ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2021;(4):57-68
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 504.054 DOI: 10.25018/0236_1493_2021_4_0_57

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХВОСТОВОГО ХОЗЯЙСТВА МЕДНО-КОЛЧЕДАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ

А.С. Плохов[1], П.А. Харько[1], М.А. Пашкевич[1]

[1] Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: alexander270594@gmail.com

Аннотация: Представлены исследования, затрагивающие решения экологических проблем подземных и поверхностных вод при выводе из эксплуатации сульфидсодержащих хранилищ минеральных отходов. В статье проведена оценка техногенного воздействия на компоненты природной среды, находящегося в процессе закрытия, пиритного хвостохранилища Гайского горно-обогатительного комбината. Для оценки степени воздействия Гайского хвостохранилища на окружающую среду были проведены мониторинговые исследования территории хвостового хозяйства, включающие в себя отбор проб твердых отходов, образующихся на обогатительной фабрике и заскладированных на территории хвостового хозяйства, отбор жидкой фракции отходов, дренажных вод и природных вод, подверженных загрязнению. Отобранные пробы подвергались химическому и минеральному анализу в аккредитованной лаборатории Горного университета. В результате проведенного анализа проб были построены гидрохимические ореолы загрязнения. Эти данные позволили установить возможные источники инфильтрации дренажных вод, содержащих тяжелые металлы, степень воздействия и масштабность загрязнения близлежащих к хранилищу территорий. Проведенные исследования позволили определить механизм вымывания тяжелых металлов из хвостов обогащения и направления их техногенной миграции с дренажными водами в пруды оборотного водоснабжения. Сделаны выводы о необходимости разработки средозащитных мероприятий, направленных на консервацию потенциального техногенного месторождения и источника повышенной экологической опасности. Для реализации этой идеи были предложены способы по очистке дренажных вод, содержащих высокие концентрации тяжелых металлов.

Ключевые слова: медно-колчеданное месторождение, пирит, хвостохранилище, очистка дренажных вод, очистка карьерных вод, загрязнение поверхностных вод, пруды-отстойники пруды-отстойники, техногенное месторождение.

Для цитирования: *Плохов А.С., Харько П.А., Пашкевич М.А.* Исследование влияния хвостового хозяйства медно-колчеданного месторождения на поверхностные воды // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 4. – С. 57–68. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_4_0_57.

Effect of tailings storage facility on surface water at copper–pyrite deposit

A.S. Plokhov[1], P.A. Kharko[1], M.A. Pashkevich[1]

[1] Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia,
e-mail: alexander270594@gmail.com

© А.С. Плохов, П.А. Харько, М.А. Пашкевич. 2021.

Abstract: The studies into the ecological problems connected with underground and surface water during decommissioning of sulfide-bearing storages of mineral waste are described. The article presents the estimate of the manmade impact produced on the nature components by the pyrite tailings storage under decommissioning at Gai Mining-and-Processing Plant. The ecological impact of the tailings storage was evaluated using the monitoring data of the tailings storage area, including sampling of solid waste at the processing factory and piled in the area of the tailings storage facility, sampling of liquid waste, drainage water and natural water subjected to pollution. The samples were sent for the mineral and chemical analyses at an accredited laboratory of the Mining University. Based on the analysis results of the samples, the hydrochemical pollution envelopes are plotted. The possible sources of drainage water containing heavy metals, the level of exposure and the scale of pollution in the areas adjacent to the tailings storage facility are identified. The elution mechanism of heavy metals from tailings and the directions of their migration with drainage water to the recycling water supply ponds is determined. It has been concluded on the necessity of the environmental activities connected with isolation of the manmade deposit as heightened ecological hazard source. To this effect, the methods of treatment of drainage water containing higher concentrations of heavy metals are proposed.

Key words: copper–pyrite deposit, pyrite, tailings storage, drainage water treatment, quarry water treatment, surface water pollution, settling ponds, manmade deposit.

For citation: Plokhov A. S., Kharko P. A., Pashkevich M. A. Effect of tailings storage facility on surface water at copper–pyrite deposit. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(4):57-68. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_4_0_57.

Введение

Современное индустриальное развитие России сопровождается интенсификацией процессов добычи и переработки минерального сырья, что связано с загрязнением окружающей среды отходами горного производства. По оценкам специалистов мировое потребление минерального сырья составляет около 12 млрд т в год, а извлечение горных пород из недр составляет около 100 млрд т в год. В целом по России добыча металлических руд составляет около 230 млн т, что приводит к непрерывному увеличению объема техногенных отходов. В настоящее время только в России находится в отвалах и хвостохранилищах около 500 млрд м^3 отходов переработки полезных ископаемых [1].

При разработке месторождений открытым и подземным способами после обогатительного передела полезного ископаемого формируются хранилища мелкодисперсной пустой породы [2]. Согласно существующим технологиям переработки полезных ископаемых, от 30 до 70% исходного сырья уходит в отходы обогащения – хвосты. Они наряду с пустыми породами содержат ряд ценных компонентов: железо, алюминий, марганец, драгоценные и редкие металлы и неметаллы. Отходы обогащения при разработке соответствующих технологий могут вторично перерабатываться и служить техногенными источниками (запасами) полезных ископаемых. В связи с этим, целесообразна их организационная укладка и хранение [3]. Складирование отходов обогащения наносит вред окружающей среде, загрязнению прилегающих территорий и сельскохозяйственных угодий. Техногенная

нагрузка со временем становится все более существенной [4]. Особенно остро стоит данная проблема на хранилищах сульфидсодержащих отходов.

Так, хвостохранилище Гайского ГОКа эксплуатируется на протяжении 62 лет. Хвосты образуются в результате переработки медноколчеданных руд.

Мощность переработки обогатительной фабрики составляет 9,3 млн т сырья, выпуск готовых медного и цинкового концентратов составляет 550 тыс. т. В результате обогащения, предприятие накапливает 8,9 млн т отходов в год на территории хвостового хозяйства, которое состоит из хвостохранилища, прудов разбавления и пруда кислых вод.

Хвостохранилище Гайского ГОКа косогорного типа расположено в непосредственной близости от обогатительной фабрики и предназначено для складирования отходов переработки медноколчеданных руд. В связи с увеличением производительности обогатительной фабрики (с 3,9 млн т/год в 1997 г., до 4,5 млн т/год в 2000 г. и 5,12 млн т/год в 2004 г.) произошло увеличение количества складируемых хвостов. С увеличением производственных мощностей фабрики возросло водопотребление для обогащения.

Хвостохранилище представляет собой комплекс гидротехнических сооружений и систем:

- гидравлической укладки хвостов;
- гидравлического транспорта хвостов;
- системы оборотного водоснабжения.

Для очистки воды организован пруд разбавления хвостохранилища с размерами: емкость — 1,11 млн м^3, площадь — 1 263 301 м^2, глубина — 1,51–3,0 м.

Вода из хвостохранилища по распределительным камерам направляется в сливные коллекторы, из них попадает в пруд-отстойник кислых вод емкостью 1320,0 тыс. м^3.

Из них вода перекачивается в первичный пруд разбавления. Он же является резервным. Далее вода попадает во вторичный пруд разбавления. В нем кислые воды смешиваются с водами, отбираемыми из р. Урал, и направляются на комбинат.

Потребителем воды, перекачиваемой по водоводам, является обогатительная фабрика. Очищенная вода из отстойного пруда подается через два водоприемных колодца на станцию оборотного водоснабжения. Вода до распределительной камеры насосной осветленной воды подается по водосбросному коллектору из железобетонных труб. Осветленная вода подается по двум ниткам напорных водопроводов в водонапорную башню обогатительной фабрики, откуда поступает в цеха фабрики и с хвостами обогащения возвращается в хвостохранилище.

Проведенные ранее мониторинговые исследования показали, что в зоне воздействия хвостового хозяйства Гайского ГОКа в природных водах наблюдаются высокие концентрации загрязняющих элементов: железа, серы, тяжелых металлов и др. Причиной этому может быть инфильтрация загрязненных вод из хвостохранилища, пруда кислых вод или прудов разбавления в грунтовые воды, а дальше — в ближайший крупный водный объект — р. Урал.

Материалы и методы

Для исследования вышеназванной проблемы были отобраны образцы хвостов обогащения, воды хвостохранилища, воды с прудов отстойников [5, 6]. Пробы хвостов обогащения отбирались на пробной площадке из верхнего слоя с глубиной 0–5 и 5–20 см, масса каждой не более 200 г. Отбор проводился методом конверта, по диагонали, равно-

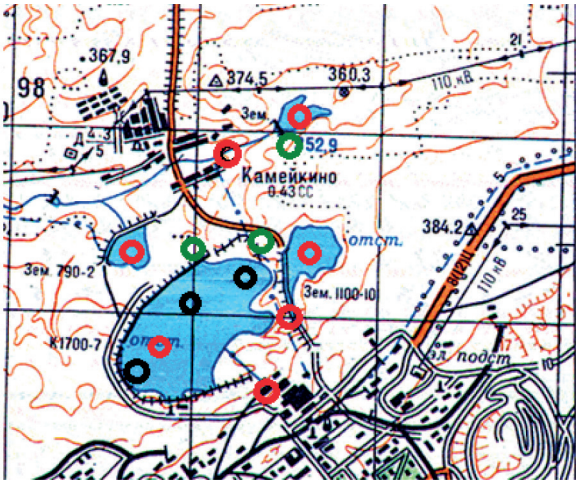

Рис. 1. Точки пробоотбора: красным цветом — из поверхностных вод, зеленым — из скважин мониторинга, черным — места отбора хвостов обогащения

Fig. 1. Sampling points: red color — from surface water; green color — from monitoring wells; black color — from tailings

удаленно от дренажного коллектора (проба 1, 2, 3). Каждая проба представляла собой техногенные отложения мелкозернистого песка серого цвета. Объединенная проба составлялась путем смешивания точечных проб, отобранных на одной пробной площадке (рис. 1, 2). Пробы воды отбирались в емкости 250 мл из непрозрачного пластика. Так как водородный показатель проб составлял менее 2, пробы не консервировались.

Для качественного и количественного анализа хвостов обогащения и проб воды использовалась методика М-МВИ-80-2008 [7]. Метод АЭС-ИСП основан на измерении интенсивности излучения атомов определяемых элементов, возникающего при распылении раствора анализируемой пробы в аргоновую плазму, индуктивно возбуждаемую радиочастотным электромагнитным полем. Пробы были проанализированы в лаборатории на атомно-эмиссионном спектрометре (ICPE 9000 Shimadzu, Япония). Индуктивно-связанная аргоновая плазма используется для атомизации и

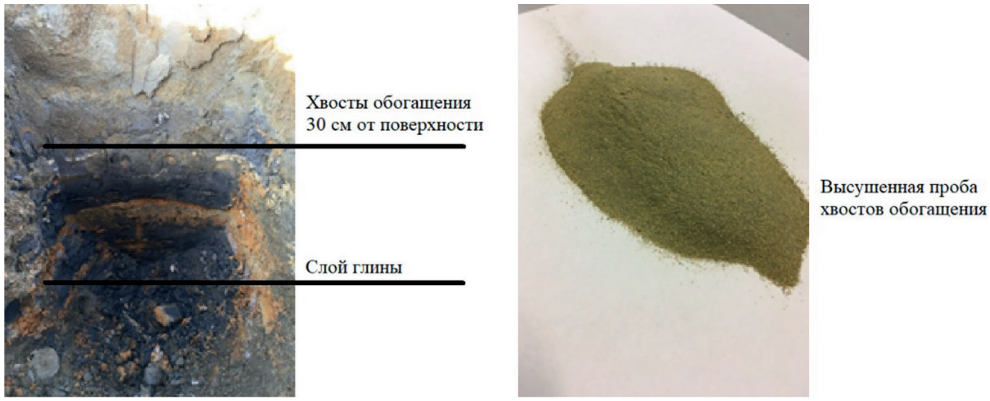

Рис. 2. Пробоотбор и пробоподготовка хвостов обогащения перед анализом

Fig. 2. Sampling tailings and sample preparation for the analysis

Таблица 1

Валовое содержание элементов в пробах хвостов обогащения
Gross elements in samples of tailings

Концентрация, мг/кг / Образец	Al	Ca	Cu	Fe	Mg	Na	SO_4^{2-}
1	2390	1600	1450	79 362	5200	250	51 080
2	2590	2900	1670	73 657	3800	300	46 100
3	1250	1900	1840	77 166	2000	250	48 310

возбуждения атомов в жидкой пробе, распыленной в плазме. Интенсивность излучаемого света измеряется с помощью оптического детектирования при длинах волн, являющихся характеристическими для исследуемых элементов.

Разложение пробы для определения валового содержания элементов твердой фракции отходов проводилось по методике М-МВИ-80-2008. Навеска пробы 0,5 г помещалась в стаканчик (100 см^3) и смачиваясь 5 см^3 дистиллированной водой. Добавлялось 10 см^3 концентрированной соляной кислоты и 4 см^3 азотной. Выдерживалось 10 мин в водяной бане при температуре 120 °С. Далее добавлялось 10 см^3 серной кислоты (1:1). После упаривания проба фильтровалась в колбы на 50 см^3.

По методике [7] было произведено разложение на определение подвижных форм элементов. Навеска пробы 2,0 г помещалась в стаканчик (100 см^3) и к ней приливали 10 см^3 раствор азотной кислоты (0,5 моль/дм^3). Перемешивание велось в течение 3 ч, при температуре 90 °С. После упаривания, проба фильтровалась в колбы на 100 см^3.

Результаты

Валовое разложение твердой фракции отходов помогло количественно определить содержания основных элементов в хвостах обогащения. Наличие высоких содержаний ценных элементов позволит отнести рассматриваемое хвостохранилище к категории техногенных месторождений. Результаты валового разложения приведены в табл. 1.

При высоких содержаниях Cu возможна переработка данных отходов в будущем. Высокое содержание серы является главной проблемой извлечения полезного компонента [9, 10].

Разложение на определение подвижных форм элементов проводилось для выявления способности соединений миг-

Таблица 2

Содержание элементов после разложения при определении подвижных форм элементов в хвостах обогащения ПАО «Гайский ГОК»
Post-decomposition concentrations of elements in determination of mobile elements in tailings of Gai Mining and Processing Plant

Концентрация, мг/кг / Образец	Al	Ca	Cu	Fe	Mg	Na	SO_4^{2-}
1	410	1050	120	8676	69,7	85,1	10 280
2	880	750	140	11 073	190	12,9	11 790
3	240	975	150	9246	45,4	6,02	11 230

Таблица 3

Содержание элементов в пробах, отобранных из скважин мониторинга и поверхностных стоков
Concentration of elements in samples from monitoring wells and surface flows

Проба / Концентрация, мг/дм^3	Al	Ca	Cu	Fe	Mg	Na	SO_4^{2-}
Скважина за бортом кислых прудов (20 м от границы, глубина 15 м)	0,979	119	0,149	61,3	28,4	634	1834,5
Скважина за бортом хвостохранилища (17 м от границы, глубина 20 м)	1,16	149	0,073	4,41	135	987	2159,6
Значение ПДК (СанПиН 2.1.4.1074-01)	0,5		1	0,3	50	200	500

рировать при пониженном водородном показателе [10, 11]. Результаты приведены в табл. 2.

В процессе воздействия растворов с низким водородным показателем из отходов обогащения выносятся соединения серы, железа, меди и алюминия, что пагубно влияет на состав грунтовых вод в случае нарушении гидроизоляции хвостохранилища [13].

Для выявления размеров территории техногенного воздействия пробы дренажных вод и подземных вод из скважин были проанализированы по методике М-МВИ-539-03 [8]. Результаты опробования приведены в табл. 3.

Для определения количества «вымытых» из хвостохранилища элементов был измерен pH воды в хвостохранилище (pH = 3,1) и в пруду кислых вод (pH = = 2), а также количественный состав этих вод. Результаты приведены в табл. 4.

Из-за агрессивной среды большая часть элементов подвержена «вымыванию» из хвостохранилища. Данные таблицы показывают, что до 25% железа и связанной с ним серы вымываются из хвостохранилища. Это связано с высоким содержанием серы, в воде хвостохранилища она имеет форму SO_3 [14]. Соединение хорошо реагирует с основаниями, оксидами, при взаимодействии с водой образует H_2SO_4. Это объясняет разницу в значениях водородного показателя воды в хвостохранилище и прудах кислых вод [15, 16]. Это также служит объяснением миграции элементов из хвостохранилища.

Для оценки воздействия хвостохранилища на компонент природной среды были построены схемы ореолов загрязнения поверхностных и грунтовых вод (рис. 3), по данным табл. 3, 4.

На этой схеме показаны зоны распространения повышенных концентраций железа за территорию хвостохранилища и прудов кислых вод. Так как хвостохранилище и пруд-отстойник кислых

Таблица 4

Результаты анализа проб воды из хвостохранилища и воды из пруда кислых вод
Analysis data of water samples from tailings ponds and water samples from acid water pond

Проба / Концентрация, мг/дм^3	Al	Ca	Cu	Fe	Mg	Na	SO_4^{2-}
Вода из хвостохранилища	1,93	60,4	3,22	67,5	5,79	250	240
Вода из пруда-отстойника дренажных вод	332	594	184	1834	454	469	1783
Вода из пруда-отстойника карьерных вод	3790	450	503	20 600	986	350	38 198

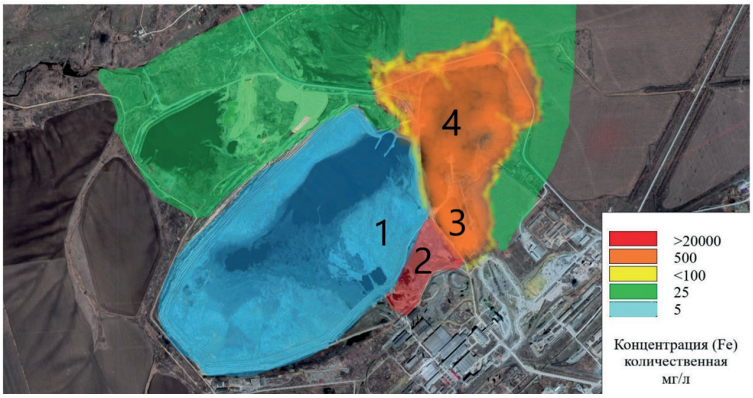

Рис. 3. Схема ореолов загрязнения по Fe: 1 — хвостохранилище; 2 — пруд отстойник карьерных вод; 3 — первый пруд разбавления; 4 — второй пруд разбавления

Fig. 3. Layout of Fe pollution envelopes: 1 — tailings storage; 2 — quarry water settling pond; 3 — dilution pond 1; 4 — dilution pond 2

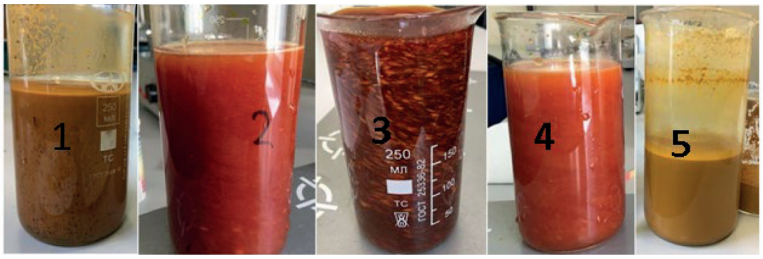

Рис. 4. Реакции модельных растворов с предложенными реагентами: 1 — NaOH 48 г/дм^3; 2 — $NaHCO_3$ 100 г/дм^3; 3 — $Ca(OH)_2$ 40 г/дм^3;4 — $Ca(OH)_2$+NaOH (1:1) 32 г/дм^3; 5 — $NaHCO_3$+$Ca(OH)_2$ (1:1) 33 г/дм^3

Fig. 4. Reactions of model solutions with proposed agents: 1 — NaOH 48 g/dm^3; 2 — $NaHCO_3$ 100 g/dm^3; 3 — $Ca(OH)_2$ 40 g/dm^3; 4 — $Ca(OH)_2$+NaOH (1:1) 32 g/dm^3; 5 — $NaHCO_3$+$Ca(OH)_2$ (1:1) 33 g/dm^3

вод имеют гидроизоляционный слой, миграция из этих объектов минимальна. Главной проблемой является отсутствие такой гидроизоляции у прудов-отстойников (3 и 4). Именно в них осуществляется инфильтрация загрязняющих веществ. Чтобы исключить их распространение, необходима очистка кислых вод (2). При этом основной проблемой этих вод является низкий водородный показатель.

Для проведения дальнейших исследований был приготовлен модельный раствор с концентрациями, приведенными в табл. 4. Приготовленный раствор имел pH, равный двум. Повышение водородного показателя осуществлялось добавлением реагентов и их смесью [17].

Рис. 5. Окончание процесса осаждения после добавления смеси № 4

Fig. 5. Completion of settling after addition of mixture No 4

Таблица 5

Результаты измерения проб модельного раствора после добавления реагентов и повышения водородного показателя до 6
Measurement data of model solution samples after addition of reagents and after increase in pH value to 6

Проба \ Концентрация, мг/дм^3	Al	Ca	Cu	Fe	Mg	Na	SO_4^{2-}
1	1,5	9,58	2,94	<0,05	1,57	510	34,3
2	<0,05	3,01	16,1	0,05	6,82	620	47,8
3	<0,05	900	<0,05	<0,05	1,54	0,71	1,94
4	<0,05	7,45	<0,05	<0,05	24,6	53,4	24,3
5	2,30	8,43	0,98	<0,05	15,3	350	29,7
Допустимые концентрации элементов для возврата вод на обогатительную фабрику	5	100	15	20	50	200	30

Выбор основывался с учетом доступности, цены и условий хранения. На рис. 4 приведена масса реагентов и снимки растворов после их добавления.

В результате образовывался осадок. Осаждение осуществлялось в течении суток. Раствор с добавлением первого реагента образовывал наименьшее количество осадка (рис. 5).

Жидкие пробы были отфильтрованы и количественно измерены на ICPE 9000 [8] (табл. 5).

После проведения анализов было выявлено, что при добавлении смеси реагентов № 4 концентрации элементов в растворе соответствуют показателем возвратной воды для обогатительной фабрики.

Для проверки устойчивости соединений осадок был высушен и проверен на десорбцию при трех значениях водородного показателя (табл. 6). Проведение этого исследования позволит определить миграцию элементов из осадка в процессе его хранения на территории хвостохранилища.

Данные табл. 6 указывают на переход компонентов осадка в жидкую фазу при понижении водородного показателя.

Осадок содержит большую часть элементов, которые были перенесены водами из хвостохранилища в пруд кислых вод. Таким образом, можно перекачивать осадок обратно в хвостохранилище, что способствует сохранению потенциально полезного компонента. Результаты табл. 6 показали малые значения десорбции, что характеризует низкую степень потерь нужных элементов [18].

Таблица 6

Результаты десорбции осадка при различных pH
Settling desorption data at different pH values

Образец \ Концентрация, мг/дм^3	Al	Ca	Cu	Fe	Mg	Na	SO_4^{2-}
Осадок	3790	442	503	20 600	961	297	38 174
pH =3	1,22	40,3	0,15	5,92	4,87	20,1	15,6
pH =5	1,09	31,8	0,09	4,46	3,02	19,3	11,2
pH =8	1,14	34,5	0,13	5,34	2,90	19,8	9,59

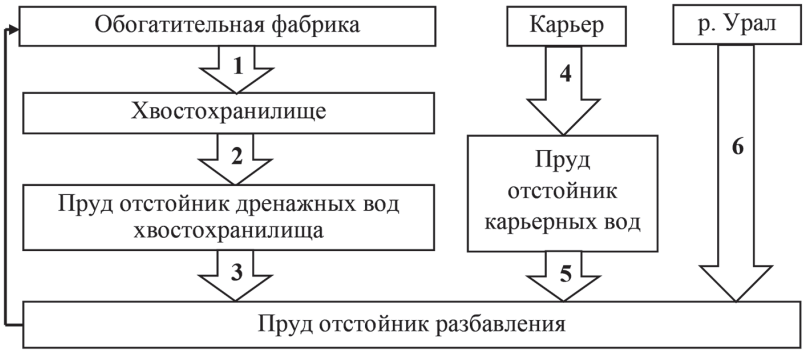

Рис. 6. Схема движения воды на предприятии без системы очистки: 1 — хвосты обогащения (Т:Ж 1:4—1:6 (pH = 9—10)); 2 — прохождение вод сквозь толщу хвостохранилища; 3 — дренажные воды хвостохранилища (pH = 2—4); 4 — перекачка карьерных вод; 5 — карьерные воды (pH = 2); 6 — забор воды для разбавления

Fig. 6. Water flow circuit without treatment system: 1 — tailings (S:L = 1:4-1:6 (pH = 9-10)); 2 — water seepage through tailings storage thickness; 3 — drainage water of tailings storage (pH = 2-4); 4 — pumping of quarry water; 5 — quarry water (pH = 2); 6 — dilution water intake

Обсуждение результатов

1. Основная задача — снизить техногенную нагрузку на территории прудов разбавления, которая составляет 90 га. На данном этапе работы обогатительной фабрики предприятие не имеет системы очистки кислых вод хвостохранилища. Уменьшение концентрации происходит за счет разбавления, что вызывает необходимость больших водозаборов из ближайшей реки Урал, расход воды в системах оборотного водоснабжения Гайской промплощадки составляет 39 000 тыс. м^3.

2. По схеме ореолов распространения загрязнения видно, что территории, находящиеся рядом с объектом, подвержены негативному воздействию хвостового хозяйства.

Для исключения этих пунктов территорию пруда отстойника кислых вод следует переоборудовать для нейтрализации вод хвостохранилища. Территориально пруд кислых вод находится ниже хвостохранилища. Это может существенно снизить затраты на перекачку агрессивных вод. Наличие гашеной извести снижает затраты на покупку реагентов для нейтрализации. Установка системы по очистке поможет исключить пруды разбавления, как ненужный элемент. Без них схема движения воды будет выглядеть следующим образом (рис. 6).

3. Осадок, полученный после осаждения, может использоваться как сырье для металлургической промышленности. По соотношению элементов схож с хвостами обогащения, но имеет меньшую крупность.

Заключение

1. Исследованы пробы вод из хвостохранилища, пруда кислых вод, прудов разбавления, точек мониторинга и поверхностных стоков. Определена причина смены кислотности и вымывания потенциально полезных компонентов.

2. Определена степень инфильтрации загрязняющих веществ на территории объекта и за его пределами (отсутствие гидроизоляции в прудах разбавления).

3. В лаборатории были проведены исследования по способам очистки модельного раствора от представленных выше элементов. Выбрана подходящая смесь реагентов для очистки воды, до параметров, установленных предприятием. После очистки раствор был раз-

делен на фазы. Осадок был исследован, содержание полезного компонента в нем можно отнести к потерям этого же компонента при прохождении вод из хвостохранлища в пруд кислых вод.

4. Внедрение системы очистки вместо прудов разбавления уменьшит техногенную нагрузку на территорию и поможет сохранить потенциально полезное сырье.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Государственный* доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году». — М.: Минприроды России; НИА-Природа, 2017. — С. 760.

2. *Адушкин В. В.* Основные факторы воздействия открытых горных работ на окружающую среду // Горный журнал. — 1996. — № 4. — С. 49—55.

3. *Бересневич П. В.* Охрана окружающей среды при эксплуатации хвостохранилищ. — М.: Недра, 1993.

4. *Аксенов С. Г., Жабовский В. П.* Проблемы безопасности накопителей промстоков (хвостохранилищ, шламохранилищ и гидроотвалов) промышленных предприятий и пути повышения их устойчивой работы / Четвертый международный симпозиум «Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях». — Белгород: ВНИИ ВИОГЕМ, 1997. — С. 127—132.

5. *ГОСТ 17.4.4.02-2017* Охрана природы (ССОП). Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. — М.: Стандартинформ, 2018.

6. *ГОСТ 31861-2012* Вода. Общие требования к отбору проб. — М.: Стандартинформ, 2019.

7. *Методика* М-МВИ-80-2008 Массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектрометрии.

8. *Методика* М-МВИ-539-03 Методика выполнения измерений массовых концентраций металлов: алюминия, железа, кадмия, кобальта, марганца, меди, никеля, свинца, титана, хрома, цинка в питьевой, природной и сточной воде атомно-абсорбционным методом с ЭТА.

9. *Yue Sun, Dan Lv, Jiasheng Zhou, Xiaoxin Zhou, Zimi Lou, Shams Ali Baig, Xinhua Xu.* Adsorption of mercury (II) from aqueous solutions using FeS and pyrite. A comparative study // Chemosphere. 2017. Vol. 185. Pp. 452—461.

10. *Domènech C., Canals À., Soler A., Sabanès A., Dumestre A.* Evolution assessment of soils contaminated by roasted pyrite wastes // Procedia Earth and Planetary Science. 2017. Vol. 17. Pp. 432—435.

11. *Li Z., Ma Z., van der Kuijp T. J., Yuan Z., Huang L.* A review of soil heavy metal pollution from mines in China: Pollution and health risk assessment // Science of the Total Environment. 2014. Vol. 468—469. Pp. 843—853.

12. *Chen H., Teng Y., Lu S., Wang Y., Wang J.* Contamination features and health risk of soil heavy metals in China // Science of the Total Environment. 2015. Vol. 512—513. Pp. 143—153.

13. *Пашкевич М. А. и др.* Экологические проблемы мегаполисов и промышленных агломераций. Учебное пособие. — СПб.: СПГГИ, 2010. — С. 203.

14. *Шуленина З. М., Багров В. В., Десятов А. В., Зубков А. А., Камруков А. С., Колесников В. А., Константинов В. Е., Ксенофонтов Б. С., Новиков Д. О.* Вода техногенная: проблемы, технологии, ресурсная ценность. — М.: Из-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. — 401 с.

15. *Левкин Н. Д., Афанасьева Н. Н., Маликов А. А., Рыбак В. Л.* Очистка сточных вод природными сорбентами // Известия ТулГУ. Науки о Земле. — 2014. — № 4. — С. 37—41.

16. *Buzuku S., Kraslawski A.* Application of morphological analysis to policy formulation for wastewater treatment // Записки Горного института. — 2015. — № 214. — С. 102—108.

17. *Matveeva V., Danilov A., Pashkevich M.* Treatment of multi-tonnage manganese-containing waste water using vermiculite // Journal of Ecological Engineering. 2018. Vol. 19. No 1. Pp. 156 — 162.

18. *Климов Е. С., Бузаева М. В.* Природные сорбенты и комплексоны в очистке сточных вод. — Ульяновск: УлГТУ, 2011. — 201 с. ГИАБ

REFERENCES

1. *Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii v 2016 godu»* [State report «On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2016»], Moscow, Minprirody Rossii; NIA-Priroda, 2017, pp. 760. [In Russ].

2. Adushkin V. V. The main factors of open mining impact on the environment. *Gornyi Zhurnal*. 1996, no 4, pp. 49 — 55. [In Russ].

3. Beresnevich P. V. *Okhrana okruzhayushchey sredy pri ekspluatatsii khvostokhranilishch* [Environmental protection in the operation of tailings], Moscow, Nedra, 1993.

4. Aksenov S. G., Zhabovsky V. P. Safety problems of waste storage tanks (tailings, sludge dumps and hydro dumps) of industrial enterprises and ways to increase their sustainable performance. *Chetvertyy mezhdunarodnyy simpozium «Osvoenie mestorozhdeniy mineral'nykh resursov i podzemnoe stroitel'stvo v slozhnykh gidrogeologicheskikh usloviyakh»* [Fourth International Symposium «Development of Mineral Resources and Underground Construction in complex hydrogeological conditions»], Belgorod, VNII VIOGEM, 1997, pp. 127 — 132. [In Russ].

5. *Okhrana prirody (SSOP). Pochvy. Metody otbora i podgotovki prob dlya khimicheskogo, bakteriologicheskogo, gel'mintologicheskogo analiza. GOST 17.4.4.02-2017* [Nature protection. Soils. Methods for sampling and preparation of soil for chemical, bacteriological, helmintological analysis. State Standart 17.4.4.02-2017], Moscow, Standartinform, 2018.

6. *Voda. Obshchie trebovaniya k otboru prob. GOST 31861-2012* [Water. General requirements for sampling. State Standart 31861-2012], Moscow, Standartinform, 2019.

7. *Metodika M-MVI-80-2008 Massovoy doli elementov v probakh pochv, gruntov i donnykh otlozheniyakh metodami atomno-emissionnoy i atomno-absorbtsionnoy spektrometrii* [M-MVI-80-2008 Method for performing measurements of the mass fraction of elements in samples of soils and bottom sediments using atomic emission and atomic absorption spectrometry]. [In Russ].

8. *Metodika M-MVI-539-03 Metodika vypolneniya izmereniy massovykh kontsentratsiy metallov: alyuminiya, zheleza, kadmiya, kobal'ta, margantsa, medi, nikelya, svintsa, titana, khroma, tsinka v pit'evoy, prirodnoy i stochnoy vode atomno-absorbtsionnym metodom s ETA* [M-MVI-539-03 Methods of mass concentration measurements of metals: aluminum, iron, cadmium, cobalt, manganese, copper, nickel, lead, titanium, chromium, zinc in drinking, natural and waste water by atomic absorption method with ETA]. [In Russ].

9. Yue Sun, Dan Lv, Jiasheng Zhou, Xiaoxin Zhou, Zimi Lou, Shams Ali Baig, Xinhua Xu. Adsorption of mercury (II) from aqueous solutions using FeS and pyrite. A comparative study. *Chemosphere*. 2017. Vol. 185. Pp. 452 — 461.

10. Domènech C., Canals À., Soler A., Sabanès A., Dumestre A. Evolution assessment of soils contaminated by roasted pyrite wastes. *Procedia Earth and Planetary Science*. 2017. Vol. 17. Pp. 432 — 435.

11. Li Z., Ma Z., van der Kuijp T. J., Yuan Z., Huang L. A review of soil heavy metal pollution from mines in China: Pollution and health risk assessment. *Science of the Total Environment*. 2014. Vol. 468 — 469. Pp. 843 — 853.

12. Chen H., Teng Y., Lu S., Wang Y., Wang J. Contamination features and health risk of soil heavy metals in China. *Science of the Total Environment*. 2015. Vol. 512 — 513. Pp. 143 — 153.

13. Pashkevich M. A., etc. *Ekologicheskie problemy megapolisov i promyshlennykh aglomeratsiy*. Uchebnoe posobie [Environmental problems of megapolises and industrial agglomerations], Saint-Petersburg, SPGGI, 2010, pp. 203.

14. Shulenina Z. M., Bagrov V. V., Desyatov A. V., Zubkov A. A., Kamrukov A. S., Kolesnikov V. A., Konstantinov V. E., Ksenofontov B. S., Novikov D. O. Voda tekhnogennaya: problemy, tekhnologii, resursnaya tsennost' [Technogenic water: problems, technologies, resource value], Moscow, Iz-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2015, 401 p.

15. Levkin N. D., Afanas'eva N. N., Malikov A. A., Rybak V. L. Wastewater treatment with natural sorbents. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta, Nauki o zemle*. 2014, no 4, pp. 37 — 41. [In Russ].

16. Buzuku S., Kraslawski A. Application of morphological analysis to policy formulation for wastewater treatment. *Journal of Mining Institute*. 2015, no 214, pp. 102 — 108.

17. Matveeva V., Danilov A., Pashkevich M. Treatment of multi-tonnage manganese-containing waste water using vermiculite. *Journal of Ecological Engineering*. 2018. Vol. 19. No 1. Pp. 156 — 162.

18. Klimov E. S., Buzaeva M. V. *Prirodnye sorbenty i kompleksony v ochistke stochnykh vod* [Natural sorbents and complexons in waste water treatment], Ul'yanovsk: UlGTU, 2011, 201 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Плохов Александр Сергеевич[1] — аспирант,
e-mail: alexander270594@gmail.com,
Харько Полина Александровна[1] — аспирант,
Пашкевич Мария Анатольевна[1] — д-р техн. наук, профессор,
[1] Санкт-Петербургский горный университет.
Для контактов: Плохов А.С., e-mail: alexander270594@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

A.S. Plokhov[1], Graduate Student,
e-mail: alexander270594@gmail.com,
P.A. Kharko[1], Graduate Student,
M.A. Pashkevich[1], Dr. Sci. (Eng.), Professor,
[1] Saint-Petersburg Mining University,
199106, Saint-Petersburg, Russia.
Corresponding author: A.S. Plokhov, e-mail: alexander270594@gmail.com.

Получена редакцией 22.01.2020; получена после рецензии 23.10.2020; принята к печати 10.03.2021.
Received by the editors 22.01.2020; received after the review 23.10.2020; accepted for printing 10.03.2021.

ОТ РЕДАКЦИИ

В Горном информационно-аналитическом бюллетене № 2, 2021 в статье авторов Холодилова А. Н., Виноградова Ю. И. «Методика прогнозирования колебаний наземных объектов при импульсном воздействии воздушных ударных волн» на с. 56 допущена техническая ошибка:

№ стр.	Опубликовано	Должно быть
56	Implementation of production potential of high-performance equipment — A key trend of improvement in underground mining of power-generating coal	Method for forecasting of surface facilities vibrations reasoned by impulse action of air shock waves