

УДК 551.510.4

Сравнительная оценка геохимической активности атмосферы по соотношению составов разных фракций приземного аэрозоля в обсерватории «Фоновая» осенью 2016 г.

Б.Д. Белан¹, Д.В. Симоненков¹, А.В. Таловская²,
М.П. Тентюков^{1,3}, А.В. Фофонов¹, Е.Г. Язиков^{2*}

¹ *Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН*
634055, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1

² *Национальный исследовательский Томский политехнический университет*
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

³ *Сыктывкарский государственный университет им. Питиримы Сорокина*
167001, г. Сыктывкар, пр. Октябрьский, 55

Поступила в редакцию 17.04.2017 г.

Для фонового участка района Томь-Обского междуречья выполнен сравнительный анализ химического состава водо- и кислоторастворимой фракций аэрозоля в сухих выпадениях, сопряженный с оценкой соотношения субмикронной и грубодисперсной фаз в приземном аэрозоле указанного фонового района и изучением их минерально-вещественного состава с использованием сканирующей электронной микроскопии. Выявлены различия в соотношениях металлов в водо- и кислоторастворимой фракциях. Обосновано предполагается, что водорастворимые соединения в основном содержатся в субмикронной фракции, тогда как кислоторастворимые формируют грубодисперсную.

Ключевые слова: атмосферный аэрозоль, сухие выпадения, пассивный пробоотбор; atmospheric aerosol, dry deposition, passive sampling.

Введение

Одной из главных современных проблем является потепление глобального климата. В [1] отмечается, что различия между расчетами по моделям и данными наблюдений могут в ряде случаев вести к переоценке роста влияния концентрации аэрозолей на радиационный режим нижних слоев атмосферы. Автор [2] констатирует, что моделирование аэрозольного воздействия на атмосферные процессы затруднено из-за сильной пространственно-временной изменчивости аэрозолей. Это вызывает необходимость оценки воздействия различных климатообразующих факторов. Большое значение придается выхолаживающему воздействию на климат субмикронных сернокислых и сульфатных частиц антропогенного происхождения. Рост концентрации таких частиц рассматривается как главный компенсационный механизм, сдерживающий развитие «парни-

кового эффекта» на планете [3]. Вместе с тем техногенное увеличение аэрозольной массы может существенно влиять на химический состав атмосферы, активизируя гетерогенные химические реакции в атмосфере, в которых важная роль принадлежит субмикронной аэрозольной фракции. Для них характерно преобладающее влияние поверхности, отличающейся значительной энергонасыщенностью, которая растет с уменьшением размера частицы. Исследования термодинамики микрочастиц показали, что размер частицы можно рассматривать как эквивалент температуры; он является активной переменной, определяющей, наряду с другими термодинамическими переменными, состояние системы и ее реакционную способность (увеличение растворимости, сдвиг химического равновесия) [4]. Тем не менее, за некоторыми исключениями, потенциальная роль и значение субмикронных частиц в химии атмосферы изучены недостаточно.

В связи с этим целью нашего исследования — сравнительный анализ химического состава водо- и кислоторастворимой фракций в сухих атмосферных выпадениях, сопряженный с оценкой соотношения субмикронной и грубодисперсной фаз в приземном аэрозоле и сопоставлением их минерально-вещественного состава.

* Борис Денисович Белан (bbd@iao.ru); Денис Валентинович Симоненков (simon@iao.ru); Анна Валерьевна Таловская (talovskaj@yandex.ru); Михаил Пантелеймонович Тентюков (tentukov@yandex.ru); Александр Владиславович Фофонов (alenfo@iao.ru); Егор Григорьевич Язиков (yazikov@tpu.ru).

Методология эксперимента

В сентябре 2016 г. в обсерватории «Фоновая» Института оптики атмосферы СО РАН (60 км западнее г. Томска) была создана площадка для пассивного мониторинга аэрозоля. Она расположена рядом с постом мониторинга состава воздуха для того, чтобы иметь возможность проводить измерения параллельно с аэрозольным спектрометром Grimm 1.108. Первые результаты этих параллельных полевых исследований, полученные с сентября по ноябрь 2016 г., приводятся и обсуждаются в данной статье.

Для отбора и анализа частиц методом активной фильтрации использовался тефлоновый фильтр Grimm 1.113A (величина пор 1,2 мкм). Несмотря на высокую пористость мембранных материалов PTFE, к которым относится фильтр Grimm 1.113, эффективность осаждения субмикронных частиц близка к 100%, проседая не более чем на 10% в диапазоне наночастиц при скорости потока на порядок больше используемой в спектрометре Grimm 1.108 [5].

Измерения счетной концентрации аэрозольным спектрометром производятся по 15 каналам дисперсности от 0,3 до >20 мкм еже часно в течение 10 мин с предварительной продувкой в течение 3 мин. Концентрация приземного аэрозоля измеряется в воздушном потоке, который изокинетично отбирается из аэродинамической воздухозаборной трубы на высоте 4 м. Расход воздушного потока в спектрометре составляет 1,2 л/мин.

Чистый фильтр Grimm 1.113 был установлен в спектрометр 1 сентября 2016 г. и снят с экспозиции 9 ноября 2016 г. Для изучения минерально-вещественного состава аэрозолей, отобранных на тефлоновый фильтр Grimm 1.113A, использовали метод сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Исследования выполнялись в лаборатории электронно-оптической диагностики МИНОЦ «Урановая геология» на базе кафедры геологии и геохимии ТПУ на электронном сканирующем микроскопе (S-3400N, фирма Hitachi, Япония) с энергодисперсионной приставкой для микроанализа (XFlash 4010, фирма Bruker, Германия). Элементный состав частиц определялся с помощью программы EDAX Esprit, которая основана на полуколичественном элементном анализе с погрешностью 10–15% в зависимости от определяемого элемента. Для анализа методом СЭМ выделялся полусекторальный сегмент фильтра Grimm 1.113A площадью 2 см².

Водные и кислотные экстракты из основных частей (кроме вышеупомянутого полусекторального сегмента) тефлонового фильтра подвергались количественному химическому анализу методом масс-спектропии с индуктивно-связанной плазмой в ООО «Химико-аналитический центр «Плазма»» (г. Томск), подобно описанным далее бумажным фильтрам. Этот метод достаточно информативен, поскольку позволяет одновременно, в равных условиях, из одной части анализируемого раствора определять химические элементы, концентрации которых могут отличаться на порядки.

Параллельно с активным отбором аэрозоля на тефлоновый фильтр спектрометра производился пассивный пробоотбор сухих выпадений. Пассивный сбор аэрозолей осуществляли в пределах того же приземного слоя воздуха на специально созданных аэрозольных площадках в непосредственной близости (не более 10 м) от устройств активного пробоотбора. Осаждение аэрозолей велось на химически инертный сорбционный субстрат. Экспонирование подложек производилось в особых устройствах – импульвераторах [6]. Конструкция импульвератора обеспечивает природный механизм сухого осаждения аэрозолей из атмосферы. При этом длительность экспонирования не зависит от сорбционной емкости субстрата и определяется только задачами исследования [7, 8]. На площадке установлено 160 импульвераторов. Депонирующий химически инертный сорбционный субстрат – это бумажные обеззоленные фильтры «белая лента» диаметром 18 см. В каждый импульвератор закладывалось четыре фильтра; время экспонирования – с 6 сентября по 8 ноября 2016 г. Из них готовились водные и кислотные вытяжки $\omega(\text{HNO}_3) = 5\%$. Фильтры выдерживались в растворе кислоты 24 ч. Для учета химической неоднородности сорбента в каждую партию анализируемого материала включались «холостые» пробы (контроль) – чистые фильтры из той же пачки, что и фильтры, установленные в устройствах.

Количественный химический анализ водных и кислотных вытяжек также осуществляли с использованием метода масс-спектропии с индуктивно-связанной плазмой [8]. В качестве сравниваемого параметра был выбран показатель, характеризующий отношение массовой концентрации металла в растворе (мкг · дм⁻³) в пересчете на 1 г фильтров.

Для сравнения распределения химических элементов в приземном воздухе использовались диаграммы. Однако из-за резкого различия содержания элементов в пробе ($n \times 10^2 - n \times 10^{-5}$) их невозможно изобразить на одном графике. Поэтому для графической интерпретации результатов применялись не абсолютные значения элементов в пробе, а нормированные величины, в данном случае – коэффициент (A_i) и модуль аэрозольного обогащения (M_i). Подробное описание расчетов показателей приведено в работе [8]. Они основаны на сопоставлении химического состава экспонированных образцов и эталона, где в качестве последнего выступают контрольные (неэкспонированные) образцы субстрата. Считается, что все отклонения концентрации металла в экспонированном образце относительно контроля (эталона) связаны с качественным составом аэрозольной среды в приземном слое воздуха изучаемого участка.

Результаты и их обсуждение

Рассмотрим общую характеристику приземного аэрозоля за период эксперимента, основываясь на измерениях его счетной концентрации, а также результатах исследования минерально-вещественного

состава аэрозольных частиц на фильтре Grimm 1.113 методом СЭМ.

При измерениях счетной концентрации частицы объединены по размерам в две фракции: субмикронную (0,3–1 мкм) и грубодисперсную (> 1 мкм). Ход счетной концентрации этих фракций в период экспонирования фильтров представлен на рис. 1. Доверительный интервал по данной выборке для счетной концентрации (N) субмикронной фракции лежит в пределах $12372,6 \div 144988,8$ со среднегеометрическим значением $42354,3 \text{ дм}^{-3}$; для частиц размером $d > 1 \text{ мкм}$ аналогичные значения составляют $60,2 \div 648,3$ и $197,5 \text{ дм}^{-3}$ ($P = 0,95$).

По результатам измерений счетных концентраций произведена оценка объемов, занимаемых каждой фракцией в единице объема воздуха, путем

пересчета измеренных счетных концентраций по формуле [9]:

$$C_v = \pi/6 \sum (N_i d_i^3),$$

где N_i – счетная концентрация в каждом суммируемом измерительном диапазоне, дм^{-3} ; d_i – средний (геометрический) диаметр частиц каждого диапазона измерений $[d_i - d_{i+1}]$ (для оценки верхней границы последнего измеряемого и суммируемого диапазона принято допущение $d_{15+1} = 25 \text{ мкм}$); C_v – объемная концентрация аэрозольных частиц просуммированных диапазонов, $\text{мкм}^3/\text{дм}^3$.

На рис. 2 приведено соотношение объемных концентраций, занимаемых частицами грубодисперсной и субмикронной фракций в одном объеме воздуха.

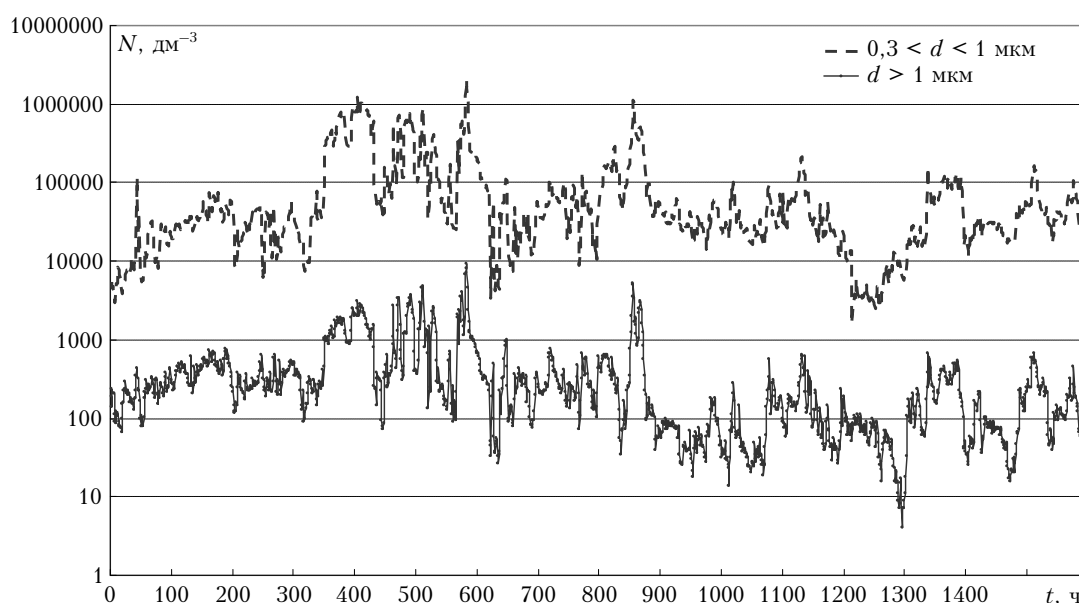


Рис. 1. Временной ход счетной концентрации субмикронной и грубодисперсной фракций приземного аэрозоля с 1 сентября по 9 ноября 2016 г. в пункте измерений (обсерватория «Фоновая»)

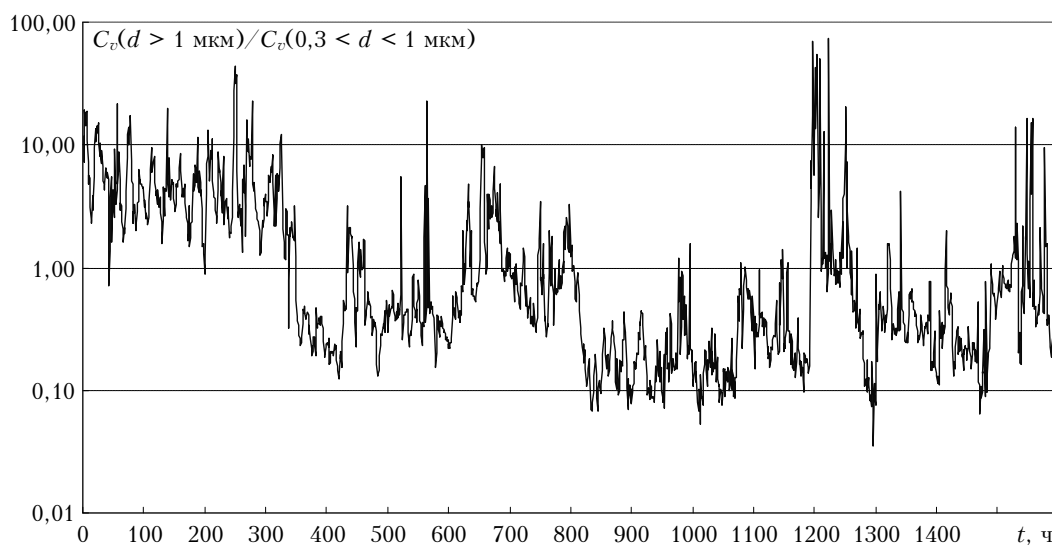


Рис. 2. Временной ход соотношения объемных концентраций грубодисперсной и субмикронной фракций аэрозоля за период измерений

Начало периода измерений феноменологически относится к лету и, согласно графикам на рис. 1 и 2, характеризуется относительно высоким содержанием крупных частиц, очевидно, почвенно-эрозионного происхождения, которые определяют объемную концентрацию приземного аэрозоля всю первую половину сентября (до 300 ч измерений). Результаты исследования вещественного состава аэрозолей методом СЭМ показали, что грубодисперсные почвенно-эрозионные частицы представлены различными группами минералов (таблица). Позднее осенние ночные заморозки и уменьшение солнечной радиации наряду с активными осадками (рис. 3, 700 ч измерений) снижают эффективность почвы как источника пылевого аэрозоля, а установление отрицательных температур (рис. 3, 800 ч) и снежного покрова с 14 октября полностью исключает местный почвенный фактор. Скачки концентраций аэрозольных частиц в последний отмеченный период связаны с нарастанием антропогенного вклада как

местных, так и отдаленных топливно-энергетических источников в период между снегопадами.

По результатам СЭМ (см. таблицу) в пробах аэрозолей, отобранных на тефлоновый фильтр Grimm 1.113A, были обнаружены грубодисперсные частицы сульфатов и сульфидов, не являющиеся типичными для почв изучаемого региона и, вероятно, имеющие антропогенное происхождение.

Субмикронная фракция также представлена антропогенными частицами, которые, по-видимому, поступают преимущественно с выбросами угольных теплоэлектростанций, так как сходные по составу частицы были ранее обнаружены в твердой фазе снега в окрестностях Томской ГРЭС-2 [10] и сельских угольных котельных области [11].

По результатам анализа сухих выпадений, отобранных на импультвераторы, отдельно проанализированы группы макро- и микроэлементов, близких по своим геохимическим свойствам, условно не зависящие друг от друга (рис. 4 и 5).

Характеристика минерально-вещественного состава аэрозолей, отобранных на тефлоновый фильтр Grimm 1.113A, в обсерватории ИОА СО РАН «Фоновая» (с 1 сентября по 9 ноября 2016 г.)

Фракция	Происхождение	Группа частиц	Преобладающие элементы	Элементы-примеси	Диапазон размера, мкм	Содержание частиц, %
Грубодисперсная	Почвенно-эрозионное	минералы оксидов Fe	Fe, O	н.о.	1,0–5,8	15
		силикаты	Al, Si, O	н.о.	5,7–7,6	39
		карбонаты	Ca, C, O	н.о.	1,3–2,8	5
Грубодисперсная	Антропогенное	сульфаты Ba	Ba, S	н.о.	2,3–2,9	5
		сульфаты Ba с примесью Fe	Ba, S	Fe, Si	2,5–2,9	2
		сульфиды Fe	Fe, S	Si	1,9–2,2	7
		Al-Si сферулы	Al, Si, O	н.о.	1,5–3,8	7
		Fe-O сферулы	Fe, O	н.о.	1,4–2,0	2
Субмикронная	Антропогенное	сульфиды Pb	Pb, S	н.о.	0,7–1,0	5
		сульфиды Fe	Fe, S	н.о.	0,5–0,9	5
		Al-Si-Ca сферулы	Al, Si, Ca, O	P, Mg, S, Fe	0,7–1,0	2
		Al-Si сферулы	Al, Si, O	Na, K, Fe	0,6–0,9	6

Примечание. «н.о.» – не обнаружено.

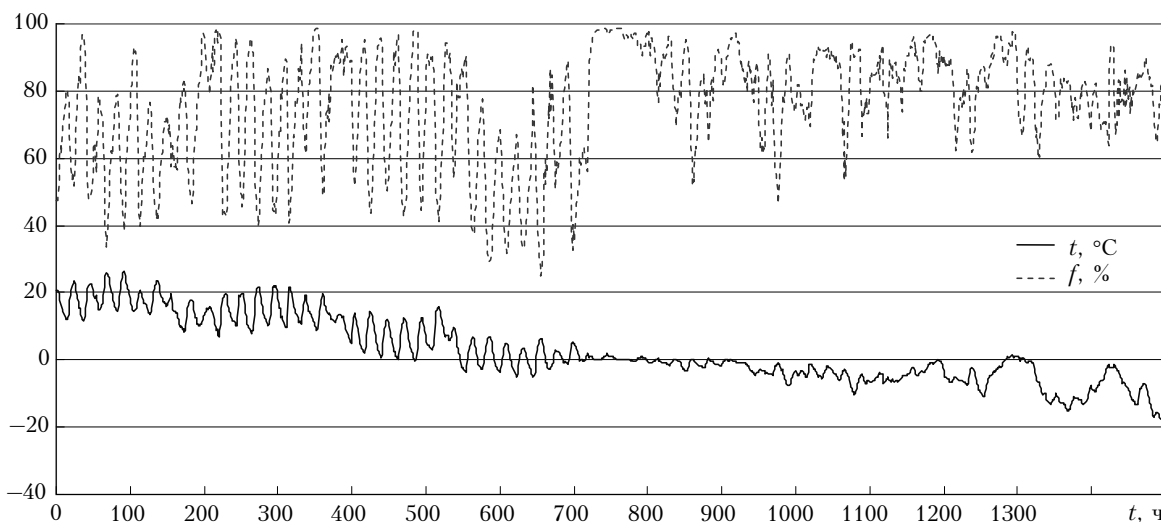
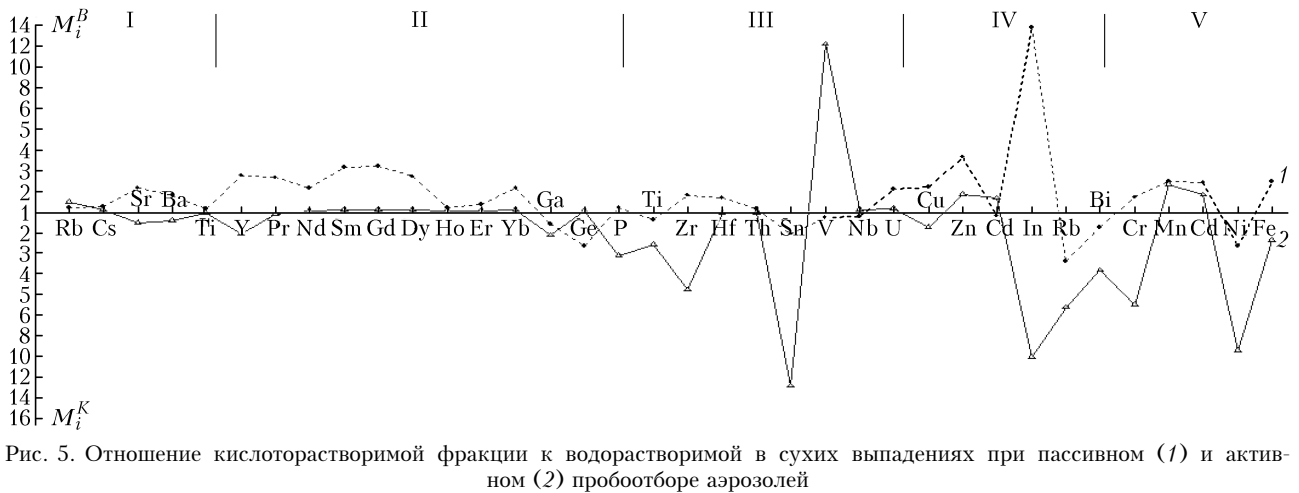
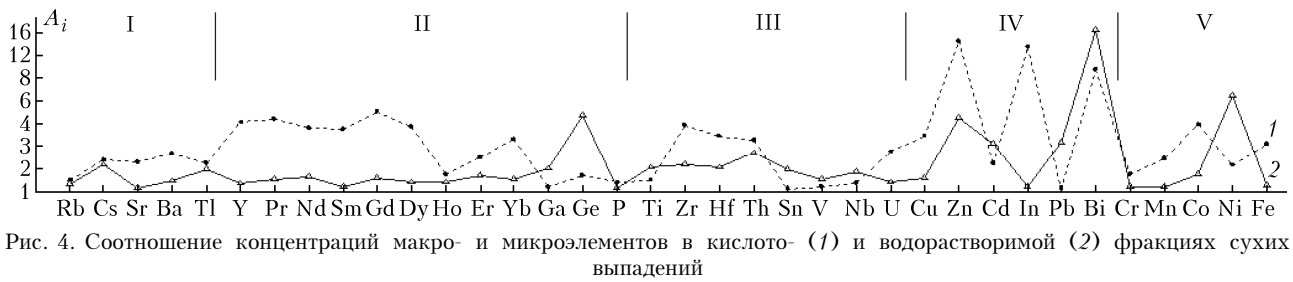


Рис. 3. Ход метеопараметров (температуры и относительной влажности воздуха) в период эксперимента в пункте измерений (обсерватория «Фоновая»)



Первую группу составили *типичные катионогенные элементы-литофилы*: Rb, Cs, Sr, Ba, Tl (см. рис. 4). В данной группе аэрозольное обогащение легкорастворимыми формами хорошо выражено для всех элементов, за исключением Rb. Вместе с тем отмечается характерное превышение Sr и Ba в водорастворимой фракции, тогда как для Rb, Cs, Tl соотношение концентраций близко к единице (см. рис. 5). Близость геохимических свойств этих трех элементов дает основание предположить, что в основном их миграция осуществляется в виде слаборастворимых минеральных соединений в составе выбрасываемых зольных уносов ТЭЦ, которые затем претерпевают химические преобразования в аэрозольной среде. Процесс сопровождается увеличением доли легкорастворимых фракций в аэрозольном стоке. Для бария и стронция такой однозначной трактовки атмосферного фракционирования пока нет.

Вторую группу образовали *катионо- и анионогенные элементы-литофилы с постоянной валентностью*: Y, Pr, Nd, Sm, Gd, Dy, Ho, Er, Yb, Ga, Ge, P. Отличительной особенностью указанной ассоциации микроэлементов, за исключением Ga и Ge, является сильно выраженное обогащение сухих выпадений легкорастворимыми соединениями лантаноидов. (Относительно высокая концентрация Ga и Ge в кислотной вытяжке свидетельствует о преимущественной миграции галлия в составе минералов глины и германия в зольных уносах ТЭЦ.) Ранее было показано [12–14], что аэрозольное поступление редкоземельных элементов может быть связано с деятельностью не только предприятий ядерно-топливного цикла, но и объектов угольной теплоэнергетики.

В связи с последним обращает на себя внимание различие значений модулей аэрозольного обогащения фосфором в кислоторастворимой фракции при пассивном и активном пробоотборе (см. рис. 4). Известно, что фосфор относится к элементам средней углефильности. Поэтому, учитывая высокую долю угольных ТЭЦ в инфраструктуре Томск-Северской промышленной агломерации, можно полагать, что поступление фосфора в аэрозольную среду региона происходит при сжигании угля. Механизм поступления фосфора связан с сухим осаждением его соединений. По имеющимся материалам [15] можно предположить, что в качестве носителей фосфора могут выступать низкотемпературные карбонатапатиты и (или) фосфатосульфаты, входящие в состав грубодисперсной фракции аэрозолей.

В третью группу вошли *катионо- и анионогенные элементы-литофилы с переменной валентностью*: Ti, Zr, Hf, Th, Sn, V, Nb, U, внутри которой можно выделить две ассоциации элементов (см. рис. 4). В одной водорастворимая фракция преобладает над кислоторастворимой (Zr, Hf, Th, U), а в другой зависимость обратная (Ti, Sn, V, Nb). Но связать выявленные различия только с промышленной специализацией региона будет неверно, следует продолжить наблюдения. Хотя для группы Zr, Hf, U можно предположить, что их аэрозольное обогащение в приземном воздухе обусловлено работой предприятий ядерно-топливного цикла и объектов угольной теплоэнергетики [12].

Четвертую группу сформировали *металлы-сульфофилы*: Cu, Zn, Cd, In, Pb, Bi. Общим для всей группы является преобладание в аэрозольном стоке водорастворимой фракции (см. рис. 4).

С учетом высокого сродства химических элементов к сере высока вероятность связи с кислотообразующими аэрозолями, механизм образования которых в регионе показан в [16]. Однако для объяснения высокой доли кислоторастворимых соединений цинка и висмута в аэрозольном стоке данного механизма недостаточно.

Пятая группа состоит из *элементов-сидерофилов*: Cr, Mn, Co, Ni, Fe. Предполагается, что высокая доля водорастворимой фракции — результат взаимодействия кислотообразующих аэрозолей с оксидами металлов.

Таким образом, анализ соотношения концентраций макро- и микроэлементов в сухих выпадениях выявил преимущественное преобладание водорастворимой фракции над кислоторастворимой.

Сделаем оценку химического потенциала атмосферы, сравнивая соотношение металлов в кислото- и водорастворимой фракциях сухих выпадений (см. рис. 5, кривая 1). Как видно из графика, характер распределения макро- и микроэлементов демонстрирует устойчивое преобладание в стоке аэрозолей растворимых соединений металлов. Это отражает общее свойство аэрозольной среды — обогащение легко растворимыми соединениями металлов.

Вместе с тем сравнение модулей аэрозольного обогащения (см. рис. 4) показало, что концентрации макро- и микроэлементов в кислотной фракции, полученной с тефлоновых фильтров, превышают таковые в водной. Возможно, что при активной прокачке воздуха через тефлоновый фильтр он быстро «забивается» грубодисперсной фракцией. Данное предположение основывается на анализе измерений счетной концентрации субмикронной и грубодисперсных фракций аэрозоля (см. рис. 2). Однако при активном сборе аэрозолей с помощью аспирационных установок трудно избавиться от того, что наряду с субмикронными частицами в установку попадает определенное количество грубодисперсных частиц размерами, значительно превышающими диаметры пор фильтров [17]. Это ведет к росту сопротивления сорбентов при прокачке воздуха. Судя по рис. 5, в начале экспонирования в приземном воздухе преобладала грубодисперсная фракция почвенно-эрозионного происхождения, которая после выпадения снега существенно снизилась. Следовательно, при активном пробоотборе результаты химического анализа тефлонового фильтра больше воспроизводят начальную фазу пробоотбора, и преимущественно микроэлементный состав грубодисперсной фракции.

Следует отметить, что при пассивном пробоотборе движение конвективных и турбулентных потоков воздуха над поверхностью субстрата внутри импульсвератора относительно постоянно. Их интенсивность контролируется естественным изменением градиентов температур и относительной влажности, что обеспечивает естественный механизм осаждения аэрозолей из пограничного слоя. Поэтому преобладание в стоке аэрозолей водорастворимой фракции над кислоторастворимой (см. рис. 5) мы связываем

с тем, что объемная концентрация субмикронного аэрозоля в приземном слое воздуха выше, чем грубодисперсного, что подтверждается существенным преобладанием во временном ходе оценок соотношения $C_v(d > 1 \text{ мкм})/C_v(0,3 < d < 1 \text{ мкм})$ (см. рис. 2).

Известно, что химический состав и реактивность мелких аэрозольных частиц может сильно отличаться от таких же характеристик крупных. Возможно, преобладание в стоке сухих выпадений водорастворимой фракции над кислоторастворимой связано с увеличенным объемом водорастворимых ядер конденсации. Имеющиеся данные свидетельствуют об участии наноструктур в химическом превращении минеральных частиц в атмосфере [18]. Например, наноразмерные водные пленки, образующиеся на поверхности минеральных зерен за счет капиллярной конденсации, могут служить средой для протекания поверхностных гетерогенных химических реакций с участием антропогенного аэрозоля. Считается [19], что такие реакции способствуют быстрому выведению из атмосферы малых газовых компонентов. Очевидно, что внедрение нанохимических представлений в вопросы изучения атмосферного вещества дополнит существующие знания о физико-химических процессах в атмосфере новым содержанием.

Заключение

Для фонового района Томь-Обского междуречья выполнены исследования счетной и объемной концентраций приземного аэрозоля, минерально-вещественного состава частиц, изменчивости соотношения водо- и кислоторастворимых фракций в сухих выпадениях с последующей сравнительной оценкой информативности активного и пассивного методов отбора аэрозоля.

Различия в соотношениях металлов в водо- и кислоторастворимой фракциях позволяют предположить, что состав водорастворимой фракции определяется субмикронными частицами, тогда как кислоторастворимая — грубодисперсными.

Полученные результаты повышают информативность интерпретации результатов измерения счетно-массовой концентрации аэрозольными спектрометрами серии Grimm и анализа химического состава аэрозольного стока с помощью пассивных методов отбора, что расширяет возможности аэрозольного мониторинга в фоновых районах.

Анализ счетно-массовой концентрации аэрозолей и изучение их минерально-вещественного состава на сканирующем электронном микроскопе позволяют определить типы и процентное содержание грубодисперсных и мелкодисперсных почвенно-эрозионных и антропогенных частиц, формирующихся за счет локальных и региональных источников.

Авторы выражают благодарность А.Ю. Иванову и Е.А. Мелниковичу за техническое содействие при сборе материалов, С.С. Ильенку и Н.В. Федюниной за проведение аналитических работ.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ № 16-45-700184 р_а и ВР Exploration Operating Company Limited (2016 г.).

1. МГЭИК, 2014: Изменение климата, 2014 г.: Обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп I, II и III в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата / Основная группа авторов, Р.К. Пачаури и Л.А. Мейер (ред.). МГЭИК, Женева, Швейцария, 163 с.
2. Ивлев Л.С. Аэрозольное воздействие на климатические процессы // Оптика атмосф. и океана. 2011. Т. 24, № 5. С. 392–410.
3. Charlson R.J., Schwartz S.E., Hales J.M., Cess R.D., Coakley Jr.J.A., Hansen J.E., Hofmann D.J. Climate Forcing by Anthropogenic Aerosol // Science. 1992. V. 255, N 5043. P. 423–430.
4. Юшкин Н.П. Ультра- и микродисперсное состояние минерального вещества и проблемы наноминералогии // Наноминералогия. СПб.: Наука, 2005. С. 10–61.
5. Soo J.-Ch., Monaghan K., Lee T., Kashon M., Harper M. Air sampling filtration media: Collection efficiency for respirable size-selective sampling // Aerosol Sci. Technol. 2016. V. 50, N 1. P. 76–87. DOI: 10.1080/02786826.2015.1128525.
6. Контейнер для сбора сухих атмосферных аэрозолей: Пат. 72844. Россия, МКПО 09–03. Тентюков М.П.; Ин-т биологии Коми НИ УрО РАН. № 2008501008; Заявл. 31.03.2008; Оpubл. 16.11.2009.
7. Способ сбора сухих аэрозолей для контроля окружающей среды и устройство для его осуществления: Пат. 2314511. Россия, МПК, G 01 N 1/22. Тентюков М.П.; Ин-т биологии Коми НИ УрО РАН. № 2005141282/12; Заявл. 28.12.2005; Оpubл. 10.01.2008. Бюл. № 1. 6 с.: ил.
8. Способ и устройство для экспонирования контейнеров для сбора сухих аэрозолей на беслесных территориях: Пат. 2459191. Россия, МПК, G 01 N 1/22. Тентюков М.П.; Ин-т биологии Коми НИ УрО РАН. № 2010150949/05; Заявл. 13.12.2010; Оpubл. 10.01.2008. Бюл. № 23. 6 с.: ил.
9. Seinfeld J.H., Pandis S.N. Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change. New York: John Wiley & Sons, 1998. 1327 p.
10. Филлимоненко Е.А., Таловская А.В., Язиков Е.Г. Особенности вещественного состава пылевых атмосферных выпадений в зоне воздействия предприятия топливно-энергетического комплекса (на примере Томской ГРЭС-2) // Оптика атмосф. и океана. 2012. Т. 25, № 10. С. 896–901.
11. Таловская А.В., Язиков Е.Г., Шахова Т.С., Филлимоненко Е.А. Оценка аэротехногенного загрязнения в окрестностях угольных и нефтяных котельных по состоянию снегового покрова (на примере Томской области) // Изв. Том. политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327, № 10. С. 116–128.
12. Язиков Е.Г. Экогеохимия урбанизированных территорий юга Западной Сибири: Автореф. ... д-р геол. мин. наук. Томск: Том. политехн. ун-т, 2006. 47 с.
13. Рихванов Л.П., Язиков Е.Г., Барановская Н.В., Жорняк Л.В., Таловская А.В., Денисова О.А., Сулих Ю.И. Состояние компонентов природной среды Томской области по данным эколого-геохимического мониторинга и здоровье населения // Безопасность жизнедеятельности. 2008. № 1. С. 29–37.
14. Таловская А.В., Филлимоненко Е.А., Язиков Е.Г. Оценка загрязнения атмосферного воздуха урбанизированных районов Томской области по данным изучения снегового покрова // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геохронология. 2014. № 5. С. 408–417.
15. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 655 с.
16. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Симоненков Д.В. Фотохимическое образование микродисперсного аэрозоля в атмосфере континентального района // Оптика атмосф. и океана. 2006. Т. 19, № 4. С. 328–339.
17. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Сагет, Б.А. Ревич, Е.П. Янин, Р.С. Смирнова, И.Л. Бамаркевич, Т.Л. Онищенко, Л.Н. Павлова, Н.Я. Трефилова, А.И. Ачкасов, С.Ш. Саркисян. М.: Недра, 1990. 335 с.
18. Cort A., Scot T.M. Atmospheric nanoparticles // Rev. Mineral. Geochem. 2001. V. 44, N 1. P. 293–349. DOI: 10.2138/rmg.2001.44.08.
19. Кондратьев К.Я., Ивлев Л.С. О воздействии антропогенного аэрозоля на климат // Докл. АН. 1995. Т. 340, № 1. С. 98–99.

B.D. Belan, D.V. Simonenkov, A.V. Talovskaya, M.V. Tentyukov, A.V. Fofonov, E.G. Yazikov.
Comparative estimation of the geochemical activity of the atmosphere based on the ratios of the compositions of different aerosol fractions in the surface air layer at the "Fonovaya" observatory: measurement campaign of autumn 2016.

The comparative analysis of the chemical composition of water- and acid-soluble fractions in dry deposits is performed; the ratio of submicron and coarse phases in surface aerosols is assessed and their mineral and material composition are studied for the background region of Tom–Ob interfluvium with use of the scanning submicroscopy. Distinctions in the ratios of metals in the water- and acid-soluble fractions are revealed. It is suggested that water-soluble compounds generally form the submicron fraction, and acid-soluble compounds, the coarse fraction.