

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ МАЛЫХ РЕК ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ (НА ПРИМЕРЕ Р. КАРАГАЙЛЫ, Г. СИБАЙ)

А.Ю. Опекунов, С.Ю. Янсон, М.Г. Опекунова, Д.В. Коршунова, В.В. Сомов
Санкт-Петербургский государственный университет, Россия, Санкт-Петербург
e-mail: a_orekunov@mail.ru

На основе минералого-геохимических исследований донных осадков показано изменение гидрогеохимического режима р. Карагайлы под влиянием разработки Сибайского медно-цинкового месторождения. Интенсивность миграции и аккумуляции металлов зависит от величины рН речной воды, которая меняется под воздействием техногенеза. После прекращения сброса карьерных вод в 2019 г. активизировались процессы аккумуляции металлов, и снизился их сток в реки более высокого порядка.

Ключевые слова: донные осадки, металлы, подвижные формы металлов, аксессуарные и вторичные минералы, глинистые минералы.

Введение

Горнодобывающая промышленность оказывает значительное влияние на состояние водных объектов, особенно малых рек. Это выражается в химическом загрязнении воды и донных осадков, изменении гидрологического режима, трансформации растворенного и твердого стока [1-4]. Техногенному воздействию наиболее подвержены водотоки засушливых степных зон, для которых отмечается значительная сезонная изменчивость водности [3, 5]. Рассматриваемая проблема весьма актуальна для Южного Урала, на территории которого разрабатывается большое количество месторождений твердых полезных ископаемых, что приводит к загрязнению водных объектов, в первую очередь, тяжелыми металлами [2, 3, 6-8], приводящему к деградации водных экосистем.

Малые водотоки в условиях загрязнения очень чувствительны к изменениям характера и интенсивности техногенного воздействия. При этом ассимиляционный потенциал рек смягчает антропогенный пресс на окружающую среду. Понимание механизмов ассимиляции, знание гидрогеохимических процессов, происходящих в водотоках – ключ к снижению последствий воздействия горнодобывающих отраслей.

Цель настоящих исследований – на основе изучения геохимии донных осадков и химического состава воды проанализировать различные гидрогеохимические обстановки, которые формировались в р. Карагайлы за период воздействия добычи медно-цинковых руд, а также определить причины и последствия этих трансформаций.

Объект и методика исследований

Город Сибай Республики Башкортостан расположен в пределах Красноуральско-Сибай-Гайской меднорудной зоны. Здесь с 1939 г. разрабатывается Сибайское медноцинковоколчеданное месторождение. В 1956 г. началось освоение Ново-Сибайской залежи. В то время на месте будущего карьера протекала р. Карагайлы. Она была отведена в р. Камышлы-Узяк. Однако старое русло реки стало использоваться для отвода подотвальных и промышленных сточных вод. В связи с этим водоток продолжил своё функционирование и сохранил старое название.

Река Карагайлы имеет ширину 2-6 м с разливами до 20 м, длину около 11 км. Она пересекает с запада на восток южные окраины г. Сибай и впадает в р. Худолаз – приток

р. Урал (рис. 1). Дренируя территорию вблизи горных отвалов и принимая сточные и подотвальные воды, Карагайлы испытывает значительное воздействие со стороны горнодобывающего предприятия на протяжении всего времени освоения месторождения, что привело к высокой степени загрязнения воды и донных осадков [1, 2, 5, 9-11].

Формирование гидрогеохимического режима реки до 2011 г. в основном происходило под влиянием подотвальных и сброса промышленных вод. Все это время под отвалами происходит смешение кислых дренажных вод, насыщенных рудными и сопутствующими металлами, и подземных (трещинных) вод щелочного состава, которые в этом месте выходят на поверхность в виде ключей. При этом вода, которая образует исток реки, имеет рН от 6,0 до 7,5 (в зависимости от соотношения смешиваемых вод), что сопровождается выпадением в твёрдую фазу сульфатов в виде белого порошка. Сточные промышленные воды с рН 4,0-4,5 поступали в реку с Сибайского карьера на расстоянии около 1 км от истока и давали основной приток воды (рис. 1, ПП 3).

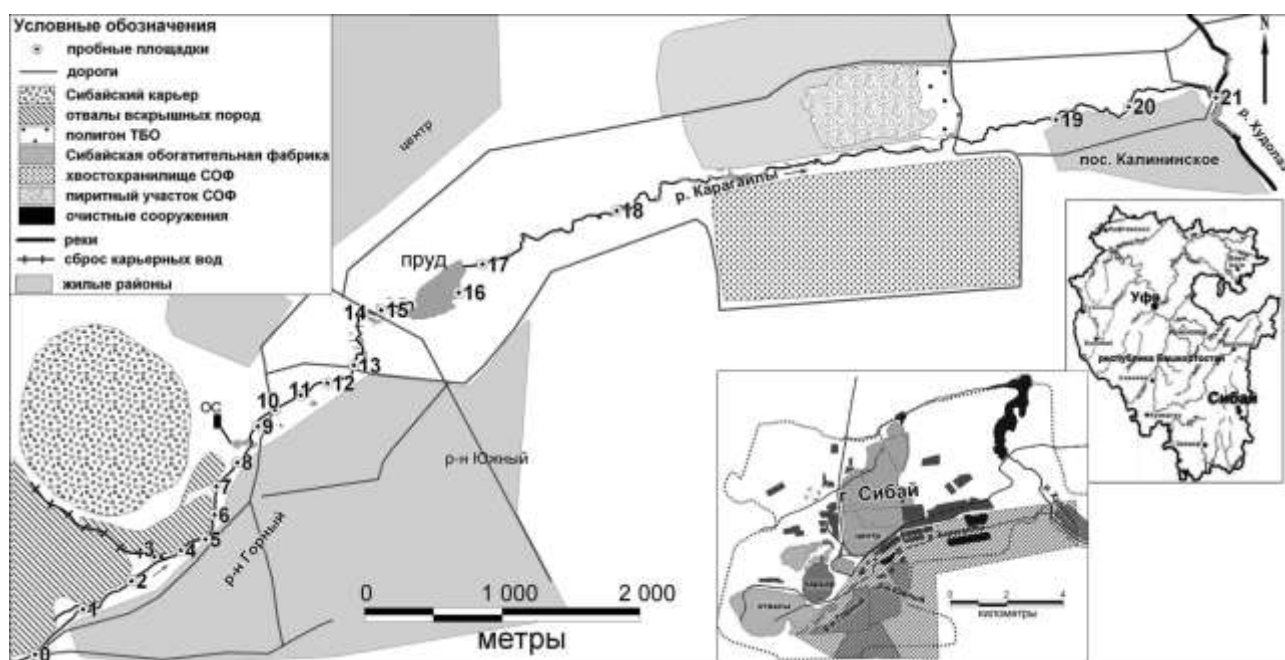


Рисунок 1 – Схема района исследований с размещением пробных площадок (ПП) (по [2])

Гидрогеохимическая обстановка изменилась в 2011 г., когда в верхнем течении реки начали работать очистные сооружения, принимающие карьерные и рудничные воды (рис. 1, ПП 9). Очищенная вода с рН более 10 сбрасывалась в реку, что вызвало формирование в этом месте комплексного (сорбционно-гидроксидного и щелочного) барьера. Заметный рост рН речной воды (до 7,5-8,0) стал причиной образования и осаждения гидроксидов Fe и адсорбции ими Cu, Zn, Cd и других металлов. Это привело к росту валовой концентрации металлов в донных осадках, но снижению содержания их подвижных форм, и уменьшению жидкого стока металлов в водотоки более высокого порядка.

В 2015-2016 гг. в среднем и нижнем течении реки были проведены дноочистные работы, которые вскрыли толщу восстановленных осадков, сформировавшуюся за 60 лет, с высокой концентрацией металлов и особенно железа, находящегося в форме Fe^{2+} и $FeSO_4$. Размыв этих отложений вызвал окисление металла. Речная вода приобрела выраженный охристый оттенок из-за высокого содержания взвешенных тонкодисперсных оксидов и гидроксидов железа. Охристый поток через р. Худолаз распространился на расстояние более 25 км, немного не достигнув р. Урал [8]. Проведение работ по очистке дна и выпрямлению русла привело к разрушению в реке всех образовавшихся ранее геохимических барьеров [2]. Это стало причиной формирования новой гидрогеохимической обстановки, выразившейся в росте концентрации Fe в воде и донных осадках, снижении доли подвижных

(сорбционно-карбонатных) форм металлов и смещении максимума концентрации рудных металлов (Fe, Cu, Zn, Cd) в донных отложениях к устью Карагайлы (рис. 1, ПП 18-20).

В начале 2019 г. в период продолжительного антициклона и штилевой погоды в г. Сибаете сложилась чрезвычайная экологическая ситуация, вызванная самовозгоранием в карьере пиритовой залежи и значительным повышением в атмосферном воздухе города содержания SO_2 . Было принято решение о затоплении карьера, что стало причиной прекращения сброса карьерных вод в Карагайлы с 2019 г. В связи с этим одной из задач настоящих исследований является определение последствий прекращения сброса. Задача решалась на основе изучения содержания металлов в речной воде и комплексного анализа минералого-геохимических свойств донных осадков, пробы которых были отобраны в 2019-2020 гг.

В донных осадках определялись валовые содержания и подвижные формы (с использованием ацетатно-аммонийного буфера pH 4,8) тяжелых металлов и металлоидов (ТММ – Cu, Zn, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, Pb, Cd, Ba, As, Sb, V, Sc) методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) с полным кислотным разложением проб. Ртуть анализировалась методом «холодного пара» на автономном приборе «Юлия-5м». Анализы проводились в Центральной лаборатории ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского (Санкт-Петербург).

Микроминералогические исследования выполнены на оборудовании ресурсного центра «Микроскопии и микроанализа» (Научный парк СПбГУ) – сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) Quanta 200 3D (FEI, Нидерланды) с аналитическим комплексом Pegasus 4000 (EDAX, USA) в режиме отраженных и вторичных электронов. Электронно-зондовый микроанализ проведен на энергодисперсионном дифрактометре указанного микроскопа в высоком вакууме при ускоряющем напряжении 20 кВ.

Для определения состава глинистых минералов была проведена порошковая рентгенография проб. Исследования выполнены в ресурсном центре «Рентгенодифракционные методы исследования» Научного парка СПбГУ на автоматическом порошковом дифрактометре MiniFlexII (Rigaku). Идентификация фаз проводилась с использованием базы порошковых дифракционных данных PDF-2 (Powder Diffraction File, 2020) и литературных данных [12-14], количественные расчеты проведены в программе TOPAS 4 (TOtal Pattern Analysis Solutions) и основаны на полнопрофильном анализе по методу Ритвельда.

Результаты и их обсуждение

В истоке р. Карагайлы вода характеризуется сульфатно-магниевым типом и минерализацией от 2,5 до 9,0 г/л. В ней обнаружены высокие концентрации SO_4^{2-} , Cu^{2+} , Zn^{2+} и Cd^{2+} . Как отмечалось выше, дно реки у истока устлано белым порошкообразным осадком, представленным гидросульфатами, который распространяется на расстояние до 1 км вниз по течению. Химический состав сульфатов характеризуется очень высокой концентрацией Cu, Zn, Cd, Mn (табл. 1; ПП 1). Содержание других изученных ТММ близко к фоновому уровню (табл. 1; ПП 0).

По составу гидросульфаты представлены глинистой массой светло-коричневого цвета с обломками темноцветных минералов, размер которых не превышает 0,05 мм. По результатам микроскопического анализа в составе глинистых минералов, вероятно, присутствуют каолинит, монтмориллонит, бейделлит и галлуазит. Бейделлит образуется в корках выветривания основных пород Южного Урала, галлуазит связан с сульфидными месторождениями. Составные спектры показывают алюмосиликатную матрицу с небольшими примесями K, Na, Ca, Mg. Глинистые минералы содержат очень мало Fe. В образце установлены гипс и барит. При этом, гипс покрывает всю поверхность образца в виде отдельных кристаллитов, сростков и микроагрегатов – «гипсовых роз». Барит присутствует реже. Самостоятельные фазы меди и цинка не определены, однако они встречаются в образованиях микрокристаллических агрегатов с соединениями железа и глинистыми минералами, которые выступают в качестве адсорбентов.

Таблица 1 – Содержание тяжелых металлов и металлоидов (мг/кг) в донных осадках р. Карагайлы (2019-2020 гг.)

ТММ	Пробные площадки отбора проб						
	ПП 0 (фон)	ПП 1	ПП 2	ПП 3	ПП 14	ПП 19	ПП 21
Sc	19,5	42,8	18,8	5,61	25,7	17	19,5
V	116	43,5	137	26,3	141	59,5	91,5
Cr	44,2	18	82,1	16,7	69,3	48,1	104
Mn	1085	1007	1938	1550	1084	930	2169
Fe	47000	22800	44500	436800	112000	181300	156100
Co	19,6	31,6	52	71,5	38,2	31,1	43
Ni	27,6	16,3	70,7	19,1	41,1	31,5	39,3
Cu	93,7	9090	1850	1310	3820	4840	5410
Zn	235	17800	16700	9610	4070	8970	9450
Cd	0,39	11,5	8,96	6,85	7,87	23,3	20,2
Ba	277	34,3	343	62,8	366	195	276
Pb	21,8	13,3	22,1	8,19	51,4	39,5	57,2
As	-	21,5	12,1	6,02	-	49,1	
Hg	-	0,13	0,13	0,093	-	0,42	
Sb	2,92	1,16	1,41	1,98	4,53	2,65	5,81
Sr	250	-	-	-	574	-	219

Примечание: прочерк – данные отсутствуют

По мере удаления от истока реки доля гидросульфатов снижается и увеличивается количество обломочных минералов. Наблюдается некоторое уменьшение Cu, Zn, Cd, но возрастает концентрация Fe и других металлов (табл. 1, ПП 2). По результатам микроскопических исследований в пробе обнаружены гипс и барит, которые присутствуют в виде отдельных кристаллитов, сростков и микроагрегатов: «гипсовых и баритовых роз» без следов разрушения, т. е. не подвергавшихся переносу на большие расстояния (рис. 2а). Глинистые фазы практически не содержат железа. Основная масса представлена фракцией размером частиц менее 5 мкм. На некоторых спектрах видны отчетливые пики Mn, Cu и Zn. Они установлены в образованиях микрокристаллических агрегатов совместно с соединениями железа. В образце большое количество Mn-Zn включений. Небольшое количество Zn находится в сульфидной форме, остальные включения встречаются в виде сплавов (?), но всегда совместно с Mn образованиями (рис. 2б). По морфологии образований можно предположить их органическое происхождение (возможно частичное).

Индикаторным объектом современного гидрогеохимического состояния реки являются донные осадки и взвеси, содержащие большое количество окисленного железа. Оксиды и гидроксиды Fe образовались, как отмечалось выше, в результате размыва захороненных ранее донных отложений после проведения дноочистных работ. Особенности химического состава осадков заключаются в высоком содержании Fe (более 40 %), Cu и Zn, а также Co (табл. 1; ПП 3). Проба в основном состоит из глинистой фракции с размером частиц менее 5 мкм, цементирующих более крупные частицы. Соединения железа представлены в виде отдельных фаз оксигидроксидов (рис. 2в). Они образуют микрокристаллические агрегаты в порах, полостях и на поверхности образцов, иногда отдельные зерна. Сульфиды имеют ограниченное распространение в качестве зерен (халькопирит). В образце мало гипса и барита, а также других обломочных минералов. Глинистая фракция в основном представлена гетитом (26 %) и лепидокрокитом (53 %) (табл. 2), которые являются вторичными минералами. Таким образом, минеральный и химический состав охристых осадков заметно отличается от терригенных, которые сложены преимущественно обломочными минералами и сульфатами, состоящими в основном из гипса и барита.

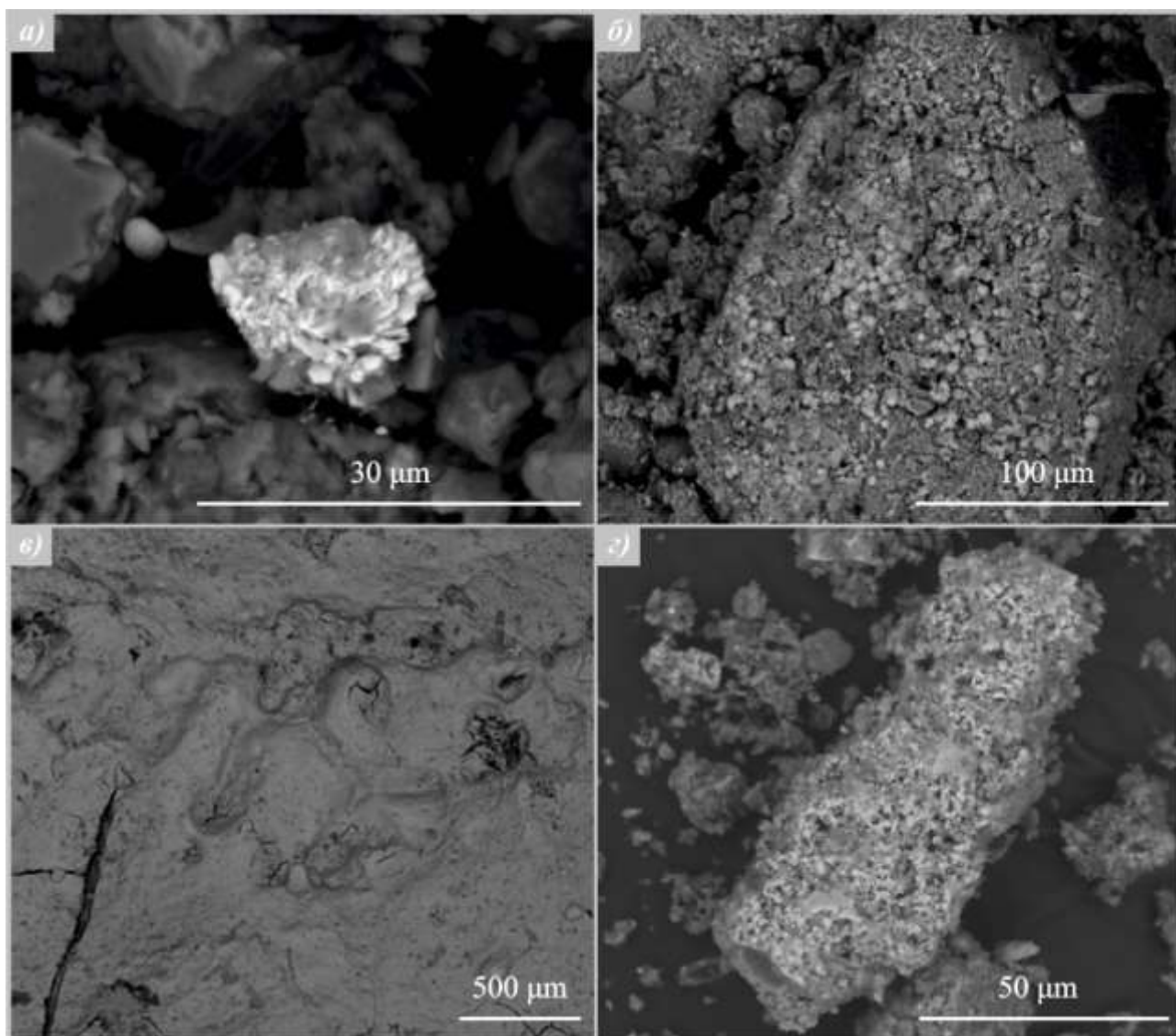


Рисунок 2 – Минеральные фазы изученных образцов. Изображение СЭМ, отражённые электроны

Примечание: а) ПП 2 – агрегат пластинчатых кристаллов барита («баритовая роза»); б) ПП 2 – образования (смеси) Mn-Zn совместно с апатитом и оксидами Fe на поверхности и в пустотах минеральных и органических агрегатов; в) ПП 3 – скрытокристаллические землистые агрегаты и отдельные зерна оксидов/гидроксидов железа; г) ПП 4 – вторичные агрегаты оксигидроксидов железа.

Следующая пробная площадка расположена в среднем течении реки на пересечении с Зилаирским шоссе (ПП 14). Осадок представлен красно-коричневато-серым частично флокулированным илом. Встречаются полуокатанные и угловатые обломки размером не более 2-2,5 мм. Образцы состоят из кварца, полевых шпатов (калиевых и плагиоклазов), слюд и гидрослюд. Плагиоклазы кислые – альбит-олигоклаз. Во всех образцах присутствуют гипс и кислородные соединения железа. Часто встречается пирит, монацит и барит. Соединения железа – оксиды и гидроксиды – обнаружены в виде обломков или вторичных агрегатов, выполняющих полости чаще всего органических остатков, а также поверхность минеральных или смешанных агрегатов. Морфология их (сфероидные формы) может быть следствием работы бактерий (рис. 2г). Хорошая сохранность образований указывает на происхождение in-situ, не исключается также очень непродолжительное перемещение. Микроэлементный состав характеризуется более низким содержанием Fe и Zn, по отношению к осадкам, слагающим дно выше по течению реки, но повышенной концентрацией Cu (табл. 1, ПП 14).

Таблица 2 – Количественный фазовый состав минералов (вес. %) по данным полнопрофильного анализа (метод Ритвельда)¹

Минералы	Площадки отбора проб					
	ПП 0 2002	ПП 2 1906	ПП 3 1905	ПП 14 2004	ПП 19 2001	ПП 21 2005
Кварц	51	39	4	34	42	36
К-Na полевые шпаты	12	14	6	19	22	23
Каолинит	7	13	8	14	5	18
Хлорит	12	10	-	9	15	8
Слюда	3	19	-	6	10	8
Кальцит	13	-	-	13	3	1
Доломит	2	3	-	следы	3	следы
Гипс	-	2	3	-	-	2
Пирит	следы	-	-	3	-	4
Гетит	-	-	26	-	-	-
Лепидокрокит	-	-	53	-	-	-
Тальк	-	-	-	2	-	-

Пробы донных осадков в нижнем течении реки отобраны в районе с. Калининское (ПП 19). В донных осадках, как и выше по течению, сохраняется высокая концентрация Cu, Zn, Cd и Fe. Образец представлен полуокатанными и угловатыми обломками кварца, полевого шпата (калиевого и плагиоклазов), слюд и гидрослюд алевро-пелитового размера. Крупные зерна в большинстве своём – это комковатые агрегаты пелитовых частиц. Отмечается множество органических и техногенных волокон. Встречаются зерна пирита, халькопирита, монацита. Присутствуют соединения железа в виде отдельных фаз оксигидроксидов. Они образуют микрокристаллические агрегаты в порах, полостях и на поверхности образцов, иногда встречаются в виде отдельных зерен.

В устье реки химический состав донных осадков, по отношению к вышележащей ПП, меняется мало, сохраняются высокие содержания Cu, Zn, Cd и Fe (табл. 1, ПП 21). Отложения представлены преимущественно кварцем, полевыми шпатами, слюдами и гидрослюдами, встречаются зерна пирита, халькопирита. Из сульфатов присутствует в основном гипс.

Результаты обработки обзорных дифрактограмм подтверждают наличие основных минералогических фаз, установленных с использованием сканирующего электронного микроскопа, и позволяют дать оценку их количественного распределения (табл. 2). Установлено, что в большинстве проб преобладающими являются первичные минералы – кварц, полевые шпаты К-Na состава, слюда (мусковит). Их суммарное содержание, за исключением одной пробы (ПП 3), составляет 59-74 % (без учета смешанослойной фазы). Среди вторичных минералов распространены каолинит, тальк, минералы группы хлорита, в основном представляющие собой продукты гипергенного преобразования первичных нерудных минералов. Из сульфидов наиболее широкое распространение имеет пирит, а в пробе ПП 3 продукты его преобразования – гетит и лепидокрокит. В небольших количествах присутствуют карбонаты (кальцит, доломит) и сульфаты (гипс).

Среди минералов глинистой фракции ($r < 7$ 1 мкм) были диагностированы каолинит, тальк, минералы групп хлорита и слюд. Сравнение результатов обработки дифрактограмм воздушно-сухого, насыщенного этиленгликолем и отожженного образцов позволило определить, что в составе глинистой фракции исследуемых проб присутствуют смешанослойные фазы, представленные иллит-сметтитом (проба ПП 3, 14, 19, 21), хлорит-сметтитом различной степени упорядоченности до корренсита (проба ПП 2), также предположительно наличие хлорит-вермикулита (ПП 0). Данные образования являются продуктами трансформации минералов группы хлорита и группы слюд в кислой среде [12],

¹ Без учета смешанослойной фазы

присущей верховьям реки. Существенно, что смешаннослойные минералы в составе осадков увеличивают их адсорбционную способность, в первую очередь, к металлам.

Отмеченные выше гидрогеохимические этапы эволюции водотока, вызванные разными качественными и количественными показателями воздействия горного производства, отразились в валовом содержании и количестве подвижных форм рудных металлов (табл. 3). Общий тренд изменений заключался в постепенном росте валового содержания, обусловленного, как отмечалось выше, увеличением щёлочности воды, и активном переходе металлов в твёрдую фазу в виде гидроксидов (Fe), сульфатов (Zn, Cu, Cd) и адсорбции свежобразованными оксигидроксидами железа (Zn, Cu, в меньшей степени Cd). При этом доля подвижных (сорбционно-карбонатных) форм халькофилов снижалась в связи с увеличением роли гидроокисной фазы металлов. Однако на последнем этапе после прекращения сброса карьерных вод отмечается стабилизация валового содержания металлов и значительное увеличение доли подвижных форм (за исключением Fe). Вероятно, уменьшение расхода реки и повышение рН речной воды привели к активизации адсорбции металлов глинистыми минералами и их аккумуляции на дне водотока, а также к образованию устойчивых форм карбонатов с металлами в их составе.

Таблица 3 – Среднее содержание рудных металлов и процент их подвижных форм в донных осадках р. Карагайлы в разные периоды её функционирования

Период (год)	Показатели	Cu	Zn	Cd	Fe
До 2011	валовое содержание, мг/кг	5353	5141	8,9	70500
	% подвижных форм	36	57	56	0,7
2011-2015	валовое содержание, мг/кг	6848	9180	15,9	107000
	% подвижных форм	29	48	40	4,5
2016-2018	валовое содержание, мг/кг	6946	8048	14,1	189000
	% подвижных форм	9	34	20	0,5
2019-2020	валовое содержание, мг/кг	3138	11799	12,5	222000
	% подвижных форм	45	71	76	1,0

Косвенным подтверждением предложенной гидрогеохимической модели служат результаты изучения состава речных вод в устье р. Карагайлы на разных этапах рассматриваемого периода существования водотока, исключая этап 2016-2018 гг. (рис. 3). Общая тенденция – значительное снижение концентрации металлов в воде и соответственно их выноса в реки более высокого порядка (Худолаз и Урал). Таким образом, повышение рН речной воды и прекращение в 2019 г. сброса карьерных вод привело к улучшению качества воды с близкими к нормативным показателями, установленными для рыбохозяйственных водоемов.

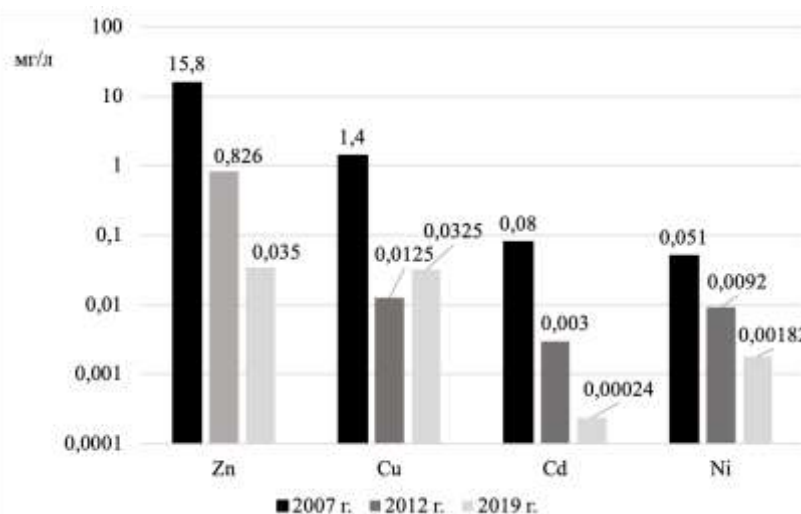


Рисунок 3 – Содержание металлов (мг/л) в пробах воды устьевой части р. Карагайлы

Выводы

Воздействие разработки Сибайского медноцинковоколчеданного месторождения на гидрогеохимические условия р. Карагайлы спровоцировало аккумуляцию на дно первичных и вторичных минеральных фаз: терригенных, сульфатных, охристых (железистых). Наряду с породообразующими и акцессорными минералами, в донных осадках накапливаются вторичные фазы – барит, гипс, различные соединения железа, Mn, Cu и Zn в образованиях микрокристаллических агрегатов совместно с соединениями железа, сплавы (?) Mn-Zn и другие. Для химического состава отложений характерны очень высокие (местами на уровне рудных) концентрации Zn, Cu, Cd, Fe. Большую роль в смене условий миграции и аккумуляции металлов в реке играют кислотно-щелочные условия, изменение и высокая контрастность которых определяются количеством атмосферных осадков, сбросом карьерных вод, работой очистных сооружений, нарушением окислительно-восстановительных условий в толще отложений при проведении дноуглубительных работ. Последние изменения, вызванные прекращением сброса карьерных вод, привели к падению расхода воды, особенно в летнее время, увеличению количества подвижных форм металлов в донных осадках и повышению щелочности речной воды. Это активизировало процессы аккумуляции металлов и вызвало снижение их стока в реки более высокого порядка.

Благодарности

Исследования выполнены при поддержке гранта РНФ 22-77-00017.

Опубликовано при поддержке гранта РГО «Международная конференция «Трансграничные геоэкологические проблемы и вопросы природопользования в бассейне рек Внутренней Евразии в связи с изменением климата».

Список литературы

1. Емлин Э.Ф. Прикладная геохимия. Миграция цинка и кадмия в геотехногенных системах сульффильного ряда. Учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2005. 97 с.
2. Опекунов А.Ю., Опекунова М.Г., Сомов В.В., Митрофанова Е.С., Кукушкин С.Ю. Влияние разработки Сибайского месторождения (Южный Урал) на трансформацию потока металлов в подчиненных ландшафтах // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2018. № 1. С. 14-24.
3. Удачин В.Н. Экогеохимия горнопромышленного техногенеза Южного Урала: автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. Томск, 2012. 56 с.
4. Perotti M., Ghezzi L., Casiot C., D’Orazio M., Giannecchini R., Petrini R. The geochemistry of pore waters in riverbed sediments in a mining-impacted landscape: sources of potentially toxic elements - Proceedings 13th International Mine Water Association Congress. 2017. vol. 2. pp. 732-736.
5. Опекунов А.Ю., Леонтьева Л.В., Куприна М.С. Геохимические особенности современного осадкообразования в районе разработки Сибайского медноколчеданного месторождения (Южный Урал) // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 7. 2010. Вып. 2. С. 84-98.
6. Бактыбаева З.Б., Ямалов С.М., Кулагин А.А. Анализ миграционных потоков тяжелых металлов в речных экосистемах Башкирского Зауралья // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17. № 6. С. 45-50.
7. Тарасова Т.Ф., Попова Е.А. Об экологическом состоянии природных вод Республики Башкортостан на примере реки Таналык // Региональные проблемы геологии, географии, техносферной и экологической безопасности: Материалы II Всерос. науч.-практ. конф. Оренбург, 2020. С. 284-287.
8. Опекунов А.Ю., Опекунова М.Г., Кукушкин С.Ю., Спаский В.В., Яськевич Е.В., Аржанцева З.Ю., Сомов В.В. Анализ накопленного экологического ущерба в речных

системах на территории Сибайского медноколчеданного месторождения // Сергеевские чтения. Эколого-экономический баланс природопользования в горнопромышленных регионах: сборник научных трудов (по материалам годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Пермь, 2019. Вып. 21. С. 349-354.

9. Opekunova M.G., Opekunov A.Ju., Papyan E.E., Somov V.V. Phytoindicational Properties of the Vegetation in Landscape Transformation Studies on Sibay Chalcopyrite Deposits (Southern Urals) // Contemporary Problems of Ecology. 2017. vol. 10. no. 3. pp. 301-314.

10. Семенова И.Н., Кужина Г.Ш., Ягафарова Г.А., Ильбулова Г.Р., Рафикова Ю.С. Оценка фитотоксичности поверхностных вод р. Карагайлы (Республика Башкортостан) // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 4. С. 179-187.

11. Opekunov A.Y., Opekunova M.G., Janson S.Y., Kukushkin S.Y., Papyan E.E. Mineral and geochemical characteristics of soils and bottom sediments in the area affected by mining dumps (a case study of the Sibay ore deposit) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. 817(1). 012078.

12. Лесовая С.Н., Платонова Н.В. Диагностика глинистых минералов в почвах и горных породах с использованием порошковой рентгенографии // Научный парк СПбГУ: физика, химия, материаловедение. СПб., 2020. С. 324-339.

13. Рентгенография основных типов породобразующих минералов / Под ред. В.А. Франк-Каменецкого. Л.: Недра, 1984. 359 с.

14. Moore D.N., Reynold R.C. X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals. New York: Oxford University Press, 1997. 378 p.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 07.09.2022

Принята к публикации 21.09.2022

HYDROGEOCHEMICAL TRANSFORMATION OF SMALL RIVERS UNDER THE IMPACT OF MINING PRODUCTION (ON THE EXAMPLE OF THE KARAGAYLY RIVER, SIBAY)

A. Opekunov, S. Janson, M. Opekunova, D. Korshunova, V. Somov

St. Petersburg State University, Russia, St. Petersburg

e-mail: a_opekunov@mail.ru

Hydrogeochemical regime transformation of the Karagaily River under the influence of the exploitation of the Sibay copper-zinc deposit is shown on the basis of mineralogical and geochemical studies of bottom sediments. The activity of migration and accumulation of metals depends on the pH of the river water, which changes under the influence of technogenesis. The cessation of quarry water discharge in 2019 led to the activation of metal accumulation processes and a decrease in their runoff into larger rivers.

Key words: bottom sediments, metals, mobile forms of metals, accessory and secondary minerals, clay minerals.

References

1. Emlin E.F. Prikladnaya geokhimiya. Migratsiya tsinka i kadmiya v geotekhnogennykh sistemakh sul'fofil'nogo ryada. Ucheb. posobie. Ekaterinburg: Izd-vo UGGU, 2005. 97 s.

2. Opekunov A.Yu., Opekunova M.G., Somov V.V., Mitrofanova E.S., Kukushkin S.Yu. Vliyanie razrabotki Sibaiskogo mestorozhdeniya (Yuzhnyi Ural) na transformatsiyu potoka metallov v podchinennykh landshaftakh. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya. 2018. N 1. S. 14-24.
3. Udachin V.N. Ekogeokhimiya gornopromyshlennogo tekhnogeneza Yuzhnogo Urala: avtoref. dis. ... d-ra geol.-mineral. nauk. Tomsk, 2012. 56 s.
4. Perotti M., Ghezzi L., Casiot C., D'Orazio M., Giannecchini R., Petrini R. The geochemistry of pore waters in riverbed sediments in a mining-impacted landscape: sources of potentially toxic elements - Proceedings 13th International Mine Water Association Congress. 2017. vol. 2. pp. 732-736.
5. Opekunov A.Yu., Leont'eva L.V., Kuprina M.S. Geokhimicheskie osobennosti sovremennogo osadkoobrazovaniya v raione razrabotki Sibaiskogo mednokolchedannogo mestorozhdeniya (Yuzhnyi Ural). Vestn. S.-Peterb. un-ta. Ser. 7. 2010. Vyp. 2. S. 84-98.
6. Baktybaeva Z.B., Yamalov S.M., Kulagin A.A. Analiz migratsionnykh potokov tyazhelykh metallov v rechnykh ekosistemakh Bashkirskogo Zaural'ya. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk. 2015. T. 17. N 6. S. 45-50.
7. Tarasova T.F., Popova E.A. Ob ekologicheskom sostoyanii prirodnykh vod Respubliki Bashkortostan na primere reki Tanalyk. Regional'nye problemy geologii, geografii, tekhnosfernoi i ekologicheskoi bezopasnosti: Materialy II Vseros. nauch.-prakt. konf. Orenburg, 2020. S. 284-287.
8. Opekunov A.Yu., Opekunova M.G., Kukushkin C.Yu., Spasskii V.V., Yas'kevich E.V., Arzhantseva Z.Yu., Somov V.V. Analiz nakoplennogo ekologicheskogo ushcherba v rechnykh sistemakh na territorii Sibaiskogo mednokolchedannogo mestorozhdeniya. Sergeevskie chteniya. Ekologo-ekonomicheskii balans prirodopol'zovaniya v gornopromyshlennykh regionakh: sbornik nauchnykh trudov (po materialam godichnoi sessii Nauchnogo soveta RAN po problemam geoekologii, inzhenernoi geologii i gidrogeologii. Perm', 2019. Vyp. 21. S. 349-354.
9. Opekunova M.G., Opekunov A.Ju., Papyan E.E., Somov V.V. Phytoindicational Properties of the Vegetation in Landscape Transformation Studies on Sibay Chalcopyrite Deposits (Southern Urals). Contemporary Problems of Ecology. 2017. vol. 10. no. 3. pp. 301-314.
10. Semenova I.N., Kuzhina G.Sh., Yagafarova G.A., Il'bulova G.R., Rafikova Yu.S. Otsenka fitotoksichnosti poverkhnostnykh vod r. Karagaïly (Respublika Bashkortostan). Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2017. N 4. S. 179-187.
11. Opekunov A.Y., Opekunova M.G., Janson S.Y., Kukushkin S.Y., Papyan E.E. Mineral and geochemical characteristics of soils and bottom sediments in the area affected by mining dumps (a case study of the Sibay ore deposit). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. 817(1). 012078.
12. Lesovaya S.N., Platonova N.V. Diagnostika glinistykh mineralov v pochvakh i gornykh porodakh s ispol'zovaniem poroshkovoi rentgenografii. Nauchnyi park SPbGU: fizika, khimiya, materialovedenie. SPb., 2020. S. 324-339.
13. Rentgenografiya osnovnykh tipov porodoobrazuyushchikh mineralov. Pod red. V.A. Frank-Kamenetskogo. L.: Nedra, 1984. 359 s.
14. Moore D.N., Reynold R.C. X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals. New York: Oxford University Press, 1997. 378 p.

Сведения об авторах:

Анатолий Юрьевич Опекунов

Д.г.-м.н., профессор кафедры геоэкологии, СПбГУ

ORCID 0000-0002-8885-9068

Anatoly Opekunov

Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor of the Department of Geoecology, St. Petersburg State University

Светлана Юрьевна Янсон

К.г.-м.н., заместитель директора, Ресурсный центр СПбГУ

ORCID 0000-0002-1341-2528

Svetlana Janson

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Deputy Director, RC of St. Petersburg State University

Марина Германовна Опекунова

Д.г.н., профессор кафедры геоэкологии, СПбГУ

ORCID 0000-0002-4592-0623

Marina Opekunova

Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Department of Geoecology, St. Petersburg State University

Дария Вячеславовна Коршунова

Магистрант 2-го курса, СПбГУ

ORCID 0000-0003-4855-9404

Darya Korshunova

master's student, St. Petersburg State University

ORCID 0000-0003-4855-9404

Всеволод Владимирович Сомов

К.г.н., старший преподаватель кафедры геоэкологии, СПбГУ

ORCID 0000-0003-2575-571X

Vsevolod Somov

Candidate of Geographical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Geoecology, St. Petersburg State University

Для цитирования: Опекунов А.Ю., Янсон С.Ю., Опекунова М.Г., Коршунова Д.В., Сомов В.В. Гидрогеохимическая трансформация малых рек под воздействием горнодобывающих предприятий (на примере р. Карагайлы, г. Сибай) // Вопросы степеведения. 2022. № 3. С. 12-22. DOI: 10.24412/2712-8628-2022-3-12-22