

Hill C.A. Geology of Carlsbad cavern and other caves in the Guadalupe Mountains, New Mexico and Texas // New Mexico Bureau of Mines & Mineral Resources. Bulletin no. 117. 1987. 150 p.

Polyak V.J., Provencio P. By-product materials related to H₂S–H₂SO₄ influenced speleogenesis of Carlsbad, Lechuguilla, and other caves of the Guadalupe Mountains, New Mexico // Journal of Cave and Karst Studies. 2001. Vol. 63. № 1. P. 23–32.

***В.И. Малов, М.А. Густайтис, И.Н. Мягкая, Б.Ю. Сарыг-оол,
О.Н. Сурков, Ж.О. Бадмаева, Е.В. Лазарева***

*Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск
malov@igm.nsc.ru*

Минеральный состав пылевых аэрозолей снежного покрова окрестности Акташского ртутного месторождения (Республика Алтай)

Акташское ртутное месторождение расположено в пределах Ануйско-Чуйского преддугового прогиба, на сочленении Кубадринской и Курайской ветвей Курайского глубинного разлома Алтае-Саянской складчатой области [Vasiliev et al., 1998]. Месторождение относится к карбонатно-киноварному эпитермальному типу [Кузнецов, 1963] и приурочено к зоне полого сброса (Акташского надвига), лежащее крыло которого сложено нижнекембрийскими известняками с прослоями песчаников, всячье – среднекембрийскими глинисто-известковыми сланцами и алевролитами. Основными ртутьсодержащими минералами руд являются киноварь и блеклые руды, в том числе Hg-содержащие швацит (до 20 % Hg) и акташит Cu₆Hg₃As₄S₁₂ [Поспелов, 1968]. Среднее содержание Hg в рудах составляет 0.38 мас. % (0.0001–10.8 мас. %). Месторождение располагается в 10 км восточнее п. Акташ и обрабатывалось Акташским горно-металлургическим предприятием (АГМП) с 1937 по 1942 гг.

Всемирная организация здравоохранения рассматривает Hg как один из десяти наиболее опасных элементов по причине высокой мобильности и способности к биоаккумуляции, которые, наряду со степенью токсичности, определяются химической формой Hg. В последние годы все больше внимания уделяется не только техногенным загрязнениям в местах проживания людей, но и природному геохимическому фону. Снежный покров является накопителем аэрозолей, выпадающих из воздуха [Wang et al., 2015], и важным объектом исследования миграции потенциально токсичных элементов наряду с водами и почвами территорий. В снеге возможна трансформация форм нахождения элементов, включая Hg [Poulain et al., 2004]. Цель данной работы – установить формы нахождения Hg в снежном покрове в пределах Курайской ртутной зоны.

В период максимального снегозапаса (4–10 марта 2019 г.) было отобрано 20 проб снега непосредственно возле АГМП, в местах проживания людей и наиболее часто посещаемых туристами (Чуйская ГЭС, оз. Гейзерное, оз. Чейбеккель, обнажения Красные ворота, Курайская степь, рис. 1). В период пробоотбора преобладало ЮВ направление ветра. Опробование проведено методом шурфа на всю мощность снежного покрова, за исключением 5 см над почвой. Пробы были разделены на две части: одна упаковывалась в полиэтиленовые пакеты для последующего отбора твердого осадка и вторая – во флаконы с широким горлом из боросиликатного стекла (Simax,

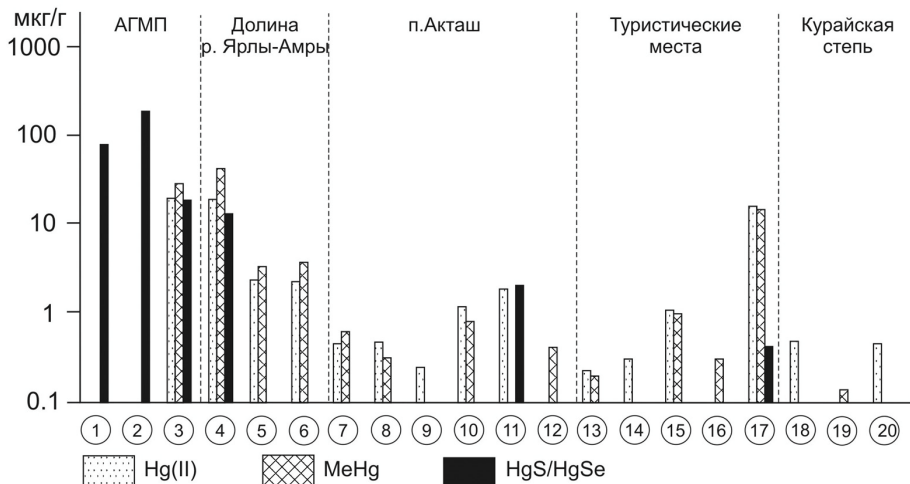
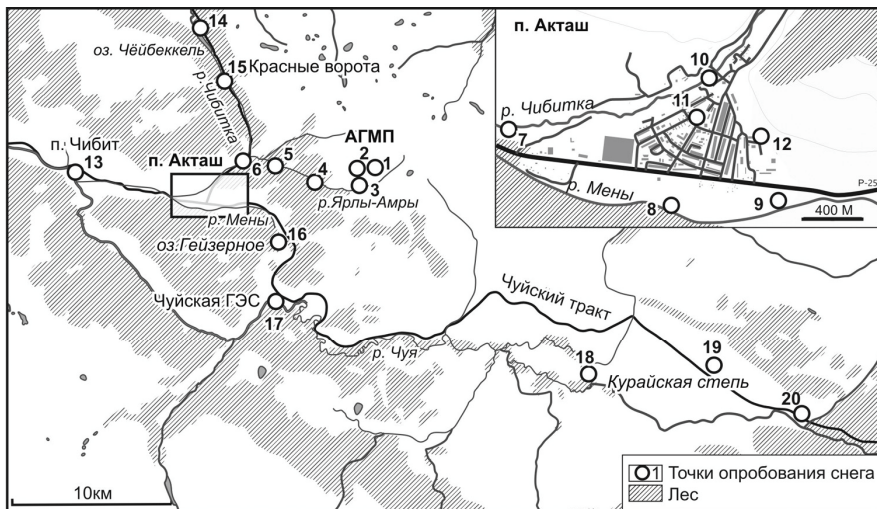


Рис. 1. Схема опробования снега и формы нахождения Hg в твердом осадке снега. Номера точек на рисунках совпадают.

V 2000 мл) для определения содержаний Hg. Снег растаивали при T 20–22 °C, полученный раствор фильтровали через мембранные фильтры (0.45 мкм) из ацетата целлюлозы (11106-47-N, Sartorius Stedim) для разделения взвешенной (ВЗ) и растворенной+коллоиды (РК) форм Hg. Фильтры растворяли в 1M HNO₃ (ОСЧ) на водяной бане в течение 2–3 ч, доводили объем раствора до 20–25 мл. Содержание Hg в растворах определяли методом холодного пара ААС на анализаторе РА-915М с приставкой РР-92 (Люмэкс, ISO 12846-2012). Предел обнаружения – 0.02 мкг/л, относительная погрешность измерений – 20 %. Состав твердого снегового осадка исследовали на СЭМ MIRA 3 LMU (Tescan Orsay Holding). Химические формы нахождения Hg определены на ртутном анализаторе РА-915М методом термодесорбции в сочетании с ААС [Shuvaeva et al., 2008].

Общее содержание Hg в снеге отличается на три порядка (0.05–16 мкг/л). Наиболее высокие содержания Hg (11–16 мкг/л) установлены в снеге на территории АГМП (точки 1–3, рис. 1). По мере удаления от рудников концентрации снижаются от точки 4 до точки 6 с 4.35 до 0.7 мкг/л. В поселке Акташ содержание Hg варьирует от 0.06 до 0.38 мкг/л, при среднем 0.16 мкг/л. Среднее содержание Hg в снеге наиболее посещаемых туристами мест составляет 0.18 мкг/л при разбросе 0.05–0.42 мкг/л. В снеге Курайской степи содержания варьируют от 0.1 до 0.29 мкг/л. Таким образом, содержания Hg в снеге территории высокие, что обусловлено как повышенной эманацией элемента через зоны разломов (о сейсмичности данного региона говорят данные о землетрясении 2003 г. (Ms 7.3, I 8–9) [Deev et al., 2017]), так и ветровым сносом вещества со склонов. Высокие концентрации Hg в снеге на территории АГМП объясняются практически полным отсутствием снега на горных склонах. В ходе отработки месторождения накоплено большое количество пылящих сыпучих минеральных отходов, содержащих Hg (пустые породы, некондиционные руды, металлургические шлаки, шламы).

В растопленном снеге РК форма Hg преобладает над ВЗ формой. В районе АГМП содержание РК формы Hg самое высокое – 12.8 мкг/л, что составляет 80 % от валового содержания (ВС). В пос. Акташ почти вся Hg (в среднем, 0.1 мкг/л) находится в снеге в РК форме (80–90 % ВС). Возле оз. Чейбеккель и обнажения Красные ворота содержание Hg в РК форме составляет 0.13 и 0.32 мкг/л (52 и 76 % ВС), соответственно. Рядом с Чуйской ГЭС и оз. Гейзерным содержание Hg наименьшее (0.036 мкг/л) среди всех точек отбора. В Курайской степи ВЗ форма преобладает над РК формой (0.01–0.12 мкг/л, 10–41 % от ВС). Преобладание РК формы Hg в снеге вблизи АГМП может свидетельствовать как о том, что загрязнение территории происходит за счет эманаций газообразной Hg как из отходов, так и из пород и руд вблизи месторождения и, частично, из глубинных разломов Курайской зоны. Известно, что Hg (II) сорбируется в воздухе на аэрозольных частицах [Schroeder, Munthe, 1998], но более вероятно, что за высокие содержания РК формы вблизи АГМП ответственно частичное растворение Hg при окислительном выщелачивании вещества, поступающего с пылью как собственно в снеге, так и во время таяния.

В твердом осадке снега рядом с АГМП Hg содержится в виде сульфида или селенида (до 197 мкг/г, точки 1 и 2, рис. 1). Доля HgS/HgSe в осадке снижается с удалением от АГМП на расстояние 4.5 км до полного исчезновения (точка 5, рис. 1) с появлением MeHg и Hg (II). Наиболее распространенными формами Hg в твердом остатке являются MeHg и Hg (II), и самые высокие их содержания установлены рядом АГМП (точки 3 и 4, рис. 1): MeHg 29.1 и 43 мкг/г, Hg(II) 20 и 19.4 мкг/г, соответственно. HgS/HgSe установлены в небольшом количестве еще в двух точках – в п. Акташ (точка 11, рис. 1) и рядом с Чуйской ГЭС (точка 17, рис. 1).

Твердый осадок снега представляет собой смесь обломков горных пород и отдельных минералов, характерных для пород, распространенных на изучаемой территории, а также остатков растительности (рис. 2б). Состав осадка отличается в разных точках. В районе АГМП основными минералами являются кварц, К-полевой шпат, слюды, глины, кальцит и доломит. В меньшем количестве встречаются пироксены, плагиоклаз, апатит и рутил. По мере удаления от АГМП минеральный состав изменяется. Основными минералами также остаются кварц, К-полевой шпат, слюды, реже карбонаты, появляются амфибол, оливин, монацит. Заметна разница в количестве органических остатков – вблизи АГМП их доля меньше. В пробах, отобранных в районе п. Акташ, встречены Fe-микросферы.

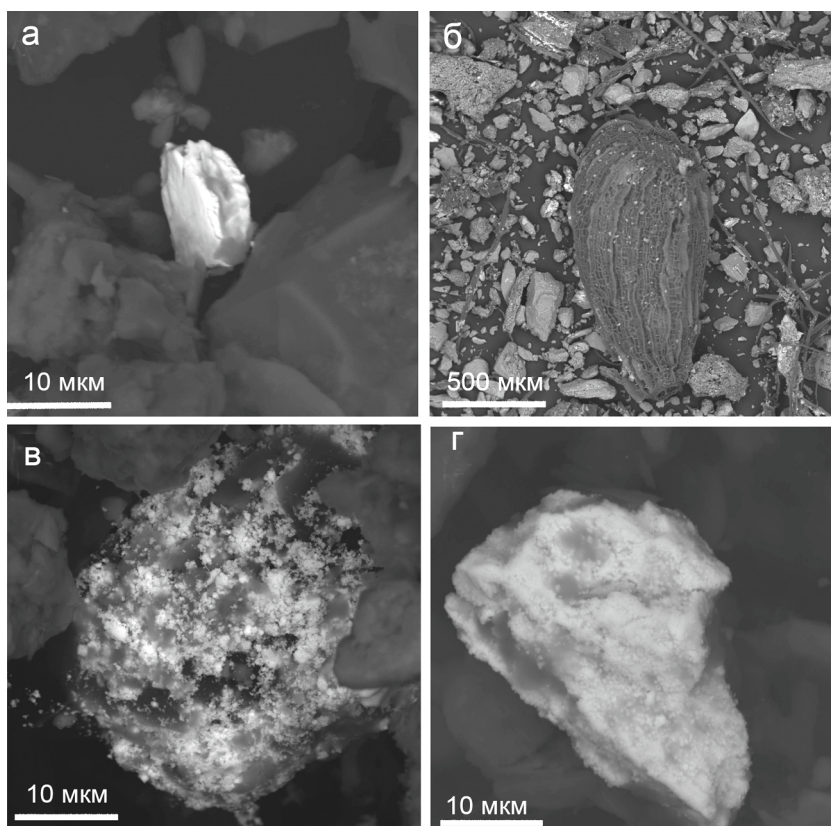


Рис. 2. Составные части твердого остатка снега: а – обломок HgS; б – остатки растительности и обломки пород; в – мелкозернистый агрегат $Hg_1S_{1-x}Se_x$ среди обломков пород; г – фаза $Hg_1S_{1-x}Se_x$ на поверхности обломка HgS. BSE фото.

Основным минералом Hg в твердом остатке снега является сульфид Hg, который наблюдается в виде отдельных обломков размером не более 10 мкм (рис. 2а) и включений в карбонатах. Обнаружены соединения Hg с Se (2–5 мкм) состава $Hg_1S_{1-x}Se_x$, где $x \sim 0.5$. Наиболее часто сульфоселенид Hg встречается в виде хлопьевидных мелкозернистых выделений на поверхности других минералов и органических остатков (рис. 2в). Данное соединение обнаружено и в виде равномерно обволакивающего налета на обломке HgS (рис. 2г). Аутигенные минералы подобного состава установлены в торфах из потока рассеяния Урского хвостохранилища (Кемеровская область, п. Урск), контактирующих с высокоминерализованными кислыми дренажными растворами [Музгакава et al., 2020].

Таким образом, на основании минералого-геохимических исследований снега Курайской рудной зоны выявлены главные формы нахождения Hg. В растворе растопленного снега Hg преобладает в растворенной вместе с коллоидами форме, во взвешенном веществе – в форме HgS/HgSe, MeHg и Hg (II). Минералогические исследования

подтверждают данные термодесорбции – сульфиды и сульфоселениды Hg установлены во всех пробах, где была определена HgS/HgSe форма.

Работа проведена в ЦКП «Многоэлементные и изотопные исследования» ИГМ СО РАН при поддержке РФФ (проект № 18-77-10056).

Литература

Поспелов Г.Л. Рудные формации и генезис эндогенных месторождений Алтае-Саянской области. М.: Наука, 1968. 367 с.

Кузнецов В.А. Вопросы геологии и металлогении Горного Алтая. Новосибирск: СО АН СССР, 1963. 305 с.

Deev E.V., Turova I.V., Borodovskiy A.P., Zolnikov I.D., Oleszczak L. Unknown large ancient earthquakes along the Kurai fault zone (Gorny Altai): new results of palaeoseismological and archaeoseismological studies // *International Geology Review*. 2017. Vol. 59. P. 293–310.

Myagkaya I.N., Lazareva E.V., Zaikovskii V.I., Zhmodik S.M. Interaction of natural organic matter with acid mine drainage: Authigenic mineralization (case study of Ursk sulfide tailings, Kemerovo region, Russia) // *Journal of Geochemical Exploration*. 2020. Vol. 211. 106456.

Poulain A.J., Lalonde J.D., Amyot M., Shead J.A., Raofie F., Ariya P.A. Redox transformations of mercury in an Arctic snowpack at springtime // *Atmospheric Environment*. 2004. Vol. 38. P. 6763–6774.

Schroeder W.H., Munthe J. Atmospheric mercury – an overview // *Atmospheric Environment*. 1998. Vol. 32. P. 809–822.

Shuvaeva O.V., Gustaytis M.A., Anoshin G.N. Mercury speciation in environmental solid samples using thermal release technique with atomic absorption detection // *Analytica Chimica Acta*. 2008. Vol. 621. P. 148–154.

Vasiliev O.F., Obolenskiy A.A., Yagolnitsker M.A. Mercury as a pollutant in Siberia: sources, fluxes and a regional budget // *Science Total Environment*. 1998. Vol. 213. P. 73–84.

Wang X., Pu W., Zhang X., Ren Y., Huang J. Water-soluble ions and trace elements in surface snow and their potential source regions across northeastern China // *Atmospheric Environment*. 2015. Vol. 114. P. 57–65.

В.В. Вантеев^{1, 2}, Е.В. Кислов^{1, 2}

¹ – Бурятский государственный университет, г. Улан-Удэ

Vanteev997@mail.ru

² – Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ

Минеральный состав тяжелого шлиха сапфиноносной россыпи Нарын-Гол (бассейн реки Джиды, Байкальская рифтовая система)

Сапфиноносная россыпь Нарын-Гол расположена в Закаменском районе Республики Бурятия и приурочена к одноименному ручью бассейна р. Джиды. В геологическом отношении участок исследования сложен кристаллическими сланцами верхнеордовикской джидинской свиты, базальтоидами Правого Барун-Хобольского стратовулкана неоген-четвертичного возраста (βN_2-Q_1), верхнеплейстоценовыми (Q_{I-II}) аллювиальными отложениями I и II надпойменной террасы и голоценовыми аллювиальными, элювиально-делювиальными, делювиальными и элювиальными образованиями [Генералов и др., 2012ф]. Минеральный набор россыпи уникален: из минералов россыпи наиболее ценен корунд; в ассоциации с ним в россыпи находятся пироп, санидин, авгит,