

ЛОКАЛЬНЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ПЫЛЕАЭРОЗОЛЕЙ В ПРЕДЕЛАХ ГОРОДСКОЙ И ПРИГОРОДНОЙ ЗОН

А. В. ТАЛОВСКАЯ, Е. Г. ЯЗИКОВ

Томский политехнический университет, Россия

e-mail: talovskaj@yandex.ru

Results of the detailed monitoring (2001–2006) of the dust-aerosols fallouts on the snow cover in the southern district of Tomsk and in Timiryazev (suburb located in 4–5 kms from the town) are presented. Investigations are based on a study of the mineral composition of a solid residue of snow using a binocular stereoscopic microscope, radiography analysis and impulse cathodic luminescence method. Geochemical composition was studied with the help of neutron-activation analysis technique and f-radiography method. Using the obtained data the composition and the geochemical characteristics of solid residue of snow and the daily average dust loading were determined.

В настоящее время пылеаэрозоли, поступая в атмосферу во все возрастающем количестве в связи с хозяйственной деятельностью человека, являются не только заметным климатообразующим, но и мощным экологическим фактором в крупных регионах и городах. Атмосферные движения способствуют переносу загрязнений далеко за пределы промышленных центров. В связи с этим изучается химический состав аэрозольных частиц как на территории города, так и за его пределами. Особое внимание уделяется частицам тяжелых металлов, но, к сожалению, имеется только ряд работ по исследованию редких, редкоземельных и радиоактивных элементов в пылеаэрозольных выпадениях [1, 2].

Наличие на территории Томской области нефтехимического комбината, а также предприятия ядерно-топливного цикла — Сибирского химического комбината приводит к интенсивной деградации природной среды и формированию специфической геохимической обстановки [3]. Коллективом кафедры геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета (ТПУ) наработан определенный опыт в проведении комплексных эколого-геохимических исследований различных сред.

Одной из наиболее информативных природных сред, позволяющих исследовать твердые атмосферные загрязнения, является снеговой покров [4]. Для оценки твердофазных выпадений снегового покрова в южной части г. Томска (на примере района, где находятся учебные корпуса ТПУ) и пригороде (п. Тимирязево) авторами в течение зимнего периода 2001–2006 гг. проводился комплексный мониторинг пылеаэрозольных выпадений. На территории южного округа города в зоне жилой застройки располагаются группа крупных промышленных предприятий по металлообработке и чугунолитейному производству, а также топливно-энергетический комплекс (ГРЭС-2).

Пробы отбирались методом шурфа на всю мощность снежного покрова, за исключением слоя в 5 см над почвой, с замером площади шурфа. Твердая нерастворимая фракция выделялась в ходе последовательных операций, таких как фильтрация, просушивание, просеивание и взвешивание. Полученный твердый осадок снега (ТОС) просеивался до фракции менее 1 мм. Все дальнейшие работы выполнялись с учетом методических рекомендаций, приводимых в работах В.Н. Василенко [4], методических рекомендаций ИМГРЭ [5] и руководства по контролю загрязнения атмосферы (РД 52.04.186-89) [6]. Все пробы отбирались каждый месяц в течение зимнего периода.

Вещественный состав проб изучался с применением стереоскопического бинокулярного микроскопа, рентгеноструктурного анализа и с использованием катодной люминесценции.

Все пробы исследованы с помощью инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) на радиоактивные, редкие и редкоземельные элементы в ядерно-геохимической лаборатории ТПУ (аналитик А.Ф. Судыко). Методом f-радиографии выявлено пространственное распределение изотопа урана в пылеаэрозольных выпадениях. По полученным данным рассчитывались величина среднесуточной пылевой нагрузки (P_n), коэффициент концентрации (K_c) и общая нагрузка, создаваемая поступлением химического элемента в окружающую среду ($P_{\text{общ}}$) [7]. Величина коэффициента концентрации редкоземельных, редких и радиоактивных элементов рассчитывалась относительно геохимического кларка ноосферы.

Согласно результатам наблюдения, величина среднесуточной пылевой нагрузки в целом в зимний период 2001—2006 гг. для города изменялась от 20 до 100 кг/км² в сутки, а для пригорода — от 10 до 60 кг/км² в сутки, эти данные соответствуют низкому уровню загрязнения (менее 250 кг/км² в сутки) в соответствии с градацией, предложенной Ю.Е. Саетом и др. [7]. Однако при сравнении с фоновой нагрузкой для нечерноземной зоны — 10 кг/км² в сутки [5] отмечаются превышения в 2–7 раза для городской зоны и в 1.5–5 раз — для пригородной, а на периоды 2002–2003 гг. и 2005–2006 гг. приходится максимальная пылевая нагрузка (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Среднесуточная пылевая нагрузка и минерально-вещественный состав пылеаэрозолей в зимний период 2000–2006 гг.

Год опробования	Пылевая нагрузка, кг/км ² ·сут	Содержание природных и биогенных частиц, %	Содержание техногенных частиц, %
Городская зона			
2000–2001	73	30	70
2001–2002	42	38	62
2002–2003	113	24	76
2003–2004	20	25	75
2004–2005	20	24	76
2005–2006	46	18	82
Пригородная зона			
2000–2001	48	25	75
2002–2003	58	20	80
2003–2004	15	11	89
2004–2005	13	30	70
2005–2006	32	10	90

Импульсная катодная люминесценция позволила определить в пробах частицы природного происхождения, которые дают характерное свечение: кварц — голубое, полевой шпат — розовое, кальцит — желтое [8]. По результатам рентгеноструктурного анализа в пробах ТОС преимущественно фиксируется кварц [9].

В пробах ТОС с применением бинокулярного стереоскопического микроскопа определялось процентное соотношение частиц природного и техногенного происхождения. В пробах ТОС городской зоны на природную составляющую (кварц, полевой шпат, слюда и др.) приходится 25...35%, а на техногенные частицы (муллит, ферромагнетит, сажу, шлак и др.) — 65...75%, тогда как в пробах ТОС пригородной зоны на природные частицы приходится 10...25%, а на техногенные — 75...90% (табл. 1). При этом в течение всего периода наблюдений в пунктах мониторинга основная доля загрязнений приходилась на техногенные частицы, характерные для теплоэнергетического комплекса (60...80%), — сажа, шлак, муллит. Данное соотношение не изменялось в течение всего периода наблюдения (2001–2006 гг.). Наибольшее содержание техногенной пыли приходилось на периоды 2002–2003 гг. и 2005–2006 гг.

По результатам ИНАА отмечается, что динамика поступления редких, редкоземельных и радиоактивных элементов на снеговой покров весьма неоднородна как по годам, так и по месяцам. При этом пробы в пунктах мониторинга имеют повышенные концентрации

Т а б л и ц а 2. Величина техногенной нагрузки $P_{\text{общ}}$ на снеговой покров и содержание радиоактивных элементов в твердом осадке снега городской и пригородной зон

Период	U, мг/кг	Th, мг/кг	Th/U	$P_{\text{общ}}$, г/(км ² ·сут.)	
				U	Th
Городская зона — по годам					
2000–2001	5	10.3	2.1	0.08	0.2
2001–2002	0.7	5.5	7.9	0.03	0.2
2002–2003	5.4	10.9	2	0.3	0.6
2003–2004	3.3	5.4	1.6	0.1	0.2
2004–2005	4.6	8	1.7	0.09	0.2
2005–2006	4.1	7.9	2	0.2	0.4
Городская зона — по месяцам (декабрь 2002 г. — март 2003 г.)					
Декабрь	38.9	9.7	0.2	3	0.7
Январь	12.7	10	0.8	0.6	0.5
Февраль	6.4	9.2	1.4	0.16	0.2
Март	3.4	8.9	2.6	0.1	0.2
Пригородная зона — по годам					
2000–2001	2.2	7.7	2.7	0.1	0.3
2001–2002	5.2	7.3	1.4	0.2	0.3
2002–2003	4.7	11.1	2.4	0.1	0.3
2003–2004	4	6.7	1.7	0.06	0.1
2004–2005	5.9	10.3	1.7	0.08	0.1
2005–2006	5.2	10.7	2	0.2	0.5
Пригородная зона — по месяцам (декабрь 2002 г. — март 2003 г.)					
Декабрь	5.2	7.3	1.4	0.2	0.4
Январь	7.3	8	1.1	0.2	0.2
Февраль	3.2	8.6	2.7	0.1	0.4
Март	0.4	11.1	25.8	0.02	0.4
Кларк ноосферы	1.9	7.6	—	—	—

лантана, церия, урана и тория относительно кларка ноосферы. Наибольшее содержание этих элементов отмечено в периоды 2002–2003 гг. и 2005–2006 гг., причем это характерно как для города, так и для пригородной зоны.

По величине торий-уранового отношения изучаемые территории можно дифференцировать на три типа природы радиоактивных элементов: урановая — менее 3, смешанная — 3–6 и ториевая — более 6 [1]. В соответствии с этой дифференциацией мониторинговые территории можно отнести к урановой природе (табл. 2), что подтверждают данные о преобладании техногенной составляющей (преимущественно выбросы котельных, работающих на угле) в пробах ТОС. Исключение составляет период 2001–2002 гг. для города, где природа радиоактивных элементов ториевая.

По величине торий-уранового отношения и уровню накопления радиоактивных элементов в пылеаэрозольных выпадениях мониторинговые территории относятся к группе со средней техногенной нагрузкой (отношение Th/U равно 2.5... 10) [10].

По отношению суммарных величин легких лантаноидов цериевой группы (La+Ce) к тяжелым иттриевой группы (Yb+Lu) в 2002 г. зарегистрирована наибольшая величина легких лантаноидов (в 6–8 раз) по сравнению с другими годами наблюдения только для городской зоны, тогда как по месяцам для города и пригорода это отношение остается относительно постоянным (табл. 3).

Т а б л и ц а 3. Отношение суммарных величин легких лантаноидов (La+Ce) к тяжелым (Yb+Lu) в твердом осадке снега городской и пригородной зонах

Период опробования	La, мг/кг	Ce, мг/кг	Lu, мг/кг	Yb, мг/кг	La+Ce/Yb+Lu
Городская зона — по годам					
2000–2001	41.4	69.9	0.42	2.8	34.6
2001–2002	32.3	55	0.05	0.3	249.4
2002–2003	41.6	79	0.49	3.3	31.8
2003–2004	26.1	43.4	0.35	1.8	32.3
2004–2005	30.8	62.5	0.23	2.4	1.8
2005–2006	34.7	64.3	0.38	2.4	35.6
Городская зона — по месяцам (декабрь 2002 г. — март 2003 г.)					
Декабрь	42.1	80.8	0.24	3.4	33.7
Январь	38.8	71.5	0.42	3.4	28.8
Февраль	39	70	0.5	3.1	30.4
Март	32.2	66	0.33	2.3	37.3
Пригородная зона — по годам					
2000–2001	22.7	56.9	0.3	1.9	36.2
2001–2002	22.5	53.9	0.3	1.7	38.2
2002–2003	40.4	77.7	0.5	3.1	32.8
2003–2004	29.4	48.9	0.4	2.8	24.4
2004–2005	35.4	70.7	0.3	2.7	35.4
2005–2006	34.5	76.6	0.4	2.8	34.7
Пригородная зона — по месяцам (декабрь 2002 г. — март 2003 г.)					
Декабрь	22.5	53.9	0.26	1.7	39
Январь	36.7	59.1	0.4	3	28.2
Февраль	44	63	0.45	3.3	28.5
Март	39.2	81.1	0.43	3.5	30.6

По результатам геохимических рядов ассоциации элементов по убыванию коэффициента концентрации относительно кларка ноосферы в пробах ТОС городской зоны выявлены комплексные ассоциации редкоземельных, редких и радиоактивных элементов: (La–Hf–U–Ce) на протяжении всего периода исследования, тогда как с декабря 2002 г. по февраль 2003 г. установлена ассоциация радиоактивных и редкоземельных элементов (U–La–Eu–Ce), а в конце зимнего периода — редкоземельных и редких элементов (La–Eu–Hf–Ce). Для пригородной зоны по данным геохимических рядов выделяются преимущественно ассоциации редких, радиоактивных и редкоземельных элементов (Hf–U–La–Ce), тогда как с декабря 2002 г. по март 2003 г. ассоциации элементов различаются — для декабря характерна ассоциация редких и радиоактивных элементов (Hf–U–La), в январе — радиоактивных и редкоземельных элементов (U–La–Eu–Ce), а с февраля по март — редкоземельных и редких элементов (La–Ce–Eu–Hf). Это можно объяснить тем, что, скорее всего, уран содержится в пробах в водорастворимой форме и по мере таяния снега поступает в почву.

Наиболее интересна динамика изменения техногенной нагрузки редкоземельных, редких и радиоактивных элементов на снеговой покров. Техногенная нагрузка имеет неоднородный характер по годам, причем наибольшие значения приходятся на 2002–2003 гг. и 2005–2006 гг. как на территории города, так в пригороде (рис. 1). По месяцам для города отмечается определенная закономерность, которая сопровождается уменьшением нагрузки от начала зимнего периода (декабрь) к моменту суммарного накопления загрязнений за весь зимний период (март) (рис. 2), тогда как для пригорода отмечается неоднородный геохимический спектр — нагрузка, создаваемая редкими элементами (Hf, Cs, Rb, Ta) и ураном, уменьшается от начала зимнего периода декабря к марту; нагрузка, создаваемая редкоземельными элементами (Lu, La, Ce, Sm, Eu, Yb) и торием, максимальна в феврале по сравнению с другими месяцами; нагрузка, создаваемая тербием и скандием, остается относительно постоянной в течение периода наблюдений. Различие между городом и при-

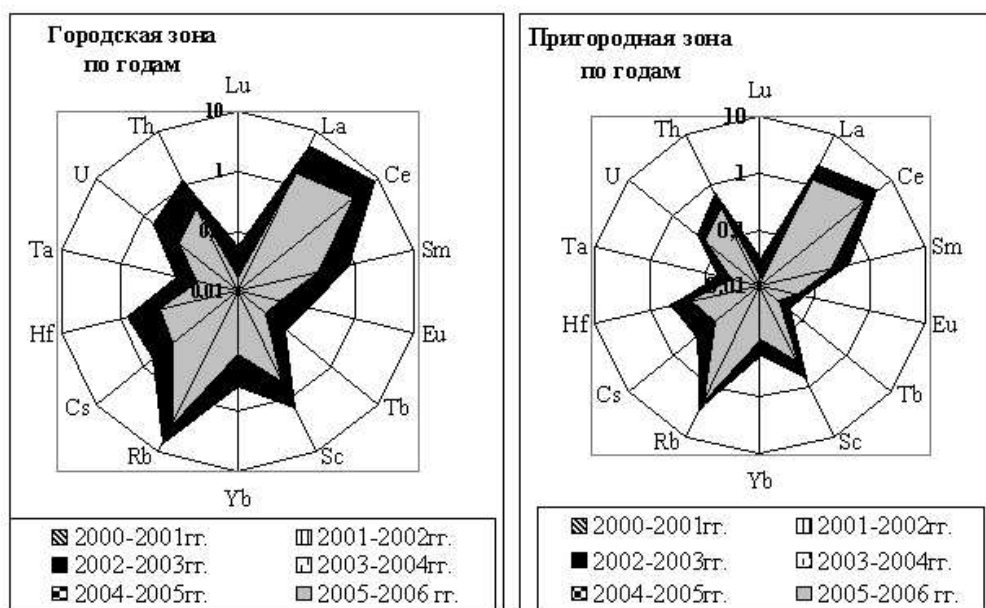


Рис. 1. Величина техногенной нагрузки на снеговой покров в городской и пригородной зонах по годам, г/(км²·сут.).

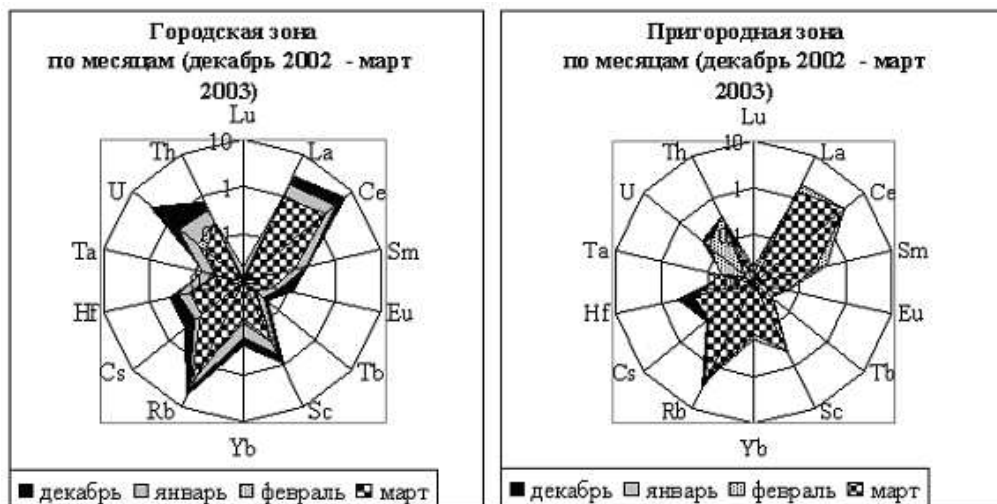


Рис. 2. Величина техногенной нагрузки на снеговой покров в городской и пригородной зонах по месяцам, $\text{г}/(\text{км}^2 \cdot \text{сут.})$.

городом можно объяснить тем, что в технологическом процессе топливно-энергетического комплекса используются угли разных марок, самим технологическим процессом, а также тем, что на территории пригорода существуют еще и свои локальные источники поступления загрязнений.

На томских электростанциях используются угли Кузнецкого бассейна, которые, по данным Арбузова и др. [11], содержат больше указанных элементов в золе угля, нежели в самом угле. В связи с этим источниками поступления редкоземельных, редких и радиоактивных элементов на территории города можно рассматривать предприятия топливно-энергетического комплекса (ГРЭС и ТЭЦ), а на территории пригорода — местные котельные, работающие в основном на угле, и дома с печным отоплением.

Таким образом, повышенные значения среднесуточной пылевой нагрузки, содержания техногенных частиц и техногенной нагрузки, создаваемой редкоземельными, редкими и радиоактивными элементами, в периоды 2002–2003 гг. и 2005–2006 гг. объясняются тем, что в холодное зимнее время общая нагрузка работы ТЭК увеличивалась на 30...50%. Повышенные значения отношения Th/U и суммарных величин легких лантаноидов ($\text{La}+\text{Ce}$) к тяжелым ($\text{Yb}+\text{Lu}$) для городской зоны в зимний период 2002 г. по сравнению с другими годами наблюдения можно объяснить тем, что, по данным метеослужбы, была теплая зима, что соответственно и повлияло на уменьшение использования угля в технологическом процессе топливно-энергетического комплекса.

Таким образом, изучение геохимических особенностей пылеаэрозольных выпадений на территории города и пригорода позволит выявить динамику поступления природных и техногенных компонентов и определить источники их поступления.

Список литературы

- [1] Языков Е.Г., Рихванов Л.П. Содержание радиоактивных и редкоземельных элементов в аэрозольных выпадениях снегового покрова различных территорий Западной Сибири // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Матер. Междунар. конф., 22–24 мая 1996 г. Томск: Изд-во ТПУ, 1996. С. 312–316.

- [2] ШАТИЛОВ А.Ю. Вещественный состав и геохимическая характеристика атмосферных выпадений на территории Обского бассейна: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Томск, 2001. 22 с.
- [3] ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ мониторинг Северного промышленного узла г. Томска: проблемы и решения / Под ред. А.М. Адама. Томск: Изд-во ТГУ, 1994. 260 с.
- [4] ВАСИЛЕНКО В.Н. Мониторинг загрязнения снежного покрова / В.Н. Василенко, И.М. Назаров, Ш.Ф. Фридман. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 185 с.
- [5] МЕТОДИЧЕСКИЕ рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами. М.: ИМГРЭ, 1982. 111 с.
- [6] РУКОВОДСТВО по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186 № 2932-83 от 24.10.83.89. М.: Госкомгидромет, 1991. 693 с.
- [7] ГЕОХИМИЯ окружающей среды / Ю.Е. Сает, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. М.: Недра, 1990. 335 с.
- [8] ТАЛОВСКАЯ А.В. Мониторинг пылеаэрозольных выпадений территории южного округа Томска // Вест. Том. гос. ун-та. 2003. № 3 (V). С. 214–216.
- [9] ТАЛОВСКАЯ А.В. Состав и структура пылеаэрозольных частиц в аэрозольных выпадениях Томского региона // Высокорастворимые системы: массоперенос, реакции и процессы: Тез. докл. нем.-рос. сем. 15–17 октября 2005 г. Томск: Изд-во ТПУ, 2005. С. 116–117.
- [10] ЯЗИКОВ Е.Г., РИХВАНОВ Л.П., ШАТИЛОВ А.Ю., ТАЛОВСКАЯ А.В. Радиоактивные элементы в атмосферных выпадениях территории юга Западно-Сибирского региона // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Матер. II Международ. конф., 18–22 октября 2004 г. Томск: Изд-во “Тандем-Арт”, 2004. С. 715–719.
- [11] РЕДКИЕ элементы в углях Кузнецкого бассейна / С.И. Арбузов, В.В. Ершов, А.А. Поцелуев, Л.П. Рихванов. Кемерово, 1999. 248 с.

Поступила в редакцию 19 октября 2006 г.