Гидрохимические и газовые аномалии на сульфидном хвостохранилище (Салаир, Кемеровская область)

Бортникова С.Б., Юркевич Н.В., Еделев А.В., Саева О.П., Грахова С.П., Карин Ю.Г.

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия, e-mail: BortnikovaSB@ipgg.sbras.ru

АННОТАЦИЯ: В статье приведены результаты исследования вертикальной зональности старого хвостохранилища Салаирского ГОКа – Талмовских Песков, вмещающего отходы цианирования и флотации барит-полиметаллических руд. Распределение общих концентраций элементов по вертикали определяется неоднородностью складированного материала отходов. На примере двух разрезов до глубины 1.2 м определено, что влажность вещества возрастает с глубиной, а температура, значения pH паст и водных вытяжек снижаются. С глубиной закономерно возрастает количество водорастворимых форм металлов за счет преобразования сульфидов в кислых условиях, а также вследствие поступления из верхних горизонтов. Газогенерация сероуглерода CS_2 и диметилсульфида $(CH_3)_2S$, напротив, возрастает к верхним слоям хвостохранилища, что, всего скорее, связано с активным функционированием биоты в верхних прогреваемых слоях с нейтральной реакцией среды. В результате активных взаимодействий вещества отходов с водой и газами в реке Малой Талмовой, в русле которой расположено хвостохранилище, формируются контрастные гидрохимические аномалии с высокими концентрациями металлов.

Hydrochemical and gaseous anomalies on sulfide tailings (Salair, Kemerovo region)

Bortnikova S.B., Yurkevich N.V., Edelev A.V., Saeva O.P., Grahova S.P., Karin Yu.G.

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia, e-mail: BortnikovaSB@ipgg.sbras.ru

ABSTRACT: The article presents the results of a study of the vertical zoning of the old tailings of the Salair GOK - Talmovskiy Sands, containing cyanidation and flotation waste of barite-polymetallic ores. The vertical distribution of the total element concentrations is determined by the heterogeneity of the stored tailings material. Using the example of two cross sections to a depth of 1.2 m, it was determined that the humidity of the substance increases with depth, and the temperature, pH pastes and aqueous extracts decrease. With depth, the amount of water-soluble species of metals increases due to the transformation of sulfides in acidic conditions, as well as due to the inflow from the upper horizons. The gas generation of carbon disulfide CS_2 and dimethyl sulfide $(CH_3)_2S$, on the contrary, increases towards the upper layers of the tailings, which is most likely due to the active functioning of biota in the upper heated layers with a neutral reaction of the medium. As a result of active tailings-water-gas interactions, contrasting hydrochemical anomalies with high metal concentrations are formed in the Malaya Talmovaya River, in the channel of which the tailing dump is located.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема складированных сульфидных отходов, их трансформации под действием окислительных факторов, миграции токсичных компонентов в окружающую среду исследуется и обсуждается широко [8; 6; 9]. Разрушение сульфидных минералов приводит к растворению вещества, формированию кислых потоков с высокими концентрациями металлов и металлоидов [3; 5; 1]. Кроме того, из сульфидсодержащих отходов выделяется целый спектр азот-, серо- и селенсодержащих газов, в том числе и органического происхождения, а также под воздействием микробиологических процессов, в том числе и метилирования [2; 4; 10]. В результате вещество отходов находится в постоянном взаимодействии со специфическим флюидом, характеризующемся широким диапазоном физико-химических параметров, концентраций макро- и микроэлементов в зависимости от условий формирования и состава вмещающей среды.

Целями данной работы были: 1) определение вертикальной зональности хвостохранилища, образованного 80-90 лет назад в русле р. Малая Талмовая; 2) выявление закономерностей концентрирования подвижных форм элементов по разрезу; 3) оценка уровня образования газов сероуглерода и диметилсульфида в разных горизонтах хвостохранилища; 4) установление гидрохимических аномалий в р. Малая Талмовая в результате миграции потенциально токсичных элементов с водными потоками из хвостохранилища.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И МЕТОДЫ

Объектом исследования было первое хвостохранилище Салаирского ГОКа. Отходы цианирования и флотации верхних, наиболее богатых частей рудных тел, складировались в русло р. Малая Талмовая.

В течение полевых работ были выкопаны несколько шурфов на хвостохранилище и опробованы все визуально различающиеся слои. На месте измерялись температура вещества элект-

тронным термометром Termex ЛТ-300-Т и концентрации газов (сероуглерода и диметилсульфида) мобильным газоанализатором ГАНК-4. По линии каждого шурфа были построены профили микроэлектротомографии для выявления геоэлектрической зональности и сопоставления её с геохимическими параметрами. Измерения проводились многоэлектродной установкой Скала-48, расстояние между электродами - 30 см, длина профиля – 14.1 м. Последовательность подключения электродов соответствовала симметричной установке Шлюмберже. Решение обратной задачи электроразведки выполнялось с помощью программы Res2Dinv [7], при этом применялся робастный способ инверсии. В результате двумерной инверсии строились модели геоэлектрических разрезов.

В лабораторных условиях были приготовлены пасты (твердое/вода = 2/1) и водные вытяжки (твердое/вода = 1/10). В пастах измерялись значения pH и электропроводности. В водных вытяжках были определены концентрации основных ионов методом ионной хроматографии и микроэлементов методом ИСП-МС.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В вертикальном строении хвостохранилища проявилась большая неоднородность как в составе вещества, так и в физико-химических характеристиках. Общей для всех разрезов закономерностью является увеличение влажности вещества, кислотности среды, электропроводности (с некоторыми колебаниями) с глубиной (рис. 1).

Рис. 1. Изменение параметров вещества хвостохранилища с глубиной (шурф № 1)

Температура и концентрации газов закономерно снижаются к нижним горизонтам. Наиболее интенсивное газообразование идет на глубине 20-30 см от поверхности, в то время как накопление растворимых форм элементов происходит в нижних частях разреза, причем вне зависимости от их валового содержания (рис. 2).

В геоэлектрической зональности вещества наиболее низкое удельное электрическое сопротивление (УЭС) обнаруживается в нижних горизонтах, распространяется до глубины зондирования - 3 м и продолжается ниже (рис. 3). Это означает, что кислые растворы с высокими концентрациями растворенных форм элементов распространяются в грунтовые воды, где они

могут мигрировать в разных направлениях в зависимости от гидрологического режима территории. Вместе с тем, газовые аномалии в приземном слое воздуха определяются взаимодействиями в верхних частях разреза. Основным фактором, влияющим на интенсивность газообразования, является температура среды, в которой функционируют бактериальные сообщества – продуценты обсуждаемых газов.

Рис. 2. Распределение общих концентраций металлов, их подвижных форм и некоторых газов по вертикали (шурф № 1)

Рис. 3. Геоэлектрическая зональность вещества по линии шурфа № 1

На втором разрезе (шурф № 4) выявилась ещё более контрастное проявление процессов перераспределения вещества и кислотообразования. В верхних слоях разреза, представленных мелкозернистым веществом отходов, значения pH паст и водных вытяжек находились в нейтральной-слабощелочной области, но резко снижались в нижележащих горизонтах соответственно, с увеличением электропроводности (т.е. минерализации межпоровых растворов), рис. 4. Распределение металлов по разрезу в твердом веществе закономерно, очевидно, зависит от первичной неоднородности вещества при складировании отходов (рис. 5). Однако, так же, как разрезе шурфа № 1, накопление подвижных форм элементов увеличивается книзу. Распределение мышьяка по данным анализа водных вытяжек отличается от распределения металлов, что определяется различием в их химических свойствах.

Геоэлектрическая зональность этого разреза полностью согласуется с изменением геохимических параметров вещества. Верхняя часть профиля представлена горизонтами с высоким УЭС (рис. 6), это слои с нейтральной средой и низкой минерализацией поровых растворов (рис. 4). Затем, при переходе в кислую область, УЭС разреза резко снижается, и в забое шурфа становится близким к 1 (рис. 6).

При этом, генерация газов наиболее высока в верхних слоях с нейтральной реакцией среды и высокими УЭС. Отметим, что в данном разрезе

в нейтральных горизонтах (рН паст 6.7) концентрация CS_2 в несколько раз выше, чем в верхних слоях шурфа № 1, представленных веществом с кислой средой (рН паст 2.4). Кислотность среды определяет бактериальную активность и связанную с ней генерацию газов.

Рис. 4. Изменение параметров вещества хвостохранилища с глубиной (шурф № 4)

Рис. 5. Распределение общих концентраций металлов, их подвижных форм и некоторых газов по вертикали (шурф № 4)

Рис.6. Геоэлектрическая зональность вещества по линии шурфа № 4

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщенная зональность техногенного тела на примере Талмовских Песков может быть представлена следующим образом. В верхнем, прогреваемом горизонте, идут интенсивные взаимодействия микробиоты с техногенным веществом, в результате которых формируются такие газы, как сероуглерод, диметилсульфид, диметилсульфоксид и др. Наиболее интенсивно газообразование идет в веществе с нейтральной средой. Неорганические реакции разрушения вещества в верхних слоях приводят к переходу металлов в поровый раствор. Ниже по разрезу, с увеличением влажности температура снижается, возрастает кислотность, а биотические реакции становятся менее активными, но возрастает роль неорганических взаимодействий. Условия для процессов разрушения минеральной матрицы и накопления элементов в растворе тем стабильнее, чем глубже расположен горизонт, что следует из распределения валовых и растворённых форм элементов. К растворам, формирующимся *in situ* в глубоких горизонтах,

добавляются растворы, фильтрующиеся сверху. Если образующиеся газы уходят по межпоровым путям кверху, то металлы с растворами концентрируются внизу.

В результате в р. Малая Талмовая, протекающей в непосредственной близости от хвостохранилища, сформированы контрастные гидрохимические аномалии по многим компонентам: сульфат-ионам, металлам, металлоидам, концентрации которых в воде реки достигают высоких значений (мг/л): SO_4^{2-} - 850; Zn - 11; Mn - 4.3; Cd - 0.1.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 19-17-00134).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Salomons W. Environmental-impact of metals derived from mining activities - processes, predictions, prevention // J. Geochem. Explor. - V. 52. - I. 1-2. - 1995. - P. 5-23.
- Lottermoser B.G. Mine Wastes. Characterization, Treatment, Environmental Impacts, 2nd edition. - Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. - 2010. - 335 p.
- Johnson R.H., Blowes D.W., Robertson W.D., Jambor J.L. The hydrogeochemistry of the Nickel Rim mine tailings impoundment, Sudbury, Ontario // J. Contam. Hydrol. - V. 41. - I. 1. - 2000. - P. 49-80.
- Bortnikova S., Olenchenko V., Gaskova O., Yurkevich N., Abrosimova N., Shevko E., Edelev A., Korneeva T., Provornaya I., Eder L. Characterization of a gold extraction plant environment in assessing the hazardous nature of accumulated wastes (Kemerovo region, Russia) // Applied Geochemistry. - V. 93. - 2018. - P. 145-157.
- Chandra A., Gerson A. The mechanisms of pyrite oxidation and leaching: A fundamental perspective // Surf. Sci. Rep. - V. 65. - I. 9. - 2010. - P. 293-315.
- Heikkinen P.M., Raeisaenen M.L., Johnson R.H. Geochemical Characterisation of Seepage and Drainage Water Quality from Two Sulphide Mine Tailings Impoundments: Acid Mine Drainage versus Neutral Mine Drainage // Mine Water Environ. - V. 28. - I. 1. - 2009. - P. 30-49.
- Hale M. Gas geochemistry and deeply buried mineral deposits: the contribution of the Applied Geochemistry Research Group, Imperial College of Science and Technology, London // Geochem.: Explor., Environ., Anal. - V. 10. - 2010. - P. 261-267.
- Bortnikova S.B., Yurkevich N.V., Abrosimova N.A., Devyatova A.Y., Edelev A.V., Makas A.L., Troshkov M.L. Assessment of emissions of trace elements and sulfur gases from sulfide tailings // J. Geochem. Explor. - 2018. - V. 186. - p. 256-269.
- Yurkevich N., Bortnikova S., Abrosimova N., Makas A., Olenchenko V., Yurkevich N., Edelev A., Saeva O., Shevko A. Sulfur and nitrogen gases in the vapor streams from ore cyanidation wastes at a sharply continental climate, Western Siberia, Russia // Water, Air and Soil Pollution. - V. 230. - I. 12. - 2019. - No. 307.
- Loke M.H. Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies, a practical guide to 2D and 3D surveys. - Penang, Malaysia. - 2000.