

Федеральное агентство научных организаций
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

УДК 556.314

№ госрегистрации 01201282373

Инв. № 6



А.А. Цыганков

«15» декабря 2016 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

VIII.79.1.4. Эволюция природно-техногенных систем Забайкалья и разработка основ безопасного хранения отходов горнодобывающего производства
(заключительный)

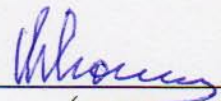
Номер проекта в ИСГЗ ФАНО
0340-2014-0001

Приоритетное направление VIII.79. Эволюция окружающей среды и климата под воздействием природных и антропогенных факторов, научные основы рационального природопользования и устойчивого развития; территориальная организация хозяйства и общества

Программа VIII.79.1. Динамика биокосных систем Центральной Азии в условиях изменения климата и техногенного давления

Протокол Ученого совета
№ 12 от «15» декабря 2016 г.

Руководитель проекта
д.г.-м.н.


(подпись, дата)

Плюснин А.М.

Улан-Удэ, 2016

Список исполнителей

Руководитель проекта, зав. лаб., д.г.-м.н.

В.М. Плюснин 12.12.2016 А.М. Плюснин
(подпись, дата)

Исполнители темы:

в.н.с., к.х.н.	<u>Э.Л. Зонхоева</u> 12.12.16	Э.Л. Зонхоева
	(подпись, дата)	
с.н.с., к.б.н.	<u>С.Г. Дорошкевич</u> 12.12.16	С.Г. Дорошкевич
	(подпись, дата)	
с.н.с., к.ф.-м.н.	<u>З.Х. Хажеева</u> 12.12.16	Хажеева З.И.
	(подпись, дата)	
с.н.с., к.г.-м.н.	<u>О.К. Смирнова</u> 12.12.2016	Смирнова О.К.
	(подпись, дата)	
н.с., к.г.н.	<u>Е.Г. Перязева</u> 12.12.2016	Перязева Е.Г.
	(подпись, дата)	
н.с., к.г.н.	<u>М.К. Чернявский</u> 12.12.2016	Чернявский М.К.
	(подпись, дата)	
н.с., к.г.-м.н.	<u>Д.И. Жамбалова</u>	Жамбалова Д.И..
	(подпись, дата)	
н.с., к.т.н.	<u>Б.В. Дампилова</u> 12.12.2016	Дампилова Б.В..
	(подпись, дата)	
м.н.с., к.х.н.	<u>С.С. Санжанова</u> 12.12.2016	Санжанова С.С..
	(подпись, дата)	
м.н.с.	<u>А.В. Украинцев</u> 12.12.2016	Украинцев А.В.
	(подпись, дата)	
вед. инж.	<u>И.В. Бардамова</u> 12.12.2016	Бардамова И.В.
	(подпись, дата)	
инж. 2 кат.	<u>А.И. Иринчеева</u> 12.12.16	Иринчеева А.И..
	(подпись, дата)	
инж. 2 кат.	<u>Л.А. Онходоева</u> 12.12.2016	Онходоева Л.А.
	(подпись, дата)	
инж.-лаб.	<u>Н.Д. Доржиева</u> 12.12.2016	Доржиева Н.Д.
	(подпись, дата)	
ст.лаб.	<u>Е.С. Кушеева</u> 12.12.2016	Кушеева Е.С.
	(подпись, дата)	
лаб.	<u>С.Г. Калашников</u> 12.12.2016	Калашников С.Г.
	(подпись, дата)	
лаб.	<u>В.В. Дабаева</u> 12.12.2016	Дабаева В.В.
	(подпись, дата)	

Реферат

Отчет, 26 страниц, 9 рисунков, 4 таблицы, 11 источников, 3 приложения.

Ключевые слова: природные водоемы, отстойники сточных вод, хвостохранилище, донные отложения, кислая среда, экзогенное минералообразование, известняк, техногенные ландшафты, система почва-растение.

Цель работы по проекту: выявление особенностей эволюции природно-техногенных систем горнорудных территорий на примере сульфидсодержащих вольфрамовых и молибденовых месторождений Забайкалья и обоснование способов безопасного хранения и утилизации отходов горнодобывающего и обогащательного производства. Целью исследований этапа 2016 г являлось: выявление особенностей формирования химического состава рудничных, поровых вод в техногенных песках, в искусственных водных объектах, подвергающихся воздействию горнодобывающего производства в сравнении с природными водоемами, водотоками.

Метод исследования: наблюдения на природных и техногенных объектах, анализ образцов проб воды, донных отложений, свободного газа, экспериментальное моделирование процессов, протекающих в толще песков хвостохранилища и в прудах-отстойниках сточных вод.

В результате выполнения проекта установлено, что отходы добычи и переработки руды после закрытия предприятия длительное время являются источником негативного воздействия на все компоненты окружающей среды, под их воздействием загрязняются атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, почвы, растительность. После закрытия предприятия и рекультивации земель геохимические процессы преобразования отходов производства не прекращаются, всегда существует угроза катастрофического загрязнения окружающей среды. Экологическая безопасность при разработке рудных месторождений может быть достигнута только при коренной переоценке отношения к горной деятельности - отходы этого производства должны рассматриваться как техногенные образования длительного (вечного) хранения. В результате выполнения проекта выработана новая концепция хранения отходов горнодобывающего производства, базирующаяся на использовании самоорганизации процессов, протекающих в толще техногенных образований с минимальным участием человека. В отличие от применяющихся в настоящее время технологий хранения, основанных на изоляции отходов производства от воздействия агентов выветривания, в предлагаемой концепции предлагается открыть эту систему для обмена с окружающей средой – при помощи дренажа хвостов переработки руд производить очистку сточных вод и толщи песков с концентрированием токсичных элементов на геохимических барьерах.

Нормативные ссылки

В настоящем отчете о НИР использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 7.32-2001 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу

ГОСТ 17.1.3.06-82 Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране подземных вод.

ГОСТ 17.4.3.04-85 Охрана природы, почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения.

ГОСТ 17.4.4.02-84 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.

Определения

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

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

$$Z_c = \sum (K_{ci} + \dots + K_{cn}) - (n-1), \text{ где}$$

n - число определяемых суммируемых веществ;

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

Обозначения и сокращения

ДВМК – Джидинский вольфрамо-молибденовый комбинат

ДОК – допустимое остаточное количество химического вещества в овощной продукции

МДУ – максимально допустимый уровень

ОГОП - отходы горно-обогатительного производства

ОДК – Ориентировочно допустимые концентрации химических веществ в почве

ПДК – предельно допустимая концентрация

Введение

Настоящий отчет является заключительным по теме «Эволюция природно-техногенных систем Забайкалья и разработка основ безопасного хранения отходов горнодобывающего производства», по которой были представлены отчеты по этапам 2013, 2014, 2015 годов.

Целью исследований по проекту было выявление особенностей эволюции природно-техногенных систем горнорудных территорий на примере сульфидсодержащих вольфрамовых и молибденовых месторождений Забайкалья и обоснование способов безопасного хранения и утилизации отходов горнодобывающего и обогастительного производства. Задачи, которые решались при выполнении проекта, включали: экспериментальное изучение особенностей взаимодействия в системе «атмосферные осадки-порода» в толще отходов переработки руд на примере хвостохранилища Джидинского ВМК; исследование нейтрализующих, фильтрующих и сорбционных свойств магматических и осадочных пород для создания геохимических барьеров; выявление закономерностей миграции и концентрирования вещества в растительности и илах прудов-накопителей в сравнении с природными озерными системами; определение форм нахождения тяжелых металлов в отходах обогащения сульфидно-вольфрамовых руд и экспериментальное исследование способов нейтрализации технологических вод при их вторичной переработке; изучение особенностей биогеохимического круговорота токсичных элементов в пограничных зонах природных, техногенных ландшафтов и эколого-агрохимическая оценка использования отходов горно-обогастительного производства в качестве удобрений; изучение и экспериментальное моделирование современного гидрогенного минералообразования в геотехногенных ландшафтах горно-промышленных территорий Забайкалья и в экосистемах содовых и сульфатных озер; создание концептуальных моделей взаимодействия в системах вода-техногенные пески, вода-техногенные пески-реагент и использование их в регулировании процессов, протекающих в хвостохранилищах, и разработке методических рекомендаций по основам безопасного хранения отходов горнодобывающего производства.

Научно-исследовательские работы по проекту в 2016 г проведены в соответствии с заданием: изучение процессов метаморфизации состава поровых и рудничных вод в толще техногенных песков и в искусственных, естественных водоемах. Проведенные в этом году работы направлены на выяснение главных факторов, определяющих трансформацию химического состава поверхностных и подземных вод в природных и техногенных обстановках, и выработку концепций преобразования химического состава водных растворов и донных отложений в этих условиях при внесении реагентов.

Создание концептуальных моделей взаимодействия в системах вода-техногенные пески, вода-техногенные пески-реагент позволит перейти к обоснованию регулирования процессов, протекающих в толще песков при длительном хранении, и выработке рекомендаций для улучшения экологической обстановки в районах развития горно-добывающей промышленности.

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

Основные результаты

Определены условия формирования ресурсов и химического состава вод озер на восточном берегу Байкала. В питании озер, расположенных на побережье Центральной котловины озера Байкал, частично участвуют теплые трещинно-жильные воды, что способствует развитию гидробиоты и формированию сапропелевых отложений. Окислительное разложение органического вещества создает благоприятные условия для трансформации химического состава воды по содовому направлению. В местах разгрузки глубинных теплых вод в газовых эманациях наблюдаются аномальные содержания гелия, азота. Озера, расположенные на восточном побережье Южной Байкальской котловины в пределах Усть-Селенгинской впадины, не испытывают тепляющего воздействия трещинно-жильных вод. Заключенные в их котловинах холодные воды по химическому составу относятся к гидрокарбонатному смешанному по катионному составу с преобладанием кальция типу. В газовых эманациях донных отложений преобладает метан. (Перязева Е.Г., Плюснин А.М., Гармаева С.З., Будаев Р.Ц., Жамбалова Д.И. Особенности формирования ресурсов и химического состава воды озер восточного побережья Байкала. География и природные ресурсы. 2016. №5, с.49-59. В базе данных РИНЦ).

Наиболее сильное влияние разгрузка глубинных трещинно-жильных вод оказывает на микроэлементный и газовый состав воды в озерах Бормашево, Арангатуи и Котокель. В первых двух – аномально высокие содержания вольфрама, которые характерны для азотных термальных вод [1]. В озере Котокель в свободном газе обнаружены очень высокие содержания гелия, характерные для глубоко проникающих разломов; в пробе газа, отобранной в районе с. Исток, преобладает азот.

Таблица 1. Содержание тяжелых металлов и мышьяка в воде озер Восточного побережья оз. Байкал, (мкг/л).

Элемент	Побережье Центральной котловины						Побережье Южной котловины			Байкал
	Аранга туй	Борма шевое	Духовое	Котокель, с.Исток	Котокель, с.Черемухи	Дикое	Бакланье	Черемуховое	Магистр канал	
V	0,85	6,04	0,10	0,19	0,37	0,1	0,28	0,14	0,30	0,37
Cr	4,15	3,13	0,19	0,69	0,49	0,76	0,11	0,01	0,13	0,18
Co	0,03	0,13	0,41	0,09	0,65	0,097	0,060	0,048	0,072	0,04
Ni	0,59	0,90	1,36	0,59	1,87	1,94	0,36	0,46	0,37	0,21
Cu	2,17	3,70	3,26	7,98	9,27	15,0	0,76	0,74	0,69	0,41
Zn	16,3	12,3	169,0	146,2	90,4	23,0	4,58	2,59	3,10	1,09
Mo	2,51	2,17	0,51	1,94	1,16	10,2	1,59	0,19	1,29	1,31
Cd	0,05	0,049	13,0	0,51	0,52	4,01	0,13	0,06	0,11	0,012
W	4,71	31,03	0,029	0,02	0,05	0,12	0,020	0,014	0,049	0,050
Pb	0,57	4,96	0,55	1,18	2,30	1,46	0,30	0,12	0,20	0,27
U	0,51	0,54	1,87	0,17	0,18	0,063	0,042	0,008	0,180	0,52
As	0,67	3,66	0,39	0,27	0,69	0,96	15,0	7,0		

В Котокельской и Кикинской впадинах, трещинно-жильные воды, движущиеся по разломам в сторону Байкала, выходят на поверхность. В основном разгрузка этих вод происходит по разлому, ограничивающему впадины с юго-востока. Наиболее интенсивно прогретые воды разгружаются по субпараллельным разломам северо-восточного направления, расположенным ближе к Байкалу, в местах пересечения с разломами северо-западных направлений. Косвенным подтверждением разгрузки вод в акватории озера Котокель является расположение песчаных отложений на его дне (рис.1). По разлому, проходящему через акваторию озера и пересекающему остров, по которому заложено русло реки Исток, вероятно, происходит разгрузка наиболее глубоких и теплых вод. Здесь мы наблюдаем в газовых эманациях аномальные содержания гелия, азота.

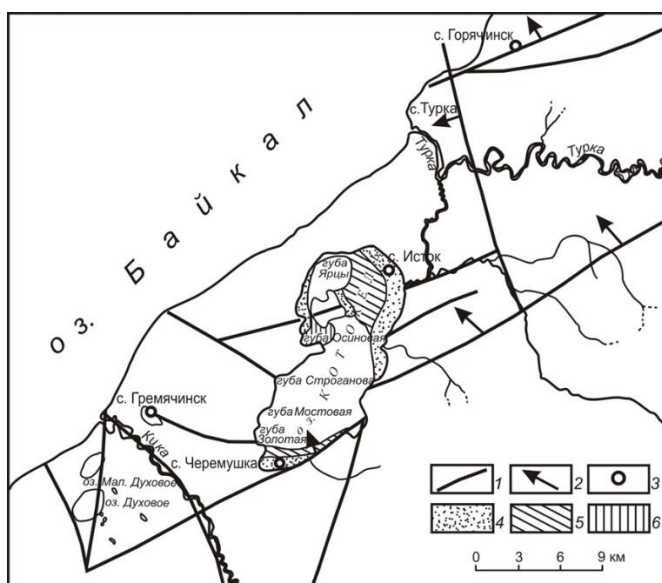


Рис. 1. Размещение озер в Кикинской и Котокельской впадинах. Условные обозначения: 1- активные разрывные нарушения, 2- направление падения сбросов, 3- места отбора проб воды и свободного газа, 4- песчаные отложения, 5- песчано-илистые отложения, 6- месторождение сапропеля.

В отстойниках, использующихся горнодобывающими предприятиями для очистки технологических вод, под воздействием окислительного разложения сульфидной минерализации происходит метаморфизация химического состава вод: при повторном использовании в технологическом процессе в них значительно увеличивается содержание Mn, Zn, Cd, Cu, Fe. Одновременно в технологических водах накапливаются химические элементы, которые выщелачиваются из вмещающих пород (Al, La, Ce, Nd). Наблюдается зависимость роста минерализации растворов от их кислотности. (Ташлыков В.С., Плюснин А.М. Геохимическая характеристика твердых и жидких..., Геология в развивающемся мире, Пермь, 2016. Т.2. -582 с. С. 515-519)

Исследования отстойников Бом-Горхонского ГОКа показали, что при хранении воды в ней значительно возрастают содержания высокотоксичных элементов (табл.2). Содержание бериллия (1 группа опасности) в 135 раз превышает ПДК для вод рыбохозяйственного назначения, кадмия (2 группа) – в 440 раз [2]. Концентрации ряда тяжелых металлов и алюминия в десятки и сотни раз превышают фоновые.

Таблица 2. Содержание тяжелых металлов и лантаноидов в рудничных водах и прудах-отстойниках Бом-Горхонского ГОКа, мкг/л.

Элемент	БГ 1 Карьер pH=3,67	БГ 2 Штольня 4 pH=4,7	БГ 3 Штольня 7 pH=2,72	БГ 4 фон, pH=8,53	БГ 8 Мочажина под дамбой pH=6	БГ 9 Дренажная вода под дамбой pH=5	БГ 10 Отстойник pH=3,5	БГ10 / БГ 4
	Горные выработки			Отстойники в долине реки Зун-Тигня				
Be	18,82	12,42	27,22	0,182	66,71	56,53	26,99	164
Mn	5711,67	639,21	5510,76	1221,66	53609,74	50017,44	21302,83	17
Fe	16,27	17,11	35,21	123,61	459,00	1604,37	14206,65	115
Co	8,46	2,19	13,36	0,534	343,51	289,96	131,43	246
Ni	19,27	14,67	13,12	5,02	254,86	243,17	106,65	21
Cu	31,06	51,75	67,38	9,47	372,92	173,34	346,37	36
Zn	-	1166,92	16371,92	319,97	74529,24	64946,09	41033,19	128
Cd	341,71	19,61	293,37	5,69	780,50	521,44	441,45	77
Al	10385,27	3011,67	4835,31	160,60	207794,82	191277,60	108439,92	675
La	2,97	6,30	33,14	1,43	81,41	53,81	151,04	105
Ce	3,90	6,77	40,33	1,53	140,18	105,01	324,09	211
Pr	0,403	0,622	2,70	0,526	9,64	7,61	26,89	51
Nd	1,172	1,908	7,516	0,353	33,06	26,53	97,47	276
Sm	0,189	0,245	0,837	0,052	6,120	5,021	17,17	330
W	3,28	0,097	0,311	0,235	0,046	0,097	0,026	0,11
Pb	0,824	0,479	1,447	4,57	5,018	4,90	1,25	0,27

По сравнению с водой в горных выработках, предназначенных для добычи руды (см. табл. 2), где формирование химического состава воды происходит за счет окисления сульфидной минерализации в рудных телах, в отстойниках содержание большинства химических элементов увеличилось в несколько раз. Сформировавшиеся в отстойниках кислые воды длительное время взаимодействующие с породообразующими минералами хвостов переработки, выщелачивают из них ряд токсичных и ценных в промышленном отношении компонентов (включая редкоземельные элементы).

В результате полевых экспериментов по взаимодействию крупных глыб известняка с водой в отстойнике Бом-Горхонского ГОКа (долина р. Зун-Тигня) установлено, что в течение одного месяца на поверхности известняка формируется слой мощностью 3-4 см, в котором в сравнении с неизмененным известняком повышены концентрации Si, Al, Fe и ряда металлов, таких как Cu (содержание меди достигает сотен грамм на тонну), Cr, V, Co, Ni и редких земель (табл. 3).

Таблица 3. Содержание редких земель в известняке, помещенном на 1 месяц в отстойник кислых вод Бом-Горхонского ГОКа, г/т.

№ пробы	БГ-1Н	БГ-1И	БГ-2Н	БГ-2И	БГ-3Н	БГ-3И
La	3,3	94	40	94	26,0	34,7
Ce	6,0	190	85	200	48,3	66
Pr	<2	16,0	6,6	15,5	4,2	5,4
Nd	2,4	62,0	27,5	63,0	17,5	25,4
Sm	<1	11,4	5,1	11,5	3,0	4,6
Eu	0,12	1,86	0,87	1,95	0,54	0,79
Gd	<2	7,85	3,7	8,1	2,2	3,3
Tb	<0,5	1,3	0,66	1,4	<0,5	0,65
Dy	<1	6,7	3,0	6,7	1,9	2,8
Ho	<0,5	1,15	0,5	1,1	<0,5	0,50
Er	<0,5	3,1	1,4	3,1	0,84	1,35
Tm	<0,3	0,34	<0,3	0,50	<0,3	<0,3
Yb	0,24	3,0	1,3	2,9	0,95	1,5
Lu	<0,15	0,42	0,18	0,38	<0,15	0,22
Y	3,9	35,9	16	35,0	9,8	14,0

Примечание: буквой Н обозначен неизмененный известняк, проба отобрана из внутренней части глыбы; буквой И обозначен измененный известняк, проба отобрана с поверхности глыбы.

Отходы горнодобывающего производства наиболее сильное влияние оказывают на сток малых рек. В реке Модонкуль, находящейся под воздействием отходов Джидинского ВМК, тип воды с гидрокарбонатного изменился на гидрокарбонатно-сульфатный. В многолетнем ряду наблюдений среднегодовые значения минерализации увеличились от 267 до 320 мг/л, значительно увеличился сток микрокомпонентов в жидком и твердом состоянии (Хажеева З.И., Плюснин А.М. Изменение климатических и гидрологических характеристик в бассейне р. Селенга. Метеорология и гидрология, №9, 2016, с. 69-78).

В воде рек бассейна Селенги содержание фтора изменяется в пределах 0,37-0,64 мг/л, тогда как в воде р. Модонкуль его содержание увеличивается почти в 20 раз и изменяется в пределах 6,7-7,8 мг/л. Также в воде р. Модонкуль концентрации Mn, Zn, Cu выше в 4-7 раз, Mo – в 1,2-4 раза. В сравнении с рекой Селенга в воде р. Модонкуль среднегодовые содержания аммонийного азота выше в 2 раза, нитритного, нитратного азота и минерального фосфора - в 3 раза (рис. 2). Источниками загрязнения р. Модонкуль являются рудничные воды, отвалы вскрышных пород, хвостохранилища, загрязненные грунтовые воды.

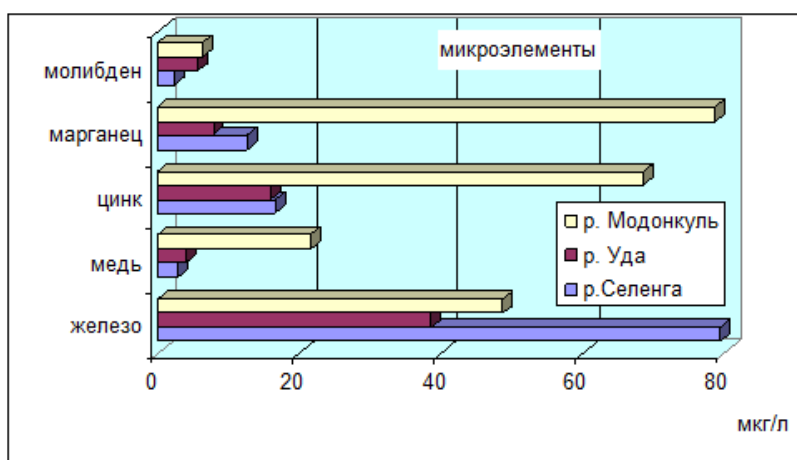
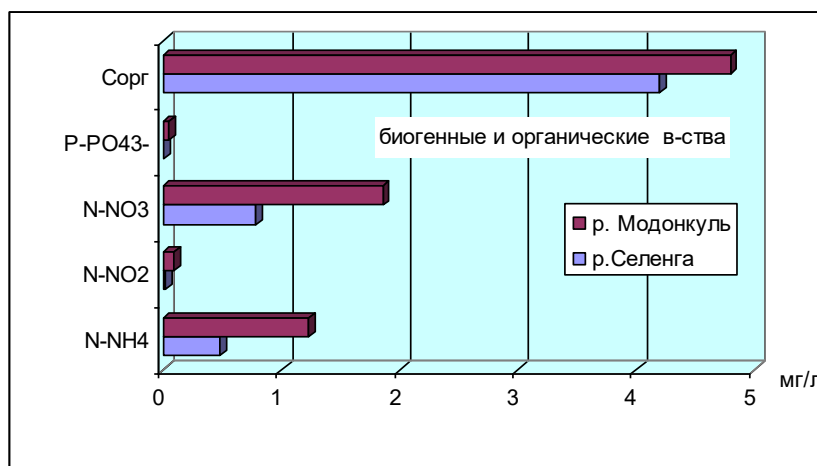


Рис. 2. Содержания микроэлементов в воде рек Модонкуль, Уда, Селенга и биогенных, органических веществ в воде рек Модонкуль и Селенга.



Донные отложения рек бассейна Селенги в естественных условиях (фоновые отложения) представлены преимущественно песчано-алевритовым материалом с содержанием частиц размером 0,05 - 0,25 мм от 42 до 83%, на алевритоглинистую фракцию ($d < 0,01$ мм) приходится меньше 10%. Распределение частиц в этих отложениях характеризуется одновершинной кривой, хотя и с выраженной асимметрией (рис.3), что свидетельствует о поступлении наносов в водоток из одного источника. В техногенных условиях в донных отложениях преобладают частицы размером $< 0,05$ мм (до 65-90%), распределение которых характеризуется многовершинной кривой, что указывает на присутствие генетически разнородных образований. Формирование донных отложений рек в таких местах наряду с естественными процессами выветривания горных пород и переносом материала поверхностными водами, связано с поставками техногенного материала сточными водами (рис. 3).

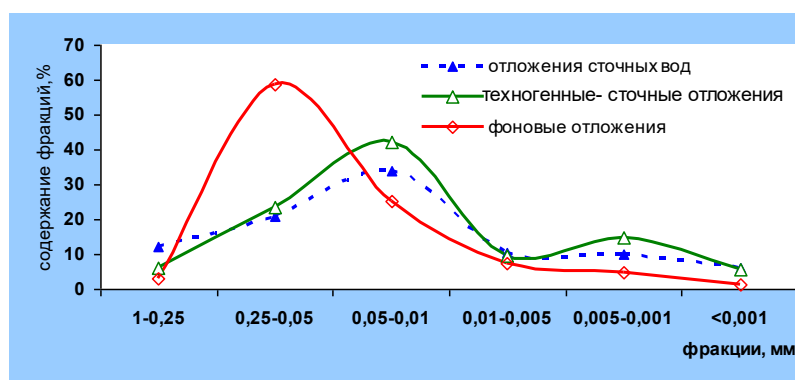


Рис. 3. Фракционный состав донных отложений рек в фоновых и техногенно-измененных условиях.

Содержание Fe, Ca и Mg в донных отложениях р. Модонкуль в 1,5-1,7 раза выше, чем в осадках р. Селенги, а SiO_2 , Na, K в 1,1-1,3 раза ниже (рис. 4.). Это объясняется тем, что в малых реках, подвергающихся воздействию отходов горнодобывающего производства, увеличивается доля отложений, связанных с разложением рудной минерализации, и уменьшается количество продуктов выветривания породообразующих минералов. В местах воздействия стоков горнодобывающего производства Джидинского ВМК в донных отложениях формируется геохимическая ассоциация элементов $\text{Cu}_{10}\text{Zn}_6\text{Mo}_3\text{As}_3\text{Pb}_{2,1}$.

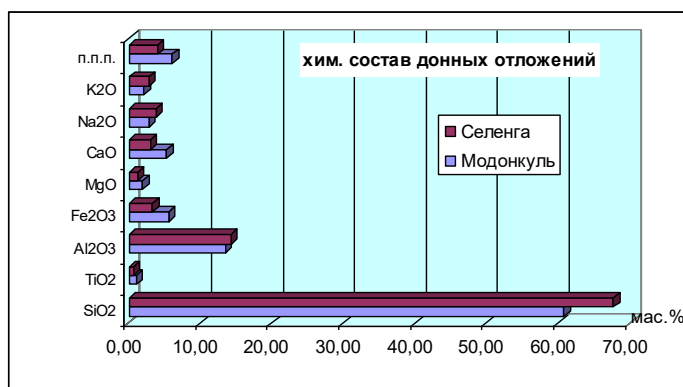


Рис. 4. Химический состав донных отложений рек Модонкуль и Селенга.

Экспериментально исследована сорбционная способность природных цеолитовых туфов по отношению к ионам молибдена (VI), образующем в водном растворе в зависимости от pH мономерные и полимерные формы анионов (Санжанова, Зонхоева. Очистка рудничных вод природными сорбентами // Вода: Химия и экология. - 2016. - № 6. - С.58 – 63).

Цеолитовые туфы более известны своими катионообменными свойствами. Нами исследована их сорбционная способность по отношению к анионам молибдена. Изотермы сорбции ионов Мо (VI), полученные на природных цеолитовых туфах Холинского и Мухор-Талинского месторождений Забайкалья, указывают на высокую (>1.0 ммоль экв/г) емкость в интервале концентраций 0.0001 - 0.1 М растворов молибдата натрия. Емкость цеолитовых туфов возрастает с увеличением pH исходного раствора молибдата натрия. При значении pH исходного раствора молибдата натрия, равном 3, реализуется низкая емкость (< 0.2 ммоль экв/г). Предполагается, что низкая емкость может быть связана с сорбцией протонированной формы гептамолибдат-иона $\text{H}_2\text{Mo}_7\text{O}_{24}^{4-}$, существующей, согласно литературным данным, при этих значениях pH. Емкость туфов в щелочной среде повышается до 0.4 ммоль экв/г, что может быть связано с сорбцией мономерной формы молибдат-иона MoO_4^{2-} , доминирующей в данных условиях. Скорость сорбции ионов молибдена (VI) цеолитовыми туфами регулируется внутридиффузионным механизмом, что определено сравнением значений констант внешнедиффузионного R и внутридиффузионного В механизмов ($B < R$). Значения энергии активации, рассчитанные графическим методом, равны 0.54 кДж/моль для туфа Мухор-Талинского месторождения, что соответствует физической адсорбции молибдат-ионов. Исследование состояния ионов молибдена в фазе сорбентов методом сканирующей электронной микроскопии обнаружило выделение на поверхности морденитового туфа кристаллической фазы молибдата кальция, состоящей из микрокристалликов сферической формы. Предположено, что молибдат кальция образуется в результате катионного обмена ионов натрия из раствора на ионы кальция, входящие в обменный комплекс цеолита. Ионы кальция, покидающие фазу сорбента, образуют на поверхности сорбента труднорастворимую соль молибдата кальция.

Для обезвреживания токсичных отходов горно-обогатительного производства предложена комплексная схема предварительной очистки рудничных вод на примере штольни Западная (ДВМК), с использованием местных природных материалов. (Бардамова И.В. Схема предварительной очистки..., Мат. Всероссийской конф. «Эволюция биосферы и техногенез», VI Всероссийского симпозиума с международным участием «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий». Чита, 2016. – С. 350-352).

Схема включает процессы осветления и сорбционной доочистки и утилизации отработанных сорбентов. Осветление рудничных вод проводится с помощью коагулянта – известняка месторождения Зун-Нарын крупностью 0,25 мм при соотношении твердой и жидкой фаз 1:100 и продолжительностью процесса более 10 минут. Предлагаемый метод осветления позволяет снизить концентрации химических элементов в рудничных водах штольни Западная в 1,1 – 4,3 раза, железа же почти в 600 раз (рис.5.)

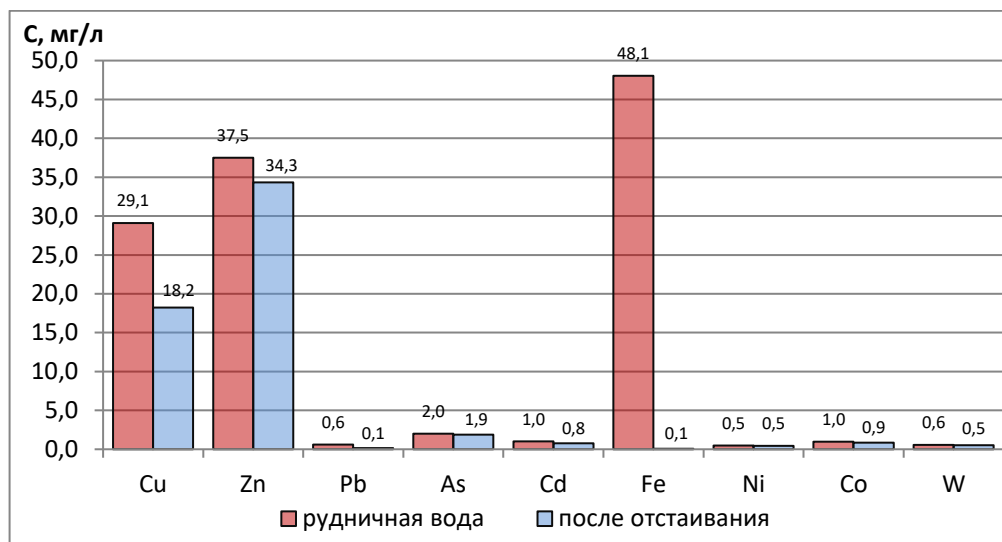


Рис. 5. Изменение содержания химических элементов в рудничной воде после отстаивания.

Последующая доочистка проводится в динамическом режиме сорбционным методом (скорость потока 0,13 м³/час, крупность сорбента 1-2 мм). В основе предлагаемого метода - использование в качестве сорбентов натуральных природных материалов (туфа вулкана Хурай-Цакир и цеолитового туфа Холинского месторождения). Данная методика позволяет снизить остаточные концентрации химических элементов в рудничных водах до значений, не превышающих предельно-допустимых (рис. 6.). Превышение ПДК концентраций химических элементов в рудничной воде на выходе (по окончании процессов отстаивания-коагуляции-сорбции) наблюдается лишь по мышьяку.

По итогам экспериментов и испытаний в полевых условиях на опытной установке предложена схема предварительной очистки (рис. 7).

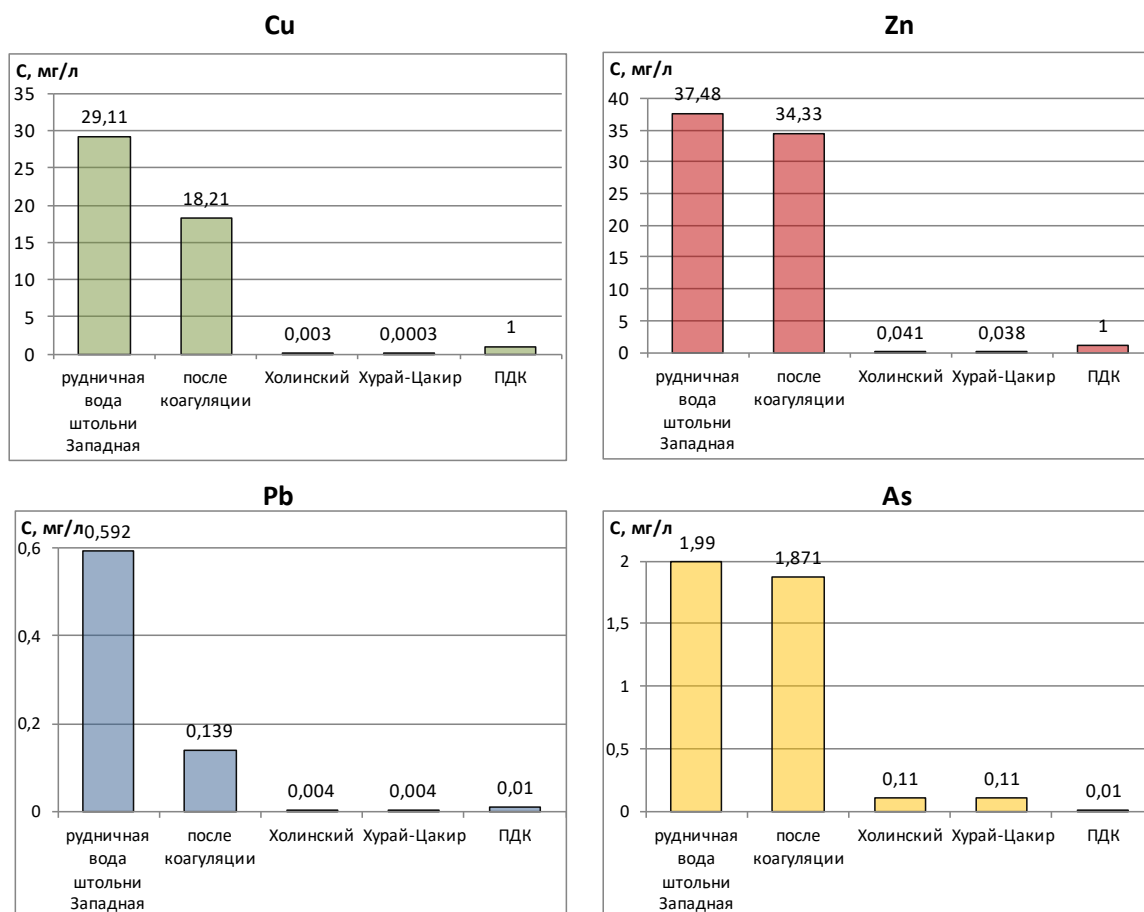


Рис. 6. Содержание элементов в рудничной воде после коагуляции и сорбции в динамическом режиме, мг/л.

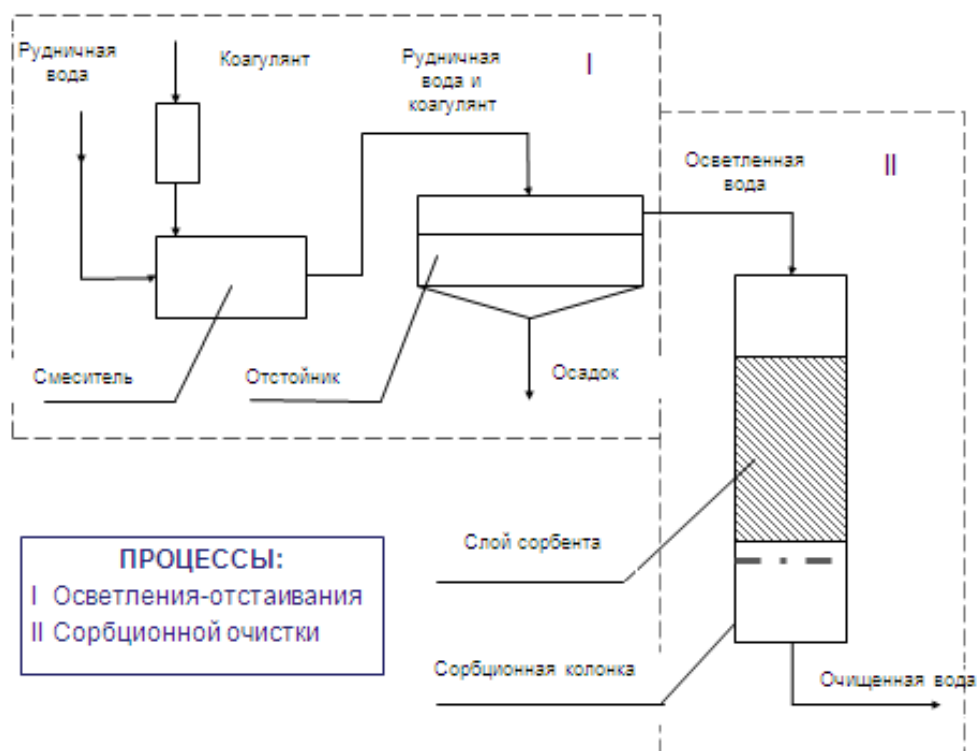


Рис. 7. Технологическая схема предварительной очистки рудничных вод на примере штольни Западная (Закаменский район, Бурятия).

Для утилизации отработанных сорбентов предлагается использовать их в качестве микроэлементного удобрения. Предложенный способ утилизации основан на внесении в почву цеолитовых туфов Холинского месторождения, модифицированных рудничными водами, в дозах $Zn_{0,8}$ и $Zn_{1,6}$ для выращивания сельскохозяйственных культур (редис, салат, горох). Данный способ позволяет получить товарную часть растений с незначительным (заметно ниже ПДК) содержанием нитратов и экологически безопасным уровнем (значительно уступающим ДОК, МДУ) накопления тяжелых металлов (табл.4) и приводит лишь к слабому повышению содержания в почвах некоторых химических элементов (Fe, Mo, Zn, Cu, Co, Ni, Pb, Cr, W), которые не превышают ОДК.

Таблица 4. Среднее содержание химических элементов в надземной (числитель) и подземной (знаменатель) частях растений и уровень суммарного загрязнения, мг/кг воздушно-сухой массы (n = 2).

с/х культур а	Дозировка отработанного сорбента	Mo	Zn	Cu	Co	Ni	Pb	Cr	W	Zc
редис	$Zn_{0,8}$	$\frac{0.26}{н/о}$	$\frac{3.12}{4.34}$	$\frac{0.51}{0.63}$	$\frac{0.07}{0.21}$	$\frac{0.75}{0.35}$	$\frac{0.09}{0.31}$	$\frac{0.23}{н/о}$	$\frac{0.01}{0.02}$	$\frac{3.29}{1.60}$
	$Zn_{1,6}$	$\frac{0.29}{н/о}$	$\frac{3.47}{4.54}$	$\frac{0.56}{0.66}$	$\frac{0.09}{0.22}$	$\frac{0.88}{0.37}$	$\frac{0.12}{0.38}$	$\frac{0.29}{н/о}$	$\frac{0.02}{0.03}$	$\frac{4.65}{2.85}$
салат	$Zn_{0,8}$	$\frac{0.27}{0.23}$	$\frac{3.14}{3.96}$	$\frac{0.75}{0.98}$	$\frac{0.03}{0.23}$	$\frac{0.19}{0.58}$	$\frac{0.07}{0.67}$	$\frac{0.36}{0.69}$	$\frac{0.01}{0.05}$	$\frac{2.44}{1.46}$
	$Zn_{1,6}$	$\frac{0.20}{0.24}$	$\frac{3.75}{6.32}$	$\frac{0.74}{1.07}$	$\frac{0.04}{0.26}$	$\frac{0.19}{0.63}$	$\frac{0.10}{0.74}$	$\frac{0.28}{0.65}$	$\frac{0.02}{0.08}$	$\frac{3.78}{3.14}$
горох	$Zn_{0,8}$	$\frac{0.18}{0.57}$	$\frac{4.33}{4.31}$	$\frac{0.81}{1.10}$	$\frac{0.22}{1.38}$	$\frac{0.23}{0.52}$	$\frac{0.17}{0.41}$	$\frac{0.21}{0.82}$	$\frac{0.03}{0.06}$	$\frac{2.30}{1.15}$
	$Zn_{1,6}$	$\frac{0.14}{0.54}$	$\frac{4.96}{4.45}$	$\frac{0.86}{1.44}$	$\frac{0.27}{1.96}$	$\frac{0.35}{0.54}$	$\frac{0.19}{0.57}$	$\frac{0.20}{0.81}$	$\frac{0.03}{0.08}$	$\frac{3.93}{2.27}$
ДОК в овощах [3]			10	10		0.5	0.5		-	
МДУ в кормах (*корне-клубнеплодах) для с/х животных [4]		2.0	50.0 100*	30.0	1.0 2.0*	3.0	5.0	0.5	-	

Установлено сохранение тенденции увеличения загрязнения почв и растительности г. Закаменска в период с 2005 по 2015 гг., как последствий деятельности Джидинского вольфрамо-молибденового комбината (ДВМК), законсервированного в 1997 г. (Дорошкевич С.Г., Смирнова О.К., Дампилова Б.В., Гайдашев В.В. Оценка состояния почв и растительности г. Закаменск (Бурятия): последствия деятельности Джидинского вольфрамо-молибденового комбината //

Превышение концентрации в почвах городской территории подвижных форм приоритетных токсичных элементов относительно допустимых нормативов (ПДК) составляет по Pb в 2–40 раз; по Zn в 2–10 раз; по Cu в 2–30 раз (рис. 8). По сравнению с оценкой состояния почв по результатам эколого-геохимического картирования территории г. Закаменска в 2005 г., в верхнем горизонте почв увеличилось (почти в два раза) количество подвижных форм цинка и меди, а также возросло общее содержание свинца. Наиболее высокие содержания подвижных форм цинка и меди приурочены к максимально загрязненным почвам.

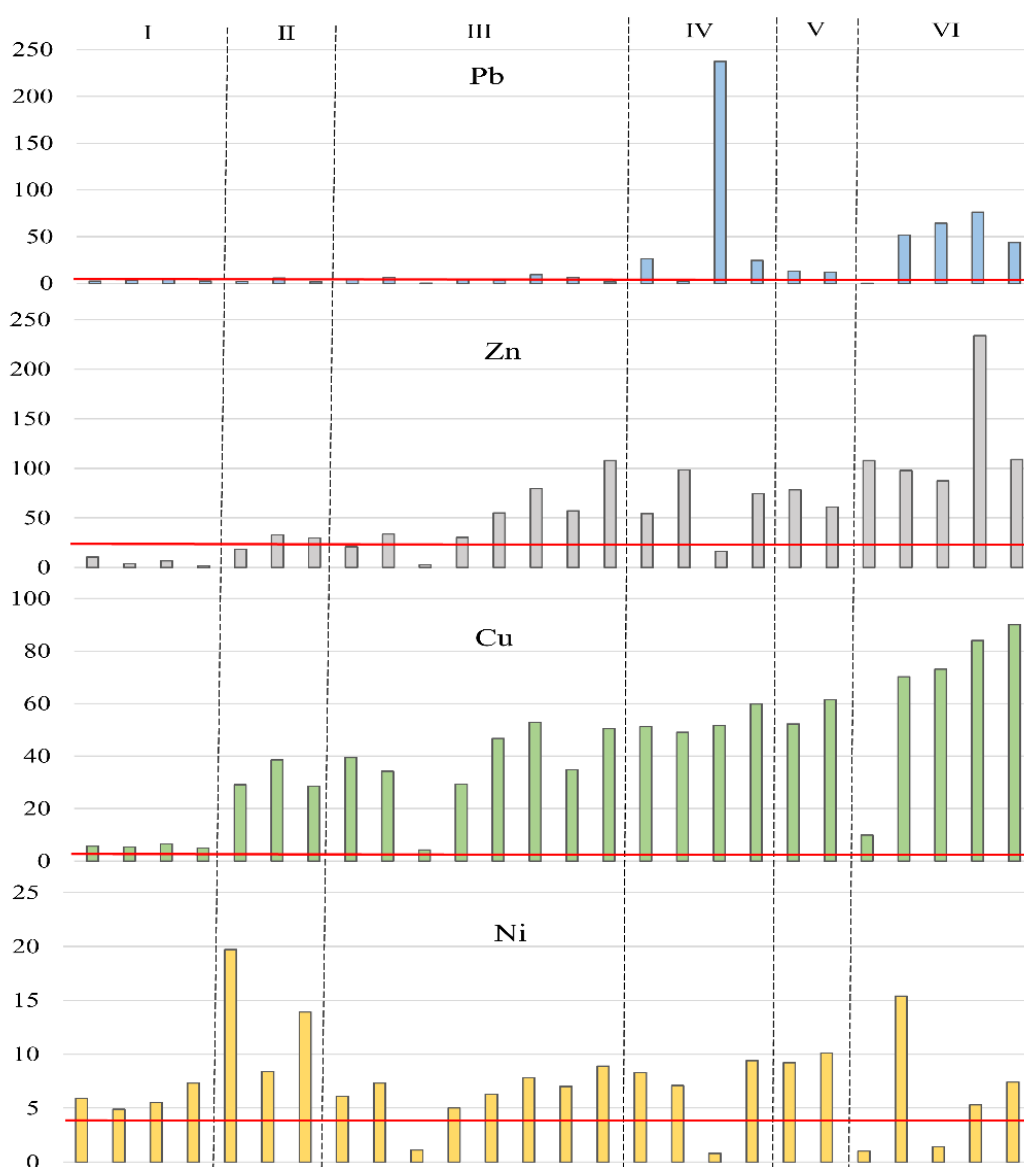


Рис. 8. Содержание подвижной формы химических элементов в почвах г. Закаменска, мг/кг. Красной линией обозначен уровень ПДК подвижной формы для Pb (6.0), Zn (23.0), Cu (3.0), Ni (4.0). Римскими цифрами показан уровень загрязнения почв: допустимый (I), слабый (II), средний (III), сильный (IV), очень сильный (V), максимальный (VI).

Все растения на исследованной территории по величине Z_c (14.1–482.5) относятся к сильнозагрязненным. По степени уменьшения содержания в них токсичных элементов изученные растения формируют следующий ранжированный ряд: лист березы – лист тополя – ботва картофеля – травянистая растительность (разнотравно-бобово-злаковая ассоциация) – лист салата – лист капусты – клубень картофеля.

Разработана концептуальная модель функционирования хранилища хвостов переработки рудной минерализации, учитывающая взаимодействие в системе вода – техногенные пески – реагент, состоящая из ограждающей дамбы, изолирующего материала, слоя известняка, секций хранилища песков и оборудования для дренажа. В модели рассмотрено геохимическое взаимодействие хранящихся песков с агентами выветривания и внесенными реагентами в толще хвостохранилища, рассмотрены процессы, управляющие высаживанием токсичных соединений и полезных компонентов в виде мало растворимых соединений. Использование системы дренажа позволяет осушать хранящиеся пески, извлекать продукты разложения рудной минерализации из раствора, выводить очищенные воды из хвостохранилища, снижать загрязнение атмосферы кислотными выбросами (Плюснин А.М., Перязева Е.Г., Жамбалова Д.И., Дабаева В.В. Хвостохранилище для хранения отходов горнодобывающих предприятий. Заявка на изобретение №201611274/11(020069) от 04.04.2016, положительный результат рассмотрения от 13.07.2016)

Широко используемые для хранения хвостов переработки хранилища наливного типа не предполагают дренирования, пески хранятся влажными. Попадающие в толщу песков атмосферные осадки приносят кислород, что способствует активному разложению оставшейся рудной минерализации, которая изначально присутствовала в количестве 3-5%. За длительный срок хранения (более 40 лет) в результате химического, микробиологического разложения сульфидной минерализации в поровых водах сформировалась кислая среда ($pH < 3$), и вся толща песков представляет собой агрессивную массу. За счет выщелачивания рудной минерализации и вмещающих пород в толще песков сформировались высокоминерализованные растворы, содержащие цветные, редкие, редкоземельные, благородные элементы, которые можно рассматривать жидкой рудой [5]. В толще песков на участках испарительного концентрирования и на поверхности глинистых слоев отлагаются гипс, госларит, галотрихит, старкиит и др. гипергенные минералы [6]. Миграция вещества внутри хвостохранилища, в основном, происходит за счет диффузии, часть подземных вод просачивается через дамбу, загрязняя окружающую территорию. Постоянно существует угроза разрушения дамбы и глобального загрязнения

окружающей территории токсичными веществами при насыщении песков влагой во время выпадения ливневых и затяжных атмосферных осадков.

Нами предложена другая схема хранения хвостов переработки, предполагающая отвод вод с помощью дренажной системы, с предварительным извлечением ценных и токсичных веществ (рис. 9). При помощи дренажных колонн вся многослойная толща песков осушается. В основании дренажных колонн размещаются съемные коллектора, в которых накапливаются ценные компоненты. В толще известняка, располагающейся на дне хвостохранилища, агрессивные воды нейтрализуются, очищаются от токсичных веществ и выводятся за пределы хранилища. При таком способе хранения пески не пересыщаются водой, не возникнет угроза разрушения дамбы. Запущенный механизм дренирования толщи песков позволит удалить агрессивные воды, повысится pH поровых растворов, в атмосферных выбросах не будет серной кислоты, аэрозолей тяжелых металлов. Поднимающийся из слоя известняка углекислый газ будет способствовать формированию вблизи поверхности слоя карбонатов Fe, Ca, Mg и др., который со временем образует сплошную корку, препятствующую выделению газов и проникновению влаги.

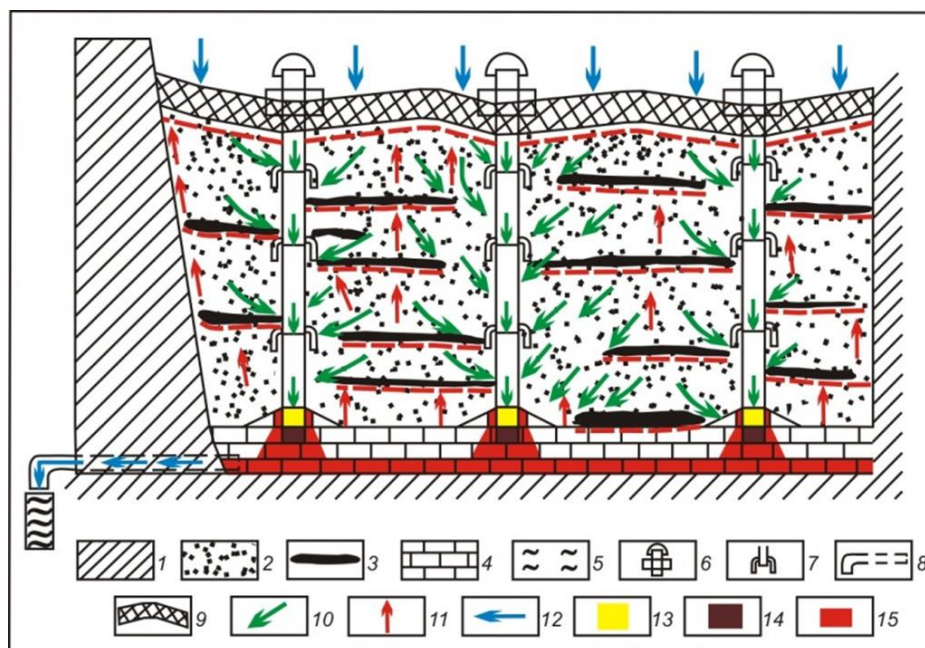


Рис. 9. Схема очистки поровых вод хвостов переработки рудной минерализации от загрязняющих веществ. Условные обозначения: 1- изолирующий материал, 2- пески с остатками рудной минерализации, 3- линзы глинистых отложений, 4- крошка известняка, 5- отстойник, 6- оголовок дренажной колонны с предохранительным кольцом, 7- секция дренажной колонны, 8- труба выводящая очищенные воды за пределы хвостохранилища, 9- стенка разделяющая хвостохранилище на секции, 10- направление движения кислых поровых вод, 11- движение углекислого газа, образующегося в результате разложения известняк под воздействием кислых вод, 12- движение чистых вод, 13- геохимический барьер для высаживания благородных элементов, 14- геохимический барьер для высаживания редких земель, 15- места высаживания из раствора загрязняющих веществ.

При выполнении проекта установлено, что за время хранения в толще песков намывного хвостохранилища по всему разрезу в поровых водах формируется кислая среда – pH растворов достигает 1,8-3,5. В экспериментах при добавлении к сухим пескам воды pH растворов становится кислым в течение 2-3 минут, что обусловлено протеканием реакции гидролиза, в основном, сульфатных солей железа.

В водных вытяжках поровых вод максимальная концентрация железа, свинца, цинка и меди достигает 16,94; 2,10; 3,24; и 0,515 мг/л, соответственно. Аномально высокие содержания тяжелых металлов приурочены к участкам залегания сульфидных минералов, продуктов их окисления и глинистым отложениям. При длительном хранении хвостов переработки рудных месторождений кислые воды выщелачивают редкоземельные элементы, их содержание в поровых водах по сравнению с природными возрастает на несколько порядков.

Экспериментально установлено, что нейтрализация поровых вод приводит к резкому ограничению миграционной способности многих химических элементов в толще хранилищ отходов горно-обогатительных комбинатов. В качестве нейтрализующего реагента наиболее дешев и достаточно эффективен известняк, который вносится в виде рассеянной по всей толще добавки или в виде хорошо проницаемого для воды слоя с размером частиц 2-5 мм. В последнем случае в карбонатном слое в межзерновом пространстве формируется тонкая взвесь новообразований, среди которых обнаруживаются сульфаты, гидрооксиды, карбонаты железа, цинка. Аморфные образования, представленные гидрооксидами кальция, железа, марганца, содержат в адсорбированном виде медь, цинк, свинец, редкие земли и др. Формирование карбонатных слоев в техногенных месторождениях позволяет ограничить миграцию токсичных элементов и сконцентрировать полезные вещества в определенных местах хвостохранилища.

При практической реализации разрабатываемой схемы обезвреживания хвостов переработки руд, необходимо в толще хвостохранилища сформировать дренажную систему: для увеличения проницаемости оборудовать дренажные колонны, по которым поровая вода будет перемещаться в слой известняка, где раствор будет нейтрализоваться, обезвреживаться от токсичных элементов и выводиться за пределы хвостохранилища. На пути движения раствора можно установить ловушки для высаживания ценных компонентов (благородные металлы, редкие земли и др.)

При выполнении проекта установлено, что техногенные ландшафты сульфидно-вольфрамовых месторождений, включающие отвалы вскрышных пород, карьеры, земли с нарушенным почвенным горизонтом, отстойники сточных вод и др. характеризуются появлением в почвах в составе геохимической ассоциации серы и фтора, содержание

которых превышает количество таких петрогенных элементов как фосфор и марганец. Загрязненные почвы, находящиеся в зоне воздействия отходов обогащения сульфидсодержащих руд, характеризуются низкой потенциальной самоочищающей способностью. На территории г. Закаменска, который испытывает влияние отходов добычи и переработки ДВМК, в верхнем горизонте почв увеличилось (почти в два раза) количество подвижных форм цинка и меди, а также возросло общее содержание свинца. Наиболее высокие содержания подвижных форм цинка и меди приурочены к максимально загрязненным почвам. Все растения на исследованной территории по величине Zс (14.1–482.5) относятся к сильнозагрязненным.

Проведены агрохимические исследования с использованием отходов переработки руд ДВМК. Установлено, что применение отходов горно-обогатительного производства в качестве нетрадиционного удобрения в дозах от $Mo_{0,05}$ до $Mo_{10,0}$ позволяет получить зеленую массу гороха с экологически безопасным уровнем (значительно уступающим максимально допустимому уровню (МДУ) накопления тяжелых металлов).

Заключение

На примере природно-техногенных систем Джидинского и Бом-Горхонского обогатительных комбинатов установлено, что после прекращения их деятельности воздействие на окружающую среду не прекращается. Источниками негативного воздействия являются отходы добычи, отходы переработки, рудничные и сточные воды. С течением времени меняется геохимический состав потоков рассеяния, закисляются поверхностные и подземные воды в местах хранения отходов добычи и переработки, возрастает доля легко подвижных форм нахождения элементов в почвах и их биодоступность.

Установлено что при вторичной переработке отходов обогащения руд накапливаются большие объемы агрессивных кислых вод, которые представляют угрозу окружающей среде. Хранящиеся в отстойниках промывные и сточные воды, обогащены благородными и редкоземельными элементами, их содержание превышает фоновые уровни на несколько порядков.

В процессе выполнения проекта экспериментально исследован широкий круг природных сорбентов для нейтрализации сточных вод и извлечения из них полезных и высоко токсичных элементов. На основе полученных результатов предложена схема очистки рудничных вод.

Разработана концепция безопасного хранения отходов добычи и переработки руды. Ключевым объектом в системе безопасного хранения должны стать хвостохранилища, куда

будут собираться не только хвосты переработки, но и сточные воды с хранилищ отходов добычи, рудничные воды. Хвостохранилища должны оборудоваться системой дренажа с нейтрализующими и сорбирующими коллекторами.

В пределах отложений отвалов вскрышных пород необходимо предусмотреть перекрывание грубообломочных пород мелкими фракциями, по возможности почвами или органическими остатками, что позволит увеличить долю поверхностного стока и защитить находящуюся в них рудную минерализацию от окисления.

Экологическая безопасность при разработке рудных месторождений может быть достигнута только при коренной переоценке отношения к горной деятельности - отходы этого производства должны рассматриваться как техногенные образования длительного (вечного) хранения. Поэтому они в идеале должны храниться (без ущерба для окружающей среды) без участия человека. Все затраты в максимальной степени необходимо произвести в момент закладки на хранение.

По результатам проекта подготовлена заявка на патент «Хвостохранилище для хранения отходов горнодобывающих предприятий»

Поставленные в проекте задачи выполнены, цель проекта по выявлению особенностей эволюции природно-техногенных систем горнорудных территорий на примере сульфидсодержащих вольфрамовых и молибденовых месторождений Забайкалья и обоснованию способов безопасного хранения и утилизации отходов горнодобывающего и обогащательного производства достигнута.

В настоящее время отходы горнорудного производства рассматриваются только с негативной стороны, как фактор представляющий угрозу экологическому состоянию природной среды. Исследования отходов производства, которые проводятся в последние годы, как правило, направлены на выработку методов их изоляции от подземных и поверхностных вод, на обоснование способов очистки почвы, подбор растительности при рекультивации и др. [7-11]). Научным достижением проекта является использование природно-техногенных процессов для получения концентратов ценных компонентов в определенных местах хвостохранилища, что позволит повысить рентабельность решения экологических проблем за счет их реализации.

Список использованных источников

1. Плюснин А.М., Чернявский М.К., Посохов В.Ф. Условия формирования гидротерм Баргузинского Прибайкалья по данным микроэлементного и изотопного состава // Геохимия. –2008. -№10. -С.1063-1072.
2. СП 11-102-97. Инженерно-экологические изыскания для строительства. М. 1997. 47 с.
3. Найштейн С.Я., Меренюк Г.В., Чергинец Г.Я. Гигиена окружающей среды и применение удобрений. Кишинев: Штинница, 1987. С. 143
4. Тяжелые металлы в системе почва - растение - удобрение. / Под ред. М.М. Овчаренко. М.: Пролетарский светоч, 1997. С. 290.
5. Плюснин А.М., Жамбалова Д.И., Дабаева В.В. Миграция токсичных элементов в толще намывного хвостохранилища Джидинского ГОКа. Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Рациональное природопользование. Современное минералообразование. Чита: Поиск, 2014 – 196 с. С. 54-59.
6. Смирнова О.К., Плюснин А.М., Хажеева З.И. Современное минералообразование в местах складирования отходов горнорудной промышленности. Отечественная геология, 2013, №3, с. 104-111.
7. Робинсон П. Пекос, Штат Нью-Мехико, США, «Хвосты с обогатительной фабрики по производству свинца и цинка: В поисках оптимального решения проблемы отходов после закрытия шахты» // Материалы семинара по проведению рекультивации и утилизации шахтных отходов. Бухарест, Румыния, 21-23 апреля, 2004.
8. Корельский Д.С. Изоляция высокотоксичных техногенных массивов предприятий минерально-сырьевого комплекса //Недропользование. 2011. № 10. С.259.
9. Ханчук А.Н., Кемкина Р.А., Кемкин И.В., Зверева В.П. Минералого-геохимическое обоснование переработки лежалых песков хвостохранилищ Солнечного ГОКа (Комсомольский район, Хабаровский край) // Вестник Крануц. Науки о Земле. 2012. №1. Выпуск 19.
10. Рыбаков Ю.С. Применение химической рекультивации для защиты водных объектов от техногенного загрязнения //Электронный журнал. URL: <http://uigps.ru/content/nauchnyy-zhurnal> 2015. №7.
11. Kossoff D. et al. Mine tailings dams: Characteristics, failure, environmental impacts, and remediation // Applied Geochemistry. N 51. 2014. P. 229–245

Приложение А. Публикации по проекту за 2016 год.

Количество научных публикаций в журналах, индексируемых в российских и международных информационно-аналитических системах научного цитирования (Web of Science, Scopus, MathSciNet, Российский индекс научного цитирования, Google Scholar, European Reference Index for the Humanities и др.) по проекту за 2016 год:

1. Плюснин А.М., Жамбалова Д.И. Взаимодействие загрязненных метеорных вод с почвогрунтами Усть-Селенгинской впадины. Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2016, №1, С.33 - 42. <http://elibrary.ru/item.asp?id=25797952>
2. Юргенсон Г.А., Смирнова. О.К., Солодухина М.А., Филенко Р.А. Геохимические особенности руд и техноземов хвостохранилища золото-молибденового рудника Давенда в Восточном Забайкалье // Литосфера, 2016. - № 2. - С. 91-106. <http://elibrary.ru/item.asp?id=26008763>
3. Дорошкевич С.Г., Бардамова И.В. Фитотоксичность лежалых отходов обогащения сульфидно-вольфрамовых руд Джидинского месторождения (Западное Забайкалье) // Геоэкология, Инженерная геология, Гидрогеология, Геокриология, 2016. - № 3. - С. 241-251. <http://elibrary.ru/item.asp?id=26240519>
4. Дорошкевич С.Г., Смирнова О.К., Дампилова Б.В., Гайдашев В.В. Оценка состояния почв и растительности г. Закаменск (Бурятия): последствия деятельности Джидинского вольфрамо-молибденового комбината // Геоэкология, Инженерная геология, Гидрогеология, Геокриология, 2016. - № 5. - С. 427-441. <http://elibrary.ru/item.asp?id=26711889>
5. Дорошкевич С.Г., Бардамова И.В., Украинцев А.В. Использование отходов горно-обогатительного производства как нетрадиционного удобрения // Экология России: на пути к инновациям - Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2016. - № 13. - С. 111-115. <http://elibrary.ru/item.asp?id=26094405>
6. Санжанова С.С., Зонхоева Э.Л. Очистка рудничных вод природными сорбентами // Вода: Химия и экология. - 2016. - № 6. - С.58 – 63. <http://watchemec.ru/archive/issues/27979/>
7. Хажеева З.И., Плюснин А.М. Изменение климатических и гидрологических характеристик в бассейне р. Селенга. // Метеорология и гидрология, №9, 2016, с. 69-78. <http://elibrary.ru/item.asp?id=26633273>
8. Украинцев А.В., Плюснин А.М., Жамбалова Д.И. Использование химического состава снега для оценки долгосрочного влияния лесных пожаров на экологическое состояние территорий // Вестник ВГУ. Серия география, геоэкология, 2016, №2. С. 56- 62. <http://elibrary.ru/item.asp?id=26186243>
9. Чернявский М.К., Дорошкевич С.Г., Плюснин А.М. Геоэкологические и гидрогеохимические особенности Умхейских термальных источников. Вестник ВГУ. Серия география, геоэкология, 2016, №2, С. 63-66. <http://elibrary.ru/item.asp?id=26186244>
10. Перязева Е.Г., Плюснин А.М., Гармаева С.З., Будаев Р.Ц., Жамбалова Д.И. Особенности формирования ресурсов и химического состава воды озер восточного побережья Байкала // География и природные ресурсы. 2016, №5. С. 49-59. <http://elibrary.ru/contents.asp?titleid=9463>

Заявление о выдаче патента РФ на изобретение «Хвостохранилище для хранения отходов горнодобывающих предприятий» Рег. № 2016112741 от 04.04.2016.

Прочие издания:

Ukrainitsev A.V., Plyusnin A.M. The Influence of Wildfires on the Hydrochemical Regime of Rivers in Zairaevskiy District of the Republic of Buryatia // Academic science – problems and achievements VIII: Proceedings of the Conference. North Charleston, 15-16.02.2016, Vol.1. – North Charleston, SC, USA: CreateSpace, 2016. – P. 52-54.

Ukrainitsev A.V. Hydrological and Hydrochemical Impacts of Wildfires in the Bryanka River Basin // The 8th International Siberian Early Career GeoScientists Conference: Proceedings of the Conference (13-24 June 2016, Novosibirsk, Russia). – Novosibirsk, 2016. – P. 363-364.

Bardamova I.V., Ukrainitsev A.V., Doroshkevich S.G. The Use of Wastes of Tailings Dam of the Dzhidinsky Tungsten-Molibdenum Combine as Non-Traditional Fertilizers // The 8th International Siberian Early Career GeoScientists Conference: Proceedings of the Conference (13-24 June 2016, Novosibirsk, Russia). – Novosibirsk, 2016. – P. 341-342.

Дампилова Б.В., Зонхоева Э.Л. Сорбция ионов золота природными цеолитсодержащими туфами // Теоретические и практические вопросы интеграции химической науки, технологии и образования. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. (20 апреля 2016 г.). – Улан-Удэ, 2016. – С. 57-66.

Бардамова И.В., Дорошкевич С.Г. Микроэлементные удобрения на основе отходов после очистки рудничных вод // Мат. межд. науч.-практич. конф., посвященной 20-летию кафедры землеустройства «Актуальные вопросы в области землеустройства, кадастров и природообустройства: проблемы и перспективы развития» (Улан-Удэ, 13 мая 2016 г.). Улан-Удэ. – 2016. – С. 20-24

Дампилова Б.В., Смирнова О.К., Дорошкевич С.Г. Тяжелые металлы в загрязненных почвах и хвостах обогащения руд сульфидно-вольфрамовых месторождений Забайкалья // Мат. межд. науч.-практич. конф., посвященной 20-летию кафедры землеустройства «Актуальные вопросы в области землеустройства, кадастров и природообустройства: проблемы и перспективы развития» (Улан-Удэ, 13 мая 2016 г.) Улан-Удэ. – 2016. – С. 66-70.

Санжанова С.С. Экспериментальное изучение сорбции тяжелых металлов цеолитовым туфом и вспученным вермикулитом с целью очистки рудничных вод // Мат. межд. науч.-практич. конф., посвященной 20-летию кафедры землеустройства «Актуальные вопросы в области землеустройства, кадастров и природообустройства: проблемы и перспективы развития» (Улан-Удэ, 13 мая 2016 г.) Улан-Удэ. – 2016. – С. 176-185

Украинцев А.В. Накопление и миграция химических элементов в снежном покрове лесных пожарищ // Мат. межд. науч.-практич. конф., посвященной 20-летию кафедры землеустройства «Актуальные вопросы в области землеустройства, кадастров и природообустройства: проблемы и перспективы развития» (Улан-Удэ, 13 мая 2016 г.) Улан-Удэ. – 2016. – С. 216-219

Чернявский М.К., Украинцев А.В. Неиспользование термальных источников Баргузинской долины: причины и следствия // Мат. межд. науч.-практич. конф., посвященной 20-летию кафедры землеустройства «Актуальные вопросы в области землеустройства, кадастров и природообустройства: проблемы и перспективы развития» (Улан-Удэ, 13 мая 2016 г.) Улан-Удэ. – 2016. – С. 230-233

Бардамова И.В. Схема предварительной очистки рудничных вод с использованием местных природных сорбентов // Мат. Всероссийской конф. с международным участием «Эволюция биосферы и техногенез», посвященной 35-летию ИПРЭК СО РАН, VI Всероссийского симпозиума с международным участием «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий» (22-28 августа 2016 года, г. Чита). – С. 350-352.

Бардамова И.В., Дорошкевич С.Г. Использование отходов после очистки рудничных вод в качестве микроэлементных удобрений // Мат. Всероссийской конф. с международным участием «Эволюция биосферы и техногенез», посвященной 35-летию ИПРЭК СО РАН, VI Всероссийского симпозиума с международным участием «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий» (22-28 августа 2016 года, г. Чита). – С. 353-356.

Дорошкевич С.Г., Смирнова О.К. Природные и техногенные ландшафты сульфидно-вольфрамовых месторождений Забайкалья // Мат. Всероссийской конф. с международным участием «Эволюция биосферы и техногенез», посвященной 35-летию ИПРЭК СО РАН, VI Всероссийского симпозиума с международным участием «Минералогия и геохимия

ландшафта горнорудных территорий» (22-28 августа 2016 года, г. Чита). – Чита. – 2016. - С. 340-344.

Филенко Р.А., Смирнова О.К., Юргенсон Г.А. Новые данные о гипергенных минералах Бом-Горхонского месторождения // Мат. Всероссийской конф. с международным участием «Эволюция биосферы и техногенез», посвященной 35-летию ИПрЭК СО РАН, VI Всероссийского симпозиума с международным участием «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий» (22-28 августа 2016 года, г. Чита). – Чита. – 2016. - С. 404-408.

Дорошкевич С.Г., Смирнова О.К. Редкоземельные элементы в профиле почв, перекрытых отходами переработки сульфидно-вольфрамовых руд (Западное Забайкалье) // Мат. Всероссийской конф. с международным участием «Эволюция биосферы и техногенез», посвященной 35-летию ИПрЭК СО РАН, VI Всероссийского симпозиума с международным участием «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий» (22-28 августа 2016 года, г. Чита). – 2016. – С. 133-136. (С. 283-286).

Еремин О.В., Замана Л.В., Эпова Е.С., Смирнова О.К. Изучение равновесий актиноидов и лантаноидов в металлоносных рудничных водах // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. Материалы V Международной конференции, г. Томск, 13–16 сентября 2016 г. С. 219-222.

Дорошкевич С.Г., Смирнова О.К. Редкоземельные элементы в геотехногенных ландшафтах сульфидно-вольфрамового месторождения (Западное Забайкалье) // Геохимия ландшафтов (к 100-летию А.И. Перельмана). Доклады Всероссийской научной конф., Москва, 18-20 октября 2016 г., М.: Географический факультет МГУ, 2016. – С. 181-185. - Смирнова О.К. Подвижность химических элементов и современное минералообразование в геотехногенных обстановках сульфидно-вольфрамовых месторождений Забайкалья // Геохимия ландшафтов (к 100-летию А.И. Перельмана). Доклады Всероссийской научной конф., Москва, 18-20 октября 2016 г., М.: Географический факультет МГУ, 2016. – С. 523-526.

Дорошкевич С.Г., Бардамова И.В., Украинцев А.В. Использование отходов горно-обогатительного производства как нетрадиционного удобрения // Межвузовский сборник научных трудов «Экология России: на пути к инновациям». – Астрахань: Издательство Нижневолжского экоцентра, 2016. – Вып. 13. – С. 111-115.

Бурдуковский В.В. Влияние отходов производства Джидинского горно-обогатительного комбината на геоэкологическое состояние подземных вод (г. Закаменск). Геология в развивающемся мире. Материалы IX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Пермский государственный национальный исследовательский университет. Пермь, 2016. Т.2. -582 с.(с. 421-424) (научн. рук. А.М. Плюснин).

Ташлыков В.С. Геохимическая характеристика твердых и жидких отходов переработки руд Бом-Горхонского вольфрамового месторождения. Геология в развивающемся мире. Материалы IX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Пермский государственный национальный исследовательский университет. Пермь, 2016. Т.2. -582 с. 515-519) (научн. рук. А.М. Плюснин).

Приложение Б. План НИР 2013-2016 гг.

	Содержание работы	Ожидаемый результат
2013	Изучить взаимодействие атмосферных и поверхностных вод с хвостами переработки вольфрамовых и молибденовых руд.	На основе лизиметрических исследований хвостохранилища Джидинского вольфрамо-молибденового комбината, будут установлены особенности взаимодействия в системе атмосферные осадки-техногенные пески, определена динамика выветривания и трансформации форм нахождения тяжелых металлов по разрезу песков. С помощью экспериментальных данных будут предложены способы нейтрализации технологических вод вторичной переработки хвостов обогащения вольфрамовых и молибденовых руд, разработаны мероприятия по решению проблемы закисления промывных вод.
2014	Исследование нейтрализующих, фильтрующих и сорбционных свойств природных и техногенных материалов. Изучение особенностей биогеохимического круговорота токсичных элементов в пограничных зонах природных и техногенных ландшафтов; эколого-агрохимическая оценка использования отходов горно-обогатительного производства Джидинского, Бом-Горхонского вольфрамо-молибденовых месторождений.	1. По экспериментальным данным, полученным на лабораторных и полупромышленных установках в динамических условиях, будет оценена способность к связыванию в труднорастворимые соединения истиннорастворенных форм Cu, Zn, Pb, Cd в техногенных песках Джидинского и Бом-Горхонского горно-обогатительных комбинатов под воздействием добавок реагентов, обладающих нейтрализующими и адсорбирующими свойствами. 2. Будут получены экспериментальные данные по накоплению токсичных элементов в сельскохозяйственных культурах.
2015	Выявление закономерностей миграции и концентрирования вещества в биоте водоемов, использующихся в качестве отстойников, в сравнении с природными озерными системами. Экспериментальное моделирование современного гидрогенного минералообразования в геотехногенных ландшафтах горно-промышленных территорий Забайкалья и в экосистемах содовых и сульфатных озер.	Будут обоснованы способы нейтрализации и очистки рудничных и технологических вод в прудах накопителях Джидинского и Бом-Горхонского ГОКов. Выявлены минеральные формы токсичных химических элементов, образующихся в толще техногенных песков под воздействием микродобавок реагентов нейтрализаторов-адсорбаторов.
2016	Изучение процессов метаморфизации состава поровых и рудничных вод в толще	Выработаны теоретические основы экологически эффективных способов утилизации сульфидсодержащих отходов

	техногенных песков и в искусственных, естественных водоемах.	горно-обогатительного производства с использованием нейтрализующих реагентов и сорбентов для перевода растворенных токсичных компонентов в твердую фазу.
--	--	--

Приложение В.

индикатор	Ед. измерения	Всего за 2013-2016 гг.	2013	2014	2015	2016
Количество публикаций в ведущих российских и международных журналах по результатам исследований, полученных в процессе реализации проекта	единиц	38	11	7	10	10
Количество публикаций в мировых научных журналах, индексируемых в базе данных «Сеть науки» (WEB of Science)	единиц	9	3	4	1	1
Число охраняемых объектов интеллектуальной собственности: зарегистрированных патентов в России	единиц	1	-	-	-	1 заявка на изобретение