

Геохимический состав пылеаэрозолей на территории полигона “Томский” Томской области

А. В. ТАЛОВСКАЯ, Е. Г. ЯЗИКОВ

Томский политехнический университет, Россия

e-mail: talovskaj@yandex.ru

Results of a study of the dust aerosol fallouts within the “Tomsky” ground in the Tomsk region for conditions occurred during the winter 2006 are presented. The mineral composition, geochemical characteristics of the solid residue of snow and the daily average dust loading were determined according to the obtained data. The anthropogenic influence due to enterprises located in Tomsk and Seversk was observed for both northeastern and southwestern directions from these cities. Differences in measurement of the mineral and geochemical characteristics of the dust aerosols in the two opposite directions are revealed. Nonetheless, some of the geochemical characteristics are similar in the samples taken from the northeastern and the southwestern zones.

Введение

В последнее время во многих городах России при заметном снижении промышленных выбросов уровень загрязнения воздуха сохраняется высоким. Отмечается увеличение уровня загрязнения и за пределами городов вследствие циркуляции воздушных масс. Наблюдается рост средних концентраций примесей различных химических веществ, а также пылеаэрозольных выпадений [1]. Томская область представляет собой территорию со сложной антропогенной ситуацией, здесь в г. Северске размещаются один из самых крупных в мире ядерно-технологических комплексов — Сибирский химический комбинат (СХК), нефтехимический комбинат, предприятия топливно-энергетического комплекса, черной и цветной металлургии, машиностроения и сельского хозяйства. Преобладает юго-западная роза ветров. Концентрация основных геоэкологических проблем отмечена в Томском районе, где сосредоточено свыше 33 различных предприятий. Наиболее напряженные секторы — север—северо-восточный, юг—юго-западный, — непосредственно прилегающие к г. Томску и находящиеся в 30-километровой зоне влияния СХК [2, 3]. Снеговой покров используется в качестве индикатора состояния атмосферы. Пылеаэрозольные выпадения анализировались путем отбора проб снега [4–6].

В настоящей статье обсуждаются результаты исследования геохимических особенностей пылеаэрозолей в населенных пунктах, расположенных в зоне влияния и за пределами Томск-Северской промышленной агломерации. Были исследованы пробы снега на территории двух специально выбранных полигонов преимущественно в Томском районе под общим названием “Томский”. В целом полигон включает 11 населенных пунктов. Один полигон — юго-западный сектор, он размещается на Обь-Томском междуречье и включает села Поросино, Зоркальцево, Тимирязево, фоновые участки для СХК —

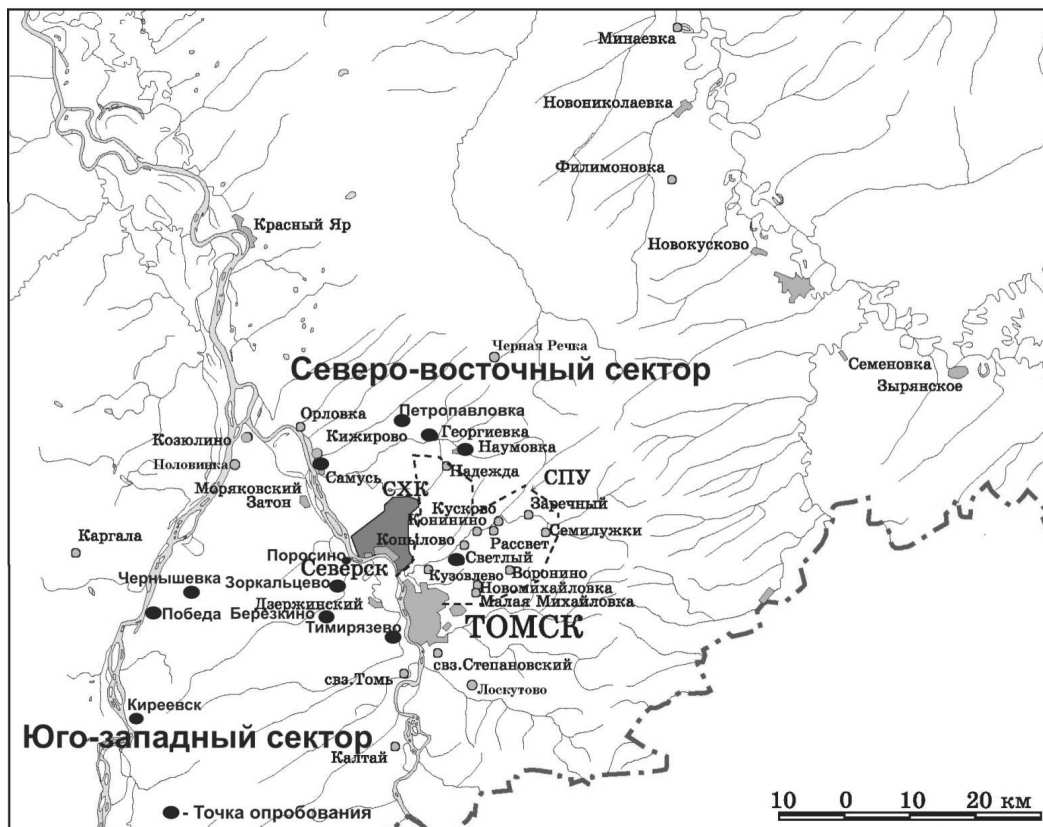


Схема отбора снега на территории полигона “Томский”

села Победа, Чернышевка, Березкино. Второй полигон — северо-восточный сектор, размещается на правом берегу р. Томи и включает села Самусь, Петропавловка, Георгиевка, Наумовка, Светлый (см. рисунок). Отбор проб снега проводился в первых числах апреля 2006 г., до начала интенсивного снеготаяния, чтобы учесть загрязнение за максимальный период времени.

1. Методика измерений и обработки данных

Отбор и подготовка снеговых проб производились из небольших шурфов на всю мощность снежного покрова, за исключением слоя 5 см над почвой, с учетом методических рекомендаций, приводимых в [7, 8] и в руководстве по контролю загрязнения атмосферы [9]. В процессе фильтрования снеготалой воды получали твердый осадок, который затем просушивали, просеивали до фракции менее 1 мм и взвешивали [10].

Изучение минерально-вещественного состава твердого осадка снега производилось с применением стереоскопического бинокулярного микроскопа и рентгеноструктурного анализа. Все пробы твердого осадка снега подвергались инструментальному нейтронно-активационному анализу (ИНАА) на содержание (концентрацию, мг/кг) 23 химических элементов в лаборатории ядерно-геохимических методов исследования кафедры геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета.

Данные аналитических исследований использовались для расчета следующих параметров пылеаэрозолей в снеговом покрове [10]. Измеренная масса пыли в снеговой

пробе служит основой для определения среднесуточной пылевой нагрузки P_n , мг/(м²·с) или кг/(км²·с), т. е. количества твердых выпадений за единицу времени на единицу площади. В практике работ используется следующая градация по среднесуточной нагрузке [10]: 0...250 мг/(м²·с) — низкая степень загрязнения; 250...450 мг/(м²·с) — средняя; 450...800 мг/(м²·с) — высокая; более 800 мг/(м²·с) — очень высокая степень загрязнения. В качестве фонового [4] показателя принимается величина 6 мг/(м²·с).

Рассчитывались аналогичные показатели загрязнения окружающей среды химическими элементами, т. е. соответствующих потоков массы конкретных загрязнителей, выпадающих на единицу площади за единицу времени. При расчетах учитывались общая масса потока загрязнителей — пылевая нагрузка P_n , мг/(м²·с), и концентрация отдельных элементов (мг/кг) в твердом осадке снега. Произведение этих параметров позволяет определить общую нагрузку, создаваемую поступлением каждого из химических элементов в окружающую среду (среднесуточное выпадение химических элементов), $P_{\text{общ}}$, кг/(км²·сут.) В качестве показателя уровня аномальности содержаний химических элементов используется коэффициент концентрации K_c , который рассчитывается как отношение концентрации элемента в исследуемом объекте к его среднему фоновому содержанию, характерному для исследуемого региона [10]. Величина K_c изучаемых элементов рассчитывалась относительно фоновых значений, ранее полученных для Томской области и приведенных в [4, 5].

2. Результаты и их обсуждение

Исследования показали, что среднесуточная пылевая нагрузка на территории полигона изменяется от 13 мг/(м²·сут.) (с. Чернышевка) до 45 мг/(м²·сут.) (с. Поросино) (табл. 1). В целом величина среднесуточного выпадения пыли в юго-западном секторе изменяется от 20 до 45 мг/(м²·сут.), в северо-восточной зоне — 25...60 мг/(м²·сут.), в фоновых участках — 13...15 мг/(м²·сут.). Таким образом, величина среднесуточного выпадения пыли в исследуемых районах соответствует низкому уровню загрязнения (по градации, приведенной в [10]). Основное повышение пылевой нагрузки приходится на северо-восточный сектор, т. е. зону влияния Сибирского химического комбината согласно розе ветров. Это подтверждает и сравнение с фоновыми значениями (6 мг/(м²·сут.)). Отмечается превышение до четырех раз в юго-западной зоне и до шести раз в северо-восточной.

Т а б л и ц а 1. Среднесуточная величина пылевой нагрузки в населенных пунктах полигона “Томский” и прилегающей территории

| Населенный пункт | Пылевая нагрузка P_n , мг/(м ² ·сут.) | Населенный пункт | Пылевая нагрузка, мг/(м ² ·сут.) |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Обь-Томское междуречье (юго-западный сектор) | | Правый берег р. Томи (северо-восточный сектор) | |
| Победа (фоновая) | 15 | Самусь | 26 |
| Чернышевка (фоновая) | 13 | Петропавловка | 25 |
| Березкино (фоновая) | 15 | Георгиевка | 40 |
| Поросино | 45 | Наумовка | 61 |
| Зоркальцево | 20 | Светлый | 34 |
| Тимирязево | 32 | | |

По результатам рентгеноструктурного анализа в пробах твердого осадка снега преимущественно фиксируется кварц. При изучении минерально-вещественного состава твердого осадка снега с помощью бинокулярного микроскопа нами было определено процентное содержание природных и техногенных частиц: в юго-западном секторе содержание техногенных частиц составляет 84 %, а природных — 16 %; в северо-восточном — 77 и 23 %, а по мере удаления от промышленной агломерации (села Чернышевка, Березкино) — 40 и 60 %. В пробах, взятых в поселке Победа, основная доля загрязнений приходится на техногенные частицы (71 %), представленные главным образом сажей и шлаком. В табл. 2 и 3 приведены результаты оценки по данным ИНАА распределения тяжелых металлов, редких, редкоземельных и радиоактивных элементов в пробах, отобранных в населенных пунктах района исследования. В качестве фоновых значений для сравнения используются данные [4] с некоторыми дополнениями [6] по Среднему Васюгану.

Тяжелые металлы. В твердом осадке снега во всех населенных пунктах содержание мышьяка, кобальта, сурьмы, бария и стронция превышает фоновые значения в 4–16 раз, а содержание хрома находится в пределах фона. Пробы, отобранные в поселке Победа, характеризуются максимальными концентрациями кобальта, сурьмы, хрома и бария, а пробы из населенных пунктов юго-западной зоны — мышьяка и стронция.

Т а б л и ц а 2. Содержание элементов в пробах твердого осадка снега населенных пунктов полигона “Томский”, мг/кг

| Элемент | Поселок Победа | Села Чернышевка, Березкино | Юго-западный сектор | Северо-восточный сектор | Фон |
|-------------|----------------|----------------------------|---------------------|-------------------------|------|
| As | 2.5 | 2.5 | 3.5±1 | 2.7±1.2 | 0.5 |
| Co | 31.2±6.4 | 18±0.5 | 18±1 | 18.2±0.5 | 10.3 |
| Sb | 14.22±1.9 | 5.6±0.4 | 4.6±0.5 | 4.8±0.3 | 2.3 |
| Cr | 183.8±47.3 | 84.5±3.2 | 75.7±4.2 | 73.3±1.8 | 110 |
| Ba | 1698±419 | 1014±60.9 | 1085±42.1 | 1130.8±41.7 | 100 |
| Sr | 100.0 | 218±63.4 | 360±81.1 | 304.8±62.7 | 100 |
| Lu | 0.6±0.1 | 0.4±0.03 | 0.5±0.01 | 0.6±0.02 | 0.1 |
| La | 52±9.4 | 38.9±2.6 | 40.5±1.2 | 50.8±1.6 | 2.8 |
| Ce | 115.6±23.8 | 81.3±4.1 | 83.1±1.3 | 91.6±2.3 | 10.3 |
| Sm | 7.9±1.5 | 6.2±0.6 | 7.3±0.4 | 8.2±0.3 | 0.6 |
| Eu | 2.4±0.4 | 1.4±0.06 | 1.5±0.1 | 1.5±0.1 | 1.1 |
| Tb | 1.2±0.2 | 0.8±0.09 | 1±0.05 | 1.1±0.04 | 0.1 |
| Sc | 16.3±3.2 | 10.9±0.3 | 10.9±0.2 | 11.7±0.2 | 7.1 |
| Sc | 4.1±0.8 | 3.1±0.2 | 3.2±0.1 | 3.6±0.1 | 0.2 |
| Rb | 98.6±39 | 52.7±6.7 | 57.3±1.9 | 68.8±2.9 | 55 |
| Cs | 6.2±1.5 | 4.6±0.3 | 4.5±0.2 | 6.5±0.9 | 3.5 |
| Hf | 9.6±2.2 | 6.3±0.3 | 6.4±0.1 | 7±0.2 | 2.2 |
| Ta | 1.5±0.4 | 1.4±0.1 | 1.2±0.1 | 1.5±0.1 | 0.1 |
| U | 7.2±1.5 | 4.6±0.2 | 4.6±0.2 | 5.8±0.2 | 0.2 |
| Th | 18±3.7 | 12.3±0.4 | 11.7±0.3 | 13.9±0.4 | 2.9 |
| La/Yb | 12.6 | 12.7 | 12.8 | 14.2 | 14 |
| La+Ce/Yb+Lu | 35.6 | 34.5 | 34.2 | 34.3 | 34.7 |
| Число проб | 5 | 10 | 11 | 25 | |

В табл. 3 показано, что общая нагрузка на снеговой покров, создаваемая тяжелыми металлами, имеет четко выраженную закономерность: наименьшая — в поселке Победа и наибольшая — в северо-западной зоне.

Редкие элементы. В твердом осадке снега всех населенных пунктов концентрации гафния, цезия, рубидия, тантала превышают фоновые значения. В пробах, отобранных в поселке Победа, фиксируются максимальные концентрации рубидия и гафния, тогда как содержание цезия несколько повышено в пробах в северо-восточной зоне. Разброс значений концентрации тантала в пробах населенных пунктов незначителен. Следует отметить, что редкие элементы используются в процессе производств на СХК. Северо-восточный сектор характеризуется максимальной величиной среднесуточного выпадения редких элементов на снеговой покров.

Редкоземельные элементы. Содержание лютетия и иттербия в пробах твердого осадка снега незначительно. Пробы в поселке Победа характеризуются наибольшим содержанием церия, европия, скандия и иттербия. В то же время в пробах, отобранных в поселке Победа и в северо-восточной зоне, содержание лантана и самария близко.

Зоны влияния СХК можно выделять по величине отношений легких к тяжелым лантаноидам: лантан-иттербиевому отношению (La/Yb) и ((La+Ce)/(Yb+Lu)). Максимальные значения данных отношений приходятся на пробы в северо-восточном секторе, и они близки к фоновому значению. В целом величины отношений легких к тяжелым лантаноидам различаются незначительно в пробах, отобранных в каждом секторе.

Т а б л и ц а 3. Общая нагрузка, создаваемая поступлением химических элементов в пробах твердого осадка снега населенных пунктов полигона “Томский”, г/(км²·с)

| Элемент | Поселок Победа | Села Чернышевка, Березкино | Юго-западный сектор | Северо-восточный сектор | Фон |
|---------------------------------|----------------|----------------------------|---------------------|-------------------------|--------|
| As | 0.04±0.003 | 0.04±0.002 | 0.1±0.02 | 0.1±0.05 | 0.003 |
| Co | 0.5±0.08 | 0.3±0.02 | 0.6±0.06 | 0.7±0.08 | 0.06 |
| Sb | 0.2±0.03 | 0.08±0.005 | 0.1±0.01 | 0.2±0.02 | 0.01 |
| Cr | 2.7±0.7 | 1.2±0.05 | 2.4±0.2 | 2.7±0.2 | 0.7 |
| Ba | 25.1±5.7 | 14.2±1.4 | 35.0±3.7 | 42±4.1 | 0.60 |
| Sr | 1.5±0.1 | 3.1±0.9 | 11.6±3.6 | 11.3±3.7 | 0.60 |
| Lu | 0.001±0.002 | 0.01±0.0007 | 0.01±0.002 | 0.02±0.002 | 0.0005 |
| La | 0.6±0.1 | 0.6±0.06 | 1.3±0.2 | 1.9±0.2 | 0.017 |
| Ce | 1.7±0.3 | 1.1±0.1 | 2.7±0.3 | 3.4±0.3 | 0.06 |
| Sm | 0.1±0.3 | 0.1±0.01 | 0.2±0.03 | 0.3±0.03 | 0.003 |
| Eu | 0.04±0.02 | 0.02±0.001 | 0.05±0.01 | 0.1±0.01 | 0.007 |
| Tb | 0.02±0.006 | 0.01±0.002 | 0.03±0.004 | 0.04±0.004 | 0.0004 |
| Sc | 0.2±0.003 | 0.2±0.01 | 0.4±0.04 | 0.4±0.04 | 0.04 |
| Sc | 0.06±0.04 | 0.04±0.005 | 0.1±0.01 | 0.1±0.01 | 0.001 |
| Rb | 1.4±0.009 | 0.7±0.1 | 1.9±0.3 | 2.6±0.3 | 0.3 |
| Cs | 0.09±0.5 | 0.1±0.006 | 0.1±0.02 | 0.2±0.03 | 0.02 |
| Hf | 0.1±0.03 | 0.1±0.008 | 0.2±0.03 | 0.3±0.03 | 0.01 |
| Ta | 0.02±0.006 | 0.02±0.003 | 0.04±0.01 | 0.1±0.01 | 0.001 |
| U | 0.1±0.02 | 0.1±0.006 | 0.1±0.02 | 0.2±0.02 | 0.001 |
| Th | 0.3±0.05 | 0.2±0.01 | 0.4±0.05 | 0.5±0.05 | 0.02 |
| P_n , мг/(м ² ·с.) | 15 | 14 | 32.3 | 37.2 | 6 |
| Число проб | 5 | 10 | 11 | 25 | |

Радиоактивные элементы. В пробах твердого осадка снега в районах исследования содержание урана и тория значительно превышает фоновые значения. Наибольшие значения по содержанию урана приходятся на пробы, отобранные в поселке Победа и северо-восточной зоне, а содержание тория — в поселке Победа. По величине торий-уранового отношения и природе радиоактивных элементов изучаемых территорий можно выделить три типа: урановая — менее 3, смешанная — 3–6 и ториевая — более 6 [10]. В соответствии с этим делением пробы твердого осадка снега населенных пунктов изучаемых территорий характеризуются низкими значениями (менее 2.5 единиц), что указывает на урановую природу их радиоактивности. Это может быть обусловлено деятельностью как предприятий топливно-энергетического комплекса, так и предприятий ядерно-топливного цикла.

Рассматриваемые отношения элементов близки по значениям в исследуемых районах, что указывает на единство факторов, обуславливающих их формирование. По результатам ИНАА был построен геохимический ряд ассоциации элементов по убыванию коэффициента концентрации относительно фона. В пробах, отобранных в поселке Победа, отмечаются следующие ассоциации: U36 — Yb21 — Tb19 — La18.6 — Ba17 — Ta15 — Sm14 — Ce11 — Br8 — Lu7.6 — Na6.7 — Th6.2 — Sb6.2 — As5 — Hf4.4 — Ag4 — Co3 — Fe2.9 — Ca2.4 — Sc2.3 — Eu2.1; в селах Чернышевка и Березкино — U23 — Yb15 — Tb14 — La13.9 — Ta13.6 — Sm11 — Ba10 — Ce8 — Lu5.6 — As5 — Th4.2 — Ag4 — Na3.8 — Hf3 — Sb2.4 — Sr2.2 — Fe2; в юго-западном секторе — U23 — Tb16 — Yb15.8 — La15 — Sm13 — Ta12 — Ba11 — Ce8 — As7 — Lu6 — Na4.3 — Th4 — Ag4 — Sr3.6 — Hf3 — Fe2 — Sb2 — Br2; северо-восточный сектор — U29 — La18.2 — Yb18 — Tb17.8 — Ta15 — Sm14 — Ba11 — Ce9 — Lu7 — As5 — Th4.8 — Ag4.4 — Na4 — Hf3.2 — Sr3 — Br2.3 — Sb2.1 — Fe2.1. Согласно данным ассоциациям, геохимические спектры элементов в районах исследования близки между собой, т. е. самые аномальные содержания характерны преимущественно для урана с редкоземельными элементами и барием.

Заключение

Анализируя результаты геохимических исследований, можно сделать вывод, что влияние на природные системы Томск-Северской промышленной агломерации наблюдается не только в северо-восточном направлении, но и в юго-западном секторе, на что указывают близкие геохимические показатели пылеаэрозольных выпадений. Это может быть обусловлено переносом пылеаэрозолей от промышленных предприятий и топливно-энергетического комплекса в городах Томске и Северске, а также загрязнением от подстилающего почвенного покрова в силу аэродинамических закономерностей распределения потоков воздуха по долинам рек Томи и Оби. В пределах поселка Победа, относительно удаленного от Сибирского химического комбината, нефтехимического и теплоэнергетического комплексов, сформировались свои особенности и признаки загрязнения природной среды, поэтому он не может выступать в качестве фонового района для сравнения результатов исследований, проводимых в зоне влияния СХК. Таким образом, геохимическая оценка пылеаэрозолей на территории полигона “Томский” позволила установить, что пылеаэрозоли несут в себе четко выраженную техногенную нагрузку за счет воздействия СХК, топливно-энергетических комплексов (ГРЭС, ТЭЦ) и промышленных предприятий. Работы проводились в соответствии с Федеральной программой “Ведение государственного мониторинга состояния недр на территории Томской области” по договору с ОАО “Томскгеомониторинг”.

Список литературы

- [1] СОСТОЯНИЕ и комплексный мониторинг природной среды и климата. Пределы изменений. М.: Наука, 2001.
- [2] ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ мониторинг: Состояние окружающей среды Томской области в 2004 году / Под ред. А.М. Адам. Томск: Дельтаплан, 2005. 148 с.
- [3] ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ особенности природных сред Томского района и заболеваемость населения / Л.П. Рихванов, Е.Г. Язиков, Ю.И. Сухих и др. Томск, 2006. 216 с.
- [4] ШАТИЛОВ А.Ю. Вещественный состав и геохимическая характеристика атмосферных выпадений на территории Обского бассейна: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Томск, 2001. 24 с.
- [5] ЯЗИКОВ 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. Томск: Изд-во ТПУ, 1996. С. 312–316.
- [6] ЯЗИКОВ Е.Г. Экогеохимия урбанизированных территорий юга западной Сибири: Дис. ... докт. геол.-мин. наук. Томск, 2006. 420 с.
- [7] ВАСИЛЕНКО В.Н., НАЗАРОВ И.М., ФРИДМАН Ш.Ф. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 185 с.
- [8] МЕТОДИЧЕСКИЕ рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами. М.: ИМГРЭ, 1982. 111 с.
- [9] РУКОВОДСТВО по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186 № 2932-83. М.: Госкомгидромет, 1991. 693 с.
- [10] ГЕОХИМИЯ окружающей среды / Ю.Е. Сает, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. М.: Недра, 1990. 335 с.

Поступила в редакцию 21 февраля 2008 г.