

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2019, №6, Том 11 / 2019, No 6, Vol 11 <https://esj.today/issue-6-2019.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/92NZVN619.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Харько П.А., Плохов А.С. Оценка воздействия медно-колчеданных месторождений на формирование минерального состава донных отложений малых рек // Вестник Евразийской науки, 2019 №6, <https://esj.today/PDF/92NZVN619.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Kharko P.A., Plokhov A.S. (2019). Evaluation of the impact of copper-sulphide deposits on the mineral composition of the bottom sediments of small rivers. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 6(11). Available at: <https://esj.today/PDF/92NZVN619.pdf> (in Russian)

УДК 504.064.36

ГРНТИ 87.19.15; 87.19.21; 87.15.15

Харько Полина Александровна

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», Санкт-Петербург, Россия
Аспирант, «Горный» факультет, кафедра «Геоэкологии»
E-mail: Pol2904@yandex.ru

Плохов Александр Сергеевич

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», Санкт-Петербург, Россия
Аспирант, «Горный» факультет, кафедра «Геоэкологии»
E-mail: alexander270594@gmail.com

Оценка воздействия медно-колчеданных месторождений на формирование минерального состава донных отложений малых рек

Аннотация. Формирование современного состояния малых рек в промышленно развитых регионах в существенной мере обусловлено комплексом техногенных факторов, среди которых первостепенную роль играют поступление загрязняющих веществ со сточными и инфильтрационными водами объектов горно-промышленных предприятий. Данная статья является частью диссертационных исследований авторов. В статье представлены результаты мониторинговых наблюдений за качественным химическим составом реки Карагайлы, в результате которых проведена оценка трансформации кислотно-щелочных условий на различных участках в зависимости от влияния объектов предприятия. Отмечено, что до влияния предприятия рН воды находится в щелочной зоне и приблизительно равен 8, а после впадения в реку ручья, дренирующего карьерные и подотвальные воды, рН опускается до значений 3,5–5. В месте смешения кислых речных вод и сточной воды предприятия (рН 10,5) образовался комплексный техногенный сорбционно-гидроксидный, щелочной барьер, который вызвал рост самоочищающего потенциала реки и привел к заболачиванию реки.

В статье приведены результаты инженерно-экологических изысканий, включающие в себя отбор проб донных отложений реки Карагайлы и озера Колтубан, пробоподготовку и рентгенодифракционный анализ минерального состава проб. Было установлено, что в месте образования щелочного геохимического барьера происходит осаждение гидроксида железа, который адсорбирует рудные минералы. При дальнейшем взаимодействии гидроксида железа с кислыми подотвальными водами и гидрокарбонатом кальция сточных вод, происходит пиритизация донных отложений. В статье отмечено, что разработка мероприятия по изъятию, обезвоживанию и утилизации донных отложений реки позволит в дальнейшем использовать их

совместно с хвостами и отходами рудопереработки как техногенное месторождение для доизвлечения полезных компонентов.

Ключевые слова: загрязнение рек; донные отложения; тяжелые металлы; техногенные наносы; образование пирита; геохимический барьер; рентгенодифракционный анализ

Введение

В России около половины суммарного объема речного стока формируют малые реки. Вследствие небольших объемов стока в малых реках процесс самоочищения протекает медленнее, поэтому длительное антропогенное воздействие приводит к деградации водных экосистем [1]. Воздействие горнопромышленных производств приводит к усиленному заиливанию рек, приводящему к формированию техногенных наносов. Проблема исследования экологического состояния малых рек и других водных объектов рассматривалась в различных работах, так же уделялось внимание разработке средозащитных мероприятий по предотвращению загрязнения малых рек предприятиями различных отраслей [2; 3]. Тем не менее, несмотря на изученность вопроса, нерешенной остаётся проблема экологически эффективной и экономически целесообразной утилизации образующихся техногенных наносов. Данная статья является частью диссертационных исследований авторов.

На сегодняшний день одним из самых крупных горнопромышленных регионов мира является Урал. Здесь освоение медноколчеданных месторождений началось с 1635 года. В связи с этим, к настоящему времени в этих районах сформированы техногенные массивы, в которых накоплены миллионы тонн отходов различного генезиса [4]. Техногенные массивы представлены насыпными массивами (отложениями отвалов, терриконников и др.); намывными массивами (отложениями хвостовых хозяйств обогатительных фабрик) и техногенными наносами (маломощными отложениями, имеющие большую протяженность или площадь, представленные атмосферными выпадениями и донными отложениями) [5]. Примером таких техногенных нагрузок являются техногенные массивы Сибайского горно-обогатительного комбината (Сибайский ГОК), специализирующегося на добыче и переработке сульфидных медно-колчеданных руд.

Сибайский ГОК располагается на южном Урале в районе г. Сибай в бассейне р. Карагайлы (I рыбохозяйственная категория). Река относится к малым рекам и является начальным звеном в формировании гидрологического, биологического и биохимического режимов средних и крупных водотоков, таких как р. Худолаз и р. Урал. Русло исследуемой реки имеет ширину 2–6 метров с разливами до 20 метров. Оно было изменено при строительстве Сибайского карьера. Река берет начало из-под насыпных техногенных массивов (отвалов вскрышных пород) Сибайского карьера. Источником питания реки служат техногенные подотвальные и природные подземные (трещинные) воды. Вдоль реки в промагломерации г. Сибай располагаются карьерные выемки, хвостохранилища, отвалы пустой и вскрышной пород, а также водоотводные каналы, впадающие и выпуски сточных вод очистных сооружений обогатительной фабрики предприятия, сбрасываемые в водоток (рис. 1) [6].

Химический состав речной воды определяется содержанием химических элементов в подотвальных и карьерных водах, а также в инфильтрационных водах хвостохранилища. Так же формирование состава воды определяется наличием техногенных барьеров в реке, на которых происходит переход части металлов в твердую фазу.

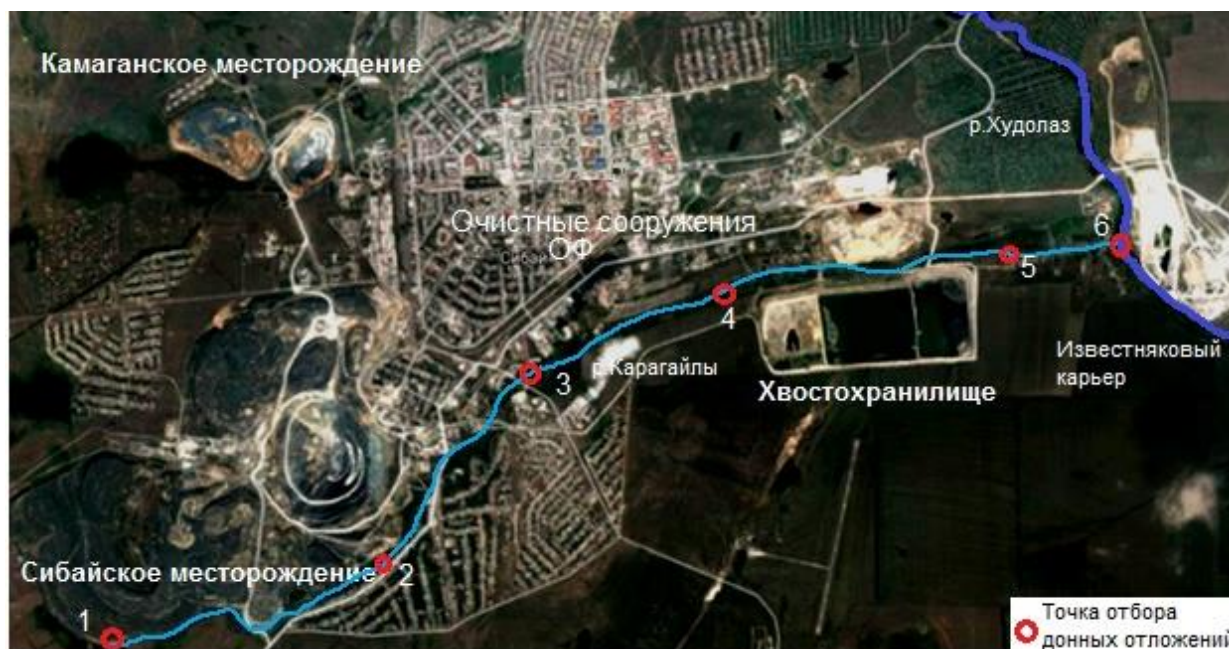


Рисунок 1. Карта отбора проб донных отложений (разработано авторами)

Вода в реке характеризуется контрастными кислотнo-щелочными условиями. В точке №1 (рис. 1) рН воды составляет 7,7–8,2. В 1 км от истока в реку впадает ручей, дренирующий карьерные воды. Качественный элементный состав ручья близок по составу к подотвальным водам. В летнее время расход ручья и реки в месте впадения сопоставимы между собой. Отмечается низкое значение рН (3,5–5,0). Следует отметить, что содержание металлов в воде зависит от величины рН: при низких значениях в верхнем и среднем течении (4,8–5,5) концентрация их максимальна. Так, содержание меди, цинка, железа, марганца превышает фон в 10–1000 раз. По мере роста рН концентрация металлов снижаются, однако средние содержания изученных элементов в речных водах по сравнению с фоном характеризуются очень высоким уровнем [7; 8].

Авторами [7; 8] отмечается, что до 2011 года аномально высокие концентрации металлов в реке Карагайлы сохранялись на всем ее протяжении до впадения в реку Худолаз. После 2011 года предприятие начало сброс воды с очистных сооружений в р. Карагайлы в 2,5 км ниже истока реки, что привело к изменению характера миграции металлов. Это обусловлено тем, что очищенная вода, сбрасываемая в р. Карагайлы, имеет рН около 10,5 (что превышает ПДК рыб. хоз.), что приводит к значительному росту кислотнo-щелочного показателя речной воды. В месте сброса (точка 3, рис. 1) образовался комплексный техногенный сорбционно-гидроксидный, щелочной барьер. Данный барьер вызвал рост самоочищающего потенциала реки. Последнее послужило заметным уменьшением концентрации металлов и минерализации речных вод и, соответственно, снижением концентраций металлов, выносимых течением из реки Карагайлы в реку Худолаз. Таким образом, в настоящее время, геохимический барьер, с одной стороны улучшает ситуацию с самоочищением реки, но, с другой – приводит к формированию геохимической аномалии в виде техногенных наносов в донных отложениях реки. Геохимический барьер имеет стадию насыщения, и со временем, он теряет свою эффективность.

Формирование геохимического барьера сопряжено с осаждением и накоплением техногенных отложений, содержащих тяжелые металлы, что ведет к заболачиванию участков реки. Это подтверждается данными режимных гидрологических наблюдений за период 2014 года, фиксирующих выход реки Карагайлы из берегов в наиболее мелководных участках реки ниже по течению от геохимического барьера.

В связи с этим русло реки Карагайлы было полностью очищено от техногенных наносов в 2015 году. Согласно сведениям информационного агентства «Башинформ», заявленная ширина русла реки составит не менее четырех метров по дну реки. В черте города глубина реки должна достигать 0,5 метров. Извлеченные донные отложения после высыхания на берегу реки отправляются на полигон твердых бытовых отходов.¹

При отборе проб донных отложений в 2017 году глубина реки в русле реки составляла около 0,4 метров. Исходя из этого, примерный ежегодный прирост донных отложений составляет около 0,10–0,15 метров. Следовательно, к 2021 году можно ожидать максимальный прирост донных отложений, что приведет к очередному постепенному разливу реки, заболачиванию супераквальных ландшафтов Сибайской промагломерации. Развитие такого сценария недопустимо, в связи с прогрессирующим изъятием городских территорий, а также с их одновременным загрязнением ввиду наличия аномально высоких концентраций металлов в воде реки. Загрязняющие вещества будут напрямую проникать в почвы, что повлечет за собой гибель фитоценоза и биоценоза почв. Таким образом, на территории развития геохимического барьера необходимо вести дноуглубительные работы, так как несвоевременное изъятие загрязненных грунтов может привести к еще более сильному экологическому бедствию.

Для снижения техногенной нагрузки на реку Карагайлы необходимо провести мониторинг современного состояния донных отложений реки.

Цель настоящего исследования: оценка состояния донных отложений реки Карагайлы, являющейся приемником сточных, подотвальных и инфильтрационных вод объектов Сибайского ГОКа.

Объектом исследования являлись образцы донных отложений реки Карагайлы, а также озера Колтубан. Исследования состояли в проведении полевых и лабораторных работ по отбору и анализу донных отложений.

Во время проведения экологических изысканий исследуемая река была условно разделена на 7 зон: 1 – районы, расположенные вне влияния предприятия на р. Карагайлы, 2 – участок реки, находящийся в месте возможного выхода подотвальных вод, 3 – участок реки в месте смешения ручья, содержащего в себе подотвальные воды предприятия, и выпуска сточных вод очистных сооружений, 4 – участок реки перед хвостохранилищем СОФ, 5 – участок реки после хвостохранилища, 6 – место впадения исследуемой реки в реку Худолаз, 7 – фоновый район (оз. Колтубан). Точки отбора проб донных отложений реки отмечены на рисунке 1 [9].

Пробоподготовка и методы исследований

Отбор проб донных отложений осуществлялся в летний период (август 2017 года) в соответствии с ГОСТ.²

Первая стадия пробоподготовки (высушивание) донных отложений проводилась в лаборатории предприятия при комнатной температуре. Дальнейшая пробоподготовка донных

¹ Русло реки Карагайлы в Сибее расчистят и расширят // Башинформ.рф URL: <http://www.bashinform.ru/news/668068-ruslo-reki-karagayly-v-sibae-raschistyat-i-rasshiryat/> (дата обращения: 10.05.2019).

² ГОСТ 17.1.5.01-80 «Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность (с Изменением N 1)».

отложений (высушивание, определение влажности) проводились в лаборатории на базе Центра коллективного пользования Санкт-Петербургского горного университета.

Для измельчения проб применялась шаровая мельница. Далее к пробам донных отложений для измельчения и перемешивания добавлялась целлюлоза (7 грамм и 5 грамм соответственно), и с помощью ручного таблеточного пресса формировались «таблетки». Минералогический состав донных отложений проводился с помощью рентгенодифракционного анализа согласно стандартной методике на приборе SHIMADZU XRD-7000 X-RAY DIFFRACTOMETER.

Результаты исследования

Результатом рентгенодифракционного анализа состава проб донных отложений является дифрактограмма (рис. 2), на которой отмечены зарегистрированные пики обнаруженных минералов.

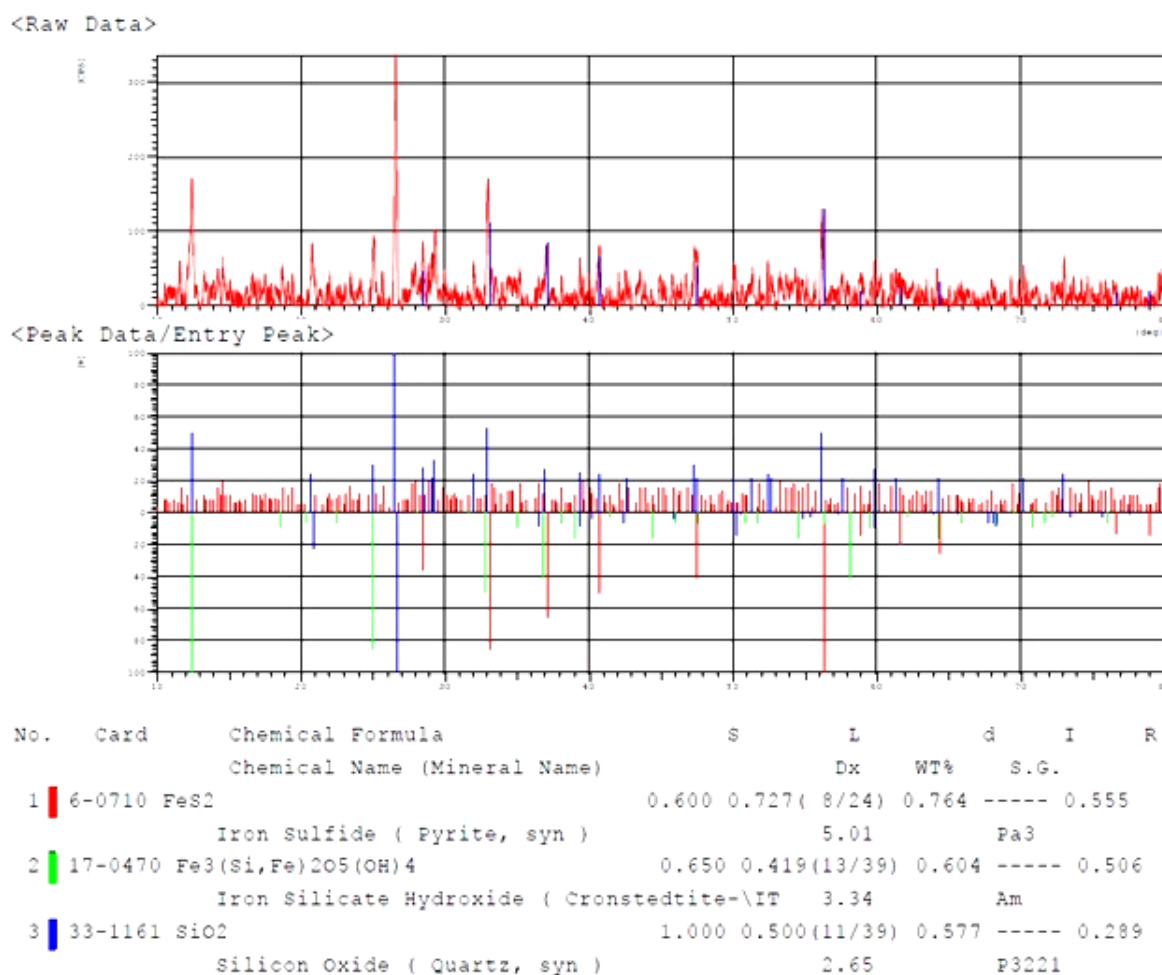


Рисунок 2. Дифрактограмма пробы № 3 (разработано авторами)

Обсуждение

Главными минералами донных отложений являются Кварц и Альбит, проба № 2 отличается повышенными содержаниями Кальцита и Доломита. Эти минералы являются природными составляющими донных отложений реки.

Исключительным составом обладает проба №3 по содержанию Пирита (FeS_2) и Кронстедтита ($(\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+})_3(\text{Si}, \text{Fe}^{3+})_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), встречается в ассоциациях с пиритом и имеет примеси алюминия и кальция³), что подтверждает образование техногенного щелочного барьера (рис. 3).

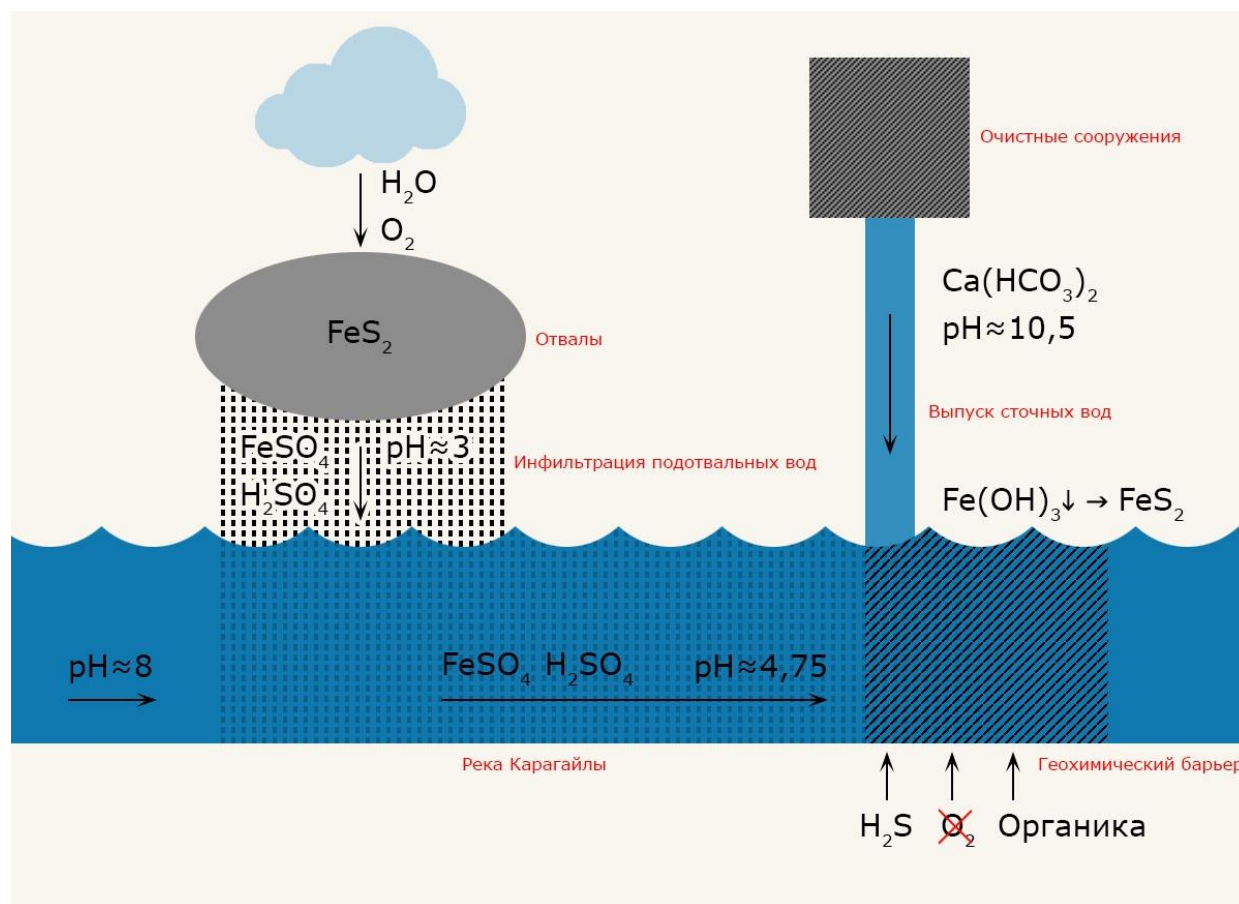
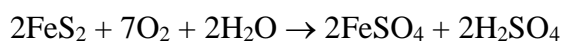


Рисунок 3. Процессы миграции железа (разработано авторами)

Механизм формирования барьера может быть описан следующим образом. При складировании сульфидсодержащих пород, содержащих пирит, формируются кислые дренажные потоки, вследствие фильтрации атмосферных, поверхностных или подземных вод, фильтрующихся через массив отвала, и кислорода по следующей схеме [10]:



Образовавшаяся серная кислота снижает pH воды в реке.

Сточные воды очистных сооружений предприятия обладают гидрокарбонатно-кальциевым составом и имеют щелочной потенциал.

В месте слияния щелочных стоков очистных сооружений с кислыми водами реки происходит возникновение щелочного барьера. В реке, при росте щелочности воды, начинается процесс образования бикарбоната железа:



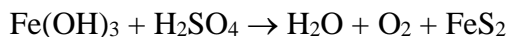
с переходом его в гидроксид:

³ Кронстедтит // Каталог Минералов.ru URL: <https://catalogmineralov.ru/mineral/cronstedtite.html#hr> (дата обращения: 15.12.2019).

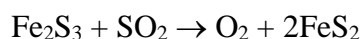
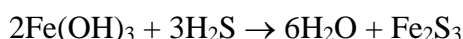


При осаждении гидроксида железа происходит соосаждение адсорбирующихся на нем рудных минералов, что приводит к росту самоочищающего потенциала реки.

При дальнейшем взаимодействии гидроксида железа с серной кислотой, поступающей с подотвальными водами и не израсходованной на реакцию нейтрализации с гидрокарбонатом кальция сточных вод, образуется пирит:



Образование пирита в месте расположения щелочного геохимического барьера также можно объяснить тем, что при заиливании реки в донных отложениях создаются условия недостаточного доступа кислорода. Образующийся в результате разложения органических остатков, содержащихся в донных отложениях, сероводород реагирует с осажденным гидроксидом железа, что приводит к образованию пирита.⁴



Выводы

1. Проведены исследования о степени влияния горнопромышленных производств на заиливание рек. Проведен количественный и качественный химический анализ техногенных наносов, образованных в результате смешивания промышленных стоков и реки Карагайлы. Определена зависимость образования донных отложений.
2. Проведенные мониторинговые исследования показали, что в месте впадения щелочных стоков очистных сооружений предприятия в кислые воды реки Карагайлы происходит возникновение щелочного барьера. Осажденный в техногенных наносах гидроксид железа адсорбирует рудные минералы, что вызывает рост самоочищающего потенциала реки.
3. На образовавшемся геохимическом барьере, осаждаются пиритсодержащие техногенные наносы. Определен механизм образования и накопления минерала в донных отложениях.
4. Воздействие горнопромышленных производств приводит к усиленному заиливанию рек, приводящему к формированию техногенных наносов. Разработка мероприятия по изъятию, обезвоживанию и утилизации донных отложений реки позволит в дальнейшем использовать их совместно с хвостами и отвалами рудопереработки как техногенное месторождение для доизвлечения полезных компонентов.

⁴ Пирит // GEOLIB.NET URL: <https://www.geolib.net/mineralogy/pirit.html> (дата обращения: 16.12.2019).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ткачев Б.П., Булатов В.И. Малые реки: современное состояние и экологические проблемы = Small rivers: state-of-the act and ecological problems: Аналит. обзор / ГПНТБ СО РАН. – Новосибирск, 2002 – 114 с. – (Сер. Экология. Вып. 64).
2. Орлов В.Г. Контроль качества поверхностных вод. Учебное пособие. – Л. Гидрометеиздат, 1988 – 139 с.
3. Мережко А.И. Проблемы малых рек и основные направления их исследований // Гидробиол. журн. – 1998 – Т. 34, N 6 – С. 66–71.
4. A.S. Plokhov, M.A. Pashkevich, A.E. Isakov & M.A. Chukaeva. Study of the ways to utilize ore dressing tailings for obtaining a useful component // Proceeding of the International forum-contest of young researchers «Topical Issues of Rational Use of Natural Resources» St. Petersburg, Russia, 2018 – 379 p.
5. Пашкевич М.А. Техногенные массивы и их воздействие на окружающую среду. – СПб.: СПГИ (ТУ), 2000. – 230 с.
6. Пашкевич М.А., Харько П.А. Оценка и снижение негативного воздействия хранилищ отходов обогащения Сибайского филиала АО «Учалинский ГОК» // Сборник научных работ III Международной молодежной научной конференции. Ответственный редактор А.В. Горбенко. Липецк: Научное партнерство "Аргумент", 2017. С. 70–73.
7. 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.
8. Опекунов А.Ю., Митрофанова Е.С. Миграция тяжелых металлов в техногенных потоках рассеяния Сибайского медноколчеданного месторождения. Геохимия ландшафтов (к столетию А.И. Перельмана) // Докл. Всеросс. научн. конф. Москва 18–20 октября 2016 г. Географический ф-т МГУ, 2016 С. 53–57.
9. Харько П.А., Бабенко Д.А. Обоснование применения и разработка комплекса мероприятий по защите природных вод в районе расположения хвостовых хозяйств на примере горно-обогатительных комбинатов Южного Урала // Московский экономический журнал. 2019. №9.
10. Куликова М.А. Оценка и снижение негативного воздействия сульфидных отходов при освоении месторождения Озерное: дис. ... канд. тех. наук: 25.00.36. СПб., 2010.

Kharko Polina Alexandrovna

Saint-Petersburg mining university, Saint-Petersburg, Russia
E-mail: Pol2904@yandex.ru

Plokhov Alexander Sergeevich

Saint-Petersburg mining university, Saint-Petersburg, Russia
E-mail: alexander270594@gmail.com

Evaluation of the impact of copper-sulphide deposits on the mineral composition of the bottom sediments of small rivers

Abstract. The formation of the current state of small rivers in industrially developed regions is largely due to a complex of technogenic factors, among which the primary importance is played by the inflow of pollutants with wastewater and infiltration waters of mining industry objects. This article is part of the authors' dissertation researches. The article presents the results of monitoring observations of quality chemical composition of the Karagaily river, as a result of which the transformation of acid-alkaline conditions at various areas was assessed depending on the impact of the objects of the enterprise. It is noted that before the influence of the enterprise the pH of water is in the alkaline zone and is about 8, and after the inflow of the stream into the river, draining quarry and basement waters, the pH drops to values 3.5–5. At the place of mixing acidic river water and wastewater of the plant (pH 10.5) a complex technogenic sorption-hydroxide and alkaline barrier was formed, which caused the growth of self-purifying potential of the river and led to swamping of the river.

The article provides the results of engineering-ecological researches, which include sampling of the Karagaily river and Koltuban lake bottom sediments, sample preparation and X-ray diffraction analysis of mineral composition of samples. It was found that iron hydroxide precipitation, which adsorbs ore minerals, takes place in the location of an alkaline geochemical barrier. At further interaction of iron hydroxide with acidic basement waters and calcium hydrogen carbonate of waste water, there is a pyritization of bottom sediments. The article notes that the development of measures for the removal, dehydration and disposal of river bottom sediments will make it possible in the future to use them together with the tailings and wastes of ore processing as a technogenic deposit for the extraction of useful components.

Keywords: contamination of rivers; bottom sediments; heavy metals; technogenic loads; pyrite formation; geochemical barrier; X-ray diffraction analysis