

УДК 543.26

ЧАГИНА Наталья Борисовна, кандидат технических наук, доцент кафедры химии и химической экологии института естественных наук и технологий Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Автор 40 научных публикаций, в т. ч. двух учебных пособий

АЙВАЗОВА Елена Анатольевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры общей и биомедицинской химии Северного государственного медицинского университета. Автор 51 научной публикации

ИВАНЧЕНКО Николай Леонидович, кандидат химических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии института естественных наук и технологий Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Автор 28 научной публикации, в т. ч. одной монографии

ВАРАКИН Евгений Александрович, инженер Центра коллективного пользования научным оборудованием «Арктика» Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Автор 16 научных публикаций

АНАЛИЗ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ПРИДОРОЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ Г. АРХАНГЕЛЬСКА*

В зимний период основными загрязнителями воздуха в городе Архангельске являются предприятия теплоэнергетики и транспорт, в результате действия которых в атмосферу поступают не только агрессивные газы, но и взвешенные частицы и тяжелые металлы, содержание которых не определяется в сети Гидромета. Поэтому информация о поллютантах в городской среде является неполной. Наше исследование направлено на получение дополнительной информации о составе взвешенных частиц и снега в черте города Архангельска вдоль основных транспортных магистралей Соломбальского, Октябрьского, Ломоносовского округов и округа Варавино–Фактория в 2013 году. Определены значения физико-химических характеристик снежного покрова: удельная электропроводность, рН, содержание взвешенных частиц. Методом жидкостной хроматографии с использованием ВЭЖХ-системы LC-20 «Prominence» определено содержание калия, натрия, магния, кальция. Содержание тяжелых металлов (железа, марганца, меди, свинца, кадмия, кобальта, хрома) определили методом атомно-эмиссионной на спектрометре ICPE-9000. Содержание растворимых форм тяжелых металлов в талой воде не превышает ПДК (мг/дм³). Построен геохимический ряд распределения растворимых форм щелочных и тяжелых металлов в снежном покрове придорожной полосы в черте города Архангельска, который может быть представлен следующим образом: Na > Ca > Mg > K >> Fe ≈ Mn > Cu > Pb > Ni > Co > Cr > Cd. Исследование элементного состава твердых частиц было проведено с помощью сканирующего электронного микроскопа «Sigma VP» («Carl Zeiss»), оборудо-

*Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования научным оборудованием «Арктика» Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, ГК от 29.04.2011 г. № 16.552.11.7023.

ванного системой энергодисперсного анализа «INCA Energy» («OXFORD»). В структуре твердых частиц обнаружено присутствие щелочных, щелочноземельных металлов, а также железа, титан. Из неметаллов присутствуют углерод, кремний и сера.

Ключевые слова: городская атмосфера, автотранспорт, снеговые выпадения, щелочные металлы, щелочноземельные металлы, тяжелые металлы, взвешенные частицы.

Качество атмосферного воздуха в городе Архангельске и Архангельской области определяют промышленность, городское инженерное хозяйство и транспорт. Согласно материалам Доклада об экологическом состоянии Архангельской области в 2013 году [1], основной вклад в загрязнение атмосферного воздуха от стационарных источников вносят предприятия по производству и распределению электроэнергии, газа и воды (36,0%), предприятия обрабатывающей промышленности (34,5%), транспорта и связи (23,4%). Количество вредных выбросов предприятий год от года снижается, но выбросы от транспортных средств увеличиваются, что связано с ростом количества автомобилей на дорогах. В 2011 году количество зарегистрированных автотранспортных средств составило 99 820 ед., в 2012-м – 107 081 ед., а в 2013-м – уже 116 166 ед.

Наблюдение за загрязнением атмосферы автотранспортом осуществляет Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северное УГМС» на стационарном автоматизированном посту № 4, расположенном на пересечении ул. Тимме и ул. Воскресенской, относящемся к категории «автомобильный». Для получения информации о среднесуточных и максимальных разовых концентрациях вредных (загрязняющих) веществ на посту проводится ежедневное круглосуточное наблюдение. Газоанализаторы обеспечивают автоматическое измерение, обработку и регистрацию результатов измерений концентраций оксидов серы, углерода и азота, сероводорода [2]. Однако помимо газообразных продуктов сгорания топлива в атмосферу поступают соединения тяжелых металлов и взвешенные частицы, являющиеся продуктами механическо-

го износа деталей автомобиля и стирания шин о дорожное покрытие, состав и количество которых при текущем мониторинге не оценивается. Кроме того, в зимнее время происходит распространение кислотно-солевого аэрозоля от поверхности дороги в придорожные полосы, что приводит к засолению или закислению почв городских газонов [3]. Так, было обнаружено, что в снеговых пробах автомобильной дороги Исакогорка–Васьково содержание свинца, меди, марганца, олова, никеля, ванадия, молибдена, алюминия, титана, висмута, кобальта, серебра превышает фоновые значения. При этом максимальное количество тяжелых металлов накапливается в 100-метровой придорожной полосе справа и 50-метровой полосе слева от проезжей части [4].

Все компоненты автомобильных выбросов влияют на здоровье человека. Взвешенные частицы при проникновении в органы дыхания приводят к нарушению работы систем дыхания и кровообращения, при этом влияют непосредственно как на респираторный тракт, так и на другие органы за счет токсического воздействия входящих в их состав частиц тяжелых металлов. Механизмы токсического действия тяжелых металлов связаны со стабилизацией и активацией многих белков, при этом происходит конкуренция между необходимыми и токсичными ионами за активные центры в белках. Особенно опасны частицы диаметром 0,1–1 мкм, которые эффективно адсорбируются легкими. Легкие поглощают ионы металлов, присутствующие в составе взвешенных частиц, в десять раз эффективнее, чем желудочно-кишечный тракт [5].

Таким образом, определение содержания растворимых и нерастворимых форм тяжелых

металлов в атмосфере является важной частью экологического мониторинга городской среды. Но получить детальную картину загрязнения воздуха в городе весьма затруднительно из-за большого числа источников выброса и сложных закономерностей распространения загрязняющих веществ в условиях городской застройки. Поэтому снежный покров является удобным индикатором образования техногенных геохимических аномалий. Обладая кумулятивным эффектом, он позволяет получить реальную суммарную величину выпадений загрязняющих веществ, отражающую уровень загрязнения приземных слоев атмосферы [6]. Целью нашего исследования является определение содержания металлов и элементного состава взвешенных частиц в снежных атмосферных осадках вблизи автодорог в черте города.

Материалы и методы. Пробоотбор снежной массы проводили шурфным способом согласно методике [7] в течение 2-3 сут. в начале периода снеготаяния (март 2013 года) с перекрестков основных транспортных магистралей г. Архангельска на расстоянии 20–25 м от дорожного полотна, на открытой местности и вдали от стационарных источников загрязнения атмосферы. В Соломбальском округе было выбрано 4 пробные площади (ПП), Октябрьском и Ломоносовском – 21 ПП, в округе Варавино–Фактория – две ПП. Шурф очищали на месте от попадавшей земли, захваченной с первым слоем снега. Пробы снега помещали в чистые полиэтиленовые пакеты и транспортировали в лабораторию. Таяние снега осуществляли при температуре 20 ± 5 °С в пакетах, а затем переливали в бутылки объемом 2,5 л. Одновременно с отбором снега проводили оценку транспортного потока. Подсчитывали количество автомобилей разных типов однократно в обеденное время на протяжении 20 мин., когда транспортная загруженность невелика и может соответствовать средней величине за сутки.

Физико-химические характеристики снеговых выпадений (рН, удельная электропроводность (УЭП)) исследовались с помощью иономера И-160М и кондуктометра «Анион-7020».

Определение массовой концентрации ионов калия, магния, натрия и кальция в талой воде проводили методом жидкостной хроматографии с использованием ВЭЖХ-системы «LC-20 “Prominence”» («Shimadzu», Япония) с кондуктометрическим детектором CDD-10Avp. Для разделения применяли колонку «Shodex IC YS-50» (4,6 × 125 мм, диаметр зерна сорбента – 5 мкм). В качестве элюента использовали водный раствор 4мМ метансульфоново́й кислоты. Анализ проводили при изократическом режиме элюирования, скорости потока элюента 1,0 мл/мин, температуре термостата 40 °С, объеме вводимой пробы 20 мкл. Перед анализом пробы фильтровали через нейлоновый мембранный фильтр с диаметром пор 0,22 мкм.

Содержание тяжелых металлов в талой воде исследовали методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой с помощью спектрометра ICPE-9000. Благодаря использованию вакуумируемого IC-спектрометра с CCD-детектором и с оптической схемой Эшелле-спектрометра обеспечили качественный и прецизионный количественный анализ без предварительного задания аналитических линий элементов. Поскольку ICPE-9000 сочетает радиальный и аксиальный режимы обзора, то обеспечивается определение большинства элементов на уровне 1–10 мкг/л. Благодаря высокой температуре, тороидальной форме плазмы и сравнительно долгому пребыванию образца в аналитической зоне сведены к минимуму химические влияния. Спектрометр оснащен ультразвуковым распылителем UAG-1 для анализа образцов с высоким содержанием солей и специальной горелкой для анализа жидких органических образцов. Первоначально анализировали качественный состав пробы талой воды. С помощью специального программного обеспечения определили: оптимальные длины волн для каждого элемента, концентрации рабочих градуировочных растворов и концентрации мешающих элементов. Автоматически учитывали влияние мешающего элемента и проводили последующий количественный анализ определяемых элементов.

Содержание взвешенных частиц в пробе снега определяли путем взвешивания фильтра с осадком, полученным фильтрованием 2,5 л талой воды через бумажный фильтр «синяя лента». Фильтр высушивали при температуре 20 ± 5 °С до постоянной массы. Элементный состав осадка исследовали методом электронной микроскопии (ЭМ).

Исследование элементного состава твердых частиц было проведено с помощью сканирующего электронного микроскопа «Sigma VP» («Carl Zeiss») с системой энергодисперсионного анализа «INCA Energy» («OXFORD»). Параметры исследования: детектор «InLens», ускоряющее напряжение электронной пушки – 15 кВ.

Математическую обработку результатов проводили с использованием набора программ «Statistika Base». Для оценки точности физико-химических характеристик (рН, УЭП, содержание взвешенных частиц) рассчитывали среднее арифметическое значение, абсолютную погрешность при повторности $n = 5$ и надежности $P = 0,95$. В случае значительного разброса данных рассчитывали медиану измеренных величин. Оценку существенности различия содержания взвешенных частиц в снеговых выпадениях по округам проводили путем определения среднеквадратичного отклонения в каждой выборке и критерия достоверности t при $P = 0,95$. Элементный состав талой воды представлен средним арифметическим значением концентрации определяемого металла и абсолютной погрешностью в мг/дм³ при $P = 0,95$ в двух параллельных опытах. Для кобальта, хрома, свинца, никеля и кадмия указана нижняя граница диапазона измерений массовой концентрации элемента в мг/дм³.

Результаты и обсуждение. Согласно наблюдениям, наиболее загруженными оказались транспортные перекрестки: ул. Кедрова и ул. Советской (ПП4) – 20 520 маш./сут; ул. Воскресенской и просп. Троицкого (ПП5) – 44 670 маш./сут; ул. Гагарина и ул. Тимме (ПП10) – 45 648 маш./сут; ул. Урицкого и просп. Обводный канал (ПП13) – 369 720 маш./сут

(самый значительный транспортный поток); просп. Московского и ул. Павла Усова (ПП23) – 137 448 маш./сут. Согласно полученным данным, транспортная нагрузка в округах Октябрьский и Ломоносовский составила в сумме 1 275 120 маш./сут., или в пересчете на одну пробную площадь 60 720 маш./сут. Это примерно в 5,4 раза больше, чем в Соломбальском округе (11 250 маш./сут.), и в 5,2 раза больше, чем в округе Варавино–Фактория (11 592 маш./сут.).

Значение рН снежного покрова по городу колеблется в интервале от 4,42 (ул. Русанова – ул. Воронина) до 6,80 (ул. Воскресенская, парк напротив железнодорожного вокзала) при среднем значении по округам $5,70 \pm 0,41$ (табл. 1). На ПП13 с наибольшей транспортной нагрузкой значение показателя рН снега составило $5,38 \pm 0,02$. В целом реакция среды снежных атмосферных осадков соответствует области слабокислых значений рН.

Величина УЭП варьируется по городу в широком диапазоне значений от $16,20 \pm 0,11$ мкСм/с·м (ПП23) до $5780,0 \pm 10,0$ мкСм/с·м (ПП17). Причем значения УЭП на ПП7 (44 640 маш./сут.), ПП10 (45 648 маш./сут.), ПП13 (369 720 маш./сут.), ПП15 (42 912 маш./сут.), ПП17 (37 440 маш./сут.), ПП19 (43 560 маш./сут.), ПП26 (12 744 маш./сут.) находятся в интервале от $1121,0 \pm 10,0$ до $5780,0 \pm 10,0$ мкСм/с·м, на остальных ПП на порядок ниже. На ПП13 значение УЭП одно из самых высоких и соответствует $3830,0 \pm 15,0$ мкСм/с·м. Подобное распределение значений удельной электропроводности может быть обусловлено распространением солевого аэрозоля с дорожного полотна на придорожные территории (чем больше транспортный поток, тем больше солей в снеге придорожной полосы накапливается в зимний период), а также возможным формированием зон снеговых отвалов вдоль дорог. Это может привести как к концентрированию солевых компонентов в снежном покрове, так и к их разбавлению.

Содержание взвешенных частиц в снежном покрове на ПП округов находится

Таблица 1

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТАЛОЙ ВОДЫ С ТРАНСПОРТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ г. АРХАНГЕЛЬСКА
(март 2013 года)

№ ПП	Расположение	Физико-химические характеристики						Содержание взвешенных частиц	
		рН _Δ рН	рН _{min} -рН _{max} / рН _{ср}	УЭП _Δ УЭП, мксм/с·м	УЭП _{min} -УЭП _{max} / УЭП _{ср} , мксм/с·м	С _{ва.ч} ±ΔС, г/л	С _{min} -С _{max} /С _{ср} , г/л		
<i>Соломбальский округ</i>									
1	ул. Краснофлотская – ул. Советская	6,28±0,03	5,67–6,2/6,24	229,00±0,50	28,00– 962,00/359,00	0,42336±0,00005	0,14790– 0,42336/ 0,26924	»	»
2	ул. Терехина – просп. Никольский	5,65±0,01	»	219,00±0,30	»	0,26052±0,00005	»	»	»
3	ул. Красных Партизан – ул. Адмирала Кузнецова	6,76±0,02	»	962,00±0,50	»	0,14790±0,00005	»	»	»
4	ул. Кедрова – ул. Советская	6,29±0,01	»	28,70±0,14	»	0,24522±0,00005	»	»	»
<i>Октябрьский и Ломоносовский округи</i>									
5	ул. Воскресенская – просп. Троицкий	4,62±0,02	4,62–6,80 /5,78	215,00±0,50	16,20–5780,00/ 2534(215,00)*	0,53786±0,00005	0,04680– 0,57436/ 0,37176 (0,38400)	»	»
6	ул. Логинова – просп. Ломоносова	6,27±0,01	»	214,00±0,50	»	0,33948±0,00008	»	»	»
7	просп. Ломоносова – ул. Гагарина	6,15±0,05	»	2290,00±10,00	»	0,47212±0,00005	»	»	»
8	ул. Логинова – просп. Обводный канал	6,08±0,03	»	267,00±0,50	»	0,42360±0,00005	»	»	»
9	ул. Гагарина – просп. Обводный канал	6,06±0,02	»	885,00±0,50	»	0,42510±0,00009	»	»	»
10	ул. Гагарина – ул. Тимме	5,37±0,02	»	1392,00±10,00	»	0,28170±0,00006	»	»	»
11	просп. Троицкий – ул. Гагарина	6,16±0,03	»	566,00±0,50	»	0,57436±0,00005	»	»	»
12	ул. Суворова – просп. Троицкий	5,90±0,01	»	262,00±0,70	»	0,41790±0,00005	»	»	»

Окончание табл. 1

№ ПП	Расположение	Физико-химические характеристики						Содержание взвешенных частиц	
		$pH_{\Delta} \pm \Delta pH$	$pH_{\min} - pH_{\max} / pH_{cp}$	УЭП $\pm\Delta$ УЭП, мксМ/с·м	УЭП $_{\min} - УЭП_{\max} / УЭП_{cp}$, мксМ/с·м	$C_{\text{вз.ч}} \pm \Delta C$, г/л	$C_{\min} - C_{\max} / C_{cp}$, г/л		
13	ул. Урицкого – просп. Обводный канал	5,38±0,02	»	3830,00±15,00	»	0,34702±0,00006	»		
14	ул. Урицкого – просп. Ломоносова	5,67±0,02	»	189,00±0,50	»	0,30654±0,00005	»		
15	ул. Урицкого – ул. Тимме	5,84±0,05	»	1512,00±10,00	»	0,51726±0,00005	»		
16	ул. 23-й Гвардейской дивизии – ул. Урицкого	6,02±0,06	»	35,00±0,18	»	0,36504±0,00005	»		
17	ул. Воскресенская – ул. Держинского	6,80±0,10	»	5780,00±10,00	»	0,34842±0,00005	»		
18	ул. Воскресенская – просп. Обводный канал	5,82±0,09	»	29,40±0,23	»	0,04680±0,00005	»		
19	ул. Поморская – просп. Троицкий	5,37±0,06	»	1121,00±10,00	»	0,51378±0,00006	»		
20	ул. Выхучейского – просп. Троицкий	4,83±0,04	»	31,70±0,25	»	0,29490±0,00005	»		
21	просп. Ленинградский – ул. Павла Усова	5,17±0,11	»	37,30±0,18	»	0,54906±0,00005	»		
22	просп. Ленинградский – ул. Галушина	6,44±0,07	»	84,00±0,19	»	0,34818±0,00005	»		
23	просп. Московский – ул. Павла Усова	5,34±0,03	»	16,20±0,11	»	0,34050±0,00006	»		
24	просп. Московский – ул. Галушина	6,18±0,12	»	28,10±0,24	»	0,29890±0,00005	»		
25	ул. Воронина – ул. Дачная	5,99±0,08	»	42,00±0,11	»	0,05922±0,00005	»		
<i>Округ Варавино – Фактория</i>									
26	ул. Воронина – ул. Никитова	5,69±0,07	4,49–5,69/5,09	1786,00±10,00	19,70–1786,00/	0,23136±0,00005	0,03228–0,23136/		
27	ул. Русанова – ул. Воронина	4,49±0,13		19,70±0,08	912,40	0,03228±0,00005	0,13182		

Примечание: * – медианное значение величины; жирным шрифтом выделены anomalно высокие или низкие значения физико-химических характеристик талой воды.

в интервале значений от $0,08070 \pm 0,00005$ до $1,37265 \pm 0,00005$ г/л. Средние значения взвешенных частиц в пробах по округам $-0,673113 \pm 0,19263$ г/л, $0,92939 \pm 0,26024$ г/л и $0,32955 \pm 0,24885$ г/л в Соломбальском округе, Октябрьском и Ломоносовском округах и округе Варавино–Фактория соответственно. Разница в полученных средних значениях не существенна ($t_{д1}(1,9)$ и $t_{д2}(2,9) < t_{\alpha}(4,3)$ при $P = 0,05$), следовательно, не произошло захвата частиц грунта и песка при отборе пробы, и элементный состав взвешенных частиц талой воды отражает состав взвешенных частиц атмосферы.

Элементный состав (растворимые формы металлов) талой воды представлен в табл. 2. Содержание калия и магния составляет от нескольких единиц до нескольких десятков мг/дм³ ($0,5 \pm 0,1 - 16,3 \pm 1,3$ мг/дм³), что соответствует городским фоновым значениям [3]. Значения содержания натрия и кальция в пробах находятся в интервале от $1,63 \pm 0,41$ и $1,95 \pm 0,29$ мг/дм³, до тысяч и сотен мг/дм³ на ПП4, 7, 9, 11, 12, 13, 16, 17. Наибольшее значение отмечено в пробах ПП13: 1340 ± 134 мг/дм³, 201 ± 29 мг/дм³ по натрию и кальцию соответственно. В целом на долю натрия в пробах Соломбальского округа приходится 81,3 %, Октябрьского и Ломоносовского округов – 83,9 %, Варавино–Фактория – 19,7 % (по данным с двух ПП) (рис. 1).

Различия полученных значений УЭП и содержания солей щелочных и щелочноземельных металлов в снежном покрове по разным пробным площадям в десятки и сотни раз предположительно могут быть объяснены как накоплением снежных отвалов в зимний период, так и распространением солевого аэрозоля вдоль дорог с разной интенсивностью транспортного потока, что приводит к формированию техногенных аномалий в определенных зонах.

Содержание в талой воде растворимых форм тяжелых металлов варьируется от $3,59 \pm 0,40$ мг/дм³ (для соединений железа) до $0,0005$ мг/дм³ (для соединений кадмия). Оно невелико и не превышает ПДК в воде согласно

СанПиН 2.1.4.1074-01 [8]. Содержание никеля, кобальта, свинца не превышает $0,005$ мг/дм³. Исключение составляют данные с ПП26 (округ Варавино–Фактория), где содержание кобальта составляет $0,0069 \pm 0,0012$ мг/дм³, свинца – $0,010 \pm 0,001$ мг/дм³ (ПДК_{рв} = $0,010$ мг/дм³). Содержание хрома по всем ПП не превышает $0,001$ мг/дм³, кадмия – $0,0005$ мг/дм³.

Содержание растворимых форм меди в черте города имеет интервал значений от $0,0081 \pm 0,0010$ мг/дм³ (ПП21) до $0,2260 \pm 0,0290$ мг/дм³ (ПП26); в Соломбальском округе –

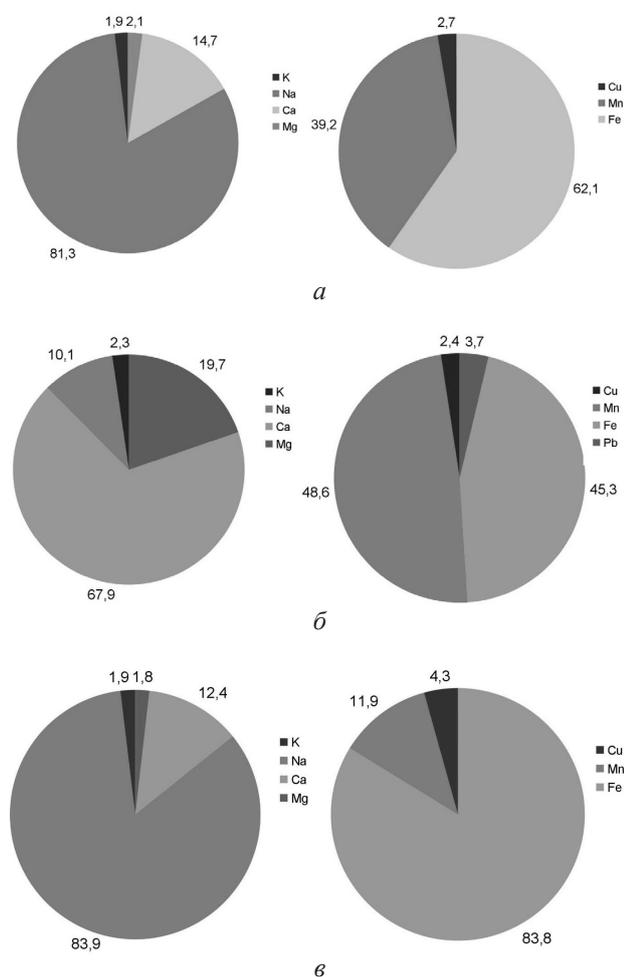


Рис. 1. Относительное содержание металлов в талой воде округов: а – Соломбальский, б – Варавино–Фактория, в – Октябрьский и Ломоносовский округа

Таблица 2

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ТАЛОЙ ВОДЫ С ТРАНСПОРТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ г. АРХАНГЕЛЬСКА
(март 2013 года)

III	Содержание металлов, мг/дм ³												
	K	Na	Ca	Mg	Co	Cu	Cr	Mn	Fe	Pb	Ni	Cd	
1	1,42±0,26	40,70±4,10	7,16±0,72	0,57±0,14	<0,0050	0,0090±0,0020	<0,0010	0,034±0,004	0,103±0,011	<0,005	<0,005	<0,0005	
2	0,87±0,16	3,69±0,44	7,29±0,73	1,35±0,34	<0,0050	0,0113±0,0020	<0,0010	0,025±0,003	0,007±0,001	<0,005	<0,005	<0,0005	
3	0,92±0,17	34,00±3,40	10,90±1,10	1,02±0,26	<0,0050	0,0139±0,0020	<0,0010	0,468±0,010	0,212±0,023	<0,005	<0,005	<0,0005	
4	3,16±0,38	187,00±19,00	22,50±2,30	3,81±0,57	<0,0050	0,0121±0,0020	<0,0010	0,139±0,018	0,665±0,073	<0,005	<0,005	<0,0005	
5	<0,50	9,02±1,08	4,49±0,67	0,63±0,16	<0,0050	0,0088±0,0010	<0,0010	<0,005	0,021±0,002	<0,005	<0,005	<0,0005	
6	0,51±0,09	2,95±0,35	4,40±0,66	0,67±0,17	<0,0050	0,0602±0,018	<0,0010	0,011±0,001	<0,002	<0,005	<0,005	<0,0005	
7	2,30±0,28	287,00±29,00	12,60±1,30	1,79±0,45	<0,0050	0,0306±0,0050	<0,0010	0,106±0,013	0,166±0,018	<0,005	<0,005	<0,0005	
8	1,20±0,22	7,72±0,93	8,33±0,83	1,92±0,48	<0,0050	0,0395±0,0060	<0,0010	0,013±0,002	<0,002	<0,005	<0,005	<0,0005	
9	21,80±1,80	915,00±91,00	118,00±12,00	17,20±1,40	<0,0050	0,0395±0,0060	<0,0010	0,191±0,025	3,590±0,400	<0,005	<0,005	<0,0005	
10	1,43±0,26	30,50±3,10	7,47±0,74	1,09±0,27	<0,0050	0,0112±0,0020	<0,0010	0,044±0,006	0,062±0,007	<0,005	<0,005	<0,0005	
11	3,93±0,47	306,00±31,00	14,40±1,40	1,30±0,32	<0,0050	0,0143±0,0020	<0,0010	0,095±0,012	0,837±0,092	<0,005	<0,005	<0,0005	
12	1,82±0,33	182,00±18,00	8,69±0,87	0,99±0,25	<0,0050	0,0094±0,0020	<0,0010	0,071±0,009	0,488±0,054	<0,005	<0,005	<0,0005	
13	31,30±2,50	1340,00±134,00	201,00±29,00	25,0±2,0	<0,0050	0,0502±0,0070	<0,0010	0,257±0,033	2,080±0,230	<0,005	<0,005	<0,0005	
14	0,87±0,16	53,20±5,30	4,53±0,68	0,60±0,15	<0,0050	0,0318±0,0050	<0,0010	0,030±0,004	0,105±0,012	<0,005	<0,005	<0,0005	
15	0,91±0,16	37,40±3,70	7,43±0,74	0,69±0,17	<0,0050	0,0129±0,0020	<0,0010	0,045±0,006	0,626±0,069	<0,005	<0,005	<0,0005	
16	12,00±0,96	542,00±54,00	56,90±5,70	8,99±1,35	<0,0050	<0,0010	<0,0010	0,172±0,022	0,047±0,005	<0,005	<0,005	<0,0005	
17	2,91±0,35	107,00±11,00	22,20±2,20	3,85±0,58	<0,0050	0,0120±0,0020	<0,0010	0,066±0,009	0,194±0,021	<0,005	<0,005	<0,0005	
18	2,75±0,33	46,70±4,70	8,39±0,84	1,39±0,35	<0,0050	0,0118±0,0020	<0,0010	0,057±0,007	0,019±0,003	<0,005	<0,005	<0,0005	
19	1,36±0,24	46,40±4,60	11,20±1,10	1,31±0,33	<0,0050	0,0118±0,0020	<0,0010	0,053±0,007	0,276±0,030	<0,005	<0,005	<0,0005	
20	0,79±0,14	8,80±1,06	3,72±0,56	0,55±0,14	<0,0050	0,0083±0,0010	<0,0010	0,011±0,001	<0,002	<0,005	<0,005	<0,0005	
21	<0,50	9,15±1,10	7,30±0,73	0,46±0,12	<0,0050	0,0081±0,0010	<0,0010	<0,005	<0,002	<0,005	<0,005	<0,0005	
22	0,857±0,15	1,63±0,41	1,95±0,29	0,33±0,08	<0,0050	0,0089±0,0010	<0,0010	<0,005	<0,002	<0,005	<0,005	<0,0005	
23	1,17±0,21	4,56±0,55	27,40±2,70	8,09±1,21	<0,0050	0,0116±0,0020	<0,0010	0,014±0,002	0,106±0,012	<0,005	<0,005	<0,0005	
24	0,73±0,13	2,75±0,33	3,24±0,49	0,63±0,16	<0,0050	0,0095±0,0020	<0,0010	0,019±0,002	<0,002	<0,005	<0,005	<0,0005	
25	1,90±0,34	8,63±1,04	53,90±5,40	15,60±1,30	<0,0050	0,0160±0,0030	<0,0010	0,012±0,002	0,326±0,036	<0,005	<0,005	<0,0005	
26	1,04±0,19	3,26±0,39	18,40±1,80	5,25±0,79	0,0069±	0,2260±0,0290	<0,0010	0,010±0,001	0,037±0,004	0,010±	<0,005	<0,0005	
27	1,51±0,27	7,76±0,93	55,80±5,60	16,30±1,30	0,0012	0,0454±0,0070	<0,0010	<0,005	0,216±0,024	0,001	<0,005	<0,0005	

Примечание: жирным шрифтом выделены anomalно высокие значения концентрации тяжелых металлов в талой воде.

от $0,0090 \pm 0,0020$ (ПП1) до $0,0139 \pm 0,0020$ мг/дм³ (ПП3) при среднем значении по округу $0,00116 \pm 0,0014$ мг/дм³; в округах Октябрьском и Ломоносовском – от $0,0081 \pm 0,0010$ мг/дм³ (ПП21) до $0,0602 \pm 0,0180$ мг/дм³ (ПП6) при среднем значении $0,01904 \pm 0,01275$ мг/дм³; в округе Варавино–Фактория – от $0,0454 \pm 0,0070$ (ПП27) до $0,2260 \pm 0,0290$ мг/дм³ (ПП26) при среднем значении $0,1357 \pm 0,0903$ мг/дм³.

Содержание марганца в черте города варьируется – от $0,005 \pm 0,001$ (ПП6) до $0,257 \pm 0,033$ мг/дм³ (ПП13). Интервал значений в Соломбальском округе составляет $0,025 \pm 0,003$ (ПП2) – $0,468 \pm 0,010$ мг/дм³ (ПП3) при среднем значении $0,167 \pm 0,151$ мг/дм³; в округах Октябрьский и Ломоносовский – $0,005 \pm 0,001$ (ПП6) – $0,257 \pm 0,033$ мг/дм³ (ПП13) при среднем значении $0,057 \pm 0,036$ мг/дм³; в округе Варавино–Фактория – от $0,005 \pm 0,001$ (ПП27) до $0,010 \pm 0,001$ мг/дм³ (ПП26) при среднем значении $0,008 \pm 0,002$ мг/дм³.

Содержание железа в целом сопоставимо с содержанием марганца в снежном покрове и в черте города имеет значения от $0,002 \pm 0,001$ (ПП6, 8, 20, 21, 22, 24) до $3,59 \pm 0,40$ мг/дм³ (ПП9). Весьма велико значение растворимых форм железа также на ПП13, где оно составляет $2,08 \pm 0,23$ мг/дм³. Пробные площади 9 и 13 имеют аномально высокое содержание железа по сравнению с другими ПП. В пробах снега Соломбальского округа концентрация железа – $0,007 \pm 0,001$ (ПП2) – $0,665 \pm 0,073$ мг/дм³ (ПП4), среднее значение – $0,247 \pm 0,209$ мг/дм³; в пробах снега округов Октябрьский и Ломоносовский – $0,005 \pm 0,001$ мг/дм³ (ПП4) – $3,59 \pm 0,40$ мг/дм³ (ПП9), среднее значение – $0,172 \pm 0,029$ мг/дм³, исключая данные с ПП9 и 13; в округе Варавино–Фактория – $0,037 \pm 0,004$ – $0,216 \pm 0,024$ мг/дм³, среднее значение – $0,127 \pm 0,088$ мг/дм³. Таким образом, в пробах снега в черте города на долю растворимых форм железа приходится от 45,3 до 83,8 %, марганца – от 11,9 до 48,6 %, меди – от 2,4 до 4,3 %. Растворимые формы свинца определены в снежном покрове округа Варавино–Фактория: 3,7 % в относительном распределении

растворимых форм тяжелых металлов этого округа.

Элементный состав взвешенных частиц в пробах снега придорожной полосы в городе (рис. 2) определили по шести объединенным по всем ПП аналитическим пробам в трех повторностях. В твердых частицах присутствуют (масс. доля): С (15–40), О (30–60), Na (0–3), Mg (0–12), Si (10–35), К (1–17), S (0–2), Ca (0–2), Fe (0–10), Ti (0–2). Наличие в заметном количестве углерода, кислорода, кремния, по-видимому, формирует матрицу твердой частицы, возможно, в форме карбонатов или силикатов. Не исключено присутствие сажи. Щелочные и щелочноземельные металлы, железо присутствует в качестве солевых примесей, возможно, природного происхождения. Интересным фактом является обнаружение титана в составе твердых частиц. Присутствие его, возможно, связано с техногенным влиянием.

Заключение. Таким образом, в ходе проведенных исследований были проанализированы пробы снега вдоль основных транспортных магистралей города Архангельска. Они были отобраны в марте (в начале периода снеготаяния), следовательно, их состав отражает характер поллютантов, поступающих в атмосферу в течение всего зимнего периода. рН снежного покрова меняется незначительно и составляет в среднем по округам $5,38 \pm 0,02$ (среда слабокислая). Интервал значений удельной электропроводности значительный и составляет $16,20 \pm 0,11$ – $5780,0 \pm 10,0$ мкСм/с·м. Присутствуют аномально высокие значения УЭП на ПП 4, 7, 9, 11, 12, 13, 16, 17, что свидетельствует о повышенном содержании солей в пробах снега на этих участках, прежде всего солей натрия, калия и кальция. Это подтверждают данные и элементного состава: на долю соединений натрия и кальция приходится от 87,6 до 96,3 %. Таким образом, на этих территориях могут формироваться зоны солевых техногенных аномалий.

Содержание растворимых форм тяжелых металлов (кобальта, меди, хрома, марганца,

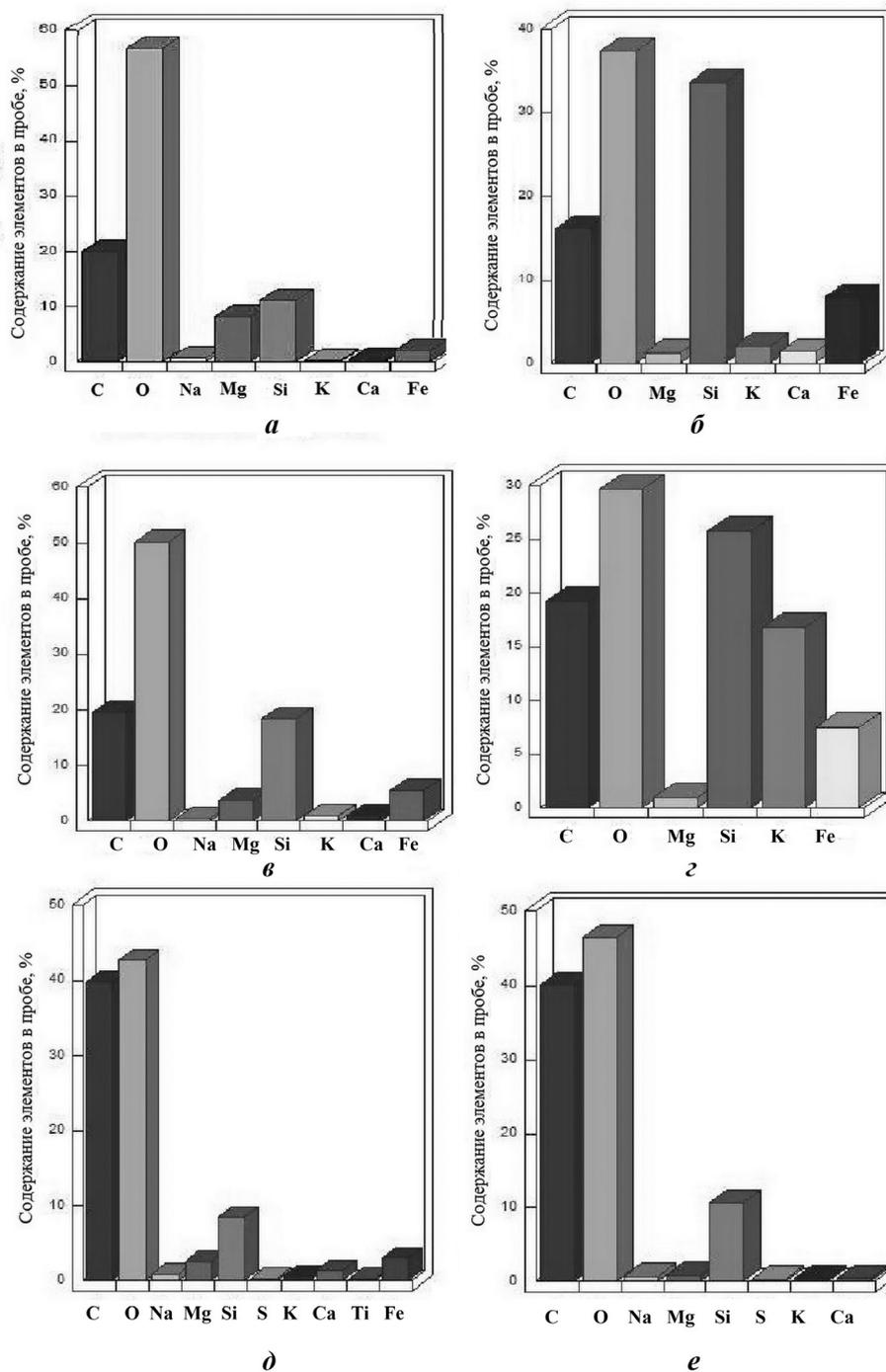


Рис. 2. Элементный состав взвешенных частиц в снеге придорожной полосы г. Архангельска: *a* – ПП1 и ПП2, *б* – ПП3 и ПП4, *в* – ПП5 – ПП9, *г* – ПП10 и ПП19, *д* – ПП20 – ПП25, *е* – ПП26 и ПП27

железа, никеля, кадмия) не превышает значенный ПДК питьевой воды на всех ПП. Содержание свинца, соответствующее уровню ПДК, обнаружено только в пробах снега на ПП26, оно составило $0,010 \pm 0,001$ мг/дм³. На остальных ПП оно ниже ПДК. Территорий с аномально высоким содержанием тяжелых металлов в пробах снега не выявлено. В снежном покрове доминируют растворимые формы железа, марганца и свинца, их содержание составляет от $0,002 \pm 0,001$ до $3,59 \pm 0,40$ мг/дм³; от $0,005 \pm 0,001$ до $0,257 \pm 0,033$ мг/дм³; от 0,005 до $0,010 \pm 0,001$ мг/дм³ соответственно для каждого металла. Содержание никеля, кобальта, кадмия и хрома ниже предела обнаружения используемого метода. Таким образом, согласно полученным данным геохимический ряд распределения растворимых форм щелочных и тяжелых металлов в пробах снега придорожной полосы в черте города Архангельска может быть пред-

ставлен как $Na > Ca > Mg > K \gg Fe \approx Mn > Cu > Pb > Ni > Co > Cr > Cd$. Хотя содержание тяжелых металлов и невелико, при таянии снега они попадают в почву, где происходит их концентрирование и накопление, что приводит к изменению геологического профиля почвы.

Элементный анализ взвешенных частиц показал, что в структуре твердых частиц присутствуют щелочные, щелочноземельные металлы, а также железо и титан; из неметаллов – углерод, кремний и сера. Следовательно, геохимический ряд распределения нерастворимых форм металлов и неметаллов во взвешенных частицах может быть составлен следующим образом: $O > C > S > K > Mg > Fe > Na > Ca \approx S > Ti$.

Полученные данные существенно могут дополнить картину состава атмосферы в городе Архангельске в зимний период, формируемую контролирующими службами города.

Список литературы

1. Состояние и охрана окружающей среды Архангельской области в 2013 году. URL: <http://old.dvinaland.ru/ecology/monitoring/> (дата обращения: 21.07.2014).
2. Обзор загрязнений окружающей среды на территории деятельности ФГБУ «Северное УГМС» за 2013 год. URL: <http://sevmeteo.ru/monitoring/reviews/> (дата обращения: 25.07.2014).
3. Чагина Н.Б., Айвазова Е.А., Колосова С.П. Влияние автотранспорта на санитарно-гигиенические характеристики снеговых выпадений г. Архангельска // Успехи совр. естествознания. 2012. № 10. С. 109–110.
4. Гурьев Т.А., Тутыгин Г.С. Оценка загрязненности полосы автомобильных дорог // Экологические проблемы Европейского севера. Екатеринбург, 1996. С. 90–100.
5. Титова В.И., Дабахов М.В., Дабахова Е.В. Экотоксикология тяжелых металлов. Н. Новгород, 2001. 135 с.
6. Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л., 1985. 181 с.
7. ГОСТ 17.1.5.05-85. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков. Введ. 1986.07.01. М., 1986. 17 с.
8. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 7 апреля 2009 г. № 20. URL: <http://files.stroyinf.ru/Data1/9/9742/> (дата обращения: 22.04.2015).

References

1. *Sostoyanie i okhrana okruzhayushchey sredy Arkhangel'skoy oblasti v 2013 godu* [Status and Environment of the Arkhangel'sk Region in 2013]. Available at: <http://old.dvinaland.ru/ecology/monitoring/> (accessed 21.07.2014).
2. *Obzor zagryazneniy okruzhayushchey sredy na territorii deyatel'nosti FGBU «Severnoe UGMS» za 2013 god* [Overview of Environmental Pollution on the Territory of the Activities of the State Organization “North Weather Control and Environmental Monitoring Service” for 2013]. Available at: <http://sevmeteo.ru/monitoring/reviews/> (accessed 25.07.2014).

3. Chagina N.B., Ayvazova E.A., Kolosova S.P. Vliyanie avtotransporta na sanitarno-gigienicheskie kharakteristiki snegovykh vypadeniy g.Arkhangel'ska [The Impact of Vehicles on the Hygienic Characteristics of Snow Precipitation in Arkhangelsk]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in Current Natural Sciences], 2012, no. 10, pp. 109–110.
4. Gur'ev T.A., Tutygin G.S. Otsenka zagryaznennosti polosy avtomobil'nykh dorog [Assessment of Contamination of a Roads Lane]. *Ekologicheskie problemy Evropeyskogo severa: sbornik nauchnykh trudov* [Ecological Problems of the European North: Proc.]. Yekaterinburg, 1996, pp. 90–100.
5. Titova V.I., Dabakhov M.V., Dabakhova E.V. *Ekotoksikologiya tyazhelykh metallov* [Ecotoxicology of Heavy Metals]. Nizhni Novgorod, 2001. 135 p.
6. Vasilenko V.N., Nazarov I.M., Fridman Sh.D. *Monitoring zagryazneniya snezhnogo pokrova* [Monitoring of Snow Cover Pollution]. Leningrad, 1985. 181 p.
7. GOST 17.1.5.05-85. *Okhrana prirody. Gidrosfera. Obshchie trebovaniya k otboru prob poverkhnostnykh i morskikh vod, l'da i atmosferykh osadkov* [State Standard 17.1.5.05-85. The Nature Conservancy. Hydrosphere. General Requirements for Sampling of Surface and Sea Waters, Ice and Atmosphere Precipitation]. Moscow, 1986. 17 p.
8. SanPiN 2.1.4.1074-01. *Pit'evaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannykh sistem pit'evogo vodosnabzheniya. Kontrol' kachestva: utv. Postanovleniem Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF ot 7 aprelya 2009 g. № 20* [Sanitary Regulations and Standards 2.1.4.1074-01. Drinking-water. Hygienic Requirements for Water Quality of Centralized Drinking Water Supply Systems. Quality Control]. Available at: <http://files.stroyinf.ru/Data1/9/9742/> (accessed 22.04.2015).

Chagina Natal'ya Borisovna

Institute of Natural Sciences and Technology,
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov
(Arkhangelsk, Russia)

Ayvazova Elena Anatol'evna

Northern State Medical University (Arkhangelsk, Russia)

Ivanchenko Nikolay Leonidovich

Institute of Natural Sciences and Technology,
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov
(Arkhangelsk, Russia)

Varakin Evgeniy Aleksandrovich

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov
(Arkhangelsk, Russia)

SNOW COVER ANALYSIS OF ARKHANGELSK ROADSIDE TERRITORIES

The major air pollutants in the city of Arkhangelsk in winter are the heating enterprises and moto transport. As a result of their activity the atmosphere is saturated by aggressive gases, suspended particles and heavy metals, and their content is not defined in the HydroMet network. Therefore, the information on pollutants in an urban environment is incomplete. The goal of the research is to obtain the additional information on the composition of suspended particles and snow in the city of Arkhangelsk along the main traffic arteries of the Solombalskiy, Oktyabrskiy, Lomonosovskiy districts and the district of Varavino – Faktoriya in 2013. The values of physicochemical characteristics of the snow cover are as follows: electric conductivity, pH and the content of the suspended particles. The content of potassium, sodium, magnesium and calcium is determined by the method of liquid chromatography with the use of an HPLC system LC-20 "Prominence". The content of heavy metals (iron, manganese, copper, lead, cadmium, cobalt, chromium) is determined by the atomic and emission spectrometer ICPE-9000. The soluble forms content of heavy metals in melt water does not exceed the maximum permissible concentration (mg / dm³). The geochemical distribution series of soluble forms of alkali and heavy metals in the roadside snow cover in the city of Arkhangelsk is designed. It can be represented as follows: Na > Ca

> Mg > K >> Fe ≈ Mn > Cu > Pb > Ni > Co > Cr > Cd . The study of the elemental composition of solid particles was performed by a raster electron microscope "Sigma VP" (Carl Zeiss), equipped by a system of energy-dispersion analysis "INCA Energy" (OXFORD). The alkali and alkaline-earth metals, iron and titanium are revealed in the structure of the solid particles. Nonmetals are presented by carbon, silicon and sulfur.

Keyword: *urban atmosphere, moto transport, snow precipitation, alkali metals, alkaline-earth metals, heavy metals, suspended particles.*

Контактная информация:

Чагина Наталья Борисовна

адрес: 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17;

e-mail: chaginan26@mail.ru

Айвазова Елена Анатольевна

адрес: 163071, г. Архангельск, просп. Троицкий, д. 51;

e-mail: ayvazowa@yandex.ru

Иванченко Николай Леонидович

адрес: 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17;

e-mail: IvanchenkoNL@mail.ru

Варакин Евгений Александрович

адрес: 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17;

e-mail: djonni900@pochta.ru