

## **ГАЗОАЭРОЗОЛЬНЫЙ ПЕРЕНОС ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ХВОСТОХРАНИЛИЩА КОМСОМОЛЬСКОГО ЗОЛОТОИЗВЛЕКАТЕЛЬНОГО ЗАВОДА (КЕМЕРОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

*Анна Юрьевна Девятова*

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник; Новосибирский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, доцент, тел. (913)745-53-79, e-mail: DevyatovaAY@ipgg.sbras.ru

*Светлана Борисовна Бортникова*

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, доктор геолого-минералогических наук, профессор, зав. лабораторией геоэлектрохимии, тел. (383)330-95-36, e-mail: BortnikovaSB@ipgg.sbras.ru

Работа посвящена изучению состава газовых потоков, концентрации и миграционной способности химических элементов в газовой фазе, отделяющейся от сульфидных хвостохранилищ при их нагревании или горении. Рассчитаны коэффициенты подвижности в системе порода/воздух, определена сравнительная подвижность элементов при отделении парогазовой фазы.

**Ключевые слова:** сульфидные хвостохранилища, газовый перенос элементов, Комсомольский золотоизвлекательный завод.

## **GAS-AEROSOL TRANSFER OF ELEMENTS FROM WASTE DUMPS OF KOMSOMOLSK GOLD PROCESSING PLANT (KEMEROVO REGION)**

*Anna Y. Devyatova*

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, Koptuyug Prospect 3, Ph. D., Scientific Researcher; Novosibirsk State University, Russia, 630090, Novosibirsk, Pirogova Str. 2, docent, tel. (913)745-53-79, e-mail: DevyatovaAY@ipgg.sbras.ru

*Svetlana B. Bortnikova*

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, Koptuyug Prospect 3, Doctor of Science, Professor, Head of the Laboratory, tel. (383)330-95-36, e-mail: BortnikovaSB@ipgg.sbras.ru

This article presents the results of field and laboratory research of gas-vapor transfer of chemical elements from sulfide-containing tailing dump (township Komsomolsk in Kemerovo region. Work is devoted to studying the composition of the gas flow, concentration and migration ability of chemical elements in the gas phase is separated from the sulfide tailings during heating or combustion. Calculated coefficients of mobility in the rock / air system, determined the relative mobility of the elements in the vapor-gas phase separation.

**Key words:** sulfide-containing tailings, gas emission, air pollution, physical and chemical simulation.

Газовое и аэрозольное загрязнение окружающей среды на сегодняшний день представляет серьезную проблему, которая будет только нарастать

в ближайшие десятилетия. Исследования глобальной эмиссии тяжелых металлов из основных антропогенных источников в атмосферу впервые были выполнены J.O. Nriagu, J.M. Pacyna [1].

Согласно этим данным, почти все промышленные производства, а также сжигание топлива, транспорт и другие виды деятельности человека приводят к антропогенному рассеиванию элементов в окружающей среде. В то же время хорошо прослеживается, что наибольший вклад вносят все виды сжигания топлива (386216 т/год), автотранспорт (88739 т/год), цветная металлургия (88629 т/год), черная металлургия (6592 т/год), производство цемента (4826 т/год).

Актуальность проблемы, в рамках которой проведена данная работа, состоит в необходимости получения фактической информации о составе газовых потоков, особенно концентрации и миграционной способности химических элементов в газовой фазе, отделяющейся от сульфидных хвостохранилищ при их нагревании или горении. Эманирование газов из твердых тел происходит за счет «эффекта отдачи», за счет диффузионных процессов в твердом теле и при термических и компрессионных воздействиях на материал [2]. Несмотря на длительную историю исследований эманирования различных веществ, вопрос о влиянии содержания поровой влаги на возникновение флюидных и газовых потоков до сих пор остается открытым. Вместе с тем известно, что влажность – это практически единственный внешний фактор в условиях нормальных температур и давления естественной среды, который может существенно влиять на эманирование [3].

Задачи, решаемые в данной работе, состояли в оценке газового выноса элементов при повышении температуры; определении сравнительной подвижности элементов при отделении парогазовой фазы. Исследование проводилось применительно к Комсомольскому хвостохранилищу.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Бывший Комсомольский золотоизвлекательный завод (КЗЗ) расположен в Кемеровской области, в Кузнецком Алатау. Завод был введен в эксплуатацию в 1937-1940 гг. Общая масса отработанной руды за годы работы завода составила 1 227 300 т.

На заводе перерабатывались золото-арсенопирит-кварцевые руды Комсомольского месторождения, основными сульфидными минералами которых являлись пирит, сфалерит, галенит, пирротин, арсенопирит. Основной жильный минерал – кварц. Золото извлекалось методом цианирования в NaCN из руды, предварительно обработанной обычным способом (руда измельчалась до -150 меш). Осаждение металла производилось цинковой пылью, и основным продуктом был Au-шлам, отходы извлечения золота в виде пульпы с 1964 г. сбрасывались в хвостохранилище, расположенное в 1200 м от завода в бассейне ручья Екатерининского. Оно представляет собой широкую котловину, расположенную выше здания завода на 30 м. Хвостохранилище было предназначено для очистки общего стока завода, образующегося за счет репульпированного водой кека и сбрасываемых обеззолоченных растворов.

Для оценки газового переноса элементов с поверхности хранилищ были использованы два подхода.

1. Непосредственно на объекте исследования была проведена принудительная прокачка через барботер со сбором конденсатов либо через щелочную загрузку (10 мл дистилл. вода + NaOH до pH = 9.5) с помощью почвенного круга, изготовленного по схеме Ю.В. Алехина и др. [4] (рис. 1, а). Воздух через загрузки прокачивался в течение 2 часов при приблизительной скорости 1 л/мин.

2. Лабораторные эксперименты по сбору конденсатов газов, отделяющихся при нагревании вещества: 8 проб из верхних слоев шурфов (по 4 из каждого). Навеска пробы 100 г при естественной влажности помещалась в термостойкий стеклянный стакан, соединенный через воронку с барботером силиконовым шлангом (рис. 1, б.). Стакан с пробой нагревался на плитке при постоянной температуре 90 °С, имитируя нагревание вещества при горении отвала. Барботер помещался в охлаждающую среду для конденсации отделяющейся парогазовой смеси. С помощью обратного ручного насоса были собраны конденсаты, характеризующие эманации от вещества хвостохранилища при его нагревании.



Рис. 1. Схемы полевых и лабораторных экспериментов: прокачка через щелочную загрузку (а); нагревание и получение конденсатов в лабораторных условиях (б)

Пробы щелочных загрузок и конденсаты анализировали методами потенциометрии (pH, Cl<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), турбидиметрии (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), ИСП-АЭС и ИСП-МС (катионы и микроэлементы, Аналитический центр Института геологии и минералогии СО РАН, аналитики – И.В. Николаева и С.Ф. Нечепуренко).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Из отвалов Комсомольского золотоизвлекательного завода постоянно происходит эманирование ряда химических веществ. Максимальные концентрации в газоаэрозольной смеси имеют основные породообразующие макрокомпоненты: Ca, Na, K, Mg, Fe, B, Si. Из микрокомпонентов преобладают Zn, As, Mn, Sr, Ba, Ni.

В составе щелочных загрузок, отобранных во время полевых экспериментов, определен широкий круг элементов: основные катионы (Ca, Mg, K, Na, Fe), примесные металлы (Mn, Al, Sr, Ba, Zn, Cd, Pb, Li, Mo, Ti), аниогены (As, Sb, V, B). В единичных пробах обнаружены Cr, Co, Ni. Это означает, что при

нагревании поверхности эманации из хвостохранилища содержат широкий круг химических элементов, уходящих с парогазовой фазой.

Для оценки степени эманирования элементов в системе порода/атмосферный воздух были использованы коэффициенты подвижности.

$$K_{\text{подв}} = \text{Log}(C_{\text{ТВ}}/C_{\text{конд}}),$$

где  $C_{\text{ТВ}}$  – содержание элемента в твердом веществе,

$C_{\text{конд}}$  – содержание этого же элемента в конденсате, полученном при лабораторных экспериментах.

Чем выше  $K_{\text{подв}}$ , тем мобильнее элемент в системе порода/атмосферный воздух (рис. 2). Таким образом, элементы разделились на три группы:

- инертные  $0 < k < 1$  Fe, Ti, Al, Si, V, Pb;
- подвижные  $1 < k < 10$  Sb, As, Mn, Cd, K, Cu, Ca, Ba, Sr ;
- весьма подвижные  $10 < k < 100$  Mg, Ni, Cr, Zn, Na, Mo.

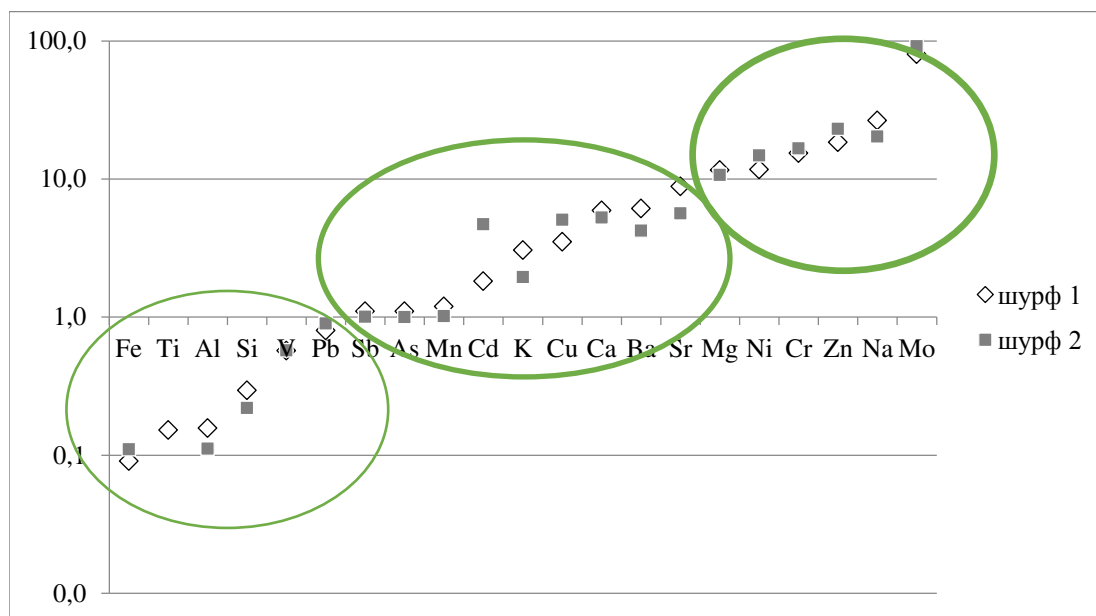


Рис. 2. Коэффициенты подвижности химических элементов в системе порода/воздух

Составы конденсатов парогазовой смеси, собранные в полевых условиях, являются практически идентичными составам конденсатов, полученных в лаборатории при нагревании отвального вещества (рис. 3). Практически все элементы имеют одинаковый порядок концентрации, исключения составляют Na, Al, Sb, содержания которых в конденсатах из лаборатории были на порядок больше.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из отвалов Комсомольского золотоизвлекательного завода постоянно происходит эманирование ряда химических веществ. Особенно высоки концентрации Ca, Na, K, Mg, Fe, B, Si, Zn, As, Mn, Sr, Ba, Ni.

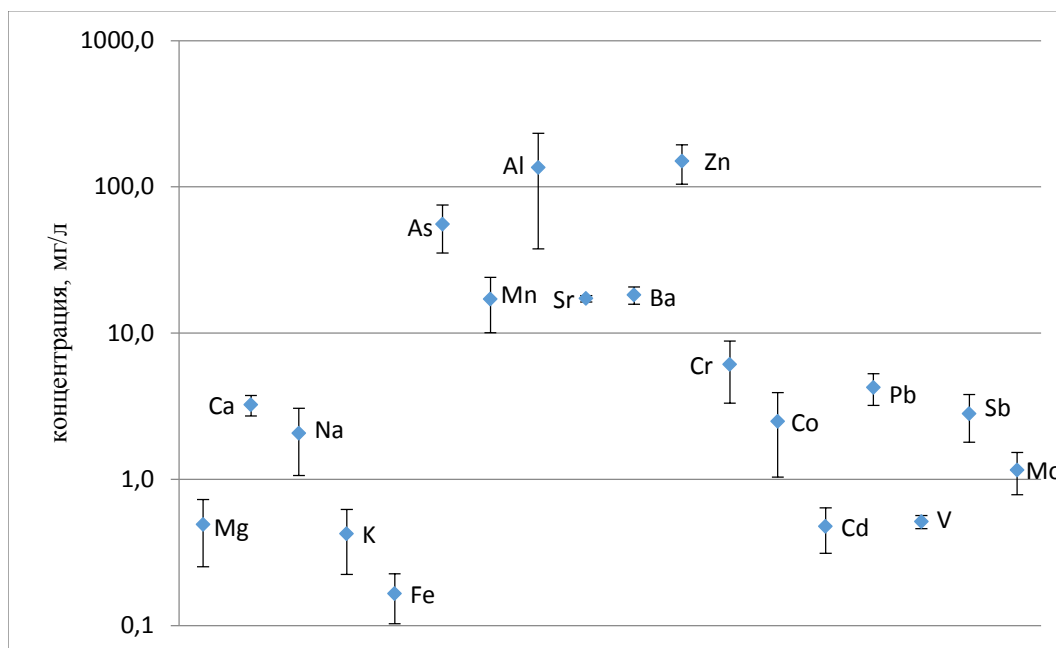


Рис. 3. Сравнение составов конденсатов, отобранных в поле, с конденсатами, отобранными в лаборатории. На графике отображено среднее значение и стандартное отклонение

Полученные ряды подвижности прекрасно согласуются с общими представлениями о миграционной способности химических элементов. В изучаемой нами системе так же, как и в системе вода-порода, с газоаэрозольными потоками слабо выносятся основные породообразующие элементы: Fe, Ti, Al, Si, поскольку находятся в плохорастворимой форме. Наиболее подвижные компоненты системы – сидерофильные элементы (Ni, Cr, Mo) и ряд щелочных металлов (Mg, Zn, Na).

Составы конденсатов парогазовой смеси, собранные в полевых условиях, являются практически идентичными составам конденсатов, полученных в лаборатории при нагревании отвального вещества.

В парогазовых конденсатах отвалов КЗЗ и полученных при экспериментальном нагревании отвального вещества содержится большое количество макро- и микроэлементов, которые переносятся в основном в виде своих соединений (оксидов, сульфидов, хлоридов).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Nriagu J.O., Pacyna J.M. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soil by trace metals // Nature. - 1988. - Vol. 333. - P. 134-139.
2. Бекман И.Н. Эманирование твёрдых тел: учеб. пособие. - М.: Издательство МГУ, 1971. - 58 с.
3. Микляев П.С., Петрова Т.Б. Влияние влажности на эманирование песчано-глинистых пород // АНРИ. - 2009. - № 1. - С. 53-57.
4. Алехин Ю.В., Лапицкий С.А., Мухамадиярова Р.В., Самсонов А.Е. Экспериментальные и аналитические методы исследования процессов межрезервуарного микроэлементного обмена // Вестник Отделения наук о Земле РАН: электрон. науч.-информ. журн. - 2008. - № 1(26). - URL: [http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h\\_dgggms/1-2008/informbul-1\\_2008/elaborate-1.pdf](http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2008/informbul-1_2008/elaborate-1.pdf) (дата обращения: 18.02.2016).

© А. Ю. Девятова, С. Б. Бортникова, 2016