

УДК 614.78

ИЗУЧЕНИЕ АЭРОЗОЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Водянова М.А., Сбитнев А.В., Матвеева И.С., Антропова Н.С., Абрамов Е.Г.

ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, e-mail: lab.pochva@mail.ru

В работе показана необходимость проведения комплексного изучения воздействия противогололедных материалов (ПГМ) в виде аэрозолей на здоровье населения, объекты инфраструктуры города и окружающей среды в натуральных и модельных условиях с целью уточнения видов реагентов, допускаемых к использованию на объектах дорожного хозяйства, и технологии их применения. Кроме того, отмечены важные критерии, которые необходимо учесть при разработке методической и нормативной базы для эколого-гигиенической и токсикологической оценки противогололедных реагентов, как отдельной подгруппы химических веществ, оказывающих негативное воздействие на компоненты окружающей среды и здоровье человека. Показано, что хлориды натрия, магния и кальция, входящие в состав ПГМ, могут способствовать мобилизации следовых количеств металлов из почвы на ее поверхность и грунтовые воды. Твердые частицы соли, например, NaCl, могут способствовать загрязнению воздуха посредством адсорбции на поверхности взвешенных частиц, проявляющих ярко выраженные негативные эффекты для здоровья населения. Учитывая объемы и масштабы применения ПГМ в зимний период времени, целесообразно актуализировать подходы к их токсикологической оценке с целью уточнения объективных механизмов воздействия ПГМ на здоровье населения и объекты окружающей среды, а также разработать метод по химическому анализу проб атмосферного воздуха на содержание аэрозольных частиц ПГМ в зимний период. Кроме того, представлены результаты экспериментальных исследований, направленных на разработку данного метода.

Ключевые слова: противогололедный материал, нормирование, аэрозоль, загрязнение воздуха, здоровье

THE STUDY OF AEROSOL AIR POLLUTION AS A RESULT OF APPLICATION OF DEICING MATERIALS

Vodyanova M.A., Sbitnev A.V., Matveeva I.S., Antropova N.S., Abramov E.G.

Centre for Strategic Planning, Russian Ministry of Health, Moscow, e-mail: lab.pochva@mail.ru

The work shows the need for a comprehensive study of the effects of anti-icing materials (PGM) in the form of aerosols on public health, infrastructure and environmental facilities in natural and model conditions in order to clarify the types of reagents allowed for use at road facilities, and their application technology. In addition, important criteria are noted that must be taken into account when developing the methodological and regulatory framework for the environmental, hygienic and toxicological assessment of anti-icing agents, as a separate subgroup of chemicals that have a negative impact on environmental components and human health. It is shown that sodium, magnesium and calcium chlorides, which are part of PGM, can contribute to the mobilization of trace metals from the soil to the surface and groundwater. Solid particles of salt, for example, NaCl, can contribute to air pollution by means of adsorption on the surface of suspended particles, showing pronounced negative effects on public health. Given the volume and scope of the use of PGM in the winter time, it is advisable to update the approaches to their toxicological evaluation in order to clarify the objective mechanisms of the effects of PGM on public health and environmental objects, and to develop a method for chemical analysis of atmospheric air samples on the content of PGM aerosol particles in winter period. In addition, the results of experimental studies aimed at the development of this method are presented.

Keywords: deicing material, rationing, aerosol, air pollution, health

Физиологическое значение элементов, входящих в состав противогололедных материалов (ПГМ), общеизвестно. Калий вызывает расширение сосудов внутренних органов и сужение периферических сосудов, он замедляет сердечный ритм. Хлориды калия и натрия участвуют в генерализации и проведении электрических импульсов в нервной и мышечной ткани. Таким образом, эти соединения могут влиять на функционирование нервной ткани, сокращение скелетных и сердечных мышц [1].

Физиологические эффекты влияния на человека данных веществ хорошо изучены на примере гало- и спелеоклиматических камер, используемых в медицине. Показано, что пребывание в соляных камерах положительно влияет на параметры легочной вентиляции, улучшает функции дыхательной мускулатуры, оказывает выраженное противовоспалительное действие. Однако для изучения действия ПГМ на организм человека нельзя интерпретировать данные, полученные от изучения действия данных соединений в условиях спелеокамеры. Так

как в галокамерах применяется особый микроклимат, который регламентируется техническими требованиями к содержанию этих лечебных помещений. В разработанных Санитарных правилах и нормах по проектированию и эксплуатации галокамер и спелеоклиматических камер медицинского назначения указаны требования к аэрозолю и микроклимату [2].

Научные исследования последних десятилетий доказывают, что индикаторным показателем качества окружающей среды, в том числе качества атмосферного воздуха современных городов, во многом является уровень и характер хронической патологии органов дыхания у населения [3]. Отмечено, что патологии органов дыхания в 40–60% случаев развиваются вследствие действия неблагоприятных экологических факторов [4].

Токсиканты, поступая в организм человека с вдыхаемым воздухом, оказывают канцерогенное, мутагенное, тератогенное и аллергическое действия [5].

Изучению влияния противогололедных реагентов (ПГР) на организм человека и животных посвящен ряд работ. Однако крайне мало работ, посвященных причинно-следственной связи применения ПГМ и роста бронхолегочных заболеваний. В связи с этим в зонах экологического неблагополучия распространены признаки вторичного иммунодефицита, а бронхолегочные заболевания служат наиболее информативными проявлениями вторичного иммунодефицита [6]. Экспериментально показано, что ПГР оказывают воздействие на местный иммунитет теплокровных животных [7]. Также отмечено, что в условиях низких температур наибольшие изменения происходят в респираторной системе. В зимнее время в организме человека происходит комплекс физиологических реакций, вызываемых температурным переохлаждением, создающим эффект «холодового напряжения», оказывая сильное влияние на уровень смертности населения, в основном от болезней органов системы кровообращения и дыхания [8].

Изучение сезонной заболеваемости и смертности населения является одной из приоритетных задач современного здравоохранения как в России, так и во всем мире. Ряд отечественных и зарубежных исследователей показал, что смертность от различных заболеваний в зимние месяцы и март была выше, чем за апрель и ноябрь [9–11]. Поэтому изучение эффектов комплексного воздействия ПГМ в условиях холодного времени года является актуальной задачей.

Учитывая, что загрязнения атмосферного воздуха могут играть значительную роль в увеличении заболеваемости и смертности населения, а также то, что поллютанты вызывают вторичную иммуносупрессию, необходимо изучение заболеваемости по сезонам, особенно в условиях мегаполисов [12, 13].

По имеющимся данным, наиболее безопасными для урбанизированных территорий являются реагенты фрикционного действия – песок, щебень, гранитная и мраморная крошка, нередко в качестве ПГР используют промышленные отходы – золу или шлак. Однако эти материалы также не безопасны для человека, объектов окружающей среды и дорожно-транспортных коммуникаций. Учитывая, что в настоящее время на дорогах часто применяют пескосоляную смесь для борьбы с гололедом, представляющую собой диоксид кремния SiO_2 и солевых добавок, изучение влияния пыли, содержащей данные компоненты, весьма актуально. Так, установлено, что в результате воздействия высоких концентраций пыли на легкие наибольшую опасность представляют минеральные пыли. При воздействии пыли в легких могут возникать как механические повреждения клеток дыхательных путей и альвеол, особенно с острыми и твердыми гранями, как у кварца, так и возможно их токсикохимическое поражение. При поступлении пыли с диоксидом кремния происходит процесс постепенного растворения кремнезема в тканевой жидкости с образованием коллоидного раствора кремневой кислоты, которая, являясь протоплазматическим ядом, денатурирует клеточные белки, вызывая тем самым воспаление в легочной ткани, и затем фиброз [14]. Поэтому изучение эффектов комплексного воздействия ПГМ в условиях холодного климатического сезона, а также разработка методики оценки химического состава воздуха в зимний период по компонентам ПГМ является крайне актуальным направлением исследований.

Таким образом, целью данного исследования является изучение аэрозольного загрязнения атмосферного воздуха в результате применения противогололедных материалов, а также отработка метода отбора проб атмосферного воздуха в зимний период.

Материалы и методы исследования

Пробы воздуха отбирались на аэрозольные фильтры и в поглотительные приборы барботажного типа (барботеры). Электрический аспиратор ПУ-4Э позволяет проводить отбор проб газов, паров и аэрозолей в атмосферном воздухе с заданным объемным расходом через поглотитель по 4-м параллельным каналам.

Отбор проб производили по адресу: ул. Погодинская, у тротуара, на расстоянии 20 м от д.10, стр. 8 (ИБМХ им. В.Н. Ореховича) и 2 м от 2-х полосной дороги (проба воздуха СН-2).

Отбор на аэрозольные фильтры. Химические соединения улавливались аналитическим аэрозольным фильтром АФА-ВП, предназначенным для определения весовой (массовой) концентрации аэродисперсных примесей (аэрозолей) в атмосферном воздухе. В целях фиксации фильтры устанавливались в фильтродержатель (ИРА-20). Аспиратор ПУ-4Э обеспечивал прохождение воздуха через фильтр с фиксированной объемной скоростью 20 дм³/мин. Перед отбором проб аэрозольные фильтры высушивались до постоянного веса в эксикаторе с использованием хлористого кальция в соответствии с требованиями РД 52.04.186-89 Руководство по контролю загрязнения атмосферы (Часть I (разделы 1–9)).

Массовую концентрацию катионов и анионов определяли методом ионной хроматографии (ФР.1.31.2008.01738; ФР.1.31.2008.01724). С этой целью отработанные аэрозольные фильтры помещались в центрифужные полипропиленовые пробирки, наполненные бидистиллированной водой (10 см³) для получения смыва с поверхности фильтра.

Отбор в барботеры. Пробы воздуха отбирались в поглотительный раствор, находящийся в барботере. В качестве поглотительного раствора в барботер вносили по 10 см³ бидистиллированной воды и плотно закрывали заглушками. Поглотительные барботеры хранились и транспортировались в закрытом виде. Химические соединения улавливались бидистиллированной водой в течение 30-минутной аспирации воздуха со скоростью поглощения 2 дм³/мин. После прокачки воздуха в полученном водном растворе аналогичным образом измеряли массовую концентрацию катионов и анионов легко растворимых химических соединений.

Результаты исследования и их обсуждение

В табл. 1 приведена сравнительная характеристика способов отбора проб атмосферного воздуха.

Уровень содержания легко растворимых компонентов химических соединений в воде после 30-минутного барботирования атмосферного воздуха в 1,8–3,5 раза превышали уровни содержания соответствующих компонентов в водных смывах с аэрозольных фильтров, результаты приведены в табл. 2, 3.

Увеличение продолжительности аспирации воздуха в водный раствор барботера с 30 до 120 мин при скорости поглощения воздуха 2 дм³/мин не способствовало большему накоплению легко растворимых компонентов солей из атмосферного воздуха, результаты приведены в табл. 2, 4.

По результатам анализа холостой пробы аэрозольного фильтра (АФА-ВП-20) установлено, что значения концентраций исследуемых катионов и анионов на поверхности неиспользованного фильтра в 1,5–2 раза превышают соответствующие показатели, полученные по результатам химического анализа смывов с поверхностей отработанных фильтров после 30-минутной аспирации атмосферного воздуха в местах отбора проб. Результаты исследований представлены в табл. 3, 5.

Таблица 1

Сравнительная характеристика способов отбора проб атмосферного воздуха, используемых в экспериментальных исследованиях

Способ отбора атмосферного воздуха	Скорость поглощения воздуха дм ³ /мин	Продолжительность отбора пробы, мин	Объем аспирированного воздуха, дм ³
Отбор на аэрозольные фильтры	20	30	600
Отбор в барботер	2	30	60

Таблица 2

Катионно-анионный состав атмосферного воздуха в зимний период, проба № СН-2, отбор в барботер, уровень высоты – 0,8 м, продолжительность отбора – 30 мин

Катион/анион	Концентрация в атмосферном воздухе, мг/м ³
Na ⁺	0,02
Ca ²⁺	0,007
Cl ⁻	0,014
NO ₂ ⁻	0,004
NO ₃ ²⁻	0,006
SO ₄ ²⁻	0,005

Таблица 3

Катионно-анионный состав атмосферного воздуха в зимний период, отбор на аэрозольные фильтры на разных уровнях высоты, проба № СН-2, продолжительность отбора – 30 мин

Катион/анион	Концентрация в атмосферном воздухе, мг/м ³	
	уровень высоты – 1,5 м	уровень высоты – 0,8 м
Na ⁺	0,008	0,008
Ca ²⁺	<0,005	<0,005
Cl ⁻	0,006	0,007
NO ₂ ⁻	–	–
NO ₃ ²⁻	0,001	0,0017
SO ₄ ²⁻	0,001	0,0017

Таблица 4

Катионно-анионный состав атмосферного воздуха в зимний период, проба № СН-2, отбор в барботер, уровень высоты – 0,8 м, продолжительность отбора – 120 мин*

Катион/анион	Концентрация в атмосферном воздухе, мг/м ³
Cl ⁻	0,025
NO ₃ ⁻	0,005
NO ₂ ⁻	0,002
SO ₄ ²⁻	0,012
Na ⁺	0,017
Ca ²⁺	0,004

Примечание. *Отбор проб проводился после схода снега, в сухую солнечную погоду.

Таблица 5

Катионно-анионный состав смыва с холостой пробы (аэрозольный фильтр АФА-ВП-20)

Катион/анион	Концентрация в пересчете на атмосферный воздух, мг/м ³
Na ⁺	0,012
Ca ²⁺	0,0075
Cl ⁻	0,009
NO ₃ ²⁻	0,002
SO ₄ ²⁻	0,002

Аналитические методы не выявили наличия компонентов легкорастворимых солей (катионы натрия, кальция, хлорид, нитрат, сульфат-анионы) в атмосферном воздухе в местах отбора проб. Концентрации исследуемых ионов, которые были обнаружены в смывах с аэрозольных фильтров и в водных растворах после использования барботажного устройства, в целом незначительны и соответствуют уровню, свидетельствующему о наличии следов (следовых количеств) химических компонентов, содержащихся в стеклянной лабораторной посуде (барботер), упаковке (аэрозольные фильтры) или адсорбированных твердыми поверхностями из окружающего воздуха. В дополнение к этому полученные значения могут соответствовать

диапазону погрешностей используемых методов исследований.

Однако отмечены также недостатки применения указанного аспиратора ввиду недостаточно широкого диапазона рабочих температур (от –10 до +30 °С, тогда как ПГМ применяются при температурах от 0 до –30 °С).

Показано, что содержание в атмосферном воздухе г. Москвы ионов, входящих в состав ПГМ – Ca²⁺, Na⁺, Cl⁻ – находится на уровне 0,004, 0,017, 0,025 мг/м³ соответственно.

Заключение

Полученные результаты сравнивали с исследованиями состава атмосферного аэрозоля и его антропогенных компонен-

тов в атмосфере над морями Северного Ледовитого океана [15], так как работ по изучению компонентного состава атмосферного воздуха в зимний период по выбранным в работе показателям крайне мало. В этих исследованиях отбор проб атмосферного аэрозоля проводили через ацетатцеллюлозные (АФА-ХА-20) или перхлорвиниловые (АФА-ХП-20) фильтры с помощью разработанного авторами прокачивающего устройства, способного непрерывно работать при низких температурах окружающего воздуха. Элементный состав аэрозольных проб определяли методами инструментального нейтронно-активационного и количественного спектрального анализов. Средние концентрации тех же химических элементов в атмосфере Арктики достигали значений 0,0006, 0,00042, 0,00041 мг/м³ соответственно. При этом природа этих элементов в изучаемом аэрозоле имеет морское происхождение. В то время как в городских условиях наличие данных элементов в изучаемом аэрозоле носит антропогенное происхождение.

По полученным результатам можно сделать вывод о необходимости проведения дополнительных исследований по изучению элементного состава загрязненного воздуха при условии соблюдения технических требований к отбору проб и выбора оптимального метода анализа.

Список литературы

1. Скальный А.В. Химические элементы в физиологии и экологии человека. М.: Оникс 21 век, 2004. 216 с.
2. Николаева Е.А., Тишкевич Г.И., Косяченко Г.Е. Анализ гигиенических характеристик спелеосреды наземных гало- и спелеоклиматических камер // Здоровье и окружающая среда. 2016. № 2. С. 185–187.
3. Гринченков Д.В., Косяченко Г.Е., Мохов В.А., Тишкевич Г.И., Левченко П.А. Анализ аспектов развития системы наземного спелеолечения // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 5. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21743> (дата обращения: 16.04.2019).
4. Жолдакова З.И., Юдин С.М., Сеницына О.О., Бударина О.В., Додина Н.С. Перспективы совершенствования организационно-правовых и методических мер по управлению качеством окружающей среды // Гигиена и санитария. 2018. Т. 97. № 11. С. 1026–1031. DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-11-1026-31.
5. Сеницын И.С. Оценка влияния загрязнения атмосферного воздуха города Ярославля на заболеваемость органов дыхания // Ярославский педагогический вестник. 2011. № 1. С. 190–193.
6. Экология и здоровье детей / Под ред. М.Я. Студеникина, А.А. Ефимовой. М.: Медицина, 1998. С. 32–33.
7. Чудакова С.Б. Токсиколого-гигиеническая оценка степени опасности антиголедных реагентов: дис. ... канд. мед. наук: 14.00.07 / Место защиты: ГУ «Научно-исследовательский институт экологии человека и гигиены окружающей среды РАМН». Москва, 2006. 191 с.
8. Баланова Ю.А., Концевая А.В., Лукьянов М.М., Кляшторный В.Г., Кузнецов А.С., Калинина А.М., Бойцов С.А. Избыточная смертность населения в Москве в зимний период и ее экономическое значение в 2007–2014 гг. // Российский кардиологический журнал. 2015. № 11. С. 46–51.
9. Бойцов С.А., Лукьянов М.М., Концевая А.В., Деев А.Д., Баланова Ю.А., Капустина А.В., Кляшторный В.Г., Худяков М.Б. Особенности сезонной смертности населения от болезней системы кровообращения в зимний период в регионах Российской Федерации с различными климатогеографическими характеристиками // Региональная фармакотерапия в кардиологии. 2013. № 9. С. 627–632.
10. Ревич Б.А., Шапошников Д.А. Изменение климата, волны жары и холода как факторы риска повышенной смертности населения в некоторых регионах России // Проблемы прогнозирования. 2012. № 2. С. 122–139.
11. Карпов Ю.А., Булкина О.С., Лопухова В.В., Козловская И.Л. Влияние климатических и метеорологических факторов на течение ишемической болезни сердца // Кардиологический вестник. 2013. № 2. С. 41–47.
12. Щербакова М.А. Влияние загрязнений атмосферного воздуха на заболеваемость взрослого городского населения бронхиальной астмой // Вестник Витебского государственного университета. 2017. № 2. С. 40–48.
13. Салтыкова М.М., Бобровницкий И.П., Яковлев М.Ю., Банченко А.Д., Нагорнев С.Н. Новый подход к анализу влияния погодных условий на организм человека // Гигиена и санитария. 2018. Т. 97. № 11. С. 1038–1042.
14. Гигиена труда: учебник / Под ред. Н.Ф. Измерова, В.Ф. Кириллова. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. 592 с.
15. Виноградова А.А. Антропогенный аэрозоль над морями Северного Ледовитого океана: дис. ... докт. географ. наук: 25.00.28. Москва, 2004. 218 с.