

ОЦЕНКА ГЕОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА Г. ВОРОНЕЖА

Е. В. Беспалова, Т. И. Прожорина, С. А. Куролап

Воронежский государственный университет, Россия

Поступила в редакцию 26 февраля 2013 г.

Аннотация: Снежный покров обладает высокой сорбционной способностью и представляет собой информативный объект при выявлении техногенного загрязнения городской среды. В работе приведены результаты исследования химического состава снега, выпавшего в г. Воронеже за зимний период 2012-2013 гг. Анализируются связи между наличием поллютантов в снеге и уровнем техногенного воздействия. Выявлены корреляционные зависимости между загрязнением снежного покрова и качеством атмосферного воздуха.

Ключевые слова: геохимия снежного покрова, коэффициенты концентрации, поллютанты, качество атмосферного воздуха г. Воронежа.

Abstract: Snow cover has a high sorption capacity and is an informative object in identification of the technogenic pollution of urban environment. The article includes the results of the research of the chemical structure of the snow that has fallen in Voronezh in the winter period 2012-2013. The connection between the presence of pollutants in snow and the level of anthropogenic impact was analyzed. Correlations between the pollution of snow cover and air quality were identified.

Key words: geochemistry of snow cover, concentration coefficients, pollutants, air quality in Voronezh City.

Загрязнение атмосферы в городских ландшафтах характеризуется большой пространственно-временной неоднородностью. Она обуславливается рассредоточенным размещением источников выбросов, метеорологической ситуацией, рельефом местности, неоднородностью застройки, являющейся механическим барьером на пути воздушных потоков и способствующей формированию техногенных аномалий.

Ограниченное число стационарных постов в условиях крупных городов не позволяет получить достоверную информацию о пространственном распределении загрязняющих веществ на всей территории. Однако существование корреляционных зависимостей между содержанием многих загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и их содержанием в снеге, доступном для площадного опробования, позволяет использовать этот компонент ландшафта для экспрессной геохимической индикации загрязнения городской среды [3].

При образовании и выпадении снега концентрация загрязняющих веществ в нем оказывается обычно на 2-3 порядка выше, чем в атмосферном

воздухе, поэтому измерения содержания этих веществ могут производиться достаточно простыми методами и с высокой степенью надежности. Путем анализа всего выпавшего в течение холодного времени снежного покрова можно получить полную информацию о рассеивании вредных веществ в пространстве, обозначить и произвести картирование источников загрязнения и зон их влияния [2].

Цель настоящего исследования – анализ химического состава снежного покрова в различных функциональных зонах г. Воронежа и выявление связи между уровнем техногенного воздействия и присутствием в снеге загрязняющих веществ.

Для пространственного анализа уровней аэрогенного загрязнения в феврале 2013 г. отобраны 27 проб снега в различных функциональных зонах г. Воронежа с разной степенью техногенного воздействия: 7 проб в жилой зоне, 6 – в промышленной зоне, 8 – в транспортной зоне, 5 – в зоне рекреации и 1 фоновая проба – на территории за д. Медовка Рамонского района в 20 км от города в северном направлении (таблица). Из них 8 точек расположено на левом берегу города, 18 – на правом берегу и 1 точка – за городом. Расположение точек на местности показано на рис.

Точки отбора снежных проб

№ точки отбора пробы	Местоположение	Функциональная зона
1	ул. Ростовская, 50/4	жилая
2	ул. Лебедева, 2а	промышленная
3	ул. Полины Осипенко, 6 (парк Авиастроителей)	рекреационная
4	ул. Ленинградская, 98а	жилая
5	ул. Димитрова - ул. Волгоградская	транспортная
6	больница Электроника (лес)	рекреационная
7	ул. Богдана Хмельницкого, 35	промышленная
8	Ленинский проспект, 149	транспортная
9	ул. Ломоносова, 1	жилая
10	ул. Ломоносова, 114 (лес)	рекреационная
11	ул. Вл. Невского, 53	жилая
12	Московский проспект - ул. Хользунова	транспортная
13	ул. Лидии Рябцевой, 42	промышленная
14	ул. 3 Интернационала, 4	жилая
15	ул. Степана Разина – Манежная	транспортная
16	ул. Володарского, 60	жилая
17	наб. Буденного (у речного рынка)	рекреационная
18	ул. 20-летия Октября, 94	транспортная
19	ул. Пирогова, 79	промышленная
20	ул. Депутатская, 12	жилая
21	ул. Матросова, 6	транспортная
22	ул. Южно-Моравская, 3 (парк Танаис)	рекреационная
23	ул. Холмистая, 41	промышленная
24	ул. 9 Января – ул. Антонова-Овсеенко	транспортная
25	ул. Хользунова, 102	транспортная
26	Ясный проезд, 13	промышленная
27	д. Медовка	фон

Репрезентативные пробы «лежалого» снега отбирались по всей толще снежного покрова, за исключением нижних 2-3 см (во избежание загрязнения частицами почвы). Отбор проб проводился пластиковой трубкой площадью сечения 78,5 см² и длиной 30 см. В месте отбора пробы трубку врезали на всю толщину снежного покрова до поверхности земли, после чего ее вынимали из снега, поддерживая снизу пластмассовой лопаткой. Нижнюю часть трубки тщательно очищали от частиц грунта [1].

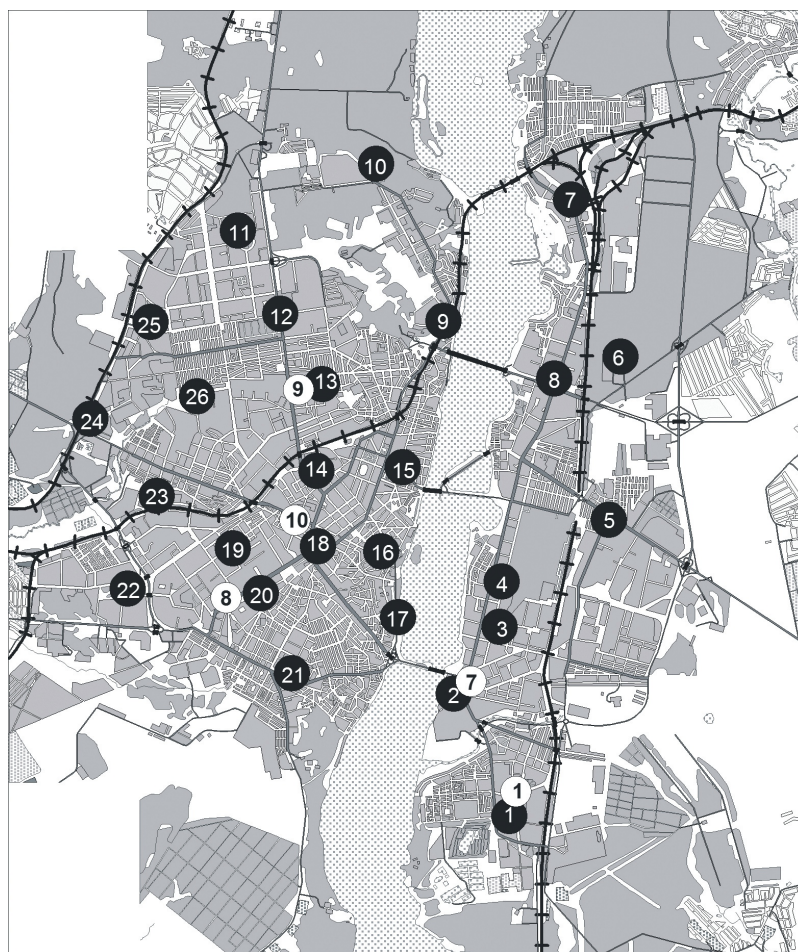
Пробы снега растапливались при комнатной температуре, талую воду фильтровали. По осадку, полученному на фильтре, определяли количество взвешенных частиц в отобранной пробе, а в фильтрате определяли следующие показатели: NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻ (колориметрический метод); минерализация (кондуктометрический); общая жесткость,

Ca²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻ (титриметрический); pH (потенциометрический); Mg²⁺ (расчетный) [4].

Исследования химического состава проб снега проводились в учебной эколого-аналитической лаборатории факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского госуниверситета.

Поскольку ГОСТ Российской Федерации по загрязнению снежного покрова не существует, а применение нормативных документов поверхностных вод к талой воде не всегда обосновано, то для более объективной характеристики геохимической индикации загрязнения снежного покрова за основу принимается сопоставление концентраций поллютантов городских проб снега с соответствующими значениями их фонового аналога. Это достигается расчетом коэффициента концентрации химических элементов (K_c) по следующей формуле:

$$K_c = C_i / C_{\phi},$$



● Точка отбора проб снега (таблица)

Стационарные посты наблюдения Воронежского ЦГМС:

1 – ул. Ростовская, 44

7 – ул. Лебедева, 2

8 – ул. Ворошилова, 30

9 – ул. Лидии Рябцевой, 51б

10 – ул. 9 Января, 49

Рис. Картограмма расположения точек отбора проб снега и стационарных постов наблюдения Воронежского областного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ЦГМС)

где C_i – содержание i -элемента в исследуемом объекте, C_{ϕ} – среднее фоновое содержание i -элемента [3].

Выявлено, что наибольшее количество взвешенных веществ наблюдается в снежных пробах, отобранных в транспортной зоне (перекресток на Ленинском проспекте – точка 8; дорога с большим уклоном по ул. Степана Разина – точка 15; окружная дорога – точка 24). Поступление больших количеств пыли в окружающую среду приводит к техногенной трансформации химического состава снега. В частности, наблюдаются слабощелочная реакция снеговых вод (рН до 8,21) и увеличе-

ние содержания Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- за счет растворения техногенных карбонатов, содержащихся в пыли. Также повышенные концентрации взвешенных веществ отмечаются в промышленной зоне (ул. Лебедева, Ясный проезд, ул. Б. Хмельницкого, ул. Пирогова).

Наиболее низкие значения рН талой воды отмечаются в районе ТЭЦ-1 (точка 2, рН = 5,64). Кислые осадки в данной зоне объясняются активными выбросами оксидов серы и азота, которые, соединяясь с атмосферной влагой, превращаются в соответствующие кислоты. Это также подтверждается повышенным содержанием в снеге данной зоны

сульфатов ($\text{SO}_4^{2-} = 83 \text{ мг/л}$, $K_c = 2,3$), нитратов ($\text{NO}_3^- = 4,27 \text{ мг/л}$, $K_c = 1,6$), нитритов ($\text{NO}_2^- = 0,10 \text{ мг/л}$, $K_c = 2,0$) и иона аммония ($\text{NH}_4^+ = 0,70 \text{ мг/л}$, $K_c = 1,1$).

Величина минерализации талой воды изменяется от 54,5 до 171,2 мг/л. Минимальные значения отмечаются в парке Авиастроителей (60,8 мг/л), в парке Танаис (64,8 мг/л), на территории старой жилой застройки по ул. Володарского (64,9 мг/л). Максимальные величины минерализации наблюдаются в промышленных зонах (точки 2 и 7 на левом берегу, точки 13, 23 и 26 на правом берегу), а также в районах, испытывающих активную транспортную нагрузку (точки 4, 8, 9, 10, 14, 15, 18, 21, 24, 25). К таким районам относятся не только транспортные зоны, но и жилые зоны, в частности, район Агроуниверситета и Березовой рощи (точки 9 и 10) и жилая зона в центре города, прилегающая к ул. Плехановской (точка 14). Таким образом, степень минерализации снеговых вод достоверно характеризует интенсивность техногенного воздействия на городскую среду.

Содержание кальция, магния и, в меньшей степени, калия в атмосфере над сушей зависит, прежде всего, от минерального состава ее поверхности и ветрового выноса, однако увеличение их концентрации в атмосферных осадках свидетельствуют об антропогенном загрязнении атмосферы [2]. Максимальные значения общей жесткости талой воды, характеризующей количество катионов кальция и магния, зафиксированы в районе окружной дороги (точка 24, $K_c = 5,75$), по Ленинскому проспекту (точка 8, $K_c = 4,88$) и ул. Хользунова (точка 25, $K_c = 4,88$). Также высокие значения жесткости наблюдаются в промышленной зоне, прежде всего, в районе ТЭЦ-1 (точка 2, $K_c = 4,38$), по ул. Б. Хмельницкого (точка 7, $K_c = 3,88$), Ясному проезду (точка 26, $K_c = 3,38$) и ул. Лидии Рябцевой (точка 13, $K_c = 3,13$).

Содержание хлоридов в снеге напрямую связано с интенсивностью применения антигололедных средств для дорожных покрытий в зимний период. В г. Воронеже для этих целей используется песчано-соляная смесь, содержащая катионы щелочных и щелочно-земельных металлов и анионы соляной кислоты. Содержание хлорид-ионов в районе окружной дороги (точка 24) в 4,5 раза превышает фоновое значение; по ул. Матросова (точка 21) и ул. Степана Разина (точка 15) – в 4 раза; по ул. Хользунова (точка 25) и на Ленинском проспекте (точка 8) – в 3,5 раза. Однако в районе других улиц (Волгоградской, Ломоносова) содержание хлорид-ионов ненамного превышает фоновые

показатели ($K_c = 1,0-1,7$), что связано, по-видимому, с менее интенсивной обработкой проезжей части.

Содержание сульфат-ионов в талой воде большинства промышленных и транспортных зон превышает фоновые показатели более чем в 2 раза. Это можно объяснить загрязненностью воздуха диоксидом серы. Максимальные значения концентрации сульфат-ионов отмечаются в районе ТЭЦ-1 ($K_c = 2,3$), заводов по ул. Б. Хмельницкого ($K_c = 3,1$) и Ясному проезду ($K_c = 3,1$), вдоль крупных автодорог по улицам Матросова ($K_c = 3,3$) и Ст. Разина ($K_c = 3,2$).

Наличие азотсодержащих соединений в воде определяется деятельностью бактерий, но в зимний период в снежном покрове их присутствие невозможно, поэтому все содержание NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ в талой воде обусловлено только антропогенными воздействиями. К ним можно отнести, в первую очередь, выбросы от промышленных предприятий и автотранспорта (оксиды азота). Наиболее высокие значения азотсодержащих соединений наблюдаются в промышленной зоне по ул. Лидии Рябцевой и в зоне окружной дороги, а минимальные значения на уровне фона – в районе больницы Электроника, в жилой зоне по ул. Ростовской и ул. Володарского, а также на территориях парков.

Нами выявлены корреляционные зависимости между параметрами загрязнения снега и атмосферного воздуха. Для этого использованы данные стационарных постов контроля воздушной среды г. Воронежа, предоставленные Воронежским областным центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ЦГМС). Сформирована база данных о среднемесячных концентрациях загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в зимний период 2012-2013 гг. Согласно данным в атмосферном воздухе г. Воронежа в этот период наблюдались превышения ПДК_{сс} по пыли в 1,9-3,9 раза; по NO_2 в 2,3-4,5 раза; по формальдегиду в 1,7-2,7 раза. Загрязнение воздуха диоксидом серы, фенолом, аммиаком, оксидом азота, сажей не превышало ПДК.

Как видно из рис., пять исследуемых точек отбора проб снега располагаются в непосредственной близости от постов наблюдения Воронежского ЦГМС: точка 1 – пост № 1; точка 2 – пост № 7; точка 20 – пост № 8; точка 13 – пост № 9; точка 18 – пост № 10.

Для сопоставления результатов аэроаналитических измерений в воздухе и снеге были выбраны следующие параметры: пыль и взвешенные вещества; оксид серы (IV) и сульфаты; оксид уг-

лерода и карбонаты. Рассчитаны ранговые коэффициенты корреляции между показателями загрязнения атмосферного воздуха и снежного покрова. Можно отметить наличие положительных корреляций (r) средней силы между содержанием пыли в воздухе и концентрацией взвешенных веществ в снеге ($r = +0,38$), а также сильной силы между загрязнением воздуха диоксидом серы и присутствием сульфат-ионов в снеге ($r = +0,90$). Статистическая связь между содержанием оксида углерода (IV) в воздухе и гидрокарбонат-ионов в снеге не выявлена. Полученные результаты свидетельствуют о том, что снежный покров можно использовать как вполне надежный, достоверный геохимический индикатор загрязнения атмосферы городов.

Таким образом, результаты мониторинга химического состава талой воды указывают на повышенный техногенный уровень загрязнения снежного покрова во всех исследуемых функциональных зонах г. Воронежа.

Наиболее загрязненными районами города являются промышленные зоны (точки 2, 7, 13, 23, 26) и примагистральные территории (точки 15, 18, 21, 24). Несколько меньшее «техногенное давление» испытывают жилые зоны. При этом выявлено, что территория «Березовая роща – Агроуниверситет» (точки 9, 10), считающаяся экологически чистым районом, характеризуется повышенным загрязнением, которое обуславливается высокой транспортной загруженностью узких дорог. В то же время другая жилая зона в центре города (по ул. Володарского) имеет показатели загрязнения снега немного выше фонового уровня.

Наиболее чистыми районами города являются рекреационные зоны (парки Авиастроителей и

Танаис), снежный покров которых слабее загрязнен пылью и многокомпонентными солями (Cl^- , HCO_3^-). Это указывает на относительно более низкий уровень техногенных нагрузок на рекреационный участок города по сравнению с другими городскими зонами.

Выявлено, что основными загрязняющими веществами городского ландшафта г. Воронежа являются взвешенные вещества и минеральные соли (SO_4^{2-} , HCO_3^-), а основными источниками загрязнения выступают автотранспорт и промышленные предприятия.

На основании полученных экспериментальных данных можно утверждать, что степень минерализации снеговых вод характеризует интенсивность техногенного воздействия на городскую среду, а их химический состав указывает на источники поступления поллютантов. Проведенные исследования свидетельствуют о том, что изучение химического состава снежного покрова можно использовать как достоверный метод экспрессной геохимической индикации загрязнения воздушной среды урбанизированных территорий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаврилова И. П. Практикум по геохимии ландшафта / И. П. Гаврилова, Н. С. Касимов. – М. : Изд-во МГУ, 1988. – 447 с.
2. Глазовская М. А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов / М. А. Глазовская. – М. : Высш. школа, 1988. – 328 с.
3. Экогеохимия городских ландшафтов / под ред. Н. С. Касимова. – М. : Изд-во МГУ, 1995. – 336 с.
4. Эколого-аналитические методы исследования окружающей среды: учеб. пособие / Т. И. Прожорина [и др.]. – Воронеж : Истоки, 2010. – 304 с.

Беспалова Елена Владимировна
магистр экологии и природопользования факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж,
т. 8-950-770-00-03, E-mail: elena_bespalova@bk.ru

Прожорина Татьяна Ивановна
кандидат химических наук, доцент кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, т. (473) 266-56-54, E-mail: coriandre@rambler.ru

Куролап Семен Александрович
доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой геоэкологии и мониторинга окружающей среды факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, т. (473) 266-56-54, E-mail: skurolap@mail.ru

Bespalova Yelena Vladimirovna
Master of the chair of geoecology and environmental monitoring, department of geography, geoecology and tourism, Voronezh State University, Voronezh, tel. 8-950-770-00-03, E-mail: elena_bespalova@bk.ru

Prozhorina Tat'yana Ivanovna
Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the chair of geoecology and environmental monitoring, department of geography, geoecology and tourism, Voronezh State University, Voronezh, tel. (473)266-56-54, E-mail: coriandre@rambler.ru

Kurolap Semyon Alexandrovitch
Doctor of Geography, Professor, Head of the chair of geoecology and environmental monitoring, Voronezh State University, Voronezh, tel.(4732)66-56-54, E-mail: skurolap@mail.ru