ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ОТВАЛОВ ЛЕВИХИНСКОГО РУДНИКА

С.А. Федоров^{1, 2}, А.Н. Малышев², С.С. Завьялов²

¹*Институт металлургии УрО РАН, Екатеринбург, Россия, saf13d@mail.ru*

²*Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия,
malyshev.k1b@gmail.com, doker_777@bk.ru*

В настоящее время увеличиваются объемы и разработка месторождений меди, что связано со значительным ростом спроса на этот цветной металл. Это, в свою очередь, ведет к увеличению техногенных отходов горно-обогатительного комплекса. На современных предприятиях стараются полностью извлекать основной металл и другие попутные полезные компоненты, использовать отходы производства в строительстве и закладке горных выработок, тем самым снижая негативное воздействие на окружающую среду. Однако техногенные отходы месторождений, которые отработаны десятки лет назад, представляют собой серьезную угрозу загрязнения, так как за счет менее эффективных методов добычи и обогащения по сравнению с современными значительная доля рудного и, одновременно, вредного сырья уходила в отвалы. Особую опасность представляют химические соединения тяжелых металлов в связи с их крайней токсичностью. Одним из таких примеров могут служить техногенные отходы Левихинского рудника, который отработан еще в начале XXI века. Одноименная группа месторождений расположена на Среднем Урале, недалеко от г. Кировград. Месторождения относятся к уральскому рудноформационному типу (медно-цинково-колчеданная) с содержаниями в рудах меди от 1.5 до 3.6 масс.%, цинка от 1.6 до 2.9 масс.%, золота от 0.4 до 1.1 г/т, серебра от 10 до 19 г/т [1]. Добыча руды осуществлялась более 80 лет, что позволило за это время накопить миллионы тонн отходов. На сегодняшний день исследован только состав и уровень загрязнения подотвалных и шахтных вод [2]. Данных о вещественном составе и степени опасности материалов, которыми сложены отвалы возле рудника, в открытых источниках отсутствуют. В настоящей работе проводится анализ вещественного состава отвалов Левихинского рудника. Эта позволит оценить, насколько негативно влияние этих отходов на окружающую среду и возможно ли их применение в других отраслях промышленности.

Пробы с отвалов рудника отбирались согласно ГОСТ 17.4.4.02-2017 [3]. Анализировались пробы на содержания вредных (Cu, Zn, S) и полезных (Au, Ag) компонентов с помощью атомно-эмиссионной спектроскопии (спектрометр Spectroflame Modula S). Минеральный состав определялся с помощью оптического микроскопа Axio Image, растрового электронного микроскопа SNE4500M, оборудованного энергодисперсионной приставкой XFlash Detector 630M, и методом рентгенофазового анализа (рентгеновский дифрактометр XRD 7000C).

Исследуемые отходы – рыхлый терригенный материал, сложенный неокатанными зернами в верхней части отвалов преимущественно псаммитовой и псефитовой фракциями (песок и щебень), а в нижней части – псефитовой (глыбы). Количество пелитовой фракции обычно не превышает 5-10 %. Сложены отходы фрагментами и обломками кварц-серицитовыми и кварц-хлоритовыми сланцами, колчеданной руды, лимонитом, халцедоном, кварцем с прожилками и вкрапленниками сульфидов. Внешне можно выделить три группы материалов (рис. 1).

Рис. 1 – Истертые пробы с отвалов Левихинского рудника: а) желтовато-серый кварцевый песок; б) буровато-оранжевый песок с высоким содержанием оксидов и гидроксидов железа; в) темно-серый песок с высоким содержанием сульфидов

Первая группа желтоватого цвета и сложена обломками кварц-серицитовых сланцев, кварцевым песком и небольшим количеством глинистого материала (представлен мусковитом). Нередко располагается в верхней части отвалов и в руслах временных водотоков. Минеральный состав: кварц до 90 масс.%, мусковит до 10 масс.%, гематит и гетит до 4 масс.%, менее 1 масс.% полевых шпатов, клинохлора и сульфидов. Содержание вредных примесей невысокое: серы до 0.03 масс.%, меди до 0.01 масс.% и цинка до 0.097 масс.%. Все они сосредоточены в сульфидах, представленных пиритом и единичными зернами халькопирита и сфалерита. Размер их не превышает 1.5 мм.

Вторая – щебень и песок оранжевых и бурых цветов с высоким содержанием гетита и гематита (от 10 до 25 масс.%). Встречаются глыбы размером более 1 м. Состоит группа из кварц-серицитовых и кварц-хлоритовых сланцев, лимонита, халцедона, фрагментов кварцевых жил и других пород (метасоматиты и вулканы основного состава). Доля кварца в минеральном составе подает до 50-70 масс.% (по сравнению с предыдущей группой), повышается количество слоистых силикатов (отмечается повышение Al_2O_3 до 20 масс.%) и количество сульфидов (до 3 масс.%, собственно S до 1.5 масс.%). Количество меди до 0.1 масс.%, цинка до 0.4 масс.%, причем здесь содержание цинка достигает своего пика. Самый распространенный материал на отвалах рудника (количество его в районе 80-90%).

Третья группа наблюдается в виде отдельных небольших куч и отвалов серого цвета, состоящие из сульфидных песков и фрагментов колчеданных руд размерами до 1 м. Содержание сульфидов достигает 65 масс.% и представлены они пиритом, в малых количествах халькопиритом, сфалеритом, блеклой рудой. Размер зерен и кристаллов пирита от сотых долей мм до 1 см, на многих из них наблюдаются следы растворения (рис. 2). Вся сера сосредоточена в сульфидах. Иных форм соединений этого элемента (например, сульфатов) не обнаружено. Общее содержание серы достигает 32 масс.%. Здесь медь достигает своих максимальных значений – 0.16 масс.%.

Рис. 2. Зерна и кристаллы пирита из сульфидных песков с отвалов Левихинского рудника. Снимок сделан в режиме BSE

Во всех пробах установлено наличие золота и серебра (0.2-3.8 и 0.1-10.1 г/т соответственно), причем их содержания увеличиваются с увеличением количества серы и железа в материалах.

По данным химического анализа проб произведено сравнение содержаний вредных компонентов Cu, Zn, S со значениями норм ОДК и ПДК (ГН 2.1.7.2511-09 и ГН 2.1.7.2041-06) для почв [4, 5]. Коэффициент концентрации химического вещества рассчитывался по следующей формуле:

$$K_c = \frac{C_i}{C_{\phi i}},$$

где C_i - концентрация вещества, $C_{\phi i}$ - фоновая концентрация вещества. Данные по расчетам приведены в таблице 1.

Из таблицы 1 следует, что главные загрязняющие компоненты – сера и медь, причем основным источником загрязнения являются сульфидные пески и фрагменты колчеданных руд. Уровень загрязнения окружающей среды цинком незначителен.

Для исследуемой территории определили суммарный показатель загрязнения почв (Z_c) – сумма отношений фактического содержания каждого загрязняющего вещества, концентрация которого превышает установленные для химических веществ нормативы ПДК, к величине его норматива ПДК [6]:

$$Z_c = \Sigma(K_{ci} + \dots + K_{cn}),$$

где n – число определяемых суммируемых веществ; K_{ci} – коэффициент концентрации i -го компонента загрязнения.

Таблица 1. Содержание в отвалах Левихинского рудника вредных компонентов, их коэффициенты концентрации

Компонент	Содержание, масс.%, min/max	Содержание в сульфидных песках, масс.%	Норма ПДК и ОДК*, масс.%	Коэффициент концентрации min/max	Коэффициент концентрации в сульфидных песках min/max
Сера	0.026/1.37	32.6	0.016	1.6/85.6	2037.5
Медь	0.005/0.1	0.16	0.0132	0.4/7.6	11.9
Цинк	0.0097/0.0353	0.015	0.022	0.4/1.6	0.7

Примечание: *для группы почв близких к нейтральным и нейтральные (суглинистые и глинистые), pH KCl>5.5.

Для первых двух групп материалов (по максимальным содержаниям в них S, Cu и Zn) значение Z_c составляет 94.8, что относится к опасной категории загрязнения почв [6]. Это способно привести к увеличению общей заболеваемости населения, числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушениями сердечно-сосудистой системы. Снизить категорию загрязнения почв, а также доизвлечь ценные компоненты можно за счет гравитационного обогащения отвалов. При первичном испытании был получен концентрат с содержаниями золота более 40 г/т, серебра до 600 г/т и меди до 0.5 масс.%. Значение Z_c в полученных хвостах обогащения уменьшилось до 26 – умеренно опасной категории загрязнения почв.

Ситуация для третьей группы материалов обстоит намного хуже: за счет преобладания сульфидов в их минеральном составе величина Z_c достигает 2050 – чрезвычайно опасная категория загрязнения почв. В такой категории увеличивается заболеваемость детского населения, нарушается репродуктивная функция у женщин. С учетом высокого содержания золота и серебра (3.8 и 10 г/т соответственно), данный сульфидный материал можно подвергнуть пирометаллургической переработке, тем самым снизив в конечном отходном продукте содержания вредных компонентов.

Таким образом, в работе дана краткая характеристика материалов с отвалов вмещающих и вскрышных пород Левихинского рудника. Главный потенциальный источник загрязнения – сера, в меньшей степени медь. Так как в отвалах отмечены достаточно высокие содержания золота и серебра, вопрос с уменьшением негативного воздействия отходов на окружающую среду можно решить путем их пирометаллургической переработки и гравитационным обогащением. Последующие хвосты с высоким содержанием SiO_2 (свыше 90 масс.%) возможно использовать в стекольной промышленности [7]. Для использования отвалов в качестве материала для рекультивации нарушенных земель необходимо провести дополнительные исследования и операции по извлечению полезных и вредных компонентов.

Исследование подготовлено в соответствии с государственным заданием на выполнение НИР для ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» № 075-03-2021-303 от 29.12.2020.

Литература

1. Контарь Е.С. Геолого-промышленные типы месторождений меди, цинка и свинца на Урале (геологические условия размещения, история формирования, перспективы): научная монография. Екатеринбург: УГГУ, 2013. 199 с.
2. Рыбникова Л.С., Рыбников П.А., Наволокина В.Ю. Оценка влияния затопленного Левихинского медноколчеданного рудника на качество поверхностных вод реки Тагил // Проблемы недропользования. 2019. № 3. С. 155-161.

3. ГОСТ 17.4.4.02-2017 [3]. «Охрана природы (ССОП). Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа» с применением метода «конверта».
4. ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. – М.: Роспотребнадзор, 2009. 12 с.
5. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почвах. – М.: Роспотребнадзор, 2006. 15 с.
6. Постановление Правительства РФ от 19 июля 2012 г. N 736 «О критериях значительного ухудшения экологической обстановки в результате использования земельных участков из земель сельскохозяйственного назначения с нарушением установленных земельным законодательством требований рационального использования земли».
7. Okereafor U., Makhatha M., Mekuto L., Mavumengwana V. Gold Mine Tailings: A Potential Source of Silica Sand for Glass Making // Minerals. 2020. № 10. P. 1-12.