

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

УДК 556.314

№ гос. рег.

АААА-А17-117021310076-2

Инв. № 5

УТВЕРЖДЕНО

РЕШЕНИЕМ УЧЕНОГО СОВЕТА

Протокол № 8 от «19» декабря 2019 г.

Председатель Ученого совета,  
директор института, д.г.-м.н.

А.А. Цыганков



ОТЧЕТ за 2019 г.  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

**Проект IX.137.1.4.** Взаимодействия в системе вода-порода-органическое вещество в природных и техногенных обстановках Байкальского региона (промежуточный)

Номер проекта в ИС управления НИР  
0340-2019-0005

**Приоритетное направление IX.137.** Эволюция окружающей среды и климата под воздействием природных и антропогенных факторов, научные основы рационального природопользования и устойчивого развития; территориальная организация хозяйства и общества

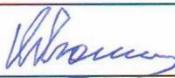
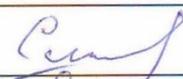
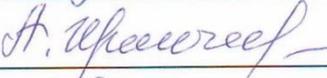
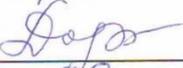
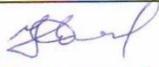
**Программа IX.137.1.** Динамика биокосных систем Центральной Азии в условиях изменения климата и техногенного давления

Научный руководитель  
д.г.-м.н.

А.М. Плюснин

Улан-Удэ, 2019

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Должность	Подпись	ФИО
Д.Г.-М.Н., зав.лаб. (0,4)		Плюснин А.М.
К.Б.Н., с.н.с.		Дорошкевич С.Г.
К.Ф.-М.Н., с.н.с (0,5)		Хажеева З.И.
К.Г.-М.Н., с.н.с (0,5)		Смирнова О.К.
К.Г.Н., н.с.		Перязева Е.Г.
К.Г.Н., н.с.		Чернявский М.К.
К.Г.-М.Н., н.с		Жамбалова Д.И.
К.Г.-М.Н., н.с		Украинцев А.В.
К.Х.Н., н.с.		Дампилова Б.В.
К.Г.-М.Н., м.н.с		Дабаева В.В.
К.Т.Н., м.н.с.		Санжанова С.С.
вед.инж.		Бардамова И.В.
инж. 2 кат. (0,1)		Иринчеева А.И.
инж. лаб. (0,2)		Доржиева Н.Д.
инж. лаб.		Кушеева Е.С.
аспирант (инж.0,5)		Ангахаева Н.А.
лаб.		Калашников С.Г.

## Содержание

	Стр.
Реферат .....	1
Нормативные ссылки .....	1
Определения, обозначения и сокращения .....	2
Введение .....	2
Основные результаты. ....	3
Заключение .....	14
Список использованной литературы .....	15
Приложение .....	16

## Реферат

Отчет 16 стр., 9 рис., 1 табл., 1 прил.

### ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ ВОДА-ПОРОДА-ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО В ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ОБСТАНОВКАХ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА

Цель работы: выявление и исследование основных закономерностей формирования химического состава поверхностных и подземных вод в природных и техногенных ландшафтах. На 2019 г: выявление особенностей формирования газового и химического состава трещинно-жильных вод в районах проявления неогенового вулканизма Витимского плоскогорья; оценка физико-химической подвижности и биологической доступности химических элементов в почвах, илах и других объектах в природных и техногенных водоемах.

Метод исследования: наблюдения на природных объектах, отбор проб воды, снега, почв, донных отложений; анализ химического и изотопного состава образцов, математическая обработка результатов; экспериментальное моделирование.

Полученные результаты: на Витимском плоскогорье, где под вулканическим покровом располагаются осадочные породы с растительными остатками, формируются минеральные воды с полигенным составом углекислого газа. Кроме углекислого газа в свободном виде присутствует азот, кислород, метан, гелий. В микроэлементном составе установлены высокие содержания марганца, железа, цинка.

Изучено влияние техногенеза на микроморфологическое строение почвы, выражающееся в увеличении плотности микроагрегатов, количестве железистых новообразований и доли аутигенных минералов. Токсичные химические элементы в верхних горизонтах почв связаны с металлоорганическими, в нижних – металложелезистыми соединениями.

Получены данные о влиянии на здоровье атмосферной пыли образующейся на территории хранения отходов обогащения вольфрам-молибденовых руд. В экспериментах с мышами выявлена прямая корреляционная зависимость между концентрацией свинца и кадмия во вдыхаемой фракции пыли и воспалением легких.

**Ключевые слова:** углекислые минеральные воды, состав газов, минералообразование, техногенные ландшафты, взвеси, микрочастицы, микроэлементы, изотопы, растворенные органические вещества.

**Нормативные ссылки.** Настоящий отчет о НИР составлен с использованием Государственного стандарта (ГОСТ 7.32-2017).

## **Определения**

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

Суммарный показатель загрязнения равен сумме коэффициентов концентрации химических элементов-загрязнителей и выражен формулой:

$\Sigma (K_{ci} + \dots + K_{cn}) - (n-1)$ , где

n - число определяемых суммируемых веществ;

$K_{ci}$  - коэффициент концентрации i-го компонента загрязнения.

## **Обозначения и сокращения**

ДВМК – Джидинский вольфрамо-молибденовый комбинат

МДУ – максимально допустимый уровень

ОГОП - отходы горно-обогатительного производства

ОДК – Ориентировочно допустимые концентрации химических веществ в почве

ОСВ – осадки сточных вод

ПАВ – поверхностно активные вещества

ПДК – предельно допустимая концентрация

## **Введение**

Настоящий отчет является промежуточным, в нем представлены результаты работы за третий год по теме «Взаимодействия в системе вода-порода-органическое вещество в природных и техногенных обстановках Байкальского региона».

Целью исследований по проекту является выявление и исследование основных закономерностей формирования химического состава поверхностных и подземных вод в природных и техногенных ландшафтах, изучение основных закономерностей круговорота химических элементов в системе «породы-почвы-воды-растительность».

Задачи, поставленные на 2019 г:

Выявление особенностей формирования газового и химического состава трещинно-жильных вод в районах проявления неогенового вулканизма Витимского плоскогорья. Оценка физико-химической подвижности и биологической доступности химических элементов в почвах, илах и других объектах в природных и техногенных водоемах; экспериментальное исследование накопления токсичных элементов в растительности.

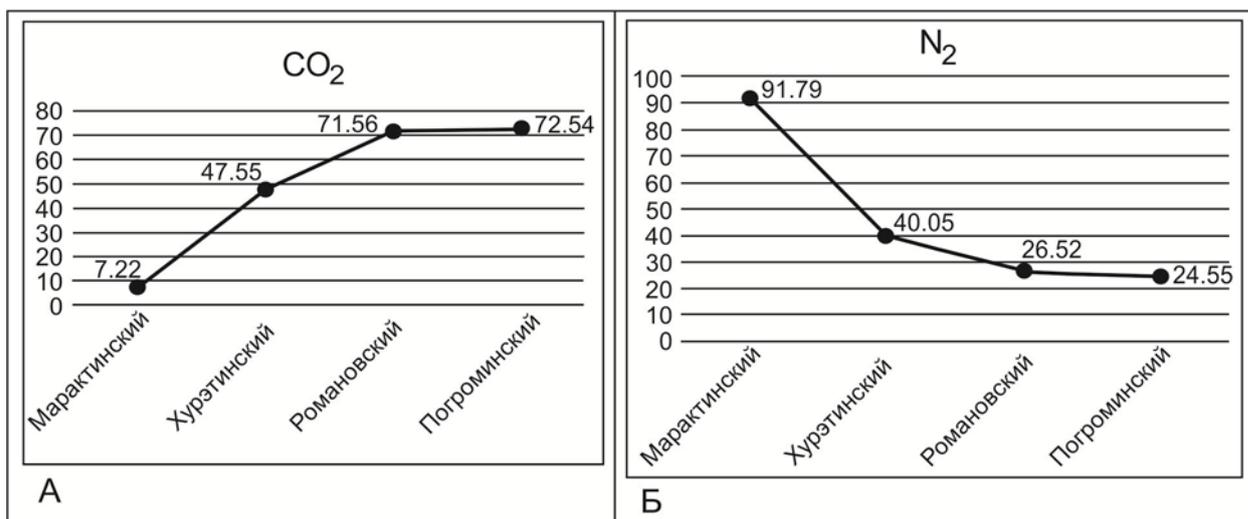
Ожидаемые результаты: будет получена новая информация по химическому составу воды и газа углекислых минеральных вод, формирующих ресурсы и химический состав в районах проявления неогенового вулканизма Витимского плоскогорья; разработаны

методические рекомендации для регулирования процессов, протекающих в хранилищах отходов горнодобывающего производства в системе вода-порода-растительность.

### Основные научные результаты

1. На Витимском плоскогорье, где выделяется семь крупных вулканических центров, представляющих собой щитовые вулканы, сформирован единый вулканический покров, возраст которого 14,3–0,6 млн. лет [1,2]. Под вулканитами располагаются осадочные породы, представленные песчаниками, конгломератами, сланцами, глинами с растительными остатками и иногда с прослоями угля и гидрогенной минерализацией урана [3]. Территория характеризуется сплошным распространением многолетней мерзлоты, мощность которой составляет 100 м и более [4]. Вулканиты разбиты многочисленными разрывными нарушениями, по которым происходит разгрузка углекислых и железистых минеральных вод [5]. При реализации проекта установлены существенные различия в их макро-микро, газовом и изотопном составе. Общая минерализация в основном меньше 1 г/л, только в Романовском источнике минерализация составляет 3,53 г/л. В анионном составе доминирует гидрокарбонат, среди катионов натрия и магний. В микроэлементном составе отмечаются высокие содержания марганца, железа, цинка. В Романовском источнике установлено содержание лития достигающее 1,7 мг/л.

Состав свободных газов, в основном, представлен углекислым газом и азотом, соотношение между этими газами приведено на рис. 1. Между ними наблюдается обратная корреляционная зависимость. Из других газов в значимых количествах присутствует кислород, метан, гелий. В Хурэтинском и Романовском источниках в газовых эманациях обнаружены повышенные содержания этана, пропана, изопентана, н-пентана, изобутана и н-бутана. Изотопный состав углерода в свободном углекислом газе относительно легкий, в Погроминском источнике  $\delta C^{13}_{VPDB}$  равно -6.7‰, в Романовском источнике  $\delta C^{13}_{VPDB} = -11.0\%$ , что указывает на его полигенную природу и о существенном влиянии на эндогенный поток газа окислительного разложения органического вещества.



**Рисунок 1.** Содержание углекислого газа (А) и азота (Б) в минеральных источниках Витимского плоскогорья, %.

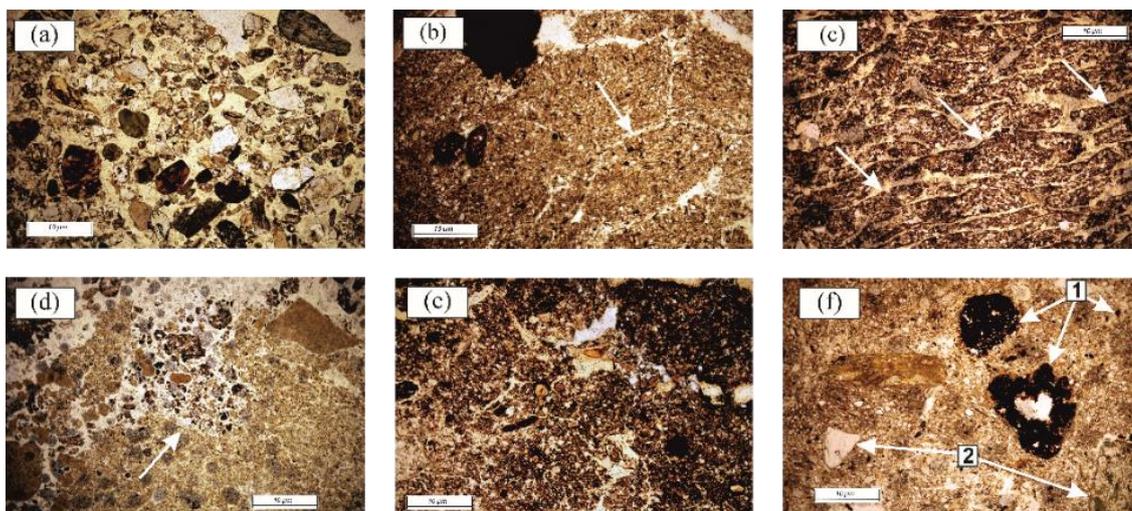
Среди растворенных органических веществ доминируют простые эфиры, в значимых количествах присутствуют спирты, сложные эфиры, алканы, алкены и терпены.

В Марактинском железистом источнике разгружаются воды, относящиеся к сульфатному типу, общая минерализация составляет 0,87 г/л. Для него характерны миллиграммовые содержания железа, марганца, цинка. В газовом составе доминирует азот. Растворенные органические вещества представлены только простыми и сложными эфирами и спиртами. В этом источнике установлены наиболее высокие содержания спиртов, что может быть связано с тем, что реакции гидратации алканов и алкенов, по которой происходит образование спиртов, благоприятствует кислая среда.

2. Получены новые данные трансформации почв под воздействием отходов переработки руд Джидинского вольфрам-молибденового комбината. Выявлено влияние техногенеза на микроморфологическое строение почвы, выражающееся в увеличении плотности микроагрегатов, количестве железистых новообразований и доли аутигенных минералов. Накопление потенциально опасных химических элементов в верхних органогенных горизонтах почв связано с образованием металлоорганических соединений, в нижних – металложелезистых соединений.

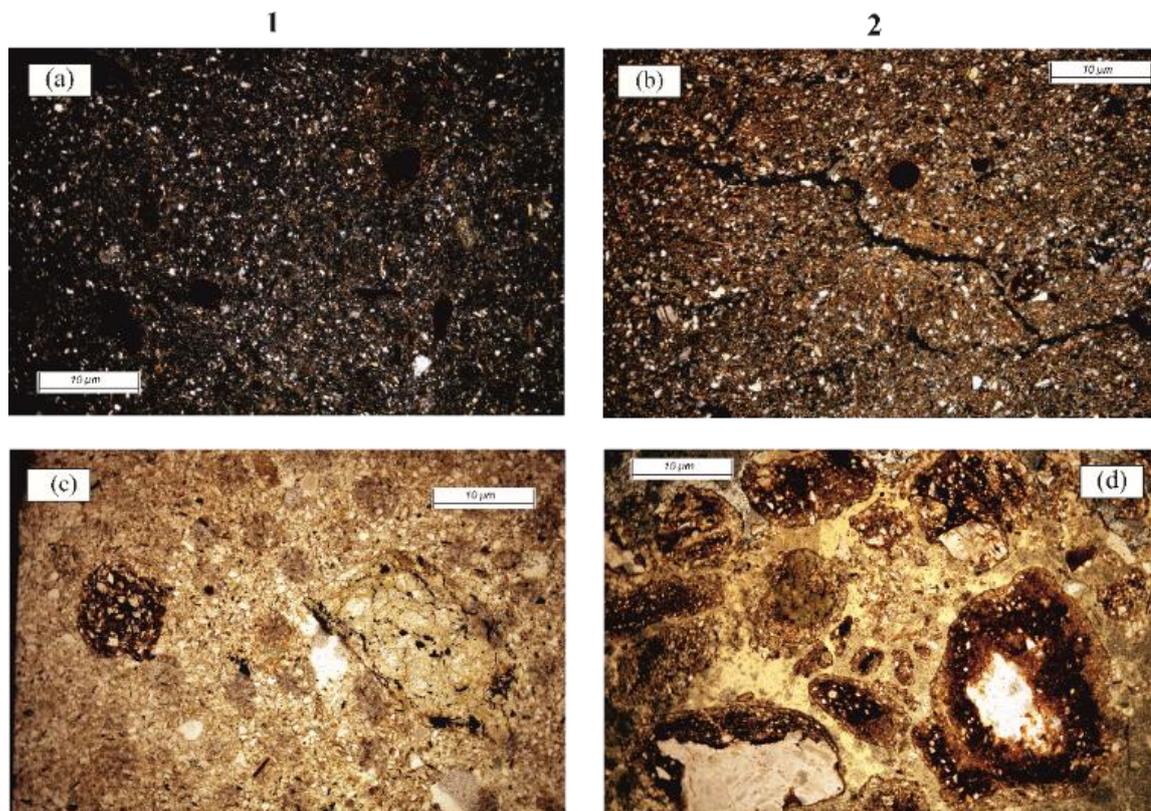
В микростроении аллювиальных болотных почв Джидинского рудного узла выявлены общие характерные особенности, отражающие их генезис (рис.2.). Наличие хорошо сортированных окатанных, полуокатанных и угловатых зерен минералов и обломков горных пород отражает приуроченность этих почв к почвам аллювиального ряда горных районов. Доминирующая роль в формировании почв принадлежит почвенному криогенезу (полигональные структуры, криогенная микроагрегация,

криотурбация). Гумификация растительных остатков выражена слабо, присутствуют растительные остатки средней и сильной степени разложения, обугленные растительные остатки, наблюдается ожелезнение. Минеральные новообразования, являющиеся признаком гидроморфных почв, представлены железистыми пятнами, микроортштейнами, мелкими железисто-марганцевыми конкрециями, сплошными и фрагментарными железистыми пленками по поверхности и трещинам зерен минералов и обломков горных пород.



**Рисунок 2.** Характерные особенности микростроения почв природных и геотехногенных ландшафтов Джидинских месторождений (ник. //): *a* – форма зерен минералов и горных пород; *b* – полигональная структура агрегатов; *c* – криогенная микроагрегация; *d* – криотурбация; *e* – растительные остатки: ожелезненные средней и слабой степени разложения, обугленные; *f* – железистые пятна, железистые пленки по поверхности и трещинам зерен скелета.

Отходы Джидинского вольфрамово-молибденового комбината в течение длительного времени перекрывающие почвы оказали влияние на ее микростроение (рис.3): увеличилась плотность сложения микроагрегатов, возросло количество железистых хлопьев и микроортштейнов, появились сплошные железистые пленки по поверхности зерен скелета. Данные изменения отмечаются во всех генетических горизонтах почв; вниз по почвенному профилю увеличивается интенсивность проявления признаков ожелезнения. В минеральном составе почв техногенных ландшафтов Джидинского вольфрамового месторождения в сравнении с минеральным составом почв фонового природного участка выявлены некоторые особенности: отмечено большее количество зерен выветрелого мусковита, выветрелого биотита, гидроокислов железа и рудных минералов.



**Рисунок 3.** Микроструктура глеевого горизонта аллювиальных болотных почв: 1- природный участок поймы ручья Барун-Нарын, 2-техногенные ландшафты Джидинского месторождения; (a, b) – плотность микроагрегатов (ник. X); (c, d) - железистые новообразования (ник. //).

Погребенные почвы участка отвала насыпных хвостохранилищ, характеризуются высоким содержанием Cd, Zn, F, Mo, Cu, Ni, As, Co, Pb; гидротвала – Cd, Pb, Zn, Ni, Cu, F, Mo, Co. Накопление потенциально опасных химических элементов в верхних органометных горизонтах погребенных почв связано с образованием металлоорганических соединений; в нижних горизонтах – железистых соединений. Интенсивность загрязнения почвы зависит от продолжительности хранения, состава и содержания элементов в лежалых отходах обогащения руд.

3. Исследовано накопление потенциально опасных химических элементов в растениях на примере овса, выращенного на отходах обогащения руд Джидинского вольфрам-молибденового комбината. Установлено, что максимальные концентрации W, Pb и Mo накапливаются в растениях, выращенных на отходах, складированных в устье реки Модонкуль, Co и Pb накапливаются в растениях, выращенных на песках из Барун-Нарынского хвостохранилища. По показателю суммарного загрязнения токсичными элементами ( $Z_c$ ) растения, выращенные на отходах горнорудного производства, относятся по сравнению с контрольной группой к сильнозагрязненным.

При выращивании овса на отходах горно-обогатительного производства в надземной части растений содержание Zn, Cr, Ni, Co и W превышает их усредненные значения по миру (табл. 1). В надземной и подземной частях растений овса содержание Zn, As, Cu, Cr и Ni повышается до 5 раз относительно контроля. При выращивании на отходах горно-обогатительного производства складированных в дельтовой залежи, расположенной в устье р. Модонкуль, содержание вольфрама в надземной и подземной части в 57 и 95 раз превышает концентрацию в контрольной группе. Свинец в надземной и подземной части овса накапливается в 10 и 18 раз выше, чем в контрольной группе, а содержание молибдена в подземной части в 24 раза выше контроля. При выращивании растений на отходах горно-обогатительного производства, размещенных в хвостохранилище Барун-Нарын в надземной части овса максимально накапливаются Co и Pb - в 33 и 42 раза выше контроля.

Показатель суммарного загрязнения потенциально токсичными элементами находится в пределах от 11 (в целом по растению) до 85 (в его надземной части) и 147 (в подземной части), что по В.А. Касатикову [6] соответствует сильному загрязнению.

**Таблица 1.** Содержание химических элементов I-III класса опасности в надземной (числитель) и подземной (знаменатель) частях овса, мг/кг воздушно-сухой массы

Вариант	Zn	Pb	As	Cu	Co	Cr	Mo	Ni	W	Zc
Контроль	<u>35.16</u>	<u>0.12</u>	<u>0.89</u>	<u>6.61</u>	<u>0.05</u>	<b><u>1.17</u></b>	<u>0.58</u>	<u>2.68</u>	<u>0.04</u>	
	38.20	1.78	1.06	13.13	0.46	2.36	0.8	2.61	0.49	
Дельтовая залежь р. Модонкуль	<b><u>49.69</u></b>	<u>1.19</u>	<u>0.98</u>	<u>8.32</u>	<u>0.08</u>	<b><u>1.46</u></b>	<u>1.36</u>	<b><u>2.97</u></b>	<b><u>2.29</u></b>	<u>69.3</u>
	200.8	31.13	0.69	51.72	0.76	11.05	18.87	5.36	46.56	146.7
Хвостохранилище руч. Барун-Нарын	<b><u>97.69</u></b>	<u>5.03</u>	<u>1.33</u>	<u>15.39</u>	<b><u>1.66</u></b>	<b><u>1.93</u></b>	<u>0.77</u>	<b><u>6.81</u></b>	<b><u>0.22</u></b>	<u>84.7</u>
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Пределы колебаний средних содержаний в растениях мира по [7]	12-47	0.36-8.0	0.009-1.5	1.1-33.1	0.03-0.57	0.02-0.2	0.33-2.3	0.13-2.7	0.01-0.15	

Примечание: прочерк – нет данных, выделение жирным шрифтом – превышение средних концентраций в растениях.

4. Впервые получены данные о влиянии на здоровье атмосферной пыли, образующейся на территории лежалых отходов обогащения руд Джидинского вольфрам-молибденового комбината. Химический состав пыли представлен в основном кремнием, железом, алюминием, натрием. Из микроэлементов повышенными содержаниями

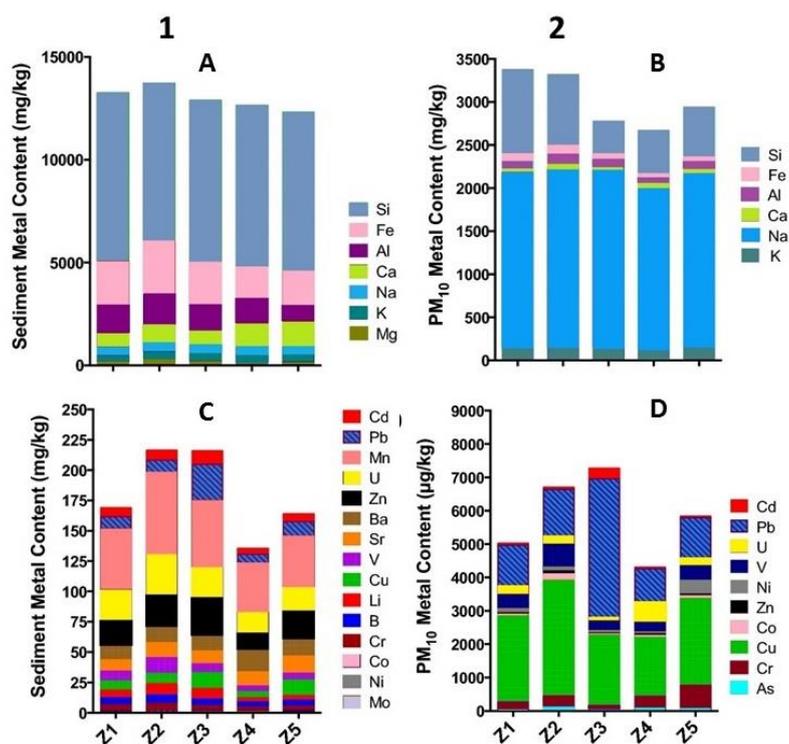
отличаются медь, свинец, хром, уран, кадмий. В экспериментах по воздействию пыли на мышей показано, что вдыхаемая фракция пыли со средним аэродинамическим диаметром <10 мкм, вводимая способом ротоглоточной аспирации вызывает легочное воспаление и системную сосудистую дисфункцию. Выявлена прямая корреляционная зависимость между концентрацией свинца и кадмия во вдыхаемой фракции пыли и воспалением легких.

Исследования биодоступности атмосферной пыли проведено в образцах пыли, отобранных в пяти районах г. Закаменск непосредственно находящихся в зоне влияния хвостохранилищ Джидинского вольфрам-молибденового комбината (рис. 4).



**Рисунок 4.** Космический снимок территории размещения отходов переработки руд в окрестностях г. Закаменск с местами отбора образцов пыли

Содержание химических элементов определено в образцах пыли и в ее «вдыхаемой» фракции со средним аэродинамическим диаметром <10 мкм. Химический состав пыли представлен в основном Si, Fe, Al и Ca (рис. 3, A); из микроэлементов – Mn, U, Zn, Pb, Ba, Sr, Cd и Cu (рис.5, C). Элементный состав «вдыхаемой» фракции пыли существенно отличается от такового атмосферной пыли в целом – максимальные содержания отмечены для Na и Si (рис.3, B), Cu, Pb, Cr, U и V (рис.3, D).



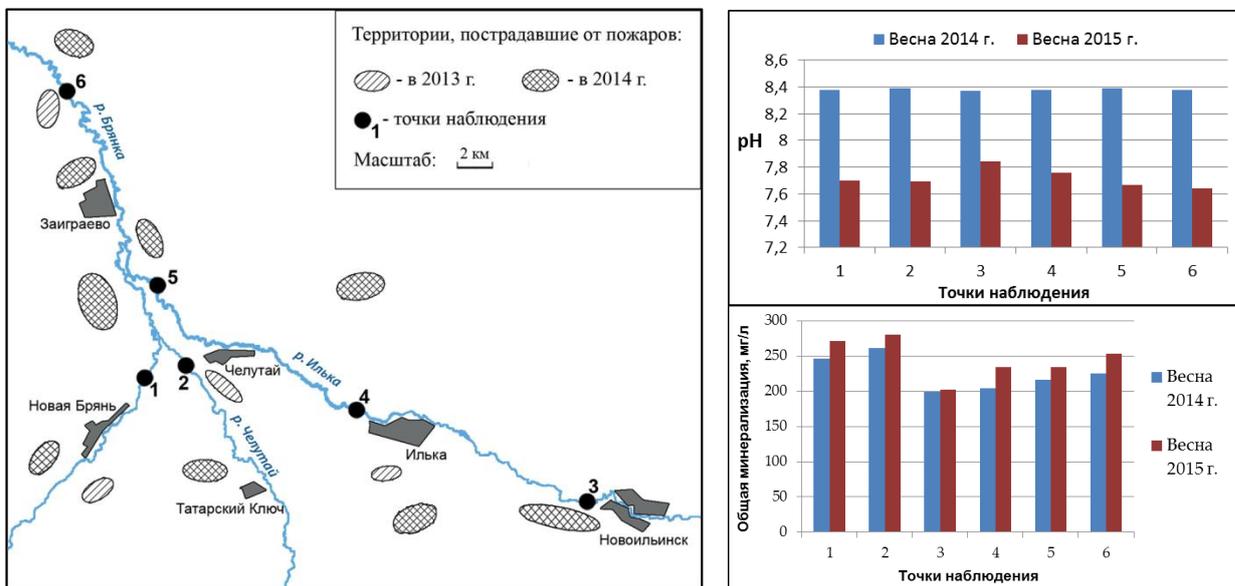
**Рисунок 5.** Макро- (A, B) и микро- (C, D) компонентный состав атмосферной пыли (1) и ее фракции  $<10\ \mu\text{м}$  (2).

В экспериментах по воздействию пыли на мышей, проведенных в университете Нью-Мексико, показано, что вдыхаемая фракция пыли со средним аэродинамическим диаметром  $<10\ \mu\text{м}$ , вводимая способом ротоглоточной аспирации вызывает легочное воспаление и системную сосудистую дисфункцию. Выявлена прямая корреляционная зависимость между концентрацией свинца и кадмия во вдыхаемой фракции пыли и воспалением легких.

5. Установлено значимое влияние лесных пожаров на гидрологический и гидрохимический режим рек, водосборы которых подвергались пирогенным повреждениям. На пожарных участках наблюдается усиление эрозионных процессов. В воде рек повышается кислотность, возрастает минерализация и увеличивается содержание гидрокарбонат-иона (рис.6). Изменения в химическом стоке связаны с разложением пирогенно поврежденного органического вещества.

Повышение минерализации воды в реках во всех точках наблюдения весной 2015 года по сравнению с весной 2014 года связано с различным поступлением загрязняющих веществ в снежный покров в предшествующие зимние периоды. Исследования снежного покрова на пирогенно поврежденных лесных территориях показали, что в первую зиму после прохождения крупных пожаров минерализация снежного покрова значительно повышается, что приводит к увеличению химического стока с пострадавшей территории [8]. Более напряженная лесопожарная обстановка летом 2014 года обусловила

повышенное содержание загрязняющих компонентов в снежном покрове зимой 2014-2015 гг. по сравнению с зимой 2013-2014 гг., что привело к повышенному химическому стоку в реки весной 2015 года. Изменение показателя pH в сторону кислой реакции и одновременное повышение концентрации гидрокарбонат-иона в речных водах согласуются с результатами анализа снежного покрова в первый послепожарный год.

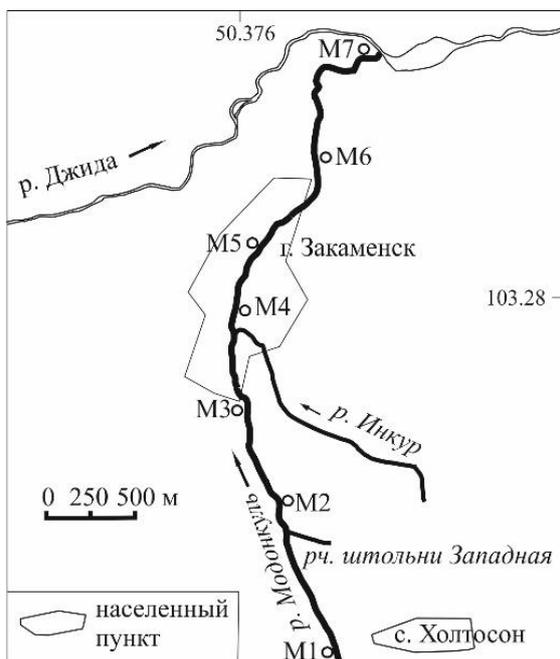


**Рисунок 6.** Временные посты наблюдения в водосборном бассейне р. Брянка размещенные с учетом лесопожарной обстановки в 2013-2014 гг, pH и общая минерализация воды на всех пунктах по данным весенних наблюдений 2014 и 2015 гг.

Устойчивое ежегодное увеличение числа пожаров в районе с 2013 г. также привело к повышению содержания большинства определяемых микроэлементов в речной воде. Характерная особенность содержания микроэлементов в речной воде исследуемой системы – сезонная динамика. Наблюдаются повышенные концентрации большинства микроэлементов в образцах, отобранных весной, по сравнению с образцами, отобранными в осенний период. По-видимому, это связано с высокой десорбирующей способностью талой воды, влияние которой на формирование потоков рассеяния некоторых элементов хорошо изучено [9].

Рассматривая химический состав речной воды с учетом различной напряженности лесопожарных периодов, можно отметить, что содержание микроэлементов в воде растет с увеличением пирогенной поврежденности водосборов. Наблюдаемое с 2012 г по 2015 г ежегодное увеличение числа пожаров привело к повышению химического стока как весной с талыми водами, так и осенью.

6. Проведено исследование формирования химического состава воды р. Модонкуль, протекающей на территории Джидинской природно-техногенной системы, на семи створах наблюдения (рис.7.).



**Рисунок 7.** Схема расположения створов отбора проб в р. Модонкуль.

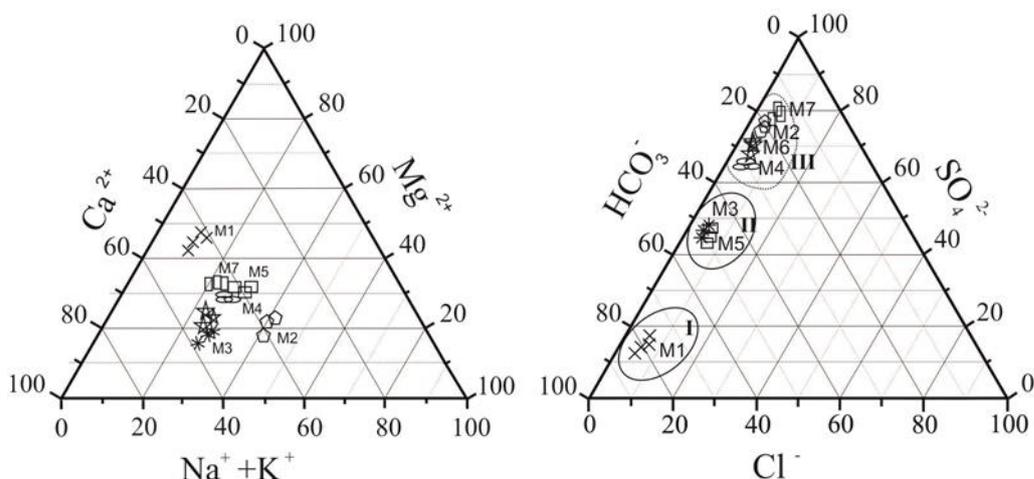
Установлено, что природные фоновые воды р. Модонкуль в верховье у с. Холтосон пресные гидрокарбонатные магниевые-кальциевые с минерализацией 0,169-0,182 г/л, среднее 0,179 г/л, среднее рН равно 7,3 при вариации 7,1-7,6. Содержание фторид-иона  $F^-$  составляет 2,72 мг/л. Катионы и анионы в порядке убывания концентраций выстраиваются в

следующие ряды  $Ca^{2+} \geq Mg^{2+} > Na^{+}+K^{+}$  и  $HCO_3^{-} > SO_4^{2-} > Cl^{-}$ , что характерно для природных речных вод, развитых в пределах магматических пород основного состава.

В формирование химического состава воды р. Модонкуль существенный вклад вносят водные массы притоков. Относительно фоновых условий минерализация воды после впадения рудничных вод шт. Западная возрастает в 3 раза, после впадения р. Инкур в 1,8 раз, в районе хвостохранилища (M6) в 4,7 раз, в районе дельтовой залежи хвостов переработки (M7) в 4,1 раза. Рост суммы солей в воде обусловлен резким увеличением содержания сульфат-иона и связанного с этим эквивалентного количества катионов. По профилю реки химический состав воды меняется от гидрокарбонатного магниевое-кальциевого в верховье через сульфатный натриево-кальциевый и другие переходные разновидности к сульфатному магниевое-кальциевому типу в устье (рис.8.).

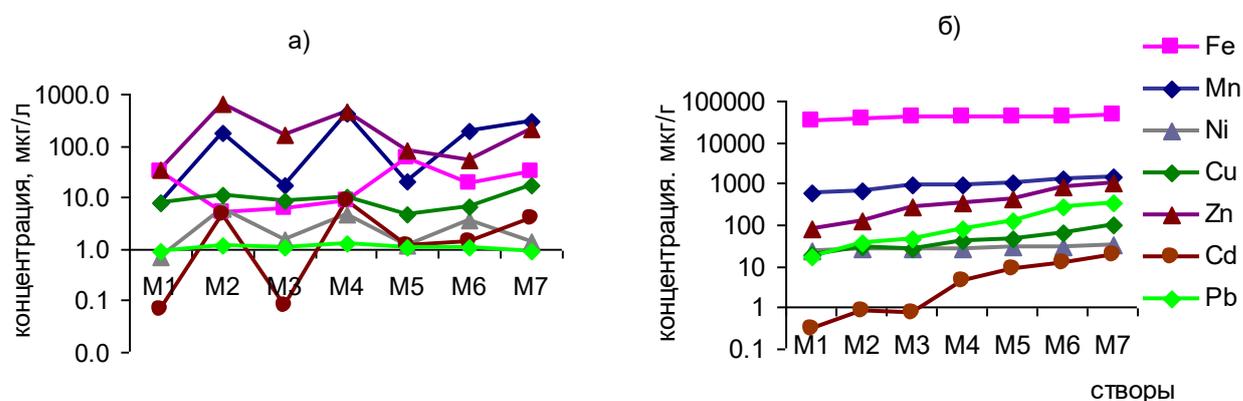
Впадение в реку Модонкуль ручья из штольни Западной (M2) приводит к снижению содержания Fe в 4,5 раза, а концентрация Mn, Ni, Cu, Zn, Pb возрастает в 2-3,5 раза, Cd – в 5 раз. Это связано с тем, что в речной воде, в отличие от штольневой воды, повышенная щелочность и содержание растворенного кислорода, что приводит к окислению растворенного двухвалентного железа и осаждению в виде гидроксидов. После впадения р. Инкур рост концентрации растворенных тяжелых металлов составил 1,2-1,5 раза относительно фона. В устье реки растворенные концентрации Fe, Pb, Ni

возрастают в 1,1-1,3 раза, а содержания Mn, Zn, Cu, Cd – в 4-7 раз в сравнении с верховьем.



**Рисунок 8.** Трехкомпонентные диаграммы макросостава реки Модонкуль. Химический тип воды: I – гидрокарбонатный магниевый-кальциевый, II – сульфатно-гидрокарбонатный натриево-кальциевый, III – сульфатный магниевый-кальциевый.

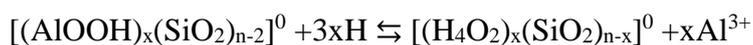
Во взвеси концентрации всех металлов возрастают в 2-7,5 раза относительно фоновых условий. Наибольший рост концентрации во взвеси характерен для Fe, Zn, Pb (рис.9). После впадения рудничной воды и ручья Инкур взвешенная форма миграции многих тяжелых металлов в реке Модонкуль становится доминирующей.



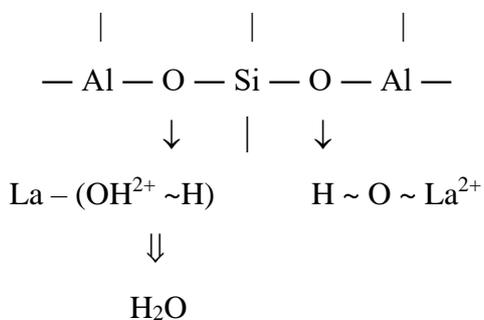
**Рисунок 9.** Изменение концентрации растворенных (а) и взвешенных (б) металлов вниз по течению реки Модонкуль.

7. Установлена зависимость сорбционной способности минералов цеолита (анальцима, стильбита, мезолита, сколецита, шабазита) по отношению к редкоземельным элементам от наличия 8-членных кремнекислородных колец в структуре минерала, типа каналов, природы обменного катиона, а также концентрации ионов кислорода, обеспечивающих электростатическое притяжение ионов редкоземельных элементов к каркасу цеолита.

Методом ИК-спектроскопии изучены природные образцы анальцима, мезолита, стильбита, шабазита, сколецита и их La-замещенных форм. Сорбция ионов лантана мономинералами цеолитов вызвала смещение полос поглощения в области характеристических деформационных колебаний внутри тетраэдров в спектрах стильбита, шабазита и мезолита. Предполагается, что сдвиг полос поглощения обусловлен возмущением каркаса цеолитов электростатическими взаимодействиями с ионами лантана. Установлено, смещение полос поглощения в области колебаний структурных групп алюмо-кремний-кислородного каркаса. Достаточно заметное смещение частот с 707 до 714 см<sup>-1</sup> произошло в области внутритетраэдрических симметричных валентных колебаний в спектрах стильбита, мезолита, сколецита. Сдвиг полос поглощения в области колебаний 650 – 820 см<sup>-1</sup> свидетельствует о частичном удалении алюминия. Процесс деалюминирования достаточно сложен в связи с разрывом связей Si – O – Al и замещением каркасного алюминия на гидроксильные группы. В результате реакции гидроксильная форма цеолита переходит в деалюминированную форму.



Выявлено, появление новой полосы поглощения при 953 см<sup>-1</sup> в спектре стильбита и смещение полосы поглощения с 939 см<sup>-1</sup> до 932 см<sup>-1</sup> в спектре мезолита в области колебаний связи Al – OH, возможно, связано с сорбцией ионов лантана с образованием новых связей La – O с кислородом каркаса.



Установлено, что в результате сорбции ионов лантана происходит снижение избыточного отрицательного заряда каркаса цеолитов в результате компенсации положительными ионами редкоземельного металла. Ион лантана образует связь с кислородом гидроксильных групп, локализуя либо в малых полостях, гексагональных призмах или содалитовых ячейках цеолита.

## Заключение

На Витимском плоскогорье в пределах распространения вулканических пород с возрастом 14,3–0,6 млн. лет сформировано несколько минеральных источников, относящихся к углекислому и железистому типам. В микроэлементном составе отмечаются высокие содержания марганца, железа, цинка. В углекислых водах среди растворенных органических веществ доминируют простые эфиры, в значимых количествах присутствуют спирты, сложные эфиры, алканы, алкены и терпены. В железистых водах растворенные органические вещества представлены только простыми и сложными эфирами и спиртами. Состав свободных газов, в основном, представлен углекислым газом и азотом. Из других газов в значимых количествах присутствует кислород, метан, гелий. Изотопный состав углерода в свободном углекислом газе относительно легкий, что указывает на его полигенную природу и существенном влиянии на эндогенный поток газа окислительного разложения органического вещества.

Выявлено влияние техногенеза на микроморфологическое строение почвы, выражающееся в увеличении плотности микроагрегатов, количестве железистых новообразований и доли аутигенных минералов. Накопление потенциально опасных химических элементов в верхних органогенных горизонтах почв связано с образованием металлоорганических соединений, в нижних – металложелезистых соединений.

Установлено влияние на здоровье атмосферной пыли, образующейся на территории лежалых отходов обогащения руд Джидинского вольфрам-молибденового комбината. В экспериментах по воздействию пыли на мышей показано, что вдыхаемая фракция пыли со средним аэродинамическим диаметром <10 мкм вызывает легочное воспаление и системную сосудистую дисфункцию. Выявлена прямая корреляционная зависимость между концентрацией свинца и кадмия во вдыхаемой фракции пыли и воспалением легких.

Установлено влияние лесных пожаров на гидрологический и гидрохимический режим рек, водосборы которых подвергались пирогенным повреждениям. В воде рек, дренирующих пожарища, повышается кислотность, возрастает минерализация и увеличивается содержание гидрокарбонат-иона. Показано, что изменения в химическом стоке связаны с разложением пирогенно поврежденного органического вещества.

На примере реки Модонкуль показано, что под воздействием отходов добычи и переработки руд происходит коренное изменение химического состава воды в реках. Гидрокарбонатный кальциевый тип воды меняется на сульфатный магниевый-кальциевый. При смешивании кислых рудничных вод со слабо щелочной водой реки происходит

образование гидроксидов железа и возрастает доля тяжелых металлов мигрирующих во взвешенной форме.

#### Список использованных источников

1. Мухина Л.И. Витимское плоскогорье (Природные условия и районирование) – Улан-Удэ: Бурятское книжное издательство, 1965–133с.
2. Рассказов С.В., Логачев Н.А., Бранд. И.С., Иванов А.В. Геохронология и геодинамика позднего кайнозоя. – Новосибирск: Наука, 2000–288с.
3. Плюснин А.М., Астахов Н.Е., Перевалов А.В., Тайсаев Т.Т. Потоки рассеяния урана и сопутствующих элементов над гидрогенными U-рудными телами, перекрытыми покровом базальтов (на примере Хиагдинского месторождения). Геохимия, 2005, №7, с. 763-771.
4. Ясько В.Г. Роль современных криогенных процессов в формировании состава подземных вод гидрогеологических массивов Забайкалья. Вопросы гидрогеологии криолитозоны. Якутск, 1975, с. 133-142.
5. Плюснин А.М. Минеральные и термальные воды Байкальской рифтовой зоны: геологические условия формирования, химический и изотопный состав. Материалы Второй Всероссийской научной конференции с международным участием «Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами». Владивосток. Дальнаука. 2015. 626 с. С. 83-89.
6. Касатиков В.А. Критерии загрязненности почвы и растений микроэлементами, тяжелыми металлами при использовании в качестве удобрения осадков городских сточных вод. Сообщение 2. Критерии загрязненности растений //Агрохимия. – 1992. - № 5. – С. 110-115
7. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, London, New York, 2011. – 505 p.
8. Украинцев, А.В. Использование химического состава снега для оценки долгосрочного влияния лесных пожаров на экологическое состояние территорий / А.В. Украинцев, А.М. Плюснин, Д.И. Жамбалова // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. – 2016. – №2. – С. 56-62.
9. Плюснин, А.М. Влияние криогенных процессов на формирование водных потоков рассеяния золота / А.М. Плюснин, Ю.Ф. Погребняк, Э.М. Татьянкина // Доклады АН СССР. – 1979. – Т.247, №3. – С. 700-703.

**Приложение.** *Количество научных публикаций в журналах, индексируемых в российских и международных информационно-аналитических системах научного цитирования ("Сеть науки" (Web of Science), Scopus, MathSciNet, Российский индекс научного цитирования, Google Scholar, European Reference Index for the Humanities и др.) по проекту за 2019 год:*

**Дампилова Б.В., Зонхоева Э.Л.** Исследование природных лантансодержащих цеолитов методом растровой электронной микроскопии. // Сорбционные и хроматографические процессы. 2019. Т. 19. № 2. С. 192-199 **DOI:** 10.17308/sorpchrom.2019.19/738

**Дампиловой Б.В., Зонхоевой Э.Л.** Равновесие и кинетика сорбции ионов лантана на природных цеолитах. // Сорбционные и хроматографические процессы. 2019. Т. 19. № 3. С. 325-333 **DOI:**10.17308/sorpchrom.2019.19/749

**Doroshkevich S.G., Smirnova O.K., Sheshukova A. A.** Soils of Technogenic Landscapes from Tungsten Mine: Micromorphological Structure, Mineral and Chemical Compositions / Processes and Phenomena on the Boundary between Biogenic and Abiogenic Nature», Editors (view affiliations) Olga V. Frank-Kamenetskaya, Dmitry Yu. Vlasov, Elena G. Panova, Sofia N. Lessovaia Lecture Notes in Earth System Sciences, 2019, Springer, 909p., PP. 435-455 **ISBN** 978-3-030-21614-6

**Плюснин А.М., Хажеева З.И., Санжанова С.С., Перязева Е.Г., Ангахаева Н.А.** Сульфатные минеральные озера Западного Забайкалья: условия образования, химический состав воды и донных отложений. Геология и геофизика. 2019.

**Plyusnin A., Smirnova O., Robinson P.** Storage and processing of acid waste waters of mining enterprises. E3S Web of Conferences, 98, 01041 (2019) WRI-16. Scopus Изд-во Les Ulis EDP Sciences 2013 **DOI:** 10.1051/e3sconf/20199801041

**Ukraintsev A.V., Plyusnin A.M., Chernyavskii M.K.** Effect of Forest Fires on the State of Rivers in Zaigraevskii Raion, the Republic of Buryatia // Water Resources, 2019, Vol. 46, No. 1, pp. 11–18. **DOI:** 10.1134/S0097807818050226

Zychowski K. E., Wheeler A., Sanchez B., Harmon M., Steadman Tyler C. R., Herbert G., Lucas S. N., Ali A.-M., Avasarala S., Kunda N., Robinson P., Muttill P., Cerrato J. M., Bleske B., **Smirnova O.**, Campen M. J. Toxic Effects of Particulate Matter Derived from Dust Samples Near the Dzhidinski Ore Processing Mill, Eastern Siberia, Russia. Cardiovascular Toxicology. **DOI:** 10.1007/s12012-019-09507-y

Руководитель проекта,

Плюснин А.М.  зав.лаб., д.г.-м.н.

Тел: (3012)434708