

Оценка содержания микроэлементов в снежном покрове юга Западной Сибири

В.Н. Степанец, Т.Г. Серых, Т.С. Папина

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, stepanets.valeria@yandex.ru

Рассматриваются результаты анализа химического состава снежного покрова, отобранного на юге Западной Сибири в марте 2018 г. Проведено исследование концентраций водорастворимых и кислоторастворимых форм Al, As, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb и V в интегральных пробах снежного покрова. Показано, что содержание кислоторастворимых форм As, Cr, Cu, Mn, Ni, Sb, Ti, V превышали их водорастворимые формы не более, чем в 2 раза. В то же время для Al, Pb и Fe превышение кислоторастворимых форм в 4—8 раз свидетельствуют об их преимущественной связи с минеральными плохо растворимыми в воде аэрозолями. С помощью коэффициента обогащения установлено, что поступление исследуемых элементов происходит в результате их эмиссии от природных источников (Al, Cr, Fe, Mn, Ni и V) или имеет смешанное происхождение (As, Cu, Pb), при этом наибольшая степень загрязнения относительно фоновой территории характерна для Ni, Sb и V.

Ключевые слова: снежный покров, химический состав, микроэлементы, водорастворимые и кислоторастворимые формы, коэффициент обогащения.

Chemical composition of snow cover in the south of Western Siberia

V.N. Stepanets, T.G. Serykh, T.S. Papina

Institute for water and environmental problems SB RAS, Barnaul, Russia

In order to investigate the compositions of trace elements in the seasonal snow cover in the south of Western Siberia (from 52° to 55° N), snow samples were collected from 10 sites in March 2018. This study presents a dataset on the solubles of trace metals, including Al, As, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb, V. Trace metals concentrations were determined using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICAP Qc, Thermo Fisher Scientific). The meltwater was filtered through membrane filters followed by acidification of the filtrate by HNO₃ to pH ≤ 2. Thus, the determined metal concentrations in this set represented the water-soluble fraction. The second set of unfiltered precipitation samples was acidified to pH ≤ 2 using HNO₃ to extract acid leachable forms.

To further evaluate the contamination of snow cover, the contamination factor representing the ratio between the concentration measured in meltwater and the background value for the respective trace metal in the State Nature Biosphere reserve «Katunsky» was calculated. Based on the individual contamination factor of trace metal concentration, meltwater was moderately contaminated with the acid-soluble form of Al, As, Cu, Fe, Mn and Pb ($1 < K_c < 3$) and considerably contaminated with Ni, Sb и V ($3 < K_c < 6$).

The metals Al, As, Cu, Fe, Ni, Sb, Pb and V were predominant in the acid-soluble forms of the snow samples, whilst Cr and Mn were comparable in acid-soluble and water-soluble forms. Greater enrichment with the acid-soluble trace elements forms (As, Cr, Cu, Mn, Ni and V) compared to the water-soluble form was observed in the meltwater in the south of Western Siberia. The main sources of these elements seem to be the motor vehicle emissions resulting from fuel combustion, vehicle parts wear, wind transport soil particles, industrial emissions, and regional pollutant migration.

Keywords: snow cover, chemical composition, trace metal, water-soluble and acid-soluble fractions, enrichment factor.

For citation: *V.N. Stepanets, T.G. Serykh, T.S. Papina. Chemical composition of snow cover in the south of Western Siberia. *Gidrometeorologiya i Ekologiya. Journal of Hydrometeorology and Ecology.* 2021, 64: 480—492. [In Russian]. doi: 10.33933/2713-3001-2021-64-480-492.*

Введение

Экологическое состояние природной среды в значительной степени определяется процессами циркуляции атмосферы. При этом в атмосфере транспортируются химические вещества различного происхождения (природного и/или антропогенного) [1]. В последующем вещества из атмосферы осаждаются под действием силы тяжести или вымываются атмосферными осадками в местах, удаленных от их первоначальных источников. Помимо кислотообразующих веществ, осадки содержат химические элементы, которые в зависимости от их физико-химических свойств, биодоступности и токсичности могут проникать в почву и поверхностные воды, изменяя их естественное равновесие в природной среде [2—6].

Для водных и почвенных сред токсическое воздействие микроэлементов имеет большое значение, поэтому количественное определение их концентраций и растворимости в образцах сухого и влажного осаждения является важной частью изучения загрязнения атмосферы. Согласно исследованиям, из-за высокой доли растворимых фракций экотоксические свойства микроэлементов при влажном осаждении проявляются гораздо больше, чем при сухом. Выделение этих металлов из частиц в сток воды происходит в течение нескольких минут. При этом растворимость микроэлементов непочвенного происхождения может изменяться в зависимости от pH, а также во время выпадения атмосферных осадков [7—9].

Наиболее доступным и информативным способом оценки аэрогенного поступления загрязняющих веществ, в том числе за счет дальнего переноса, является изучение химического состава снежного покрова [10, 11]. Гидрохимический мониторинг снежного покрова дает возможность оценить динамику исследуемых показателей, роль природных и антропогенных источников в формировании его химического состава на различных участках территории и в последующем оценить влияние снежного покрова на химический состав поверхностных вод [12].

Цель работы — изучить микроэлементный состав снежного покрова на юге Западной Сибири и выявить факторы, оказывающие влияние на его формирование.

Исходные материалы и методы исследований

Маршрутное обследование проводилось в марте 2018 г. в период максимального снегонакопления. Отбор интегральных проб снежного покрова выполнен в 10 точках на территории юга Западной Сибири (рис. 1). Место отбора располагалось в поле на открытой ровной площадке, удаленной от естественных барьеров, линий электропередач и местных источников загрязнения атмосферы.

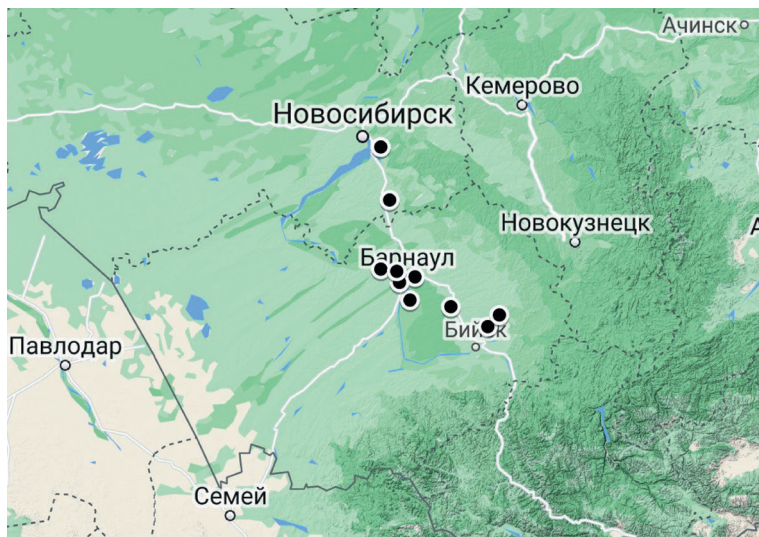


Рис. 1. Карта-схема отбора проб снежного покрова.

Fig. 1. Map showing the sampling site of the snow cover.

В каждой точке проводили отбор составной пробы методом конверта (размером около 10×10 м), используя в качестве пробоотборника пластиковую трубу. Полученная таким образом проба состояла из 5 кернов снега, объединенных в один полиэтиленовый мешок. Отбор каждого керна выполнялся из шурфа на всю глубину залегания снега за исключением 5 см слоя над почвой, для отделения которого использовали тонкую пластиковую пластину, позволяющую изолировать основание трубы от нижнего слоя. Данная методика отбора позволяет получить усредненную величину загрязнения с момента установления снежного покрова до начала отбора [13].

Микроэлементный анализ проб снежного покрова выполнен в Химико-аналитическом центре Института водных и экологических проблем СО РАН. Образцы проб плавил в закрытых пластиковых контейнерах при комнатной температуре и фиксировали объем. Часть полученного объема талых вод фильтровали через мембранный фильтр 0,45 мкм для удаления взвешенных частиц, затем в фильтрат добавляли свежеперегнанную азотную кислоту до $\text{pH} \leq 2$ (водорастворимая фракция). Вторую часть нефiltroванного образца подкисляли до $\text{pH} \leq 2$ для извлечения экологически подвижных форм элементов (кислоторастворимая фракция). Концентрацию микроэлементов (Al, As, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb, V) в исследуемых образцах определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) (прибор iCAP-Qc, Termo Fisher Scientific). Предел обнаружения составлял 0,4; 0,01; 0,08; 0,1; 0,2; 0,07; 0,03; 0,03; 0,002 и 0,01 мкг/дм³ для Al, As, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb, V соответственно. Погрешность определения микроэлементов в пробах составляла не более ± 20 %.

Результаты исследования и их обсуждение

Содержание водорастворимых и кислоторастворимых форм элементов и варьирование концентраций в снежном покрове приведены в табл. 1. В фильтрах талой воды концентрации микроэлементов, усредненные по пунктам наблюдения, можно расположить в следующем порядке: $Fe > Al > Mn > Pb > Cu > Cr > Ni > As > V > Sb$, практически аналогичный порядок убывания ($Fe > Al > Mn > Pb > Cu > Cr > Ni > V > As > Sb$) наблюдался для микроэлементов и в кислоторастворимой форме. При этом статистические данные о содержании элементов (табл. 1) показывают, что их концентрации варьировали в широком диапазоне. Для Al, As, Cr, Cu, Fe, Mn и V характерно неравномерное, а для таких металлов, как Ni, Pb, Sb, крайне неравномерное распределение (в последнем случае коэффициент вариации v составил более 100 %). Как правило, для элементов с более низким значением коэффициента вариации характерно поступление преимущественно из природных источников, в то время как элементы с более высоким значением подвержены антропогенному влиянию [14—16]. Вместе с тем столь сильный разброс концентраций микроэлементов в снеге может быть вполне естественен и обусловлен условиями формирования примесей [17].

Для оценки содержания водо- и кислоторастворимых форм исследуемых показателей использовался коэффициент концентрации (K_c), рассчитываемый как отношение концентрации элемента к его фоновому значению:

$$K_c = \frac{C_i}{C_b},$$

где C_i — средняя концентрация элемента в снежном покрове по всем пунктам наблюдения; C_b — фоновая концентрация элемента [21—24]. В качестве фоновой концентрации использованы результаты микроэлементного состава снежного покрова в Государственном природном биосферном заповеднике «Катунский» (Республика Алтай), не испытывающим антропогенной нагрузки [11]. Коэффициент концентрации позволяет оценить во сколько раз уровень концентрации вещества выше (или ниже) фоновый. Так, значения коэффициента менее 1 указывает на низкое загрязнение, от 1 до 3 — на умеренное, от 3 до 6 — на значительное, а более 6 — на очень высокое загрязнение [24].

Результаты анализа снежного покрова показали, что содержание водорастворимого и кислоторастворимого хрома сопоставимы в исследуемых образцах талых вод (рис. 2). Содержание кислоторастворимых форм таких элементов, как As, Cu, Mn, Ni, Sb, Ti, V, превышало содержание их водорастворимых форм в 2 раза. Следовательно, можно предположить, что доля данных металлов в нерастворимых частицах незначительна. При этом концентрации кислоторастворимых форм Al, Pb и Fe значительно выше относительно концентраций их водорастворимых форм (превышение в 4—8 раз). Известно, что в снеговой воде данные элементы связаны с большим количеством нерастворимых частиц (которые преимущественно ассоциированы с минеральными аэрозолями) и, как правило, менее растворимы, чем эти же элементы из антропогенных источников [18—20]. В целом, растворимость всех исследуемых микроэлементов изменяется в широких пределах между отдельными участками отбора проб.

Содержание и варьирование концентраций
водорастворимых и кислоторастворимых форм микроэлементов в снеговой воде
Content and variation of concentrations
of water-soluble and acid-soluble forms of trace elements in snow water

Элемент	Водорастворимые формы			Кислоторастворимые формы			Фон [11], мкг/дм ³
	С*, мкг/дм ³	v, %	K _c	С*, мкг/дм ³	v, %	K _c	
Al	<u>6,5 – 16,8</u> 12,1	25	0,1	<u>31 – 328</u> 128	80	1,2	103
As	<u>0,15 – 0,49</u> 0,24	49	1,2	<u>0,21 – 1,0</u> 0,50	58	2,5	0,20
Cr	<u>0,31 – 1,7</u> 0,98	61	0,5	<u>0,48 – 2,5</u> 1,4	49	0,8	1,8
Cu	<u>0,76 – 2,2</u> 1,3	37	1,1	<u>1,1 – 4,8</u> 2,3	56	1,9	1,2
Fe	<u>10,2 – 41</u> 17,4	52	0,2	<u>67 – 478</u> 202	72	2,2	94
Mn	<u>4,5 – 12,1</u> 7,4	35	1,4	<u>4 – 18</u> 11	43	2,1	5,1
Ni	<u>0,30 – 0,61</u> 0,44	24	1,2	<u>0,33 – 4,8</u> 1,2	103	3,4	0,36
Pb	<u>0,21 – 9,2</u> 1,5	168	0,6	<u>1,4 – 27</u> 5,7	125	2,1	2,7
Sb	<u>0,05 – 0,59</u> 0,12	128	2,5	<u>0,06 – 1,2</u> 0,29	115	5,9	0,04
V	<u>0,20 – 0,41</u> 0,24	29	1,4	<u>0,29 – 1,9</u> 0,78	68	4,6	0,17

*С — концентрация микроэлемента (числитель — минимальное и максимальное значения, знаменатель — среднее значение); v — коэффициент вариации, рассчитанный для 10 составных проб.

Исходя из рассчитанных коэффициентов концентраций, снежный покров на изучаемой территории в марте 2018 г. слабо загрязнен кислоторастворимыми формами Cr ($K_c < 1$), умеренно загрязнен Al, As, Cu, Fe, Mn и Pb ($1 < K_c < 3$) и значительно загрязнен Ni, Sb и V ($3 < K_c < 6$). Анализ содержания водорастворимых форм микроэлементов показал, что талые воды слабо загрязнены Al, Cr, Fe и Pb ($K_c < 1$) и умеренно загрязнены As, Cu, Sb, V, Ni и Mn ($1 < K_c < 3$).

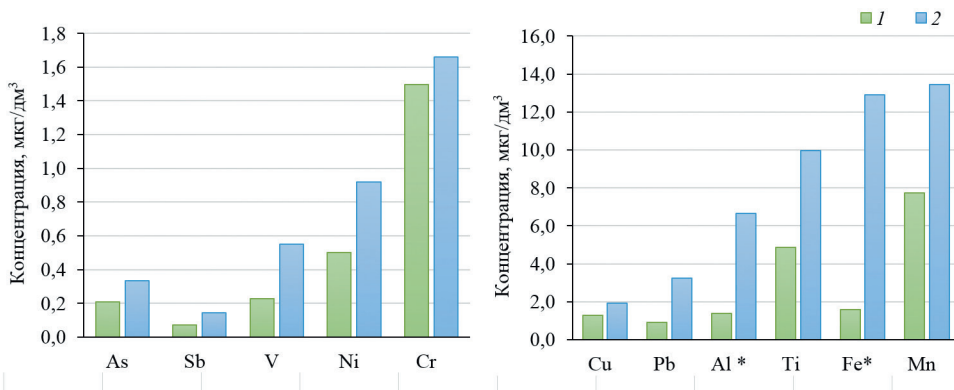


Рис. 2. Медианное значение концентрации водорастворимых и кислоторастворимых форм:

1 — водорастворимая форма; 2 — кислоторастворимая форма; * — концентрация приведена в 10^{-1} .

Fig. 2. Median concentration of water-soluble and acid-soluble forms:

1 — water-soluble form; 2 — acid-soluble form; * — concentration is given in 10^{-1} .

Для дифференциации поступления микроэлементов между антропогенными и природными источниками широко используется коэффициент обогащения (EF), который показывает обогащение исследуемых образцов конкретными элементами по отношению к природному фону:

$$EF = \frac{(C_i/C_{Ti})}{(K_i/K_{Ti})},$$

где C_i и C_{Ti} — среднее содержание i -го и эталонного элементов в снежном покрове; K_i и K_{Ti} — кларки i -го и эталонного элементов в верхней части континентальной земной коры [25, 26]. В данной работе в качестве эталонной величины использовалось содержание T_i в земной коре [25].

Источники поступления элементов классифицируются на три группы в зависимости от рассчитанной величины. Низкие значения коэффициента обогащения ($EF < 10$) указывают на то, что основным источником изучаемого элемента является минеральная пыль. Элементы с коэффициентами обогащения в интервале от 10 до 100 считаются умеренно обогащенными и имеют смешанное происхождение. Значение коэффициента $EF > 100$ характеризует существенный вклад антропогенного источника [26—28].

Значение коэффициента обогащения (EF), рассчитанное относительно T_i в качестве эталонного элемента (рис. 3), показало, что снежный покров юга Западной Сибири не обогащен Al, Cr, Fe, Mn, Ni и V — значения EF варьирует от 0,01 до 10 для обеих форм. Этот результат свидетельствует об естественном происхождении элементов в пробах снежного покрова (в основном из почво-грунтов).

Полученные данные показали, что снежный покров умеренно обогащен такими элементами как As, Cu и Pb ($10 < EF < 100$), однако для свинца выявлено

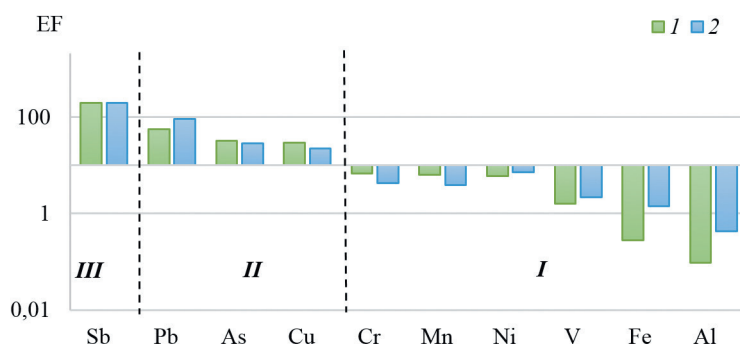


Рис. 3. Коэффициенты обогащения (EF) водорастворимых (1) и кислоторастворимых (2) форм микроэлементов в снежном покрове:

I — небогатенные; II — умеренно обогащенные; III — высоко обогащенные.

Fig. 3. Enrichment factors (EF) of water-soluble (1) and acid-soluble (2) trace metal speciation in snow cover:

I — low enriched, II — moderately enriched, III — highly enriched.

наибольшее обогащение его кислоторастворимой формой (EF = 93) по сравнению с водорастворимой (EF = 57), аналогичный результат получен и для Al, Fe и V. Для большинства микроэлементов рассчитанное значение коэффициента обогащения обеих форм было сопоставимо.

Можно предположить, что для тех металлов, для которых наблюдалось обогащение кислоторастворимых форм над водорастворимыми, основными источниками их поступления в снежный покров могут быть выбросы автотранспорта в результате сгорания топлива, износа деталей транспортных средств, истирания дорожного покрытия, ветрового переноса частиц придорожного грунта, промышленных выбросов и трансграничного переноса загрязняющих веществ [26, 29, 30].

Чтобы оценить уровень содержания микроэлементов (водорастворимая форма) в пределах исследуемой территории, проведено сравнение полученных данных с результатами исследования снежного покрова в пределах Западной Сибири (табл. 2).

Анализ данных показывает, что полученные нами результаты содержания водорастворимых форм Al, As, Fe и Sb в снеге сопоставимы с литературными данными — значения их концентраций находились на уровне значений для этих элементов в снежном покрове фоновых территорий Западной Сибири [17, 34]. По содержанию Cu, Pb, Ni и V в снеговой воде фиксируется повышенное содержание относительно фоновых территорий и более низкое относительно антропогенно-нагруженных районов [17, 34—36]. Концентрации Cr и Mn имеют повышенное содержание относительно приведенных территорий и близки к их содержанию в зоне воздействия выбросов нефтехимической и нефтеперерабатывающей отрасли [36].

Таблица 2

Сравнение концентрации микроэлементов (мкг/дм³)
в снеге Западной Сибири с ранее проведенными исследованиями
Elemental concentrations (µg/dm³) in snow compared with previously reported
concentrations in the Western Siberia

Место отбора проб	Al	As	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sb	V
Юг Западной Сибири*	13,3	0,27	1,10	1,4	19,1	8,1	0,48	1,7	0,14	0,27
Западно-Сибирская низменность [34]	12,3	0,15	0,11	0,6	12,0	2,9	0,36	0,38	0,03	0,04
Центральный сектор Западной Сибири [17]	10,3	—	0,08	0,4	15,0	2,90	0,18	0,3	0,020	0,08
Омск [36]	94,2	0,94	1,13	1,7	71,7	10	1,60	4,5	0,16	4,1
Томск [36]	112	0,77	0,80	3,1	7,1	44,5	0,97	2,56	0,24	0,6
Новосибирск [35]	—	1,40	0,04	2,3	58,0	5,2	1,00	0,64	0,33	—

* Результаты данной работы.

Заключение

В результате изучения снежного покрова юга Западной Сибири в марте 2018 г. установлено, что на исследуемой территории наблюдается увеличение содержания определяемых микроэлементов по сравнению с Катунским природным биосферным заповедником, который является фоновым участком и не подвержен прямому антропогенному воздействию. Относительно фонового участка снежный покров умеренно загрязнен кислоторастворимыми формами Al, As, Cu, Fe, Mn и Pb ($1 < K_c < 3$) и значительно загрязнен Ni, Sb и V ($3 < K_c < 6$).

Показано, что содержание кислоторастворимых форм As, Cr, Cu, Mn, Ni, Sb, Ti, V превышали их водорастворимые формы не более, чем в 2 раза. Это указывает на то, что доля данных металлов в нерастворимых в воде частицах незначительна. В то же время аналогичные превышения в 4—8 раз для Al, Pb и Fe свидетельствуют об их преимущественной связи с минеральными плохо растворимыми в воде аэрозолями.

Рассчитанный коэффициент обогащения показал, что снежный покров не обогащен Al, Cr, Fe, Mn, Ni и V, следовательно, для них источником происхождения являются почво-грунты ($0,01 < EF < 10$). Смешанное происхождение, как от природных, так и антропогенных источников, характерно для As, Cu и Pb ($10 < EF < 100$). Значительное обогащение Sb ($EF > 100$) в пробах снежного покрова указывает на поступление преимущественно в результате антропогенной деятельности.

Благодарности

Авторы благодарны сотрудникам Химико-аналитического центра ИВЭП СО РАН за помощь при проведении исследования. Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН (№ 0306-2021-0004).

Acknowledgements

Authors special thanks go to the staff of the Chemical Analytical Centre who took part in the research. This work was carried out under the investigational program of the IWEP SB RAS (№ 0306-2021-0004).

Список литературы

1. *Amodio M., Catino S., Dambruoso P.R., De Gennaro G., Di Gilio A., Giungato, P., Tutino M.* Atmospheric deposition: sampling procedures, analytical methods, and main recent findings from the scientific literature // *Advances in Meteorology*. 2014. V. 2014. P. 27. doi: 10.1155/2014/161730.
2. *Kondrat'ev I.I., Mukha D.E., Boldeskul, A.G., Yurchenko, S.G., Lutsenko T.N.* Chemical composition of precipitation and snow cover in the Primorsky Krai // *Russian Meteorology and Hydrology*. 2017. V. 42. № 1. P. 64—70.
3. *Montoya-Mayor R., Fernández-Espinosa A.J., Seijo-Delgado I., Ternero-Rodríguez M.* Determination of soluble ultra-trace metals and metalloids in rainwater and atmospheric deposition fluxes: A 2-year survey and assessment // *Chemosphere*. 2013. V. 92, № 8, P. 882—891.
4. *Bisquert D.S., Peñas-Castejón J.M., Garcia-Fernandez G.* The impact of atmospheric dust deposition and trace elements levels on the villages surrounding the former mining areas in a semi-arid environment (SE Spain) // *Atmospheric Environment*. 2017. V. 152. P. 256—269. doi: 10.1016/j.atmosenv.2016.12.043.
5. *Cable E., Deng Y.* Trace elements in atmospheric wet precipitation in the Detroit metropolitan area: Levels and possible sources // *Chemosphere*. 2018. V. 210. P. 1091—1098. doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.07.103.
6. *Ma Y., Tang Y., Xu H., Zhang X., Liu H., Wang S., Zhang W.* Bulk/wet deposition of trace metals to rural, industrial, and urban areas in the Yangtze River Delta, China // *Ecotoxicology and environmental safety*. 2019. V. 169. P. 185—191.
7. *Cizmecioğlu S.C., Muezzinoglu A.* Solubility of deposited airborne heavy metals // *Atmospheric Research*. 2008. V. 89, № 4. P. 396—404. doi: 10.1016/j.atmosres.2008.03.012.
8. *Goix S., Lévêque T., Xiong T.T., Schreck E., Baeza-Squiban A., Geret F., Dumat C.* Environmental and health impacts of fine and ultrafine metallic particles: Assessment of threat scores // *Environmental Research*. 2014. V. 133. P. 185—194. doi: 10.1016/j.envres.2014.05.015.
9. *Sánchez A.S., Cohim E., Kalid R.A.* A review on physicochemical and microbiological contamination of roof-harvested rainwater in urban areas // *Sustainability of Water Quality and Ecology*. 2015. V. 6. P. 119—137. doi: 10.1016/j.swaqe.2015.04.002.
10. *Василевич М. И., Симакин Л.В.* Особенности формирования химического состава снежного покрова на территории Печоро-Илычского биосферного заповедника // *Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. 2017. № 5. С. 48—56.
11. *Папина Т.С., Эйрих А.Н., Малыгина Н.С., Эйрих С.С., Останин О.В., Яшина Т.В.* Микроэлементный и изотопный состав снежного покрова Катунского природного биосферного заповедника (Республика Алтай) // *Лед и Снег*. 2018. Т. 58. № 1. С. 41—55.
12. *Ветров В.А.* Мониторинг химического состава снежного покрова: концепция, методология и результаты за 30 лет наблюдений // *Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России: материалы II Всероссийской научн.-практ. конф.* 2019. Иркутск: Иркутский государственный университет, 2019. С. 699—713.
13. *Таловская А.В., Симоненков Д.В., Филимоненко Е.А., Белан Б.Д., Язиков Е.Г., Рычкова Д.А., Ильенко С.С.* Исследование состава пылевого аэрозоля на фоновой и городской станциях наблюдения в Томском регионе зимой 2012/13 г. // *Оптика атмосферы и океана*. 2014. Т. 27, № 11. С. 999—1005.
14. *Радомская В.И., Юсупов Д.В., Павлова Л.М.* Анализ выпадения химических элементов с атмосферными осадками на территории города Благовещенска // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2016. Т. 18, № 2-2. С. 488—492.

15. Tume P., González E., King R.W., Monsalve V., Roca N., Bech J. Spatial distribution of potentially harmful elements in urban soils, city of Talcahuano, Chile // *Journal of Geochemical Exploration*. 2018. V. 184. P. 333—344. doi: 10.1016/j.gexplo.2016.12.007.
16. Sahoo P.K., Dall'Agnol R., Salomão G.N., Junior J.S.F., Silva M.S., Souza Filho P.W.M., Siqueira J.O. High resolution hydrogeochemical survey and estimation of baseline concentrations of trace elements in surface water of the Itacaiúnas River Basin, Southeastern Amazonia // *Journal of Geochemical Exploration*. 2019. V. 205. P. 106321. doi: 10.1016/j.gexplo.2019.06.003.
17. Ермолов Ю.В., Махатков И.Д., Худяев С.А. Фоновые концентрации химических элементов в снежном покрове центрального сектора Западной Сибири // *Оптика атмосферы и океана*. 2014. Т. 27, № 9. С. 790—800.
18. Tanner P. A., Wong A.Y.S. Soluble trace metals and major ionic species in the bulk deposition and atmosphere of Hong Kong // *Water, Air, and Soil Pollution*. 2000. V. 122. P. 261—279. doi: 10.1023/a:1005232313641.
19. Okubo A., Takeda S., Obata H. Atmospheric deposition of trace metals to the western North Pacific Ocean observed at coastal station in Japan // *Atmospheric Research*. 2013. V. 129—130. P. 20—32. doi: 10.1016/j.atmosres.2013.03.014.
20. Pan Y.P., Wang Y.S. Atmospheric wet and dry deposition of trace elements at 10 sites in Northern China // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2015. V. 15, № 2. P. 951—972.
21. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach // *Water research*. 1980. V.14. P. 975—1001. doi: 10.1016/0043-1354(80)90143-8.
22. Liu W.H., Zhao J.Z., Ouyang Z.Y., Söderlund L., Liu G.H. Impacts of sewage irrigation on heavy metal distribution and contamination in Beijing, China // *Environment International*. 2005. V. 31. P. 805—812. doi: 10.1016/j.envint.2005.05.042.
23. Talovskaya A.V., Yazikov E.G., Osipova N.A., Lyapina E.E., Litay V.V., Metreveli G., Kim J. Mercury pollution in snow cover around thermal power plants in cities (Omsk, Kemerovo, Tomsk Regions, Russia) // *Geography, Environment, Sustainability*. 2019. V. 12. № 4. P. 132—147.
24. Keresztesi A., Nita I. A., Birsan M.V., Bodor Z., Szép R. The risk of cross-border pollution and the influence of regional climate on the rainwater chemistry in the Southern Carpathians, Romania // *Environmental Science and Pollution Research*. 2020. V. 27. P. 9382—9402.
25. Rudnick R.L., Gao S. Composition of the continental crust // *Treatise on Geochemistry*. Elsevier. 2014. P. 1—51. doi: 10.1016/B978-0-08-095975-7. 00301-6.
26. Vlasov D., Kasimov N., Eremina I., Shinkareva G., Chubarova N. Partitioning and solubilities of metals and metalloids in spring rains in Moscow megacity // *Atmospheric Pollution Research*. 2020. doi: 10.1016/j.apr.2020.09.012.
27. Xue H., Chen W., Li M., Liu B., Li G., Han X. Assessment of major ions and trace elements in snow: A case study across northeastern China, 2017—2018 // *Chemosphere*. 2020. V. 251. P. 126328. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.126328.
28. Pozhitkov R., Moskovchenko D., Soromotin A., Kudryavtsev A., Tomilova E. Trace elements composition of surface snow in the polar zone of northwestern Siberia: the impact of urban and industrial emissions // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2020. V. 192, № 4. P. 215. doi: 10.1007/s10661-020-8179-4.
29. Adachi K., Tainosh, Y. Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust // *Environment international*. 2004. V. 30. № 8. P. 1009—1017. doi: 10.1016/j.envint.2004.04. 004.
30. Demetriades A., Birke M. 2015. Urban Geochemical Mapping Manual: Sampling, Sample Preparation, Laboratory Analysis, Quality Control Check, Statistical Processing and Map Plotting. EuroGeoSurveys, Brussels.
31. Ponette-González A.G., Collins J.D., Manuel J.E., Byers T.A., Glass G.A., Weathers K.C., Gill T.E. Wet dust deposition across Texas during the 2012 drought: an overlooked pathway for elemental flux to ecosystems // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2018. V. 123, № 15. P. 8238—8254. doi: 10.1029/2018JD028806.
32. Sakata M., Marumoto K., Narukawa M., Asakura K. Regional variations in wet and dry deposition fluxes of trace elements in Japan // *Atmospheric Environment*. 2006. V. 40. P. 521—531. doi: 10.1016/j.atmosenv.2005.09.066.

33. *Tripahee L., Kang S., Huang J., Sharma C.M., Sillanpää M., Guo J., Paudyal R.* Concentrations of trace elements in wet deposition over the central Himalayas, Nepal // *Atmospheric Environment*. 2014. V. 95. P. 231—238. doi: 10.1016/j.atmosenv.2014.06.043.
34. *Shevchenko V.P., Pokrovsky O.S., Vorobyev S.N., Krickov I.V., Manasypov R.M., Politova N.V., Kopysov S.G., Dara O.M., Auda Y., Shirokova L.S., Kolesnichenko L.G., Zemtsov V.A., Kirpotin S.N.* Impact of snow deposition on major and trace element concentrations and elementary fluxes in surface waters of the Western Siberian Lowland across a 1700 km latitudinal gradient // *Hydrology and Earth System Sciences*. 2017. V. 21, № 11. P. 5725—5746. doi: 10.5194/hess-21-5725-2017.
35. *Бортникова С.Б., Панута В.Ф., Девятова А.Ю., Юдахин Ф.Н.* Методы анализа данных загрязнения снегового покрова в зонах влияния промышленных предприятий (на примере г. Новосибирск) // *Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. 2009. № 6. С. 515—525.
36. *Шахова Т.С.* Влияние нефтеперерабатывающих заводов на эколого-геохимическую обстановку прилегающих территорий по данным изучения снегового покрова (на примере гг. Омск, Ачинск, Павлодар): дис. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.36. Томск: Нац. исслед. Том. политехн. ун-т, 2018. 192 с.

References

1. *Amodio M., Catino S., Dambruoso P.R., De Gennaro G., Di Gilio A., Giungato, P., Tutino M.* Atmospheric deposition: sampling procedures, analytical methods, and main recent findings from the scientific literature. *Advances in Meteorology*. 2014; 27 p. doi: 10.1155/2014/161730.
2. *Kondrat'ev I.I., Mukha D.E., Boldeskul, A.G., Yurchenko, S.G., Lutsenko T.N.* Chemical composition of precipitation and snow cover in the Primorsky Krai. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2017, 42 (1): 64—70.
3. *Montoya-Mayor R., Fernández-Espinosa A.J., Seijo-Delgado I., Ternero-Rodríguez M.* Determination of soluble ultra-trace metals and metalloids in rainwater and atmospheric deposition fluxes: A 2-year survey and assessment. *Chemosphere*. 2013, 92 (8): 882—891.
4. *Bisquert D.S., Peñas-Castejón J.M., Garcia-Fernandez G.* The impact of atmospheric dust deposition and trace elements levels on the villages surrounding the former mining areas in a semi-arid environment (SE Spain). *Atmospheric Environment*. 2017, 152: 256—269. doi: 10.1016/j.atmosenv.2016.12.043.
5. *Cable E., Deng Y.* Trace elements in atmospheric wet precipitation in the Detroit metropolitan area: Levels and possible sources. *Chemosphere*. 2018, 210: 1091—1098. doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.07.103
6. *Ma Y., Tang Y., Xu H., Zhang X., Liu H., Wang S., Zhang W.* Bulk/wet deposition of trace metals to rural, industrial, and urban areas in the Yangtze River Delta, China. *Ecotoxicology and environmental safety*. 2019, 169: 185—191.
7. *Cizmecioglu S.C., Muezzinoglu A.* Solubility of deposited airborne heavy metals. *Atmospheric Research*. 2008, 89 (4): 396—404. doi: 10.1016/j.atmosres.2008.03.012.
8. *Goix S., Lévêque T., Xiong T.T., Schreck E., Baeza-Squiban A., Geret F., Dumat C.* Environmental and health impacts of fine and ultrafine metallic particles: Assessment of threat scores. *Environmental Research*. 2014, 133: 185—194. doi: 10.1016/j.envres.2014.05.015.
9. *Sánchez A.S., Cohim E., Kalid R.A.* A review on physicochemical and microbiological contamination of roof-harvested rainwater in urban areas. *Sustainability of Water Quality and Ecology*. 2015, 6: 119—137. doi: 10.1016/j.swaqe.2015.04.002.
10. *Vasilevich M.I., Simakin L.V.* Specifics in the formation of snow cover chemical composition in the Pechora-Ilych biosphere reserve area. *Geoekologiya, inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*. *Geoecology, engineering geology, hydrogeology, geocryology*. 2017, 5: 48—56. [In Russian].
11. *Papina T.S., Eirikh A.N., Malygina N.S., Eyrikh S.S., Ostanin O.V., Yashina T.V.* Microelement and stable isotopic composition of snowpack in the Katunsky biosphere reserve (Altai Republic). *Lyod i Sneg. Ice and Snow*. 2018, 58(1): 41—55. [In Russian].
12. *Vetrov V.A.* Monitoring himicheskogo sostava snezhnogo pokrova: koncepciya, metodologiya i rezul'taty za 30 let nablyudenij. *Sovremennye tendencii i perspektivy razvitiya gidrometeorologii v Rossii: materialy II Vserossijskoj nauchn.-prakt. konferencii*. Modern trends and prospects for the development

- of hydrometeorology in Russia: materials of the II all-Russian scientific and practical conference. Irkutsk: Irkutsk State University, 2019: 699—713. [In Russian].
13. Talovskaya A.V., Simonenkov D.V., Filimonenko E.A., Belan B.D., Yazikov E.G., Rychkova D.A., Il'enok S.S. Study of aerosol composition in Tomsk region background and urban stations (the winter period 2012/13). *Optika atmosfery i okeana*. Atmospheric and Oceanic Optics. 2014, 27. (11): 999—1005. [In Russian].
 14. Radomskaya V.I., Yusupov D.V., Pavlova L.M. The analysis of chemical elements fallout within atmospheric precipitation on the Blagoveschensk city territory. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*. Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2016, 18 (2-2): 488—492. [In Russian].
 15. Tume P., González E., King R.W., Monsalve V., Roca N., Bech J. Spatial distribution of potentially harmful elements in urban soils, city of Talcahuano, Chile. *Journal of Geochemical Exploration*. 2018, 184: 333—344. doi: 10.1016/j.gexplo.2016.12.007.
 16. Sahoo P.K., Dall'Agnol R., Salomão G.N., Junior J.S.F., Silva M.S., Souza Filho P.W.M., Siqueira J.O. High resolution hydrogeochemical survey and estimation of baseline concentrations of trace elements in surface water of the Itacaiúnas River Basin, Southeastern Amazonia. *Journal of Geochemical Exploration*. 2019, 205: 106321. doi: 10.1016/j.gexplo.2019.06.003.
 17. Ermolov Yu.V., Makhatkov I.D., Khudyaev S.A.. Background concentration of chemical elements in snow cover of the typical regions of the Western Siberia. *Optika atmosfery i okeana*. Atmospheric and Oceanic Optics. 2014, 27 (9): 790—800. [In Russian].
 18. Tanner P.A., Wong A.Y.S. Soluble trace metals and major ionic species in the bulk deposition and atmosphere of Hong Kong. *Water, Air, and Soil Pollution*. 2000, 122: 261—279. doi: 10.1023/a:1005232313641.
 19. Okubo A., Takeda S., Obata H. Atmospheric deposition of trace metals to the western North Pacific Ocean observed at coastal station in Japan. *Atmospheric Research*. 2013, 129 (130): 20—32. doi: 10.1016/j.atmosres.2013.03.014.
 20. Pan Y.P., Wang Y.S. Atmospheric wet and dry deposition of trace elements at 10 sites in Northern China. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2015, 15 (2): 951—972.
 21. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water research*. 1980, 14: 975—1001. doi: 10.1016/0043-1354(80)90143-8.
 22. Liu W.H., Zhao J.Z., Ouyang Z.Y., Söderlund L., Liu G.H. Impacts of sewage irrigation on heavy metal distribution and contamination in Beijing, China. *Environment International*. 2005, 31: 805—812. doi: 10.1016/j.envint.2005.05.042.
 23. Talovskaya A.V., Yazikov E.G., Osipova N.A., Lyapina E.E., Litay V.V., Metreveli G., Kim J. Mercury pollution in snow cover around thermal power plants in cities (Omsk, Kemerovo, Tomsk Regions, Russia). *Geography, Environment, Sustainability*. 2019, 12 (4): 132—147.
 24. Keresztesi A., Nita I. A., Birsan M.V., Bodor Z., Szép R. The risk of cross-border pollution and the influence of regional climate on the rainwater chemistry in the Southern Carpathians, Romania. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020, 27: 9382—940.
 25. Rudnick R.L., Gao S. Composition of the continental crust. *Treatise on Geochemistry*. Elsevier. 2014: 1—51. doi: 10.1016/B978-0-08-095975-7.00301-6.
 26. Vlasov D., Kasimov N., Eremina I., Shinkareva G., Chubarova N. Partitioning and solubilities of metals and metalloids in spring rains in Moscow megacity. *Atmospheric Pollution Research*. 2020. doi: 10.1016/j.apr.2020.09.012.
 27. Xue H., Chen W., Li M., Liu B., Li G., Han X. Assessment of major ions and trace elements in snow: A case study across northeastern China, 2017—2018. *Chemosphere*. 2020, 251: 126328. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.126328.
 28. Pozhitkov R., Moskovchenko D., Soromotin A., Kudryavtsev A., Tomilova E. Trace elements composition of surface snow in the polar zone of northwestern Siberia: the impact of urban and industrial emissions. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2020, 192 (4): 215. doi: 10.1007/s10661-020-8179-4.
 29. Adachi K., Tainosh, Y. Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust // *Environment international*. 2004, 30 (8): 1009—1017. doi: 10.1016/j.envint.2004.04.004.

30. *Demetriades A., Birke M.* 2015. Urban Geochemical Mapping Manual: Sampling, Sample Preparation, Laboratory Analysis, Quality Control Check, Statistical Processing and Map Plotting. EuroGeoSurveys, Brussels.
31. *Ponette-González A.G., Collins J.D., Manuel J.E., Byers T.A., Glass G.A., Weathers K.C., Gill T.E.* Wet dust deposition across Texas during the 2012 drought: an overlooked pathway for elemental flux to ecosystems. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2018, 123 (15): 8238—8254. doi: 10.1029/2018JD028806.
32. *Sakata M., Marumoto K., Narukawa M., Asakura K.* Regional variations in wet and dry deposition fluxes of trace elements in Japan. *Atmospheric Environment*. 2006, 40: 521—531. doi: 10.1016/j.atmosenv.2005.09.066.
33. *Tripahee L., Kang S., Huang J., Sharma C.M., Sillanpää M., Guo J., Paudyal R.* Concentrations of trace elements in wet deposition over the central Himalayas, Nepal. *Atmospheric Environment*. 2014, 95: 231—238. doi: 10.1016/j.atmosenv.2014.06.043.
34. *Shevchenko V.P., Pokrovsky O.S., Vorobyev S.N., Krickov I.V., Manasypov R.M., Politova N.V., Kopysov S.G., Dara O.M., Auda Y., Shirokova L.S., Kolesnichenko L.G., Zemtsov V.A., Kirpotin S.N.* Impact of snow deposition on major and trace element concentrations and elementary fluxes in surface waters of the Western Siberian Lowland across a 1700 km latitudinal gradient. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2017, 21 (11): 5725—5746. doi: 10.5194/hess-21-5725-2017.
35. *Bornikova S.B., Raputa V.F., Devyatova A.Yu., Yudakhin F.N.* Methods of analyzing data on the snow cover contamination in the areas affected by industrial enterprises (by the example of Novosibirsk). *Geoekologiya, inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*. Geoecology, engineering geology, hydrogeology, geocryology. 2009, 6: 515—525. [In Russian].
36. *Shahova T.S.* *Vliyanie neftepererabatyvayushchih zavodov na ekologo-geohimicheskuyu obstanovku prilegayushchih territorij po dannym izucheniya snegovogo pokrova (na primere gg. Omsk, Achinsk, Pavlodar): dis. ... kand. geol.-min. nauk: 25.00.36.* The influence of oil refineries on the ecological and geochemical situation of adjacent territories according to the study of the snow cover (on the example of Omsk, Achinsk, Pavlodar): Dissertation for the degree of Cand. geol.-min. sciences: 25.00.36. Tomsk: Nac. issled. Tom. politekhn. un-t, 2018: 192. [In Russian].

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила 09.03.2021

Принята к публикации после доработки 12.08.2021

Сведения об авторах

Степанец Валерия Николаевна, аспирант, инженер Химико-аналитического центра, Институт водных и экологических проблем СО РАН, stepanets.valeria@yandex.ru.

Серых Татьяна Гертиевна, ведущий инженер Химико-аналитического центра, Институт водных и экологических проблем СО РАН, tangers62@gmail.com.

Папина Татьяна Савельевна, д-р хим. наук, начальник Химико-аналитического центра, Институт водных и экологических проблем СО РАН, tanya.papina@mail.ru.

Information about authors

Stepanets Valeriya Nikolaevna, postgraduate student, engineer of the Chemical-analytical center, Institute for water and environmental problems SB RAS.

Serykh Tatyana Gertieвна, lead engineer of the Chemical-analytical center, Institute for water and environmental problems SB RAS.

Papina Tatyana Savelyevna, Grand PhD (Chem. Sci.), chief of the Chemical-analytical center, Institute for water and environmental problems SB RAS.