

УДК 551.578.46:504.4 (571.16)

Динамика элементного состава снегового покрова на территории северо-восточной зоны влияния Томск-Северской промышленной агломерации

А.В. Таловская, Е.А. Филимоненко, Е.Г. Язиков*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30*

Поступила в редакцию 21.01.2014 г.

Обсуждаются результаты анализа данных притока пылевого аэрозоля с комплексом тяжелых металлов, редких, редкоземельных и радиоактивных элементов на снеговой покров на территории северо-восточной зоны влияния Томск-Северской промышленной агломерации с 1990-х по 2006–2013 гг. Выявлена положительная динамика уменьшения среднесуточного притока большинства рассматриваемых химических элементов в составе пылевого аэрозоля из атмосферы в течение периода наблюдения. Это может свидетельствовать о снижении антропогенной нагрузки от локальных источников в населенных пунктах, а также промышленных объектов гг. Томска и Северска. Показаны результаты синхронного исследования содержания химических элементов в талой снеговой воде и твердом осадке снега. Определено, что элементы концентрируются преимущественно в твердом осадке снега и это, вероятно, связано с процессами сорбции элементов на твердые частицы аэрозоля.

Ключевые слова: пылевой аэрозоль, снег, твердый осадок снега, Томск-Северская агломерация, тяжелые металлы, редкие, редкоземельные и радиоактивные элементы; dust aerosol, snow, solid residue of snow, Tomsk–Seversk agglomeration, heavy metals, rare, rare earth and radioactive elements.

Введение

Снеговой покров дает современную информацию о пространственно-временном распределении притока из атмосферы пылевого аэрозоля с комплексом химических элементов и интенсивности воздействия источников выбросов за зимний период.

Для территории юго-западной части Томской области, где сосредоточены гг. Томск и Северск, образующие Томск-Северскую промышленную агломерацию, оценка загрязнения атмосферного воздуха имеет особую актуальность. С 1990-х гг. начали проводиться эколого-геохимические исследования снегового покрова как индикатора состояния атмосферного воздуха на территории Томска и Северска, а также в сельских населенных пунктах в окрестностях этих городов. По результатам этих исследований были выделены участки с напряженной экологической ситуацией, соответствующие положению промышленных предприятий на территории городов. Исследования в 1990-е гг. в окрестностях Томск-Северской промышленной агломерации показали, что наиболее загрязненными секторами являлись север-северо-восточный и юг-юго-западный, непосредственно прилегающие к г. Томску и находящиеся в 30-километровой зоне влияния предпри-

ятий предприятий ядерно-топливного цикла Сибирского химического комбината с его мощным топливно-энергетическим комплексом. В север-северо-восточном секторе был обнаружен наиболее высокий уровень выпадения пылевого аэрозоля с опасными для здоровья человека тяжелыми металлами, редкоземельными и радиоактивными элементами. В связи с тем, что с момента проведения отмеченных выше исследований в окрестностях Томска и Северска прошло значительное время, а также произошли изменения в технологических процессах промышленных объектов, существует необходимость получения новых данных об уровне пылевого загрязнения атмосферного воздуха по результатам снеговой съемки.

Материал и методы исследования

Для решения поставленной задачи проводили отбор проб снега в 2006, 2011 и 2013 гг. на территории населенных пунктов (д. Георгиевка, сс. Наумовка, Петропавловка, пп. Самусь, Орловка), расположенных в северо-восточной зоне влияния Томск-Северской промышленной агломерации. В каждом населенном пункте отбирали 5 проб. В ходе проведения исследований всего было отобрано и изучено 75 проб. В 2013 г. в качестве локального фона был выбран полигон «Фоновый» ИОА СО РАН около с. Киреевск (лесная зона в 60 км от города). Всего на полигоне было отобрано и изучено 10 проб снега.

* Анна Валерьевна Таловская (talovskaj@yandex.ru); Екатерина Анатольевна Филимоненко (filimonenkoea@mail.ru); Егор Григорьевич Язиков (yazikovveg@tpu.ru).

Для отбора и подготовки проб снега использовали стандартную методику [1–3] с учетом многолетнего практического опыта эколого-геохимических исследований на территории Западной Сибири [4–7]. Объектом исследований являлся твердый осадок снега, содержащий пылевые аэрозоли, осажденные на поверхность снегового покрова. В 2013 г. дополнительно проводили изучение состава талой снеговой воды.

Аналитические исследования твердого осадка снега выполняли в аккредитованных лабораториях Международного инновационного научно-образовательного центра «Урановая геология» при кафедре геоэкологии и геохимии ТПУ. Содержание 28 элементов в пробах твердого осадка снега определялось инструментальным нейтронно-активационным анализом (аналитики А.Ф. Судько, Л.В. Богутская). Содержание ртути во всех пробах было установлено методом беспламенной атомной абсорбции на приборе РА-915⁺ с пиролизическим разложением проб твердого осадка снега (приставка ПИРО-915⁺), а пробы снеготалой воды проанализированы методом «холодного пара» (приставка РП-91). В пробах, ото-

бранных в 2013 г., синхронно было определено содержание 58 химических элементов в 45 пробах твердой и жидкой фазы снега методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой в химико-аналитическом центре «Плазма» (г. Томск).

Обработка аналитических данных проводилась с использованием прикладных программ «Statistica 8.0» и «Microsoft Excel 2007». Для определения динамики использовались средние величины содержания элементов в твердом осадке снега. Сформированные выборки по содержанию химических элементов в пробах, отобранных в 1990-х и 2000-х гг., сравнивались между собой непараметрическими критериями Манна–Уитни и Колмогорова–Смирнова.

Результаты и их обсуждение

Анализ динамики среднего значения величины пылевой нагрузки с 1990-х по 2006–2013 гг. на территорию северо-восточной зоны влияния Томск-Северской промышленной агломерации показал сохранение притока пыли на уровне 30 мг/(м²·сут) при величине фона 7 мг/(м²·сут) (табл. 1).

Таблица 1

Динамика величины пылевой нагрузки суммарного показателя загрязнения и содержания химических элементов (мг/кг) в пробах твердого осадка снега на территории северо-восточной зоны влияния Томск-Северской промышленной агломерации

Показатель и химический элемент	Фон	1990-е гг. [5]	2006 г.	2011 г.	2013 г.
P_n	7	31,5 ± 4,2	38,1 ± 3,6	28,0 ± 2,7	25,0 ± 3,0
Z_c		206	159	140	152
Na, %	0,15	0,74 ± 0,05	0,55 ± 0,02	0,61 ± 0,02	0,48 ± 0,02
Ca, %	0,82	1,81 ± 0,70	1,05 ± 0,05	1,12 ± 0,03	1,46 ± 0,07
Sc	7,1	52,5 ± 2,8	11,8 ± 0,2	10,4 ± 0,3	10,3 ± 0,5
Cr	110	261 ± 20	70 ± 2	82 ± 4	81 ± 12,3
Fe, %	1,87	23,1 ± 1,6	3,9 ± 0,1	3,3 ± 0,2	2,9 ± 0,1
Co	10,3	46,4 ± 2,4	18,4 ± 0,6	15,0 ± 0,4	14,7 ± 0,8
As	0,5	0,5	3,3 ± 1,4	2,3 ± 0,2	8,5 ± 0,6
Br	2,9	6,2 ± 1,5	6,6 ± 0,2	5,5 ± 0,3	5,6 ± 0,4
Rb	55	118 ± 10	71,6 ± 3,3	58,4 ± 1,7	52,4 ± 2,1
Sr	100	532 ± 241	333 ± 74	249 ± 18	266 ± 24
Sb	2,3	9,4 ± 1,2	4,2 ± 0,2	1,7 ± 0,1	3,0 ± 0,3
Cs	3,5	5,8 ± 0,3	5,7 ± 0,2	5,1 ± 0,2	4,0 ± 0,2
Ba	100	2636 ± 224	1168 ± 44	717 ± 28	832 ± 48
La	2,8	31,5 ± 2,7	52,8 ± 1,7	44,4 ± 1,5	45,4 ± 2,5
Ce	10,3	108,2 ± 7,3	95,2 ± 2,1	90,8 ± 2,8	98,5 ± 5,8
Sm	0,57	7,5 ± 0,3	8,4 ± 0,4	6,6 ± 0,2	6,8 ± 0,4
Eu	1,1	3,8 ± 0,2	1,5 ± 0,1	1,2 ± 0,05	1,3 ± 0,1
Tb	0,06	1,5 ± 0,2	1,1 ± 0,05	0,9 ± 0,04	1,1 ± 0,1
Yb	0,2	2,3 ± 0,1	3,6 ± 0,1	3,3 ± 0,1	3,1 ± 0,1
Lu	0,075	1,1 ± 0,1	0,6 ± 0,02	0,5 ± 0,02	0,5 ± 0,02
Hf	2,2	11,2 ± 0,5	7,3 ± 0,2	7,1 ± 0,2	7,5 ± 0,4
Ta	0,1	3,5 ± 0,3	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	1,7 ± 0,1
Au	0,22	0,12 ± 0,03	0,04 ± 0,01	0,02 ± 0,002	0,02 ± 0,003
Hg	0,08	н.д.	0,42 ± 0,01	0,43 ± 0,02	0,30 ± 0,01
Th	2,9	22,2 ± 1,3	14,5 ± 0,4	12,9 ± 0,5	13,6 ± 0,8
U	0,2	3,3 ± 0,4	6,0 ± 0,2	5,4 ± 0,3	4,5 ± 0,3

Примечание. ± – стандартная ошибка; н.д. – нет данных; $P_n = P_0/St$, P_n – пылевая нагрузка, мг/(км²·сут), P_0 – масса пыли в пробе, кг; S – площадь шурфа, м²; t – время от даты снегостава до даты отбора пробы, сут; $Z_c = \sum KK - (n-1)$, Z_c – суммарный показатель загрязнения, KK – коэффициент концентрации: $KK = C/C_\phi$, C и C_ϕ – содержание элемента в пробе из север-северо-восточного сектора и фоновом районе соответственно; n – число учитываемых элементов с $KK > 1$ [1, 2].

Анализ динамики содержания химических элементов в пробах твердого осадка снега с 1990-х по 2006–2013 гг. показал достоверно значимое уменьшение содержания Rb, Sr, Lu, Th, Hf, Na, Ta в 1,5–2 раза; Cr, Co, Sb, Ba, Eu – в 3 раза; Au – в 4 раза; Sc – в 5 раз и Fe – в 8 раз.

С 1990-х по 2006–2013 гг. содержание As в пробах значимо увеличилось в 16 раз, La – в 1,5 раза, Yb и U – в 1,6 и 1,8 раза соответственно. В данный период наблюдений незначимо изменяются содержания Br, Cs, Ce, Sm и Tb в пробах.

Величина суммарного показателя загрязнения значимо уменьшилась в 1,5 раза, тогда как в соответствии с нормативным показателем [1, 2] сохраняется высокая степень загрязнения снегового покрова данными химическими элементами.

Величина среднесуточного притока химических элементов с пылевым аэрозолем из атмосферы на снеговой покров с 1990-х по 2006–2013 гг. имеет тенденцию уменьшения для Na, Ca, Cs, Tb, Hf, Th в 1,5–2 раза; Rb, Sr, Lu, Ta – в 3 раза; Cr, Co, Sb, Ba, Eu в 4 раза; Sc и Au – в 6 раз и Fe – в 10 раз (табл. 2). С 1990-х по 2006–2013 гг. величина среднесуточного притока As значимо увеличилась в 14 раз, La – в 1,5–2 раза. В данный период наблюдений

незначимо изменяется величина среднесуточного притока Br, Ce, Sm и Yb. Величина среднесуточного притока U значимо увеличивается в 2 раза в 2006 по сравнению с таковым показателем в 1990-х гг., тогда как в 2013 г. уменьшилась до уровня 1990-х гг.

Величина суммарного показателя нагрузки значимо уменьшилась в 1,6 раза, тогда как в соответствии с нормативным показателем [1, 2] сохраняется низкая степень нагрузки.

Анализ данных синхронного изучения содержания химических элементов в пробах талой снеговой воды и твердом осадке снега из северо-восточного сектора относительно Томск-Северской промышленной агломерации в 2013 г. выявил, что большая доля Br, Sb, Au, Ca, Re, Bi, As, Mo, Se, Mg, Zn, Na, Sr, Ge находится в составе талой снеговой воды, тогда как все остальные рассматриваемые элементы концентрируются преимущественно в твердом осадке снега. В пробах из северо-восточного сектора относительно агломерации подвижность Sc, Sn, W, Ge, Mo и Au выше фоновых показателей, тогда как все остальные элементы характеризуются сниженными свойствами подвижности и в большей степени содержатся в твердом осадке снега в сравнении с фоном (рисунок).

Таблица 2

Динамика величины среднесуточного притока химических элементов с пылевым аэрозолем из атмосферы на снеговой покров $P_{\text{общ}}$ территории северо-восточной зоны влияния Томск-Северской промышленной агломерации, мг/(км²·сут)

Показатель и химический элемент	Фон	1990-е гг. [5]	2006 г.	2011 г.	2013 г.
Na, г/(км ² ·сут)	1,1	231,7 ± 32,6	207,8 ± 18,5	87,7 ± 17,2	119,2 ± 16,4
Ca, г/(км ² ·сут)	5,7	437,3 ± 93,2	402,2 ± 43,7	180,1 ± 35,0	374,4 ± 48,4
Sc	49,7	1684 ± 266	461,8 ± 53,4	164,3 ± 32,0	267,0 ± 34,6
Cr	770	7742 ± 1105	2696 ± 282	769 ± 154	1861 ± 259
Fe, г/(км ² ·сут)	13,1	7134 ± 1107	1515 ± 161	590,0 ± 114,3	741,7 ± 93,8
Co	72,1	1510 ± 233	739,1 ± 97,2	231,8 ± 45,2	385,6 ± 51,5
As	3,5	15,7 ± 2,0	126,4 ± 56,7	34,8 ± 6,8	196,3 ± 25,0
Br	20,3	254,1 ± 69,2	251,5 ± 25,4	75,6 ± 14,8	141,5 ± 18,6
Rb	385	3928 ± 765	2816 ± 343	902 ± 176	1350 ± 171
Sr	700	16991 ± 7648	14118 ± 4585	5241 ± 1011	6949 ± 1117
Sb	16,1	237,1 ± 31,3	157,6 ± 17,6	20,9 ± 4,1	69,6 ± 9,9
Cs	24,5	196,1 ± 30,3	227,6 ± 28,4	83,2 ± 16,2	102,7 ± 13,1
Ba, г/(км ² ·сут)	0,7	85,8 ± 14,7	45,4 ± 5,0	12,4 ± 2,4	21,4 ± 2,7
La	19,6	1121 ± 184	2086 ± 244	723 ± 141	1161 ± 149
Ce	72,1	3784 ± 638	3729 ± 423	1464 ± 285	2525 ± 327
Sm	4,0	251,6 ± 38,6	326,6 ± 36,4	108,2 ± 21,0	176,9 ± 23,5
Eu	7,7	126,5 ± 19,8	60,1 ± 7,0	20,1 ± 3,9	34,9 ± 4,7
Tb	0,42	50,5 ± 10,1	43,4 ± 5,3	15,5 ± 3,0	29,0 ± 4,0
Yb	1,4	77,1 ± 11,2	142,1 ± 16,4	52,1 ± 10,2	80,8 ± 10,2
Lu	0,53	34,2 ± 5,0	22,6 ± 2,6	8,0 ± 1,6	12,5 ± 1,6
Hf	15,4	375,2 ± 57,8	283,8 ± 31,6	116,8 ± 22,7	192,7 ± 24,7
Ta	0,7	121,4 ± 21,8	61,9 ± 9,4	28,4 ± 5,5	42,4 ± 5,6
Au	1,54	3,8 ± 1,1	1,9 ± 0,5	0,2 ± 0,05	0,5 ± 0,04
Hg	0,56	н.д.	7,5 ± 0,8	7,5 ± 1,5	6,9 ± 1,1
Th	20,3	754,3 ± 121,9	571,5 ± 66,3	219,2 ± 42,6	347,3 ± 45,7
U	1,4	116,8 ± 18,5	236,0 ± 28,7	96,3 ± 18,7	117,3 ± 15,2
Z_p		1009	998	634	609

Примечание. ± – стандартная ошибка; н.д. – нет данных; $P_{\text{общ}} = CP_n$, C – содержание элемента в пробе, мг/кг, P_n – пылевая нагрузка, кг/(км²·сут); $Z_p = \sum K_p - (n-1)$, Z_p – суммарный показатель нагрузки, K_p – коэффициент относительно увеличения общей нагрузки элемента: $K_p = P_{\text{общ}}/C_{\text{ф}}P_{\text{нф}}$; n – число учитываемых элементов с $K_p > 1$ [1, 2].



Распределение элементов между взвешенной и растворенной формами нахождения в пробах снегового покрова территории северо-восточной зоны воздействия Томск-Северской промышленной агломерации

На рисунке представлены данные за 2013 г. Коэффициент подвижности $K_{\text{подв}} = \lg(C_{\text{т.ос}}/C_{\text{т.в}})$, где $C_{\text{т.ос}}$ – концентрация элемента в твердом осадке снега, мг/дм³, $C_{\text{т.в}}$ – концентрация элемента в талой снеговой воде, мг/дм³; $K_{\text{подв}}$ от –2,1 до 0 – наиболее подвижные элементы, способные переходить в раствор талой снеговой воды; $K_{\text{подв}}$ от 0 до 1 – элементы средней подвижности; $K_{\text{подв}}$ от 1 до 1,6 – наименее подвижные элементы; локальный фон – полигон «Фоновый» ИОА СО РАН около с. Киреевск.

Полученные данные хорошо согласуются с приведенными в литературе оценками концентраций элементов во взвеси и растворе снеговых проб из промышленных районов [7–10]. В работе [8] было выявлено, что в снеге техногенно-нарушенных территорий Fe, Cu, Co, Cr, Sc, Sb, Hg, Ba, La, Ce находятся в труднорастворимой форме, а Au – в обменной форме. Элементы с хорошей растворимостью и подвижностью, такие как Ca, Mn, Cd, Sb, Mo, As, Br, I, Te, меняют свое поведение в снеговом покрове вблизи различных источников загрязнения [11]. Механизм поведения загрязняющих веществ в снегу при таянии изучен недостаточно [12], более низкие концентрации техногенных и породообразующих элементов в растворенной части снеговой пробы объясняются процессами сорбции этих элементов на более крупные частицы аэрозоля и нахождением их преимущественно во взвешенной части. В то же время в работе [7] показано, что наличие контрастных аномалий растворенных форм элементов указывает на большую вероятность формирования ими летучих соединений при высокотемпературном техногенезе.

В целом поступление рассматриваемых элементов в северо-восточной зоне относительно Томск-Северской промышленной агломерации связано с выбросами от локальных источников на территории изучаемых населенных пунктов – преимущественно от угольных и газовых котельных, печного отопления, автотранспорта.

Кроме того, техногенная нагрузка формирует также за счет дальнего переноса загрязняющих компонентов от промышленных объектов Томск-Северской промышленной агломерации согласно господствующему направлению ветра [4, 5]. Перенос пылеаэрозольных выбросов от промышленных предприятий Томска и Северска может происходить в силу аэродинамических закономерностей распределения потоков воздуха по долинам рр. Томь и Обь.

По результатам наших многолетних исследований снегового покрова в зоне влияния объекта теплоэнергетики г. Томска установлено, что пылевые аэрозоли значительно обогащены Na, Hg, Ba, Sb, La, Sm, Yb, Lu, U, Ta, As, Fe, Sr. Известно, что в углях, как в природных образованиях, в тех или иных количествах содержатся химические элементы. При сжигании углей они концентрируются в шлаке и золе уноса и поступают в окружающую среду [13]. Кроме того, нами было определено, что зола уноса объекта теплоэнергетики г. Томска обогащена большей частью изучаемых элементов. В пробах из зоны воздействия кирпичных заводов г. Томска фиксируются повышенные концентрации редкоземельных элементов, Na, Sc, Hf, Rb; из зоны влияния заводов по производству железобетонных изделий – Ca, Sr, As, U, тогда как из зоны влияния нефтехимического комбината – Hg, Br и Sb. В работах [4, 5] было показано, что характерными элементами для выбросов предприятий ядерно-топливного цикла и теплоэлектростанций г. Северска являются Lu, Yb, F, Zn, U, Cs, Rb, Be и Hf, для выбросов предприятий машиностроительной отрасли г. Томска – Fe, Mn, Cr, Ni, Hg, Mo, W, Sb, Th.

Факторами, приводящими к значительному уменьшению или увеличению содержания и среднесуточного притока ряда химических элементов с пылевым аэрозолем из атмосферы на территорию северо-восточного сектора от промышленной агломерации, могут являться изменения производственных мощностей локальных источников в населенных

пунктах и на территории Томска и Северска. Например, в Северске была осуществлена остановка реакторного завода СХК. Произошли изменения в структуре топливного баланса между углем и природным газом на объектах теплоэнергетики Томска и Северска. За более чем 20-летний период в Томске произошел спад производства металлообрабатывающих, машино- и приборостроительных отраслей, были произведены реконструкции очистных сооружений на ряде промышленных предприятий, а также изменены виды используемого сырья. С середины 2000-х гг. происходило наращивание производственных мощностей ООО «Томскнефтехим». Кроме того, в 2008 г. на территории с. Самусь были введены в эксплуатацию ООО «Самусьский судостроительный-судоремонтный завод» и ЗАО «Северский стекольный завод».

В то же время сохранение поступления ряда элементов с пылевым аэрозолем из атмосферы на снеговой покров, возможно, свидетельствует о постоянстве источника их эмиссии.

Заключение

Таким образом, анализ динамики элементного состава снегового покрова на территории северо-восточной зоны влияния Томск-Северской промышленной агломерации в период с 1990-х по 2006–2013 гг. показал несущественное различие величины пылевой нагрузки на исследуемую территорию. Пыль с комплексом химических элементов в исследуемых населенных пунктах имеет преимущественно местное происхождение за счет выбросов от локальных источников. Кроме того, от промышленных объектов Томск-Северской агломерации происходит перенос загрязняющих компонентов согласно главенствующему в северо-восточном направлении ветру на территорию населенных пунктов. Установлена положительная тенденция по уменьшению выпадения большинства рассматриваемых химических элементов в составе пылевого аэрозоля на снеговой покров в течение периода наблюдения. Данная закономерность может свидетельствовать о снижении антропогенной нагрузки со стороны источников загрязнения — произошли изменения в топливном балансе локальных котельных в населенных пунктах, а также в технологических процессах промышленных предприятий Томска и Северска.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ для молодых российских ученых (МК 951.2013.5).

A.V. Talovskaya, E.A. Filimonenko, E.G. Yazikov. Dynamics of the elemental composition of the snow cover in the north-eastern zone of influence of Tomsk–Seversk industrial agglomeration.

The paper presents the results of analysis of data on dust aerosol inflow with a complex of heavy metals, rare, rare-earth, and radioactive elements on the snow cover in the north-eastern zone of influence of Tomsk–Seversk industrial agglomeration from 1990s to 2006–2013. The positive dynamics of reducing the daily average inflow of most chemical elements considered in the composition of dust aerosol from the atmosphere during the observation period was marked. This may indicate a reduction of anthropogenic load from local sources in the settlements and industrial facilities of Tomsk and Seversk. Also, the paper presents the results of synchronous research of the content of chemical elements in the melted snow water and solid residue snow. Most elements concentrate in the solid residue of snow and, probably, it is related to the processes of sorption of elements on solid aerosol particles.

1. Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П., Смирнова Р.С. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
2. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве: утв. Главным государственным санитарным врачом СССР от 15.05.1990 г., № 5174-90; URL: <http://www.law.edu.ru/norm/norm.asp?normID=1275817> (дата обращения: 10.02.2011).
3. Документы о состоянии загрязнения атмосферы в городах для информирования государственных органов, общественности и населения. Общие требования к разработке, построению, изложению и содержанию. РД 52.04.667-2005. М.: Метеоагентство Росгидромета, 2006. 60 с.
4. Эколого-геохимические особенности природных сред Томского района и заболеваемость населения / Л.П. Рихванов, Е.Г. Язиков, Ю.И. Сухих, Н.В. Барановская, В.Т. Волков, Н.Н. Волкова, В.В. Архангельский, Т.А. Архангельская, О.А. Денисова, А.Ю. Шатилов, Е.П. Янкович. Томск: Изд-во ИП Серкова Т.И., 2006. 216 с.
5. Язиков Е.Г. Экогеохимия территорий Западной Сибири: монография / Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, Germany. 2011. 360 с.
6. Рапута В.Ф., Таловская А.В., Коковкин В.В., Язиков Е.Г. Анализ данных наблюдений аэрозольного загрязнения снегового покрова в окрестностях Томска и Северска // Оптика атмосф. и океана. 2011. Т. 24, № 1. С. 74–78.
7. Бортникова С.Б., Рапута В.Ф., Девятова А.Ю., Юдалин Ф.Н. Методы анализа данных загрязнения снегового покрова в зонах влияния промышленных предприятий (на примере г. Новосибирска) // Геоэкология. 2009. № 6. С. 515–525.
8. Миклишанский А.З., Павлоцкая Ф.И., Савельев Б.В., Яковлев Ю.В. Содержание и формы нахождения микроэлементов в приземном слое воздуха и атмосферных осадках // Геохимия. 1977. № 11. С. 1673–1681.
9. Королева Г.П., Горшков А.Г., Виноградова Т.П., Бутаков Е.В., Маринайте И.И., Ходжер Т.В. Исследование загрязнения снегового покрова как депонирующей среды (Южное Прибайкалье) // Химия в интересах устойчивого развития. 1998. Т. 6. С. 327–337.
10. Ровинский Ф.Я., Бурицева Л.В., Петрухин В.А., Чичева Т.Б. Фоновое содержание свинца, ртути, мышьяка и кадмия в природных средах (по мировым данным) // Мониторинг фонового загрязнения природных сред. Л.: Гидрометеониздат, 1982. Вып. 1. С. 14–35.
11. Девятова А.Ю. Тяжелые металлы в депонирующих средах и прогнозная модель переноса примесей от стационарных техногенных источников (на примере г. Новосибирска): Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Новосибирск: Ин-т геологии и минералогии, 2006. 26 с.
12. Прокачова В.Г., Усачев В.Ф. Снежный покров в сфере влияния города. Л.: Гидрометеониздат, 1989. 192 с.
13. Арбузов С.И., Ершов В.В., Поцелуев А.А., Рихванов Л.П. Редкие элементы в углях Кузнецкого бассейна. Томск: ТПУ; Кемерово: Изд-во КПК, 2000. 246 с.