

Экологические проблемы разведки и разработки месторождений полезных ископаемых

УДК 628.51:504.3(04)

DOI 10.21285/0130-108X-2016-57-4-109-118

ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛЬНО-ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ТВЕРДОФАЗНЫХ ВЫПАДЕНИЙ СНЕГОВОГО ПОКРОВА ТЕРРИТОРИИ г. СВИРСКА

© М.С. Холодова¹, М.В. Пастухов², В.И. Полетаева³¹⁻³Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а.^{1,2}Иркутский научный центр СО РАН, 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 134.³Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Целью настоящего исследования являлось изучение особенностей микроэлементного и минералогического составов твердых пылеаэрозолей снегового покрова в зоне влияния техногенных источников г. Свирска. Представлены результаты исследований минерального и микроэлементного состава твердого осадка снега, образовавшегося в зонах воздействия отвалов Ангарского мышьяковистого завода (АМЗ), котельной и территории «фонового района» (г. Свирск). Химический состав твердой фазы снега определяли прямым атомно-эмиссионным анализом, исследования минерального состава твердого осадка снега – рентгеноспектральным электронно-зондовым микроанализом. Идентифицированы химические элементы и минералы – маркеры техногенных источников загрязнения. Установлено, что твердый осадок снега в районе отвалов АМЗ обогащен As, Hg, Ba, Pb, Cu, а твердые атмосферные выпадения в районе воздействия котельной характеризуются высокими концентрациями Al, Fe, Li, Na, Cu, Zn. Выявлен основной тренд переноса газопылевых выбросов, направленных от г. Свирска на пойму р. Ангары.

Картирование, выполненное по результатам исследования, помогло распознать ореолы со слабой, средней и сильной степенью загрязнения. Максимальный уровень запыленности локализован в зоне, прилегающей к отвалам бывшего АМЗ, с тенденцией дальнейшего распространения в пойму р. Ангары, что оказывает негативное влияние на состав воды в реке и здоровье населения. Следовательно, авторы пришли к выводу, что ликвидация заброшенного цеха АМЗ и его отходов сможет привести к снижению техногенной нагрузки на окружающую среду и локализовать один из мощных источников загрязнения.

Ключевые слова: снеговой покров, минеральный состав, техногенные образования, твердые частицы.

Формат цитирования: Холодова М.С., Пастухов М.В., Полетаева В.И. Особенности минерально-вещественного состава твердофазных выпадений снегового покрова территории г. Свирска // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2016. № 4 (57). С. 109–118. DOI 10.21285/0130-108X-2016-57-4-109-118.

¹Холодова Марина Сергеевна, младший научный сотрудник лаборатории геохимии окружающей среды и физико-химического моделирования, e-mail: akimova@igc.irk.ru

Kholodova Marina, Junior Researcher of the Laboratory of Environmental Geochemistry and Physico-Chemical Modeling, e-mail: akimova@igc.irk.ru

²Пастухов Михаил Владимирович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории геохимии окружающей среды и физико-химического моделирования, тел.: (3952) 511442, e-mail: mpast@igc.irk.ru

Pastukhov Mikhail, Candidate of Biology, Senior Researcher of the Laboratory of Environmental Geochemistry and Physico-Chemical Modeling, tel.: (3952) 511442, e-mail: mpast@igc.irk.ru

³Полетаева Вера Игоревна, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории геохимии окружающей среды и физико-химического моделирования, доцент кафедры геологии и геохимии полезных ископаемых, тел.: (3952) 511442, e-mail: alieva@igc.irk.ru

Poletaeva Vera, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Environmental Geochemistry and Physico-Chemical Modeling, Associate Professor of the Department of Geology and Geochemistry of Minerals, tel.: (3952) 511442, e-mail: alieva@igc.irk.ru

FEATURES OF MINERAL AND MATERIAL COMPOSITION OF SNOW COVER SOLID-PHASE PRECIPITATIONS IN THE TOWN OF SVIRSK AREA

M.S. Kholodova, M.V. Pastukhov, V.I. Poletaeva

A. P. Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAN, 1a, Favorsky St., Irkutsk, 664033, Russia.

Irkutsk Scientific Centre SB RAS, 134, Lermontov St., Irkutsk, 664033, Russia.

Irkutsk National Research Technical University, 83, Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

The purpose of this research is to study the features of microelement and mineralogical composition of solid dust aerosols of snow cover in the zone of influence of technogenic sources of the town of Svirsk. The results of studying mineral and microelement composition of a solid snow deposit formed in the zones affected by the dumps of the Angarsk Arsenic Factory (AAF), the boiler room, and the territory of “the background area” (Svirsk) are presented. The chemical composition of a solid phase of snow was determined by the direct atomic emission analysis. Mineral composition of the solid snow deposit was identified by the X-ray spectral electron probe microanalysis. Chemical elements and minerals that are the markers of technogenic sources of pollution are identified. It is found that the solid deposit of snow in the area of AAF dumps contains high concentrations of As, Hg, Ba, Pb, Cu. Solid atmospheric precipitations in the area of boiler room influence are characterized with high concentrations of Al, Fe, Li, Na, Cu, Zn. The main transfer trend of the gas-and-dust emissions directed from the town of Svirsk to the Angara river floodplain is revealed.

Mapping based on the study results helped to distinguish the areas of low, average and high degree of pollution. The maximum level of dust content is localized in the zone adjacent to the dumps of the former AAF with a tendency of further distribution to the floodplain of the Angara River. This has an adverse effect both on the composition of water in the river and on the health of population. The authors have come to the conclusion that liquidation of the abandoned AAF workshop and its waste will decrease the technogenic load on the environment and localize one of the intense sources of pollution.

Keywords: snow cover, mineral composition, technogenic formations, solid particles

For citation: Kholodova M.S., Pastukhov M.V., Poletaeva V.I. Features of mineral and material composition of snow cover solid-phase precipitations in the town of Svirsk area. Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences, Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits. 2016. No. 4 (57). Pp. 109–118. DOI 10.21285/0130-108X-2016-57-4-109-118.

Введение

Одним из наиболее эффективных методов оценки техногенного загрязнения атмосферного воздуха в зимний период является изучение снегового покрова, химический состав которого формируется за счет как естественных, так и техногенных веществ, поступающих в атмосферу в виде газов, твердых и жидких аэрозолей. Выбросы промышленных предприятий переносятся на значительные расстояния от источников загрязнения и осаждаются в снеговом покрове. Снег, обладающий высокой сорбционной способностью, во время снегопада захватывает существенную часть атмосферных аэрозолей, в результате чего загрязняющие вещества накапливаются в однородном по свойствам естественном субстрате [1, 2].

Значительный вклад в изучении химического состава атмосферных выпадений на территории Южного Байкала

внесли работы ученых ЛИН СО РАН и ИГХ СО РАН [3–8]. Тем не менее изучению снегового покрова как индикатора техногенного загрязнения атмосферного воздуха городов Иркутской области уделяется недостаточно внимания. Это относится и к г. Свирску, промышленные предприятия которого в течение многих десятилетий загрязняли окружающую среду тяжелыми металлами и мышьяком, что в свою очередь негативно сказалось и на здоровье местного населения.

В центральной части города сосредоточены все источники загрязнения территории: местная ТЭЦ и заброшенная промплощадка бывшего Ангарского мышьяковистого завода (АМЗ), расположенная в непосредственной близости к жилой зоне (500 м от р. Ангары). На промплощадке близ бывшего АМЗ находились отходы более 2 тыс. т мышьяка, которые в течение 70 лет оказывали мощное антропогенное воздействие.

Весной 2013 г. вывоз отходов АМЗ закончен и начата рекультивация почвы. Кроме того, в г. Свирске функционирует завод по производству аккумуляторов, который также является источником загрязнения атмосферы – свинцом.

Несмотря на то, что в некоторых научных публикациях хорошо изучены источники загрязнения территории г. Свирска [9, 10], представлены данные мониторинга снегового покрова и почв г. Свирска [11], мало внимания уделяется изучению минерально-вещественной составляющей снегового покрова. Поэтому целью настоящего исследования являлось изучение особенностей микроэлементного и минералогического составов твердых пылеаэрозолей снегового покрова в зоне влияния техногенных источников г. Свирска.

Методы и объекты исследований

Объектом исследования служил твердый осадок снегового покрова. Всего в 2012 г. было отобрано и подготовлено для анализа 16 снеговых проб (рис. 1). В качестве фоновой территории был выбран участок, расположенный на выезде из города. Для сравнительной характеристики использовались фоновые значения концентраций химических элементов для Южного Прибайкалья [12]. Пробы снега весом до 10–15 кг каждая отбирали в полиэтиленовые мешки. Снег растапливали при комнатной температуре и фильтровали. Все работы по отбору, подготовке и анализу снеговых проб проводились в соответствии с методическими рекомендациями [13, 14] и руководству по контролю загрязнения атмосферы (РД 52.04.186 № 2932-83).

Химический состав твердой фазы определяли прямым атомно-эмиссионным анализом по способу испарения вещества из канала электрода и визуальной интерпретацией спектров. Исследования минерального состава твердого осадка снега проводили рентгеноспектральным электронно-зондовым микроанализом (РСМА) на микроанализаторе Superprobe JXA-8200 (JEOL Ltd, Япония). В режиме растрового электронного

микроскопа во вторичных и в обратно рассеянных электронах изучали поверхность, размеры, форму частиц, а также фазовое распределение материала по матрице образцов. Химический состав частиц снегового покрова устанавливали с помощью энергодисперсионного спектрометра. Все химические анализы выполнены в ЦКП «Изотопно-геохимических исследований» ИГХ СО РАН.

Твердый осадок снеговых проб послужил основой для определения пылевой нагрузки Pn , мг/(м²·сут.), то есть количества твердых выпадений за единицу времени на единицу площади. Расчет пылевой нагрузки Pn проводился по формуле [15]

$$Pn = P / (S \cdot T), (1)$$

где P – масса пыли в пробе, мг; S – площадь шурфа, м²; T – время от начала снегостава, сут.

Загрязнение по среднесуточной пылевой нагрузке рассчитывалось по градации, приведенной в работе [15].

Одной из главных характеристик геохимической антропогенной аномалии является коэффициент концентрации KK , который рассчитывали как соотношение содержания элемента в природной среде C к его фоновому содержанию $Cф$:

$$KK = C / Cф. (2)$$

Результаты исследования

Анализ распределения пылевой нагрузки показал, что на территории г. Свирска уровень загрязнения снегового покрова атмосферной пылью по действующей классификации изменяется от низкого до очень высокого. Среднесуточная пылевая нагрузка в г. Свирске и на прилегающих к нему территориях изменяется от 11,23 мг/м² в сут. (за городом), до 1640,42 мг/м² в сут. (см. рис. 1). Среднее значение величины Pn в г. Свирске составляет 281 мг/м² в сут., что превышает фон (62,92 мг/м² в сут.) в 4 раза. Максимальная нагрузка локализована в зоне, прилегающей к отвалам бывшего АМЗ и ТЭЦ, далее распространяясь на р. Ангару.

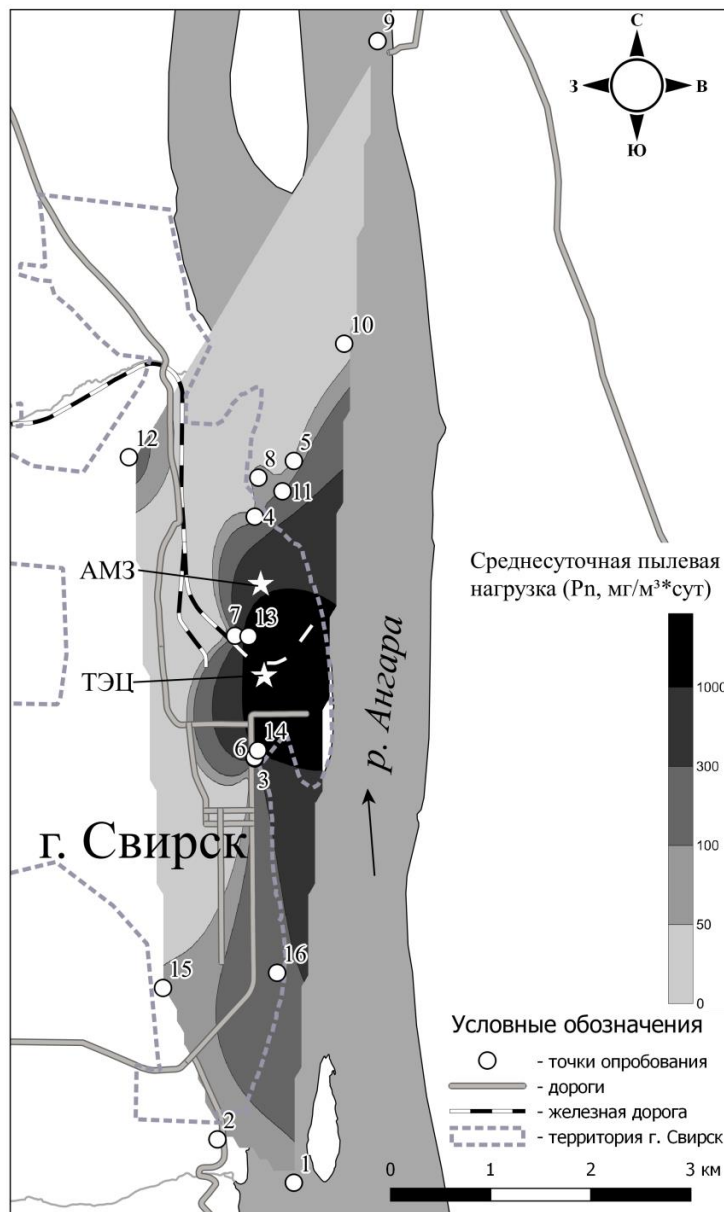


Рис. 1. Схема пространственного распределения величины среднесуточной пылевой нагрузки на территории г. Свирска по данным снегового геохимического опробования, $\text{мг}/\text{м}^2$ в сут.

Все аномалии высокой степени пылевой нагрузки г. Свирска приходятся на район заброшенного цеха АМЗ. Этим аномалиям соответствуют повышенные концентрации следующих химических элементов: Ba, Sr, B, V, Cr, W, Mo, Sn, Sc, Pb, Cu, As, Hg (таблица). Ореолы, образованные этими элементами, имеют вытянутую форму и четкое расположение вдоль р. Ангары. Такое распространение ореолов загрязнения снежного покрова химическими элементами прежде всего связано с преобладанием в данном районе северо-западных ветров, дующих по долине р. Ангары.

В пробе твердого осадка снега, отобранной вблизи заброшенных отвалов бывшего АМЗ, минералы техногенного происхождения (80%) доминируют над природными (15–20%) (рис. 2, а). Спецификой техногенной составляющей вещества данной пробы является присутствие большого количества сферул округлой формы – муллитов – преимущественно железистого состава с размером зерен от 5 до 25 мкм в диаметре. В пробе присутствуют спаянные, сцементированные частицы – конгломераты. К минералу-индикатору мышьяковистых отвалов относятся фрагменты

**Концентрации микроэлементов и доминирующие минералы
в твердом осадке снега г. Свирска, ррт**

Элемент	Фоновая станция	Фон (Южное Прибайкалье)*	Район отвалов бывшего АМЗ	Район вблизи ТЭЦ
Al	80000	–	80000	120000
Fe	30000	–	50000	70000
Ba	300	100	600	300
Sr	200	100	400	150
Li	80	10	100	100
B	100	15	150	100
Ni	50	20	10	60
Co	40	10	40	40
V	150	30	200	100
Cr	80	30	150	60
W	10	1	80	10
Mo	3	1	4	3
Sn	5	1	6	4
Be	12	3	8	12
Sc	30	6	40	30
Pb	100	10	100	80
Cu	250	20	400	200
Zn	100	30	50	200
As	50	5	70	60
Hg	0,39	0,01	0,505	0,22
Доминирующие минералы	Кварц, альбит, калиевой полевой шпат, амфибол, частицы сажи и угля		Муллит, касситерит, асбест, битумы, графит	Частицы сажи, угля и шлака; магнетит, гематит, муллит

*По данным И.С. Ломоносова [12].

зерен эвхроита $[Cu_2 \cdot (AsO_4) \cdot (OH) \cdot 3H_2O]$ – мышьяксодержащего вторичного медистого минерала, возникающего при пирометаллургической переработке рудных концентратов [16].

В шлейфе выбросов городской ТЭЦ фиксируются высокие концентрации таких элементов, как Al, Hg, Fe, Li, Na, Cu, Zn (см. таблицу). По данным работы [17], зола по сравнению с углем, используемым в качестве топлива, в большей степени обогащена этими элементами, что также подтверждается результатами исследования. Тяжелые металлы, содержащиеся в угле, обладают высоким потенциалом мобилизации в газовую фазу при сжигании топлива или конденса-

сируются в виде пленки на поверхности твердых частиц [18–20].

Содержание техногенных частиц в твердом осадке снега в пробе, отобранной возле ТЭЦ, в 3–4,5 раза выше такового для условно фонового района. Минеральный состав этой пробы представлен аморфным веществом (35%), сажой и пористыми частицами пеплов (30%), муллитом (20%), кварцем (10%), гематитом и гетитом (5%) (рис. 2, б). Муллит преимущественно содержится в алюмосиликатных микросферах, являющихся типичными техногенными образованиями. Пористые частицы пеплов имеют размер 40×40 , 20×25 мкм, содержат преимущественно Al и Si. Пористые

частицы пеплов, поступающие в атмосферу, являются характерными для выбросов тепловых электростанций.

Основу пылеаэрозолей условно фоновых районов – на выезде из города на территории Южного Прибайкалья по данным И.С. Ломоносова – составляют природные минеральные образования (80%), тогда как на техногенную составляющую приходится (19–20%). Большое количество частиц состоит из слоистого алюмосиликата и кварца. Встречаются также небольшие частицы амфибола – это серые, светло-серые окатанные и неокатанные частички размером 30×15 , 15×20 мкм (рис. 2, в). Частицы кварцевого состава присутствуют в виде обломочного материала разного размера,

примерно 10×35 , 20×30 мкм. Источниками частиц природного происхождения, возможно, являются почвы, растения, вулканы, космическая пыль, лесные пожары [18–20].

В техногенных зонах г. Свирска, различающихся по источникам загрязнения, выделены группы потенциально токсичных химических элементов, относящихся к I и II классам опасности. Химические элементы были ранжированы в ряды ассоциаций по коэффициентам концентрации. Так, для района бывшего АМЗ этот ряд выглядит следующим образом: $Hg_{(22)} > As_{(12)} > Cu_{(10)} > Pb_{(8)} > Co_{(4)} > Ni_{(3)}$. Для района, отобранного вблизи ТЭЦ, ряд представлен в виде $Hg_{(50)} > Cu_{(20)} > As_{(14)} > Pb_{(10)} > Co_{(4)} > Ni_{(0,5)}$.

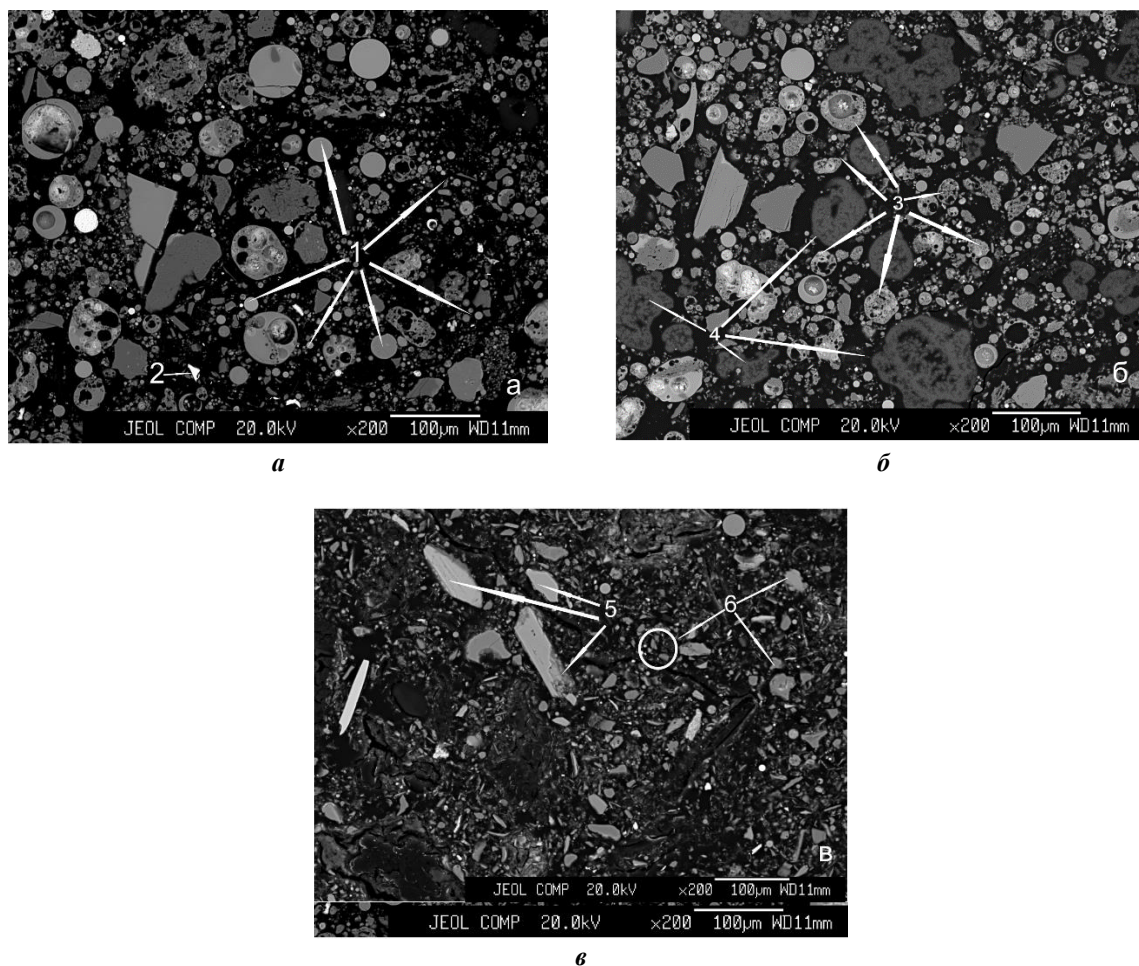


Рис. 2. Общий вид твердого осадка снега с территории г. Свирска

Изображение в обратно рассеянных электронах. Увеличение $200\times$:

а – напротив отвалов бывшего АМЗ; 1 – сферулы муллита ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ с примесями Fe, Ti); 2 – частичка минерала эвхроита [$Cu_2(AsO_4)(OH) \cdot 3H_2O$]; б – район местной ТЭЦ; 3 – пористые частицы пепла сажи; 4 – аморфные области; в – условно фоновый район; 5 – амфибол; 6 – кварц (SiO_2)

Заключение

Территория г. Свирска характеризуется высокой степенью загрязнения. Зона с аномально высокой пылевой нагрузкой примыкает к месту расположения отвалов бывшего АМЗ и ТЭЦ, далее протягиваясь вдоль реки Ангары. Этой зоне также соответствуют и наибольшие концентрации в снеговом покрове основных для данного района элементов-загрязнителей – Pb, Cd, As, Hg и т.д. При таянии снега значительная часть накопившихся в нем твердых пылеаэрозолей, и следовательно, потенциально токсичных элементов, может поступать в р. Ангару, тем самым создавая дополнительный источник загрязнения.

Выявлено, что в зоне влияния предприятий теплоэнергетики специфичными элементами, минеральными фазами и техногенными образованиями для пылевых аэрозолей, осевших на снеговом покрове, являются Al, Hg, Fe, Li, Na, Cu, Zn, частицы сажи, угля и шлака, магнетит, гематит, муллит; для отвалов бывшего АМЗ – Ba, Sr, B, V, Cr, W, Mo, Sn,

Sc, Pb, Cu, As, Hg, муллит, цементированные конгломераты, эвхроит, асбест, битумы, графит. В условно фоновых районах г. Свирска природная минеральная составляющая пылеаэрозолей в зимний период представлена в основном частицами кварца, калиевого полевого шпата, амфиболом, слоистыми алюмосиликатами, которые поступают главным образом за счет ветровой эрозии с берегов р. Ангары и обнаженных скальных участков. Таким образом, помимо повышенных концентраций определенных химических элементов специфическим маркером загрязнения снегового покрова разными техногенными источниками является минералогический состав твердых пылеаэрозолей.

Работа выполнена в рамках Интеграционной Программы ИИЦ СО РАН «Фундаментальные исследования и прорывные технологии как основа опережающего развития Байкальского региона и его межрегиональных связей» (0341-2015-0001), проект № 3.4.

Библиографический список

1. Ардаков Г.Н. Использование снежного покрова в городах для оценки их влияния на окружающую природную среду: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Самара, 2004. 21 с.
2. Валетдинов А.Р. Технология комплексной оценки влияния промышленных объектов на загрязненность тяжелыми металлами природных сред по результатам мониторинга снежного покрова: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2006. 19 с.
3. Белозерцева И.А., Воробьева И.Б., Власова Н.В., Лопатина Д.Н., Янчук М.С. Загрязнение атмосферы и содержание фтора в снеге на акватории оз. Байкал // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-2. С. 735.
4. Коваль Г.П., Белоголова Г.А. Антропогенная трансформация природных геохимических распределений Прибайкалья // Глобальные изменения природной среды. 1998. № 3. С. 248–257.
5. Королева Г.П., Горшков А.Г., Виноградова Т.П. [и др.]. Исследование загрязнения снегового покрова как деполирующей среды // Химия в интересах устойчивого развития. 1998. № 1. С. 227–237.
6. Нецветаева О.Г., Голобокова Л.Н., Макухин В.Л., Оболкин В.А., Кобелева Н.А. Экспериментальные и теоретические исследования ионного состава атмосферных осадков в регионе Южного Байкала // Оптика атмосферы и океана. 2003. Т. 16. № 5-6. С. 432–437.
7. Оболкин В.А., Кобелева Н.А., Ходжер Т.В., Колмогоров С.Ю. Элементный состав нерастворимой фракции зимних атмосферных выпадений в некоторых районах Южного Прибайкалья // Оптика атмосферы и океана. 2004. Т. 17. № 5-6. С. 414–417.
8. Онищук Н.А. Элементный состав атмосферных выпадений на Байкальской природной территории //

Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22. № 6. С. 579–584.

9. Богданов А.В., Качор О.А., Федотов К.В., Чайка Н.В. Ликвидация последствий деятельности мышьякового производства горно-перерабатывающей промышленности // Экология и промышленность России. 2014. № 2. С. 31–35.

10. Михайлова О.С., Мусихина Е.А. Загрязнения тяжелыми металлами Братского водохранилища в районе г. Свирска // Вода: химия и экология. 2013. № 5. С. 15–19.

11. Качор О.Л., Сидоров И.М., Чайка В.Н., Шатрова А.С. Мониторинг загрязнения снежного покрова района МО «Город Свирск» // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 10 (81). С. 82–86.

12. Ломоносов И.С., Макарова В.Н. Хаустов А.В [и др.]. Экогеохимия городов Восточной Сибири. Якутск: Изд-во Ин-та мерзлотоведения СО РАН, 1993. 108 с.

13. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве. М.: Изд-во ИМГРЭ, 1990. 8 с.

14. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими

элементами. М.: Изд-во ИМГРЭ, 1982. 112 с.

15. Язиков Е.Г., Таловская А.В., Жорняк Л.В. Оценка эколого-геохимического состояния территории г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей и почв: монография. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. 264 с.

16. Андреева И.С. [и др.]. Аэрозоли Сибири / отв. ред. К.П. Куценогий. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. 548 с.

17. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2005. 596 с.

18. Бортникова С.Б., Рапута В.Ф., Дэвятова А.Ю., Юдахин Ф.Н. Методы анализа данных загрязнения снегового покрова в зонах влияния промышленных предприятия (на примере г. Новосибирска) // Геоэкология. 2009. № 6. С. 515–525.

19. Кизильштейн Л.Я. Экогеохимия элементов-примесей в углях. Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2002. 295 с.

20. Скворцов В.А., Федорова Н.В., Рогова В.П., Чурсин Д.А. Твердые фазы аэрозолей в природно-технических системах городов Прибайкалья // Геоэкология. 2011. № 1. С. 31–39.

References

1. Ardakov G.N. *Ispol'zovanie snezhnogo pokrova v gorodakh dlya otsenki ikh vliyaniya na okruzhayushchuyu prirodnyuyu sredu: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Use of snow cover in cities for the assessment of their environmental impact: Abstract of the Candidate's Dissertation in technical sciences]. Samara, 2004. 21p.

2. Valetdinov A.R. *Tekhnologiya kompleksnoi otsenki vliyaniya promyshlennykh ob"ektov na zagryaznennost' tyazhelymi metallami prirodnykh sred po rezul'tatam monitoringa snezhnogo pokrova: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Technology of the comprehensive assessment of the

industrial facility impact on the contamination of environment with heavy metals by snow cover monitoring results: Abstract of the Candidate's Dissertation in technical sciences]. Kazan', 2006. 19 p.

3. Belozertseva I.A., Vorob'eva I.B., Vlasova N.V., Lopatina D.N., Yanchuk M.S. *Zagryaznenie atmosfery i sodержание flora v snege na akvatorii oz. Baikal* [Atmospheric pollution and the fluorine content in the snow in Baikal lakescape]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2015, no. 2-2, pp. 735.

4. Koval' G.P., Belogolova G.A. *Antropogennaya transformatsiya prirodnykh geo-khimicheskikh raspredelenii Pribaikal'ya* [Anthropogenic transformation of natural geochemical distributions of the Baikal area]. *Global'nye izmeneniya prirodnoi sredy* [Global environmental changes], 1998, no. 3, pp. 248–257.
5. Koroleva G.P., Gorshkov A.G., Vinogradova T.P. *Issledovanie zagryazneniya snegovogo pokrova kak deponiruyushchei sredy* [The study of pollution of snow cover as a deposit medium]. *Khimiya v interesakh ustoichivogo razvitiya* [Chemistry for sustainable development], 1998, no. 1, pp. 227–237.
6. Netsvetaeva O.G., Golobokova L.N., Makukhin V.L., Obolkin V.A., Kobeleva N.A. *Eksperimental'nye i teoreticheskie issledovaniya ionnogo sostava atmosferykh osadkov v regione Yuzhnogo Baikala* [Experimental and theoretical studies of ion composition in precipitations of the South Baikal area]. *Optika atmosfery i okeana* [Atmospheric and Ocean Optics], 2003, v. 16, no. 5-6, pp. 432–437.
7. Obolkin V.A., Kobeleva N.A., Khodzher T.V., Kolmogorov S.Yu. *Elementnyi sostav nerastvorimoi fraktsii zimnikh atmosferykh выпадений v nekotorykh raionakh Yuzhnogo Pribaikal'ya* [The element composition of the insoluble fraction of winter atmospheric precipitation in some parts of the South Baikal region]. *Optika atmosfery i okeana* [Atmospheric and Ocean Optics], 2004, v. 17, no 5-6, pp. 414–417.
8. Onishchuk N.A. *Elementnyi sostav atmosferykh выпадений na Baikalskoi prirodnoi territorii* [The element composition of atmospheric precipitation in the Baikal natural territory]. *Optika atmosfery i okeana* [Atmospheric and Ocean Optics], 2009, v. 22, no 6, pp. 579–584.
9. Bogdanov A.V., Kachor O.A., Fedotov K.V., Chaika N.V. *Likvidatsiya posledstviy deyatelnosti mysh'yakovogo proizvodstva gorno-pererabatyvayushchei promyshlennosti* [Elimination of the effects of mining and processing industry arsenic production]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2014, no. 2, pp. 31–35.
10. Mikhailova O.S., Musikhina E.A. *Zagryazneniya tyazhelymi metallami Bratskogo vodokhranilishcha v raione g. Svirsk* [Bratsk reservoir contamination with heavy metal in the area of the town of Svirsk]. *Voda: khimiya i ekologiya* [Water: chemistry and ecology], 2013, no. 5, pp. 15–19.
11. Kachor O.L., Sidorov I.M., Chaika V.N., Shatrova A.S. *Monitoring zagryazneniya snezhnogo pokrova raiona MO «Gorod Svirsk»* [Snow cover pollution monitoring in “Town of Svirsk” municipal formation area]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of Irkutsk State Technical University], 2013, no. 10 (81), pp. 82–86.
12. Lomonosov I.S., Makarova V.N., Khaustov A.V. *Ekogeokhimiya gorodov Vostochnoi Sibiri* [Ecogeochemistry of Eastern Siberia cities]. Yakutsk, Institut merzlotovedeniya SO RAN Publ., 1993. 108 p.
13. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke stepeni zagryazneniya atmosfernogo vozdukhа naseleennykh punktov metallami po ikh sodержaniyu v snezhnom pokrove i pochve* [Methodological recommendations on the assessment of the degree of settlement air pollution with metals by their content in the snow cover and soil]. Moscow, IMGRE Publ., 1990. 8 p.
14. *Metodicheskie rekomendatsii po geokhimicheskoi otsenke zagryazneniya territorii gorodov khimicheskimi elementami* [Methodological recommendations on geochemical assessment of towns contamination with chemical elements]. Moscow, IMGRE Publ., 1982. 112 p.
15. Yazikov E.G., Talovskaya A.V., Zhorniyak L.V. *Otsenka ekologo-geokhimicheskogo sostoyaniya territorii g. Tomskа po dannym izucheniya pyleaerozolei i pochv: monografiya* [Evaluation of ecological and geochemical state of the city of Tomsk based on the data of studying dust aerosols and soil]. Tomsk, Tomskii politekhnicheskii universitet Publ., 2010. 264 p.

16. Andreeva I.S. *Aerozoli Sibiri* [Aerosols of Siberia]. Novosibirsk, SO RAN Publ., 2006. 548 p.

17. Yudovich Ya.E., Ketris M.P. *Toksichnye elementy-primesi v iskovayemykh uglyakh* [Toxic impurity elements in mineral carbons]. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 2005. 596 p.

18. Bortnikova S.B., Raputa V.F., Devyatova A.Yu., Yudakhin F.N. *Metody analiza dannykh zagryazneniya snegovogo pokrova v zonakh vliyaniya promyshlennykh predpriyatiy (na primere g. Novosibirska)* [Analysis methods of data on snow

cover pollution in the zones of industrial enterprise influence (On example of Novosibirsk city)]. *Geoekologiya* [Geoecology], 2009, no. 6, pp. 515–525.

19. Kizil'shtein L.Ya. *Ekogeokhimiya elementov-primesei v uglyakh* [Ecogeochemistry of impurities in coals]. Rostov-na-Donu, SKNTs VSh Publ., 2002. 295 p.

20. Skvortsov V.A., Fedorova N.V., Rogova V.P., Chursin D.A. *Tverdye fazy aerosolei v prirodno-tekhnicheskikh sistemakh gorodov Pribaikal'ya* [Solid phase of aerosols in the natural and technical systems of the Baikal region cities]. *Geoekologiya* [Geoecology], 2011, no. 1, pp. 31–39.

Статья поступила 18.10.2016 г.

Article received 18.10.2016.