent Organic Pollutants and Suspended Particulate Matter in Snow of Eastern Siberia in 2009–2023: Temporal Trends and Effects of Meteorological Factors and Recultivation Activities at Former Industrial Area // *Toxics*.– 2024.– 12(1): 11. (22.12.2023).– DOI: 10.3390/toxics12010011.
- 15 Reshetova S.A., Bezrukova E.V., Academician Kuzmin. Variability of Ephedra Dahurica Turcz. Pollen as an Indicator of Humidity for the Modern Climate of Southeastern Transbaikalia // *Doklady Earth Sciences*.– 2024.– Vol. 518 (2).– P. 1747-1754. (11.08.2024) DOI: 10.1134/S1028334X24603158
- 16 Reshetova S., Matyugina E. Level regime of the lake Bayn-Tsagan in the Holocene according to the results of palynological research (South-Eastern Transbaikalia) // В сборнике: IV International Conference on Ensuring Sustainable Development in the Context of Agriculture, Energy, Ecology and Earth Science (ESDCA2024). E3S Web of Conferences. LES ULIS.– 2024.– P. 3027. DOI: 10.1051/e3sconf/202451003027. (Scopus)

17 Sheinkman V., Kurgaeva A., Sedov S., Bezrukova E. Multiphase cryogenesis and incipient paleosol development during MIS 2 in North-Western Siberia: Detailed chronostratigraphy, paleoenvironmental significance, and comparison with the global and European records // *Quaternary International*.– 2024.– Vol. 686-687.– P. 142–159. (Available online 01.05.2023; 20.03.2024)).– DOI: 10.1016/j.quaint.2023.04.011

18 Solotchin P.A., Solotchina E.P., Bezrukova E.V., Shchetnikov2 A.A., Zhdanova A.N. Reconstruction of the Late Quaternary climate of Oka Plateau (East Sayan) based on sedimentary record from high-mountain freshwater lake // *Limnology and Freshwater Biology*.– 2024.– 7(4).– P. 670–675.– DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-670

19 Solotchina E.P., Solotchin P.A., Bezrukova E.V., Zhdanova A. N., Shchetnikov2 A.A., Danilenko I.V., Kuzmin M.I. Mineralogical Indicators of the Holocene Climate in Sediments of the High-Mountain Lake Sagan-Nur (East Sayan Mountains) // *Doklady Earth Sciences*.– 2024.– 517(2).– P. 1332–1339. (11.06.2024).– DOI: 10.1134/S1028334X24602220 (ИФ = 0,7 Q4))

2025 год

1 Гребенщикова В.И., Кузьмин М.И., Брюханова Н.Н. Особенности распределения селена в сопряженных объектах Байкальской водной экосистемы // *ДАН. Науки о Земле*.– 2025.– Т. 521.– № 2.– С. 74–82.

2 Ербаева М.А., Решетова С.А., Карасев В.В., Алексеева Н.В. Местонахождение Ножий из Восточного Забайкалья: геология и палеонтология // *Геология и геофизика*. – 2025. – Т. 66, № 8. – С. 976–984.

3 Зыков В. В., Бульхин А. О., Безрукова Е. В., Щетников А. А. Каротиноиды в донных отложениях как биомаркеры изменений в экосистеме соленого озера Шира (Сибирь, Хакасия) // *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология*. – 2025. – Т. 18, № 3. – С. 316–326.

4 Казанский А.Ю., Матасова Г.Г., Щетников А.А., Филинов И.А. Экзогеодинамика и обстановки осадконакопления Тункинской рифтовой долины (Юго-Западное Прибайкалье) в позднем плейстоцене – голоцене на основе анализа литологических и петромагнитных свойств отложений верхнепалеолитических местонахождений // *Геодинамика и тектонофизика*.– 2025.– Т. 16 (5).– 0855. doi:10.5800/GT-2025-16-5-0855

5 Казанский А.Ю., Щетников А.А., Безрукова Е.В., Матасова Г.Г., Филинов И.А., Кузьмин М.И. Гидродинамические условия осадконакопления в высокогорном оз.

Саган-Нур (Восточный Саян) // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2025. – Т. 522, № 1. – С. 74–82.

6 Мамонтов А.А., Мамонтова Е.А. Временные тренды и пространственное распределение полихлорированных бифенилов (ПХБ) в большой голомянке *Comerphorus Baicalensis* (Pallas, 1776) из озера Байкал в период с 2000 по 2023 гг. // Экологическая химия. – 2025. – Т. 34. – №2. – Р. 78–86.

7 Матасова Г. Г., Казанский А. Ю., Щетников А. А., Филинов И. А., Бердникова Н. Е. Анализ условий поздне-четвертичного осадконакопления в Тункинской рифтовой долине для решения задач геоархеологических исследований // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: история, филология. – 2025. – Т. 24. – № 5. – С. 21–37. DOI 10.25205/1818-7919-2025-24-5-21-37

8 Цветкова Е.А., Полетаева В.И., Пастухов М.В., Ощепкова А.В. Моделирование состава природных и сточных вод в районе деятельности завода «Усольехимпром» // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. – 2025. – Т. 70. – № 3. – С. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2025.301>

9 Щетников А.А., Казанский А.Ю., Матасова Г.Г., Иванова В.В., Филинов И.А., Бердникова Н.Е., Бердников И.М., Липнина Е.А. Строение и условия формирования отложений нового многослойного геоархеологического местонахождения Китойский мост (верхний палеолит, Предбайкалье) // Геоморфология и палеогеография. – 2025. – Т. 56. – № 3. – С. 507–526. <https://doi.org/10.31857/S2949178925030106>

10 Belogolova G. A., Baenguev B. A., Chuparina E. V., Pastukhov M. V., Prosekin S. N., Sokolnikova Yu. V. The mechanism of arsenic behavior in the soil-plant system and its interaction with biogenic macroelements of plants under conditions of toxic stress // Chemistry and Ecology. – 2025. – Vol. 41. – I.2. – P. 173–193. <https://doi.org/10.1080/02757540.2024.2416654>

11 Bezrukova E.V., Reshetova S.A., Shchetnikov A.A. Reconstruction of the Late Holocene environments in the northern Minusinsk Basin (South Siberia) based on the palynological analysis of Lake Shira sediments // Journal of Asian Earth Sciences. – 2025. – Vol. 289. – 106610

12 Bulkhin A.O., Zykov V.V., Rogozin D.Y., Bezrukova E.V. Polyunsaturated long-chain alkenones in bottom sediments of the meromictic Lake Shira (southern Siberia) as a paleo-indicator of climate change // Limnology and Freshwater Biology. – 2025. – No 4. – P. 824–833.

13 Chuparina E.V., Belogolova G.A., Baenguev B.A., Sokolnikova Ju.V., Zarubina O.V. Application of some calibration strategies in comparison to determine Cr, Ni, Cu, Zn, As,

and Pb in contaminated plants by wavelength dispersive x-ray fluorescence // X-Ray Spectrometry.– 2025.– Vol. 54, No 2.– P. 108–117. DOI: 10.1002/xrs.3440

14 Grebenshchikova V., Kuzmin M., Novopashina A., Kuz'mina E. Distribution and role of fluorine in the aquatic ecosystem (mineral springs, groundwater, tributaries, Baikal water, and the Angara water source) of Lake Baikal, Russia // China Geology.– 2025.– Vol. 8(2).– P. 303–313. DOI: 10.31035/cg20230100

15 Shchetnikov A.A. Tunka Valley – A Unique Geomorphological Polygon of the Baikal Rift System // Doklady Earth Sciences.– 2025.– Vol. 522:51. DOI: 10.1134/S1028334X25606571

16 Shchetnikov, A.A., Bezrukova, E.V. Relief Structure and Postglacial Evolution of Natural and Climatic Conditions of the Central Part of the Oka Plateau (Eastern Sayan). Geography and Natural Resources.– 2025.– Vol. 46.– P. 176–186. <https://doi.org/10.1134/S1875372825700192>

17 Skovitina T.M., Shchetnikov A.A., Kotov A.B. Geodiversity and Geomorphosites of the Baikal Rift Zone // Doklady Earth Sciences.– 2025.– Vol. 522:52. DOI: 10.1134/S1028334X25606613

Тезисы

2021 год

1 Баенгуев Б. А., Белоголова Г. А. Оценка загрязнения техногенных почв мышьяком в г. Свирске после ликвидации Ангарского металлургического завода // Строение Литосферы и Геодинамика: Материалы XXIX Всероссийской молодежной конференции, Иркутск, 11–16 мая 2021 года.– Иркутск: ИЗК СО РАН.– 2021.– С. 17–18.

2 Баенгуев Б.А., Белоголова Г.А. Содержание мышьяка в почве на территории бывшего Ангарского металлургического завода г. Свирска после рекультивации нарушенных земель // Байкальская молодежная научная конференция по геологии и геофизике: Материалы VI Всероссийской молодежной научной конференции, посвященной памяти академика Н.Л. Добрецова, Улан-Удэ – Горячинск, 23–27 августа 2021 года.– Улан-Удэ: БНЦ СО РАН.– 2021.– С. 8–10.

3 Волчатова Е.В., Безрукова Е.В., Амосова А.А., ван Харденброек М., Кулагина Н.В. История растительности и климата Окинского плато (Восточный Саян) в голоцене // Байкальская молодежная научная конференция по геологии и геофизике.– Материалы VI Всероссийской молодежной научной конференции, посвященной памяти академика Н.Л. Добрецова.– Улан-Удэ.– 2021.– С. 17–19.

4 Волчатова Е.В., Безрукова Е.В., Амосова А.А., Кулагина Н.В., Летунова П.П., Левина О.В., Щетников А.А., Филинов И.А., Кербер Е.В., Иванов Е.В. Природная среда в долине р. Сенца в финале среднего – позднего голоцена (результаты комплексного исследования пойменного торфяника) // Строение Литосферы и Геодинамика.– Материалы XXIX Всероссийской молодежной конференции.– Иркутск.– 2021.– С. 68–70.

5 Волчатова Е.В., Безрукова Е.В., Летунова П.П. Палеоэкология долины реки Сенца в голоцене как основа понимания современной структуры растительности района // Палеонтология, стратиграфия и палеогеография мезозоя и кайнозоя бореальных районов.– Материалы научной онлайн-сессии, посвященной 110-летию со дня рождения члена-корреспондента АН СССР Владимира Николаевича Сакса.– Под редакцией Н.К. Лебедевой, А.А. Горячевой, О.С. Дзюба, Б.Н. Шурыгина.– Новосибирск.– 2021.– С. 229–232.

6 Гордеева О.Н., Пастухов М.В., Баенгуев Б.А. Формы нахождения ртути в почвах окрестностей шламохранилища «Усольехимпрома» (Иркутская область) / Матер. Всероссийской научно-технической конференции «Геонауки 2021» с международным участием (Иркутск, 1-2 апреля 2021).– Иркутск: изд-во ИРНITU.– 2021.– С. 73–78.

7 Иванова В.В., Щетников А.А., Филинов И.А., Казанский А.Ю., Матасова Г.Г. Особенности фракционирования редкоземельных элементов в ископаемых костных остатках из разреза плейстоценовых отложений Малые Голы (Предбайкалье) // В сборнике: Палеонтология, стратиграфия и палеогеография мезозоя и кайнозоя бореальных районов. материалы научной онлайн-сессии, посвященной 110-летию со дня рождения чл.-корр. АН СССР Владимира Николаевича Сакса. под ред.: Н. К. Лебедевой, А. А. Горячевой, О. С. Дзюба, Б. Н. Шурыгина.– 2021.– С. 280–285.

8 Казанский А.Ю., Матасова Г.Г., Щетников А.А., Филинов И.А., Брагин В.Ю. Магнитная анизотропия аллювиальных отложений Голоустенско-Манзурской долины и условия седиментации Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания.– Иркутск: Институт земной коры СО РАН.– Вып. 19.– 2021.– С. 94–96.

9 Казанский А.Ю., Матасова Г.Г., Щетников А.А., Филинов И.А., Брагин В.Ю. Схема корреляции четвертичных отложений Байкальского региона вдоль трансекта Предбайкалье – Прибайкалье – Забайкалье на основе новых палеомагнитных данных Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания.– Иркутск: Институт земной коры СО РАН.– Вып. 19.– 2021.– С. 97–99.

10 Кузнецов П.В., Гребенщикова В.И. Радиоактивные и другие элементы в компонентах окружающей среды территории угольного месторождения Прибайкалья // Международная конференция «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека посв. Памяти Л.П. Рихванова». – Томск. – 2021. – С. 273–276.

11 Рапута В.Ф., Гребенщикова В.И., Леженин А. А., Т. Ярославцева Т.В., Амикишиева Р.А. Численный анализ процессов аэрозольного загрязнения Байкальской природной территории // Марчуковские научные чтения. – Томск. – 2021. – С. 111.

12 Савченков К.С., Пастухов М.В. Содержание ртути в почвах Усольской промышленной зоны и прилегающей к ней территории // Материалы Международной научной экологической конференции, посвященной Году науки и технологий (Краснодар, 29–31 марта 2021 года). – Краснодар. – 2021. – С. 425–428.

13 Хассан А., Титова Л.А., Чувашова И.С., Усольцева М.В., Решетова С.А., Рассказов С.В. Стратиграфия озерных неогеновых отложений Баргузинской долины // Байкальская молодежная научная конференция по геологии и геофизике. Материалы VI Всероссийской молодежной научной конференции, посвященной памяти академика Н.Л. Добрецова. Улан-Удэ. – 2021. – С. 124–126.

2022

1 Баенгуев Б.А., Белоголова Г.А. Эколого-геохимическая оценка соединений мышьяка и свинца в техногенной почве г. Свирска // Материалы Всероссийской конференции (с участием зарубежных ученых), посвящённой 65-летию Института геохимии им. А.П. Виноградова и 105-летию со дня рождения академика Л.В. Таусона. «Современные направления развития геохимии» (Иркутск, 21-25 ноября 2022). – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. – 2022. – Т. 1 – С. 45-48.

2 Безрукова Е.В., Кулагина Н.В., Решетова С.А., Щетников А.А., Волчатова Е.В., Амосова А.А., Чубаров В.М., Филинов И.А. Послеледниковая история седиментации, растительности и климата высокогорных геосистем восточного Саяна // Современные направления развития геохимии. материалы Всероссийской конференции (с участием зарубежных ученых), посвящённой 65-летию Института геохимии им. А.П. Виноградова и 105-летию со дня рождения академика Л.В. Таусона. Иркутск. – 2022. – С. 60–63.

3 Безрукова Е.В., Решетова С.А., Кулагина Н.В., Волчатова Е.В., Ван Харденбрук М., Щетников А.А. Растительность и климат Окинского плато (Восточный Саян) в последние 8.2 тысяч лет: на примере бассейна оз. Саган-нур // Актуальные проблемы современной палинологии. Материалы XV Всероссийской палинологической

конференции, посвященной памяти доктора геолого-минералогических наук В.С. Волковой и доктора геолого-минералогических наук М.В. Ошурковой. Отв. редактор Н.С. Болиховская. Москва.– 2022.– С. 42–46.

4 Васильева И.Е., Пастухов М.В., Шабанова Е.В., Шакирова А.А., Суслопаров Д.А. Комплект стандартных образцов почв Свирской природно-техногенной территории // Тезисы докладов IV Съезде аналитиков России (г. Москва, 26-30 сентября 2022 г.).– М.: Изд-во ОНТИ ГЕОХИ РАН.– 2022.– С. 267.

5 Волчатова Е.В., Безрукова Е.В. Изменения климата и растительности бассейна озера Номто-Нур (Восточный Саян) за последние 700 лет // ENVIROMIS 2022.– Международная конференция и школа молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды.– Томск.– 2022.– С. 245–248.

6 Гордеева О.Н., Пастухов М.В. Ртуть в почвах периодически затапливаемых островов р. Ангары в зоне воздействия «Усольехимпрома» // Сборник докладов Третьего Международного симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты» (Иркутск 22 – 27 августа).– Иркутск: Изд-во Лимнологического института СО РАН.– 2022.– С. 41–44.

7 Гребенщикова В.И., Кузьмин М.И. Геохимический мониторинг опасных природных и антропогенных процессов в Байкальской водной экосистеме // в сборнике: Экологические проблемы бассейна озера Байкал. Сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием: электронное издание.– Улан-Удэ.– 2022.– С. 48–53.

8 Долгих П.Г., Полетаева В.И., Пастухов М.В. Техногенное поступление микроэлементов в Вихоревский залив Усть-Илимского водохранилища // Материалы Всеросс. конф. (с участием зарубежных ученых) посвященной 65-летию Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН и 105-летию со дня рождения академика Л.В. Таусона «Современные направления развития геохимии» (Иркутск, 21-25 ноября 2022).– Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН.– 2022. – Т.1.– С. 167–170.

9 Казанский А.Ю., Матасова Г.Г., Щетников А.А., Филинов И.А., Брагин В.Ю., Бердникова Н.Е., Липнина Е.А. Китойский мост – новый тип разреза верхнечетвертичных отложений Предбайкалья // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы научной конференции. Иркутск: Институт земной коры СО РАН.– Вып. 20.– 18–21 октября 2022 г. – С.117–118.

10 Казанский А.Ю., Матасова Г.Г., Щетников А.А., Филинов И.А., Нечаев И.О., Бердникова Н.Е., Бердников И.М. Результаты комплексных исследований опорного разреза Игетей (средний - верхний неоплейстоцен, Предбайкалье) // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы научной конференции. Иркутск: Институт земной коры СО РАН.– Вып. 20.– 18–21 октября 2022 г. – С.119–120.

11 Мамонтов А.А., Мамонтова Е.А. К вопросу о мониторинге стойких органических загрязнителей (СОЗ) в пелагиали озера Байкал // Современные направления развития геохимии: Материалы Всероссийской конференции (с участием зарубежных ученых), посвящённой 65-летию Института геохимии им. А.П. Виноградова и 105-летию со дня рождения академика Л.В. Таусона / г. Иркутск, (21–25 ноября 2022 г).– Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН.– 2022.– Т.2.– С. 32–35.

12 Мамонтова Е.А., Мамонтов А.А. Полихлорированные бифенилы (ПХБ) и хлорорганические пестициды (ХОП) в снеговом покрове южного Прибайкалья // Современные направления развития геохимии: Материалы Всероссийской конференции (с участием зарубежных ученых), посвящённой 65-летию Института геохимии им. А.П. Виноградова и 105-летию со дня рождения академика Л.В. Таусона / Иркутск, (21–25 ноября 2022 г).– Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН.– 2022.– Т.2.– С. 35–39.

13 Пастухов М.В., Полетаева В.И. Пространственно-временная динамика концентраций ртути в рыбах Братского водохранилища, экологическая опасность ртутного загрязнения // Сборник докладов Третьего Международного симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты» (Иркутск 22 – 27 августа).– Иркутск: Изд-во Лимнологического института СО РАН.– 2022.– С. 143–146.

14 Пастухов М.В., Полетаева В.И. Химический состав планктона как показатель загрязнения Братского водохранилища // Материалы Всеросс. конф. (с участием зарубежных ученых) посвященной 65-летию Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН и 105-летию со дня рождения академика Л.В. Таусона «Современные направления развития геохимии» (Иркутск, 21–25 ноября 2022).– Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН.– 2022.– Т. 2.– С. 80–84.

15 Решетова С.А., Безрукова Е.В., Обязов В.А., Ткачук Т.Е. Морфологическая изменчивость пыльцы *Ephedra dahurica turcz.* В условиях температурно-влажностного режима Торейской впадины (Забайкалье) // Актуальные проблемы современной палинологии. Материалы XV Всероссийской палинологической конференции, посвященной памяти доктора геолого-минералогических наук В.С. Волковой и доктора

геолого-минералогических наук М.В. Ошурковой. Отв. редактор Н.С. Болиховская. Москва.– 2022.– С. 292–295.

16 Решетова С.А., Безрукова Е.В., Обязов В.А., Ткачук Т.Е. Особенности морфологии пыльцы хвойника даурского *Ephedra dahurica* Turcz. В условиях современного климата Забайкалья // Эволюция биосферы и техногенез. Материалы Всероссийской конференции с международным участием. Чита.– 2022.– С. 265–268.

17 Цветкова Е.А., Полетаева В.И., Пастухов М.В. Динамика концентраций ртути в сточных водах промышленной зоны г. Усолье-Сибирское в периоды с различной техногенной нагрузкой // Сборник докладов Третьего Международного симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты» (Иркутск 22–27 августа).– Иркутск: Изд-во Лимнологического института СО РАН.– 2022.– С. 188–191.

18 Baenguev B.A., Belogolova G.A. Distribution of lead in the technogenic soil in Svirsk town (South Baikal region) // Ресурсы, окружающая среда и региональное устойчивое развитие в Северо-Восточной Азии: Тезисы докладов V Международной научной конференции, Иркутск, 23–26 августа 2022 года.– Иркутск: ИГ СО РАН.– 2022.– Р. 87.

19 Kazansky A., Shchetnikov A., Matasova G., Filinov I., Erbajeva M., Ivanova V. Combined study of a new Pleistocene key section Ulan-Zhalga (West Zabaikalie, Buryatia, Russia). XIV школа-конференция с международным участием «Проблемы Геокосмоса — 2022».– Санкт-Петербург.– 05 октября 2022.– GC2022-PERM019.

20 Matasova G., Shchetnikov A., Filinov I. Late Pleistocene sedimentation history in the Kuitun River valley (Buriatia, Russia) based on combined magnetic and nonmagnetic data. XIV школа-конференция с международным участием «Проблемы Геокосмоса — 2022».– Санкт-Петербург.– 05 октября 2022.– GC2022-PERM021.

21 Poletaeva V.I., Pastukhov M.V., Dolgikh P.G., Tsvetkova E.A. Hydrochemical characteristic and water quality of the runoff of lake Baikal (sources of the Angara River) // Тезисы докладов V Международной научной конференции «Ресурсы, окружающая среда и региональное устойчивое развитие в Северо-Восточной Азии» (Иркутск, 23–26 августа 2022 г.). – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН.– 2022.– С. 133.

22 Reshetova S.A. New results of a palynological study of the Lake Doroninskoe sediments (Eastern Siberia, Transbaikalia) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2. Сер. "Evolution of Biosphere and Technogenesis, 2nd EBT 2021" 2022.– С. 012033.

23 Sait S., Rinø S.F., Gonzalez S., Pastukhov M., Poletaeva V., Farkas J., Ciesielski T., Jenssen B.M., Asimakopoulos A. Occurrence of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Baikal Seals // Setac Europe 32nd annual meeting “Towards a reduced pollution society” (Copenhagen, 15–19 May 2022).– Copenhagen Denmark.– P. 122.

24 Volchatova E.V., Bezrukova E.V., Kulagina N.V. History of vegetation change in the Sentsa river valley in the Holocene // X International Siberian Early Career GeoScientists Conference. Proceedings of the Conference.– Novosibirsk State University.– 2022.– P. 164-165.

2023 год

1 Баенгуев Б.А., Белоголова Г.А. Аккумуляция тяжелых металлов и мышьяка под воздействием ризосферных бактерий *Azotobacter* и *Bacillus* в техногенных почвах // Материалы Всероссийской конференции молодых учёных «Современные проблемы геохимии» (Иркутск-Байкал, 11-16 сентября 2023 г.). – Иркутск: ИГХ СО РАН.– 2023.– С. 8–9.

2 Баенгуев Б.А., Белоголова Г.А. Свинец в системе «почва-растение» в условиях техногенного загрязнения // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XXVII Международного молодежного научного симпозиума имени академика М.А. Усова, посвященного 160-летию со дня рождения академика В.А. Обручева и 140-летию академика М.А. Усова, основателям Сибирской горно-геологической школы (Томск, 03–07 апреля 2023 года).– Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет.– 2023.– С. 208–209.

3 Безрукова Е.В., Кулагина Н.В., Щетников А.А., Филинов И.А. Ландшафты и климат юго-западного Забайкалья в голоцене: новые данные // Геодинамика и минералогия Северной Евразии: материалы VI Международной научной конференции, посвященной 50-летию Геологического института им. Н. Л. Добрецова СО РАН. Улан-Удэ: Издательство Бурятского госуниверситета.– 2023.– С. 67–69.

4 Безрукова Е.В., Решетова С.А., Волчатова Е.В., Кулагина Н.В., Щетников А.А., Крайнов М.А., Филинов И.А. История растительности юга Восточной Сибири в среднем- позднем голоцене // Картографирование биоты: традиции и актуальные вопросы развития. Материалы Международной научной конференции, посвященной 85-летию со дня рождения д.г.н. Алексея Васильевича Белова и д.б.н. Валерия Федоровича Лямкина. Под редакцией В.М. Плюснина, И.Н. Владимирова.– Иркутск.– 2023.– С. 14–16.

5 Безрукова Е.В., Решетова С.А., Кулагина Н.В., Волчатова Е.В., Щетников А.А., Крайнов М.А., Филинов И.А. Растительность, ландшафты и климат юга Восточной Сибири в последние 13 500 лет // Развитие жизни в процессе абиотических изменений на Земле. Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 30-летию юбилею Байкальского музея СО РАН.– Иркутск.– 2023.– С. 161–163.

6 Бердников И.М., Щетников А.А., Филинов И.А., Молодьков А.Н., Бердникова Н.Е., Шегутов И.С., Золотарев Д.П. К вопросу о возрасте комплексов

коррадированных артефактов Осинского залива Братского водохранилища (Южное Приангарье) // Время переходов: смена эпох и культур в палеолите. Материалы международной конференции. Институт истории материальной культуры РАН, Санкт-Петербург.– 2023.

7 Волчатова Е.В., Безрукова Е.В., Решетова С.А., Кербер Е.В. Изменение фиторазнообразия бассейна озера Ильчир за последние 6500 лет // Устойчивость растений и микроорганизмов к неблагоприятным факторам среды. Тезисы докладов VI Всероссийской научной конференции с международным участием.– Иркутск.– 2023.– С. 89.

8 Волчатова Е.В., Безрукова Е.В., Решетова С.А., Кербер Е.В. Изменение фиторазнообразия бассейна озера Саган-Нур за последние 8600 лет // Проблемы геологии и освоения недр. Труды XXVII Международного молодежного научного симпозиума имени академика М.А. Усова, посвященного 160-летию со дня рождения академика В.А. Обручева и 140-летию академика М.А. Усова, основателям Сибирской горно-геологической школы.– Томск.– 2023.– С. 16–17.

9 Гребенщикова В.И., Кузьмин М.И., Демьянович В.М. О связи изменений концентрации урана и ртути в воде с сейсмическим процессом в Байкальском регионе // XIV Российско-монгольская международная конференция «Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона».– 2023.– Иркутск.– С.24–25.

10 Гребенщикова В.И., Кузьмин М.И., Иванов В.Г. Причины «аномальных концентраций» химических компонентов во временных рядах распределения в воде Байкальской экосистемы // В сборнике: Современные направления развития геохимии. Материалы Всероссийской конференции (с участием зарубежных ученых), посвященной 65-летию Института геохимии СО РАН им. А.П. Виноградова и 105-летию со дня рождения академика Л.В. Таусона.– Иркутск.– 2022.– С. 149–153.

11 Гуляев И.М., Гребенщикова В.И.. Распределение фтора в воде Байкальской экосистемы // Современные проблемы геохимии – 2023: Материалы конференции молодых ученых ИГХ СО РАН.– Иркутск.– 2023.– С. 45–47.

12 Долгих П.Г., Полетаева В.И., Пастухов М.В. Техногенное поступление микроэлементов в Вихоревский залив Усть-Илимского водохранилища // Материалы Всероссийской конференции молодых учёных «Современные проблемы геохимии» (Иркутск-Байкал, 11-16 сентября 2023 г.).– Иркутск: Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН.– 2023.– С 51–53.

13 Казанский А.Ю., Щетников А.А., Матасова Г.Г., Филинов И.А., Бердникова Н.Е., Бердников И.М. Жданово – новый опорный разрез нижнего плейстоцена в

Предбайкалье // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы научной конференции. Иркутск: Институт земной коры СО РАН.– Вып. 21.– 2023.– С. 117–118.

14 Казанский А.Ю., Щетников А.А., Филинов И.А., Матасова Г.Г. Крупный речной этап в геологической истории кайнозоя Байкальского региона // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы научной конференции. Иркутск: Институт земной коры СО РАН.– Вып. 21.– 2023.– С. 119–120.

15 Крайнов М.А., Безрукова Е.В., А.А. Щетников. Сравнение условий формирования палеоклиматических записей в озёрах различного генезиса в горах и предгорьях Восточного Саяна // Материалы VI Международной научной конференции «Геодинамика и минерогенез», посвященной 50-летию Геологического института им. Н.Л. Добрецова СО РАН, 300-летию Российской академии наук, 100-летию Республики Бурятия и 10-летию науки и технологий.– 2023.– с. 302–305 (13-17 марта 2023 г., Улан-Удэ).

16 Мамонтов А.А., Мамонтов А.М., Мамонтова Е.А. *Comerphorus baikalensis* (Pallas, 1776) для биомониторинга стойких органических загрязнителей в пелагиали озера Байкал. Риск здоровью человека от потребления в пищу большой голомянки // Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы: Сборник материалов VIII Всероссийской конф. по водной экотоксикологии, посвященной 85-летию со дня рождения Бориса Александровича Флёрова / Борок, (17–20 октября 2023 г.).– Ярославль: Филигрань.– 2023.– С. 264–266.

17 Матасова Г.Г., Казанский А.Ю., Щетников А.А., Филинов И.А. Пространственно-временная модель четвертичных осадочных отложений Сибири по данным палео- и петромагнитных исследований // Всероссийская конференция с международным участием «Палеомагнетизм и магнетизм горных пород». Сборник тезисов.– Казань: КФУ.– 2023.– С. 41.

18 Пастухов М.В., Полетаева В.И., Цветкова Е.А. Оценка транспорта ртути поверхностным стоком талых вод в зоне воздействия «Усольехимпром» // Тезисы докладов Всероссийской науч.-практ. конференции «Геохимические методы поисков как инструмент обнаружения прямых признаков месторождений стратегических видов минерального сырья» (Москва, 27 - 28 ноября 2023 г.).– М: изд-во ИМГРЭ.– 2023.– С. 118–121.

19 Русинек О.Т., Гребенщикова В.И. Содержание природной ртути в байкальской нерпе и ее паразитах // Материалы IV Всероссийской научно-практической

конференции "Развитие жизни в процессе абиотических изменений на Земле", посвящённой 30-летию юбилею Байкальского музея СО РАН.– Иркутск: Изд-во ИГУ.– 2023.– С. 136–139.

20 Русинек О.Т., Мамонтова Е.А., Мамонтов А.А. Е.Н. Тарасова (1938–2017) – ученый-гидрохимик, байкаловед (к 85-летию со дня рождения) // Развитие жизни в процессе абиотических изменений на Земле: Материалы IV всероссийской науч.-практич. конф., посвященной 30-летию юбилею Байкальского музея СО РАН / пос. Листвянка, (25-29 сентября 2023 г.).– Иркутск: Издательство ИГУ.– 2023.– С. 274–277.

21 Филинов И.А., Алексеева Н.В. Криогенез позднекайнозойских отложений Байкальского региона // Геодинамика и минерализация Северной Евразии: материалы VI Международной научной конференции, посвященной 50-летию Геологического института им. Н. Л. Добрецова СО РАН. — Улан-Удэ: Издательство Бурятского государственного университета.– 2023.– С. 548-550.

22 Хензыхенова Ф. И., Щетников А. А., Филинов И. А., Намзалова О. Д.-Ц., Щепина Н. А. Фауна и геология нового позднеплейстоценого местонахождения Эдэрмэг (Западное Забайкалье) // Материалы VI Международной научной конференции, посвященной 50-летию Геологического института им. Н. Л. Добрецова СО РАН. 300-летию Российской академии наук, 100-летию Республики Бурятия и 10-летию науки и технологий (13-17 марта 2023 г., г. Улан-Удэ). – С. 556–559.

23 Цветкова Е.А., Полетаева В.И., Пастухов М.В. Основной ионный состав талых вод промышленной зоны г. Усолье-Сибирское // Материалы VI Всероссийской молодежной науч.-практ. школа-конференции «Науки о Земле. Современное состояние» (Республика Хакасия, Геологический полигон «Шира», 30 июля – 5 августа 2023 г.). – Новосибирск: ИПЦ НГУ.– 2023.– С. 169–171.

24 Цветкова Е.А., Полетаева В.И., Пастухов М.В. Распределение As, Pb, Zn и Cd в талых водах природно-техногенных систем (г. Усолье-Сибирское) // Материалы конференции «Geological international student summit 2023. Геологический международный студенческий саммит 2023» (Санкт-Петербург, 6–10 апреля 2023 года). – Санкт-Петербург: Свое издательство.– 2023.– С. 192–194.

25 Bezrukova E.V., Shchetnikov A. Lakes of southern Siberia as valuable archives of sedaDNA records // Baikal Archaeology Project Workshop "Individual life histories in long-term culture change: Holocene hunter-gatherers in Northern Eurasia" Istanbul, Turkey, November 11–13, 2023).

26 Chuparina E.V., Sokolnikova Ju.V., Zarubina O.V., Pashkova G.V., Belogolova G.A., Baenguev B.A. WDXRF of vegetable and biological samples with nonstandard matrix or

element compositions: quantification of some microelement // Abstracts book of the 6th International hybrid conference on X-ray analysis (Ulaanbaatar, 28-30 August 2023).– Ulaanbaatar, Mongolia.– P. 45–46.

27 Daxner-Höck G., Shchetnikov A. The Miocene Tagay locality of Olkhon Island (Lake Baikal, Eastern Siberia) – a multidisciplinary approach // Annual Conference of the Austrian Palaeontological Society. Vienna.– 2023.– P. 154–155.

2024 год

1 Агатова А.Р., Непоп Р.К., Кузьмина О.Б., Жилич С.В., Щетников А.А., Непоп А.Р. Хронология освоения древесной растительностью ныне безлесной высокогорной Богутинской впадины (Русский Алтай) в постледниковье: данные комплексного анализа донных отложений озера Верхние Богуты // Материалы Международной научно-практической конференции "LXXVII Герценовские чтения. География: развитие науки и образования". Том. 1. – Санкт-Петербург: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена.– 2024.– С. 343–345.

2 Агатова А.Р., Непоп Р.К., Кузьмина О.Б., Щетников А.А. Первые результаты палеоэкологических и палеоклиматических исследований плейстоцен-голоценовых донных отложений озера Верхние Богуты (Русский Алтай) // Материалы Международной научно-практической конференции "LXXVII Герценовские чтения. География: развитие науки и образования". Том. 1. - Санкт-Петербург: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена.– 2024.– С. 343–345.

3 Баенгуев Б. А., Белоголова Г.А. Поведение As и биогенных элементов Р и Si под воздействием ризобактерий в системе «почва растение» // PLAMIC 2024: материалы IV Международной научной конференции «Растения и микроорганизмы: биотехнология будущего» (Байкальск, 15–22 сентября 2024 г).– Иркутск: СИФИБР СО РАН.– С. 213–215.

4 Безрукова Е.В., Кулагина Н.В., Решетова С.А., Волчатова В.В., Амосова А.А., Смелый Р.В., Щетников А.А., Крайнов М.А., Филинов И.А. Комплексная запись из донных отложений оз. Саган-Нур (Восточный Саян) как индикатор изменений природной среды юга Сибири в среднем–позднем голоцене Континентальный рифтогенез, сопутствующие процессы. Материалы V Всероссийской конференции, посвященной памяти академика Н.А. Логачева. Иркутск, 16-19 апреля 2024 г.– Иркутск: Изд-во ИГУ.– 2024.– С. 22–24.

5 Безрукова Е.В., Решетова С.А., Кулагина Н.В., Щетников А.А., Филинов И.А., Крайнов М.А. Поздний голоцен севера Минусинской котловины: растительность,

климат, человек // Материалы XVII научного совещания географов Сибири и Дальнего Востока (г. Иркутск, 9–14 сентября 2024 г.). Иркутск: ИГ СО РАН.– 2024.– С. 9–12.

6 Волчатова Е.В., Безрукова Е.В., Кербер Е.В. Ландшафтные и климатические изменения в бассейне озера Номто-нур (Окинское плато) за последние 750 лет // Эволюция биосферы и техногенез. Материалы IV Всероссийской конференции, посвященной 300-летию РАН, 300-летию первой научной экспедиции под руководством Д.Г. Мессершмидта в Забайкалье. Чита.– 2024.– С. 23.

7 Гордеева О.Н., Пастухов М.В. Миграция ртути в почвенном покрове островов р. Ангары в зоне влияния хлорно-щелочного предприятия (Иркутская область) // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы экологической геохимии» (г. Москва, 26-27 ноября 2024 г.). – М.: ИМГРЭ, 2024.

8 Гребенщикова В.И., Кузьмин М.И., Новопашина А.В. Распределение редких щелочей (Li, Rb, Cs) в водных компонентах Байкальской рифтовой зоны // Континентальный рифтогенез, сопутствующие процессы: материалы V Всероссийской конференции с участием иностранных ученых, посвященной памяти академика Н. А. Логачева в связи с 95-летием со дня рождения.– Иркутск.– 16–19 апреля 2024 г. / Ин-т земной коры СО РАН; Иркут. гос. ун-т.– 2024.– С. 35–38.

9 Ербаева М.А., Дакснер-Хёк Г., Щетников А.А., Казанский А.Ю., Филинов И.А., Мёрс Т., Алексеева Н.В., Иванова В.В., Войта Л.Л., Матасова Г.Г., Намзалова О.Д.Ц. Новые данные по фауне, природной среде и стратиграфии миоценового местонахождения Тагай (остров Ольхон) // Континентальный рифтогенез, сопутствующие процессы. Материалы V Всероссийской конференции, посвященной памяти академика Н.А. Логачева. Иркутск, 16-19 апреля 2024 г.– Иркутск: Изд-во ИГУ.– 2024.– С. 41-43.

10 Иванова В.В., Щетников А.А., Филинов И.А., Казанский А.Ю., Матасова Г.Г. Бердникова Н.Е., Бердников И.М. Реконструкция природно-климатических условий образования отложений опорного разреза Игетей (средний – верхний неоплейстоцен, Предбайкалье) // Континентальный рифтогенез, сопутствующие процессы. Материалы V Всероссийской конференции, посвященной памяти академика Н.А. Логачева. Иркутск, 16-19 апреля 2024 г.– Иркутск: Изд-во ИГУ.– 2024.– С. 59–61.

11 Кузнецов П.В., Гребенщикова В.И. Селен в сопряженных средах окрестностей г. Ангарска (Иркутская область) // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы экологической геохимии». 26–27 ноября 2024 г.

12 Рассказов С.В., Усольцева М.В., Решетова С.А., Чувашова И.С., Ясныгина Т.А. Перспективы дробного стратиграфического расчленения танхойской свиты -

потенциал для детальных реконструкций развития рельефа и понимания глубинной геодинамики байкальской рифтовой системы в миоцене и раннем плиоцене // Континентальный рифтогенез, сопутствующие процессы. Материалы V Всероссийской конференции с участием иностранных ученых, посвященной памяти академика Н.А. Логачева в связи с 95-летием со дня рождения.— Иркутск.— 2024.— С. 125–128.

13 Решетова С.А., Безрукова Е.В., Зима Ю.В., Матюгина Е.Б., Корсун О.В. Гидрологическая и ландшафтно-климатическая трансформация верхней части долины р. Урюмкан за последние 7000 лет // Материалы XVII научного совещания географов Сибири и Дальнего Востока. к 50-летию БАМ и памяти акад. П.Я. Бакланова.— Иркутск.— 2024.— С. 144–147.

14 Хомматлиев Г.Б., Полетаева В.И., Пастухов М.В. Концентрации Al, Mn, Fe в воде Иркутского водохранилища // Материалы III молодежной научной конференции-школы с международным участием «Геология на окраине континента», (Владивосток, 16–20 сентября 2024 г.).— Владивосток: Издательство Дальневосточного федерального университета.— 2024.— С. 184–188.

15 Хомматлиев Г.Б., Полетаева В.И., Пастухов М.В., Бархатова О.А. Основной ионный состав воды Иркутского водохранилища // Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции «Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии» (Иркутск, 19–22 декабря 2023 г.).— Иркутск: Издательство ИГУ.— 2024.— С. 99–104.

16 Цветкова Е.А., Полетаева В.И., Пастухов М.В. Распределение концентраций Cu, Zn, Pb, V и As в почвах промышленной территории (г. Усолье-Сибирское) // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы экологической геохимии» (г. Москва, 26-27 ноября 2024 г.).— М.: ИМГРЭ.— 2024.— С. 213–216.

17 Цветкова Е.А., Полетаева В.И., Пастухов М.В. Химический состав снегового покрова в зоне влияния промышленных объектов (г. Усолье-Сибирское) // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXVIII Международного молодежного научного симпозиума имени академика М.А. Усова, посвященного 125-летию со дня рождения академика Академии наук СССР, профессора К.И. Сатпаева и 130-летию со дня рождения члена-корреспондента Академии наук СССР, профессора Ф.Н. Шахова (Томск, 01-05 апреля 2024 года).— Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет.— 2024.— С. 283–285.

18 Цветкова Е. А., Полетаева В.И., Пастухов М.В. Химический состав талых вод промышленной зоны г. Усо́лья-Сибирского // Материалы III молодежной научной

конференции-школы с международным участием «Геология на окраине континента» (Владивосток, 16–20 сентября 2024 г). – Владивосток: Издательство Дальневосточного федерального университета.– 2024.– С. 189–193.

19 Reshetova S., Matyugina E. Level regime of the Lake Bayn-Tsagan in the holocene according to the results of palynological research (South-Eastern Transbaikalia) // IV International Conference on Ensuring Sustainable Development in the Context of Agriculture, Energy, Ecology and Earth Science (ESDCA2024). E3S Web of Conferences. LES ULIS.– 2024.– P. 3027.

2025 год

1 Баенгуев Б. А., Белоголова Г.А. Оценка геоэкологических рисков загрязнения рекультивированных почв г. Свирска // Материалы конференции молодых ученых «Современные проблемы геохимии» (Иркутск, 15-20 сентября 2025 г.).– Иркутск: Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН.– 2025.– С. 21–22.

2 Баенгуев Б.А., Белоголова Г.А. Распределение ртути в почвенно-растительном покрове рекультивированной промплощадки мышьякового завода г. Свирска // Сборник тезисов IV Международного симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты» (Череповец, 22–26 сентября 2025 г.).– Череповец: Череповецкий ГУ.– 2025.– С. 16–17.

3 Безрукова Е.В., Решетова С.А., Кулагина Н.В., Волчатова Е.В., Щетников А.А., Филинов И.А., Крайнов М.А. 14-тысячелетняя летопись природной среды юга Восточной Сибири: результаты комплексного исследования донных отложений озер // Тезисы XI Всероссийской конференции по изучению четвертичного периода / Комиссия по изучению четвертичного периода при ОНЗ РАН, Институт Карпинского, Институт географии РАН. – СПб.: Институт Карпинского.– 2025.– С. 21–22.

4 Безрукова Е.В., Решетова С.А., Кулагина Н.В., Щетников А.А., Филинов И.А., Крайнов М.А. Природная среда севера минусинской котловины в среднем-позднем голоцене на основе палинологической записи декадного разрешения из донных отложений оз. Ши́ра // Палинология в XXI веке. Материалы XVI Всероссийской палинологической конференции, посвященной 145-летию со дня рождения В.Н. Сукачева.– Москва.– 2025.– С. 22–27.

5 Волчатова Е.В., Безрукова Е.В. Влияние региональных факторов на состав субрецентных спорово-пыльцевых спектров прибрежных илов озера Саган-Нур // Современные проблемы геохимии – 2025. Материалы Всероссийской конференции молодых ученых.– Иркутск.– 2025.– С. 30–32.

6 Волчатова Е.В., Безрукова Е.В. Растительный покров и животноводство в долине реки Сенца: реконструкции на основе палинологического анализа донных отложений оз. Номто-Нур за последние 700 лет // Строение литосферы и геодинамика. Материалы XXXI Всероссийской молодежной конференции.– Иркутск.– 2025.– С. 20–22.

7 Гордеева О.Н., Пастухов М.В. Биодоступность почвенной ртути для растений на техногенно-загрязненных территориях южного Прибайкалья // Сборник тезисов IV Международного симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты» (Череповец, 22–26 сентября 2025 г.).– Череповец: Череповецкий ГУ.– 2025.– С. 31–32.

8 Гребенщикова В.И., Гордеева О.Н. Эколого-геохимическое состояние почв и воды устьев притоков Южного Байкала // VIII Международная Байкальская Верещагинская Конференция в память о выдающемся российском ученом Г.Ю. Верещагине. ЛИН СО РАН.– Иркутск.– 2025.– С. 175–176.

9 Гребенщикова В.И., Гордеева О.Н., Гуляев И.М. Ртуть в воде и почве устьев притоков Южного Байкала // Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Ртуть в экосистемах: глобальные вызовы и региональные решения: Сборник тезисов IV Международного симпозиума и Всероссийского форума молодых ученых, аспирантов и студентов, Череповец, 22–26 сентября 2025 года.– Ярославль: ООО "Канцлер".– 2025.– С. 35–36.

10 Гуляев И.М., Гребенщикова В.И. Причины возникновения положительных и отрицательных межгодовых трендов макрокомпонентов в воде истока Р. Ангары (сток Байкала) // Современные проблемы геохимии – 2025: Материалы Всероссийской конференции молодых ученых, Иркутск, 15–20 сентября 2025 года.– Иркутск: ИГ СО РАН, ИГХ СО РАН.– 2025. – С. 44–46.

11 Долгих П.Г., Полетаева В.И., Пастухов М.В. Формы нахождения микроэлементов в донных отложениях Усть-илимского водохранилища // Материалы конференции молодых ученых «Современные проблемы геохимии» (Иркутск, 15-20 сентября 2025 г.) – Иркутск: Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН.– 2025.– С. 46–49.

12 Ербаева М.А., Щетников А.А., Филинов И.А., Алексеева Н.В., Хензыхенова Ф.И., Намзалова О.Д.-Ц. Новые данные по биостратиграфии и природной среде позднего кайнозоя Западного Забайкалья (по мелким млекопитающим) // Геология и металлогения цветных и благородных металлов. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной юбилеям директоров ГИН СО РАН Э.Г. Конникова и А.Г.

Миронова. Улан-Удэ: Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, 2025. С. 24-25.

13 Иванова В.В., Щетников А.А., Бердникова Н.Е., Филинов И.А., Бердников И.М., Липнина Е.А. Реконструкция условий и обстановок осадконакопления геoarхеологического объекта Китойский Мост (верхний палеолит, Предбайкалье) по геохимическим данным // Тезисы XI Всероссийской конференции по изучению четвертичного периода / Комиссия по изучению четвертичного периода при ОНЗ РАН, Институт Карпинского, Институт географии РАН. – СПб.: Институт Карпинского.– 2025.– С. 63–64.

14 Казанский А.Ю., Матасова Г.Г., Щетников А.А., Филинов И.А. Реконструкция условий осадконакопления в опорном разрезе Игетей (средний – верхний неоплейстоцен, Предбайкалье) по данным коэрцитивной спектроскопии // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы научной конференции. Вып. 23. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН.– 2025.– С. 115–117.

15 Мамонтов А. А., Мамонтова Е. А. Стойкие органические загрязнители Солзанского полигона БЦБК // Тезисы докладов и стендовых сообщений VIII Международной Верещагинской Байкальской конференции / Иркутск, (8–14 сентября 2025 г.).– Иркутск: Изд-во ИГУ.– 2025.– С. 371–372.

16 Ощепкова А.В., Полетаева В.И., Мазухина С.И., Долгих П.Г., Пастухов М.В. Моделирование форм нахождения элементов в водной экосистеме реки Вихорева при антропогенной нагрузке // Материалы XXXVI молодежной научной школы-конференции, посвященной памяти чл.-корр. АН СССР К.О. Кратца и акад. РАН Ф.П. Митрофанова, «Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии» (Апатиты, 22–27 сентября 2025 г.).– Апатиты: Издательство Кольского научного центра.– 2025.– С. 58–61.

17 Ощепкова А.В., Полетаева В.И., Мазухина С.И., Долгих П.Г., Пастухов М.В. Формы элементов в воде р. Вихорева в зоне промышленных стоков / Современные проблемы геохимии - 2025. Материалы Всероссийской конференции молодых ученых.– Иркутск.– 2025.– С. 103–106.

18 Полетаева В.И., Пастухов М.В., Цветкова Е.А. Гидрохимические исследования Братского водохранилища в разные по антропогенной нагрузке периоды // Материалы III международной конференции «Озера Евразии: проблемы и пути их решения» (г. Казань, 20–23 мая 2025 г.).– Казань: Изд-во Академии наук РТ.– 2025.– С. 475–480.

19 Полетаева В.И., Хомматлиев Г.Б., Пастухов М.В. Поиск региональных стандартов качества для вод ангарской системы // Материалы III международной конференции «Озера Евразии: проблемы и пути их решения» (г. Казань, 20–23 мая 2025 г.).– Казань: Изд-во Академии наук РТ.– 2025.– С. 480–484.

20 Решетова С.А., Безрукова Е.В. Гидрологический режим оз. Шира в последние 3000 лет на основе непыльцевых палиноморф из его донных отложений // Палинология в XXI веке. Материалы XVI Всероссийской палинологической конференции, посвященной 145-летию со дня рождения В.Н. Сукачева. Москва.– 2025.– С. 298–301.

21 Филинов И.А. Щетников А.А., Казанский А.Ю. Новые данные по тефростратиграфии верхнеплейстоцен-голоценовых отложений Юго-Западного Прибайкалья // Тезисы XI Всероссийской конференции по изучению четвертичного периода / Комиссия по изучению четвертичного периода при ОНЗ РАН, Институт Карпинского, Институт географии РАН. – СПб.: Институт Карпинского.– 2025.– С. 198.

22 Хензыхенова Ф.И., Намзалова О. Д.-Ц., Щетников А.А., Филинов И.А. Новые данные по микротериофауне разреза игетей (Предбайкалье) // Геология и металлогения цветных и благородных металлов. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной юбилеям директоров ГИН СО РАН Э.Г. Конникова и А.Г. Миронова.– Улан-Удэ: Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН.– 2025.– С. 88.

23 Хомматлиев Г.Б., Полетаева В.И., Пастухов М.В. Динамика концентраций микроэлементов в воде истока р. Ангары // Материалы XXXVI молодежной научной школы-конференции, посвященной памяти чл.-корр. АН СССР К.О. Кратца и акад. РАН Ф.П. Митрофанова, «Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии» (Апатиты, 22–27 сентября 2025 г.).– Апатиты: Издательство Кольского научного центра.– 2025.– С. 96–98.

24 Хомматлиев Г.Б., Полетаева В.И., Пастухов М.В. Применение статистических методов для обработки гидрохимических данных (на примере Иркутского водохранилища) // Сборник статей конференции, посвященной 105-летию со дня образования Гидрохимического института, «Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод» (г. Ростов-на-Дону, 15-17 сентября 2025 г.).– Ростов-на-Дону.– 2025.– С. 85–90.

25 Хомматлиев Г.Б., Полетаева В.И., Пастухов М.В., Долгих П.Г. Распределение концентраций основных ионов в воде русловой части и заливах Иркутского водохранилища // Материалы конференции молодых ученых «Современные

проблемы геохимии» (Иркутск, 15-20 сентября 2025 г.).– Иркутск: Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН.– 2025.– С. 138–140.

26 Цветкова Е.А., Полетаева В.И., Пастухов М.В., Баенгуев Б.А. Химический состав почв промышленной территории (г. Усолье-Сибирское) // Материалы конференции молодых ученых «Современные проблемы геохимии» (Иркутск, 15-20 сентября 2025 г.).– Иркутск: Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН.– 2025.– С. 141–143.

27 Щетников А.А., Казанский А.Ю., Филинов И.А., Иванова В.В., Бердникова Н.Е., Липнина Е.А. Строение и условия формирования отложений нового многослойного геoarхеологического местонахождения Китойский Мост (верхний палеолит, Предбайкалье) // Тезисы XI Всероссийской конференции по изучению четвертичного периода / Комиссия по изучению четвертичного периода при ОНЗ РАН, Институт Карпинского, Институт географии РАН. – СПб.: Институт Карпинского.– 2025.– С. 218–219.

28 Щетников А.А., Казанский А.Ю., Филинов И.А., Иванова В.В., Хензыхенова Ф.И., Намзалова О.Д.-Ц., Осипова Е.М., Маликов Д.Г., Бердникова Н.Е. Опорный разрез многослойной стоянки Игетей (нижний–верхний палеолит, Предбайкалье): стратиграфия, геохронология и условия формирования отложений // Тезисы XI Всероссийской конференции по изучению четвертичного периода / Комиссия по изучению четвертичного периода при ОНЗ РАН, Институт Карпинского, Институт географии РАН. – СПб.: Институт Карпинского.– 2025.– С. 217–218.