



УДК 556.124: 574(470.324-25)  
ББК 28.080.1

## АЭРОТЕХНОГЕННЫЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ ПО ЗАГРЯЗНЕНИЮ СНЕЖНОГО ПОКРОВА (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ВОРОНЕЖА)

**Прожорина Татьяна Ивановна**

Кандидат химических наук, доцент кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды  
Воронежского государственного университета  
coriandre@rambler.ru  
Университетская пл., 1, 394006 г. Воронеж, Российская Федерация

**Беспалова Елена Владимировна**

Магистрант кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды  
Воронежского государственного университета  
elena\_bespalova@bk.ru  
Университетская пл., 1, 394006 г. Воронеж, Российская Федерация

**Куролап Семен Александрович**

Доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой геоэкологии  
и мониторинга окружающей среды  
Воронежского государственного университета  
skurolap@mail.ru  
Университетская пл., 1, 394006 г. Воронеж, Российская Федерация

**Виноградов Павел Михайлович**

Аспирант кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды  
Воронежского государственного университета  
vinpaul89@gmail.com  
Университетская пл., 1, 394006 г. Воронеж, Российская Федерация

**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 в зимние периоды 2013–2014 годов. Для объективной характеристики загрязнения снежного покрова рассчитаны коэффициенты концентрации химических элементов. Анализируются связи между наличием поллютантов в снеге и уровнем техногенного воздействия. Составленные ряды коэффициентов аномальности среди анионов отражают состав техногенных выбросов в атмосферу. Исследования химического состава снежного покрова в различных функциональных зонах г. Вороне-

жа позволяют заключить, что реакция среды, минерализация и содержание взвешенных веществ в снеговых водах характеризуют интенсивность техногенного прессинга на городскую среду, а состав талых вод указывает на характер ее загрязнения.

**Ключевые слова:** функциональные зоны, химический состав снега, коэффициенты концентрации, поллютанты, фоновая проба.

Эколого-геохимический мониторинг – один из эффективных методов региональной экологической диагностики состояния городских ландшафтов. Весьма информативным индикатором аэрогенного загрязнения служит снежный покров как естественный накопитель техногенных загрязнений [4]. Целью данного исследования является анализ химического состава снежного покрова и выявление связи между уровнем техногенного воздействия на городскую среду и присутствием загрязняющих веществ в снеге на территориях различных функциональных зон г. Воронежа.

Для пространственного анализа уровней аэрогенного загрязнения в течение 2-летнего периода (февраль 2013 и 2014 гг.) были отобраны 48 проб снега (см. табл. 1), из них 47 проб – в различных функциональных зонах г. Воронежа с разной степенью техногенного воздействия (14 проб – в жилой зоне; 11 – в промышленной зоне; 12 – в транспортной зоне; 10 – в зоне рекреации) и 1 фоновая проба в 20 км от города. Расположение точек отбора проб снега на местности показано на рисунке.

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 см<sup>2</sup> и длиной 30 см. В месте отбора пробы трубу врезали на всю толщину снежного покрова до поверхности земли. После чего трубку из снега вынимали, поддерживая снизу пластмассовой лопаткой. Нижнюю часть трубки тщательно очищали от частиц грунта [2].

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: NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (колориметрический метод); минерализация (кондуктометрический); общая жесткость, Ca<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>,

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (титриметричес рН (потенциометрический); Mg<sup>2+</sup> (расчетный) [3].

Исследования химического состава снега выполнялись в течение следующего дня после отбора всех проб (февраль 2013 и 2014 гг.) на базе учебной эколого-аналитической лаборатории факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета.

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 формуле:  $K_c = C/C_{\phi}$ , где  $C$  – содержание элемента в исследуемом объекте;  $C_{\phi}$  – среднее фоновое содержание элемента [4]. Для расчета коэффициентов концентрации в качестве фоновой приняты пробы снега в точке 48, расположенной вблизи д. Медовка Рамонского района.

Результаты анализа химического состава талой воды показали, что содержание минеральной пыли в пробах снега варьирует от 48,9 (фон) до 324,0 мг/л. Низкие значения взвешенных веществ (менее 85,0 мг/л) отмечаются в пробах снега, отобранных преимущественно в зоне рекреации (точки 4, 11, 17, 19, 47). Высокие значения взвешенных веществ (более 150 мг/л) отмечаются в пробах снега, отобранных в транспортной (точки 10, 24, 27, 30, 35) и в промышленной зонах (точки 2, 6, 8, 14, 26, 28, 38). Именно в этих точках, вероятно, высоко содержание пыли и в воздухе.

Об антропогенном загрязнении атмосферы также свидетельствует увеличение концентрации катионов Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup> в атмосферных осадках и, соответственно, общей жесткости снежных проб, которая варьирует от 0,05 до 0,26 ммоль/л. Минимальные значения жесткости (менее 0,1 ммоль/л) отмечаются в точках 17, 39, 47 (зона рекреации) и в точке 42 (жилая зона). Максимальные значения (более 0,18 ммоль/л) отмечены в транспортной и промышленной зонах.

Присутствие хлоридов в снегу напрямую связано с интенсивностью применения антигололедных средств для дорожных покрытий в зимний период. В г. Воронеже для этих целей используется песчано-соляная смесь. Содержание хлорид-ионов в пробах снега варьирует от 3,16 мг/л (фон) до 27,77 мг/л. Максимальные концентрации (более 15 мг/л) отмечаются в пробах снега транспортной (точки 46, 30, 24, 34, 35, 37, 45 – ряд по увеличению) и промышленной зон (точки 26, 27).

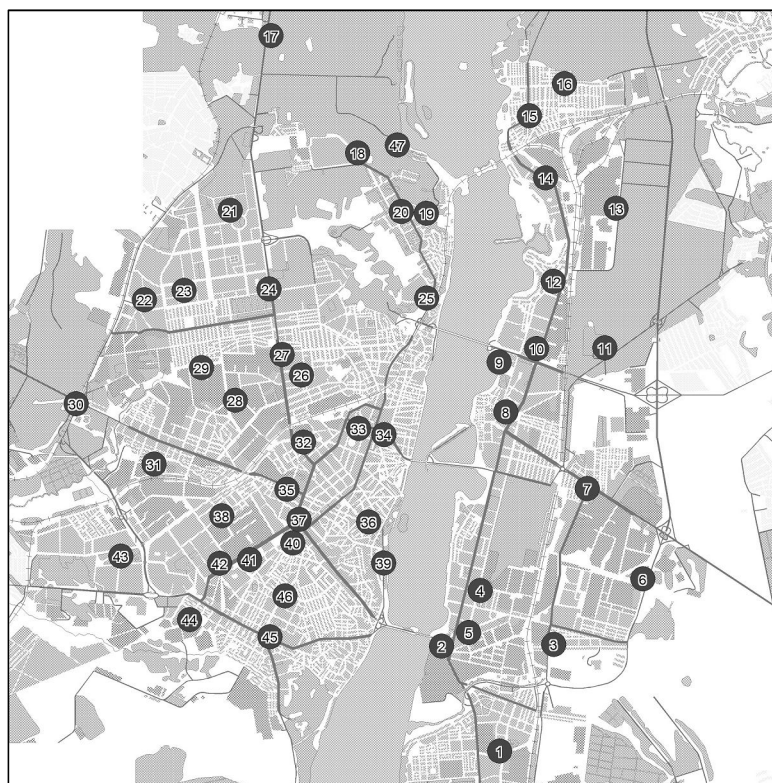
Содержание сульфат-ионов в талой воде большинства промышленных и транспортных зон превышает фоновые показатели более чем в 3 раза. Максимальные концентрации (более 100 мг/л) отмечаются в промышленной (точки 29, 28, 38, 44) и транспортной зонах (точки 35, 45, 46). Это можно объяснить загрязненностью воздуха диоксидом серы.

Наличие азотсодержащих соединений в воде определяется деятельностью бактерий, но в зимний период в снежном покрове их при-

сутствие невозможно, поэтому все содержание  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ -ионов в талой воде обусловлено только антропогенным воздействием, к которому можно отнести в первую очередь выбросы от промышленных предприятий и автотранспорта (оксиды азота). Так, например, значения  $\text{NO}_3^-$ -аниона изменяются от 1,46 до 25,69 мг/л. Максимальные значения нитратов (более 20 мг/л) отмечаются в транспортной (точки 10, 27, 34, 35, 37, 45) и промышленной зонах (точка 8). Минимальные значения  $\text{NO}_3^-$ -аниона (менее 2 мг/л) обнаружены в жилой зоне, а также на территориях парков (точки 19, 43, 47).

Величина pH снежных проб изменяется в интервале от 4,86 до 7,06. Пониженные значения pH связаны с увеличением содержания кислотных окислов ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ) в городских выбросах в атмосферу. Это подтверждается преобладанием в снежных пробах  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ -ионов.

Согласно проведенным ранее исследованиям, степень минерализации снеговых вод



● Точки отбора проб снега

Картограмма расположения точек отбора проб снега

*Примечание.* Составлено авторами на основании картографической основы города в среде MapInfo.

## Точки отбора проб снега

№ точки	Местоположение точки отбора проб	Функциональная зона
1	ул. Ростовская, 50/4	Жилая
2	ул. Лебедева, 2	Промышленная
3	ул. Черепанова, 18	Жилая
4	Парк Авиастроителей (ул. Полины Осипенко)	Рекреационная
5	ул. Героев Стратосферы, 8	Жилая
6	ул. Ильюшина, 126	Промышленная
7	ул. Димитрова – ул. Волгоградская	Транспортная
8	ул. Старых Большевиков, 47	Промышленная
9	Парк «Дельфин» (ул. Остужева)	Рекреационная
10	Ленинский проспект, 149	Транспортная
11	больница Электроника	Рекреационная
12	ул. Грибоедова, 5	Жилая
13	ул. Землячки, 1	Промышленная
14	ул. Богдана Хмельницкого, 35	Промышленная
15	ул. Куйбышева – ул. Панфилова	Транспортная
16	ул. Калининградская, 61	Жилая
17	СОК «Олимпик»	Рекреационная
18	ул. Ломоносова, 114	Рекреационная
19	ул. Дарвина, 1	Рекреационная
20	ул. Ломоносова, 83	Жилая
21	ул. Вл. Невского, 53	Жилая
22	ул. Хользунова, 102	Транспортная
23	ул. Генерала Лизюкова, 73а	Жилая
24	Московский проспект – ул. Хользунова	Транспортная
25	ул. Ломоносова, 1	Жилая
26	ул. Лидии Рябцевой, 42	Промышленная
27	Московский проспект, 36	Транспортная
28	ул. Машиностроителей, 8	Промышленная
29	Ясный проезд, 13	Промышленная
30	ул. 9 Января – ул. Антонова-Овсеенко	Транспортная
31	ул. Холмистая, 41	Промышленная
32	ул. 3 Интернационала, 4	Жилая
33	Парк «Орленок»	Рекреационная
34	ул. Степана Разина – ул. Большая Манежная	Транспортная
35	ул. 9 Января, 49	Транспортная
36	ул. Володарского, 60	Жилая
37	ул. 20-летия Октября, 94	Транспортная
38	ул. Пирогова, 79	Промышленная
39	Петровская Набережная	Рекреационная
40	ул. Моисеева, 11	Жилая
41	ул. Депутатская, 12	Жилая
42	ул. Ворошилова, 30	Жилая
43	Парк «Гананс» (ул. Южно-Моравская)	Рекреационная
44	ул. Кривошеина, 11	Промышленная
45	ул. Матросова, 6	Транспортная
46	ул. Краснознаменная – пер. Казарменный	Транспортная
47	санаторий им. Горького	Рекреационная
48	около д. Медовка Рамонского района	Фоновая

*Примечание.* Составлено авторами. Наименования функциональных зон и принадлежность различных точек отбора проб к той или иной зоне определены по Генеральному плану города, 2008 г. (карта Функционального зонирования территории); данные по загрязнению снега – на основании собственных эколого-аналитических исследований авторов.

достоверно характеризует интенсивность техногенного воздействия на городскую среду [1].

Полученные нами результаты показывают, что величина минерализации снежных проб варьирует от 62,6 (фон) до 183,9 мг/л. Максимальные значения минерализации (больше 150 мг/л) характерны для проб, отобранных в транспортной зоне (точки 45, 46, 37, 34, 35). Также высокие значения минерализации (более 120 мг/л) отмечаются в пробах снега, отобранных в промышленной зоне (точки 38, 28, 44). Можно сделать вывод, что территории транспортной и промышленной зон испытывают наибольшее «техногенное давление».

Таким образом, по обобщенным расчетным данным основным источником загрязнения приземных слоев атмосферы и снежного покрова выступает автотранспорт, а исследуемые городские зоны можно расположить в следующий ряд по убыванию уровня загрязненности: транспортная зона > промышленная зона > жилая и рекреационная зоны > фоновая территория.

Сравнением химического состава проб снега в исследуемых функциональных зонах г. Воронежа с фоном были получены ряды коэффициентов аномальности в снежном покрове среди анионов (по осредненным значениям за 2 зимних сезона), которые приведены в таблице 2.

Полученные ряды свидетельствуют о том, что в пробах снега всех городских зон

г. Воронежа преобладающее место занимают  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{Cl}^-$ -ионы, что косвенно отражает состав техногенных выбросов в атмосферу.

Таким образом, анализ химического состава снежного покрова может служить основой аэротехногенного мониторинга состояния городской среды. Полученные на примере города Воронежа результаты свидетельствуют, что реакция среды (рН), минерализация и содержание взвешенных веществ в снеговых водах характеризуют интенсивность техногенного пресса на городскую среду, а состав талых вод указывает на характер ее загрязнения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспалова, Е. В. Оценка геохимического состояния снежного покрова г. Воронежа / Е. В. Беспалова, Т. И. Прожорина, С. А. Куролап // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2013. – № 1. – С. 137–141.
2. Гаврилова, И. П. Практикум по геохимии ландшафта / И. П. Гаврилова, Н. С. Касимов. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1988. – 447 с.
3. Руководство по анализу воды. Питьевая и природная вода, почвенные вытяжки / под ред. канд. хим. наук А. Г. Муравьева. – СПб. : Кристалл, 2011. – 264 с.
4. Экогеохимия городских ландшафтов / под ред. Н. С. Касимова. – М. : Изд-во МГУ, 1995. – 336 с.

Таблица 2

#### Ряды коэффициентов аномальности в снежном покрове среди анионов

Функциональная зона	Левобережная часть города	Правобережная часть города
Жилая	$\text{NO}_3^-$ (1,7–6,8) > $\text{Cl}^-$ (1,3–2,8) > $\text{NO}_2^-$ (1,2–3,5) > $\text{SO}_4^{2-}$ (1,2–2,1) > $\text{HCO}_3^-$ (1,2–1,9)	$\text{NO}_3^-$ (2,8–12,2) > $\text{NO}_2^-$ (1,2–5,6) > $\text{Cl}^-$ (2,5–4,8) > $\text{SO}_4^{2-}$ (1,2–2,1) > $\text{HCO}_3^-$ (1,1–2,4)
Промышленная	$\text{NO}_3^-$ (1,5–14,7) > $\text{NO}_2^-$ (2,1–9,3) > $\text{Cl}^-$ (2,2–3,3) > $\text{SO}_4^{2-}$ (1,2–2,1) > $\text{HCO}_3^-$ (1,3–1,9)	$\text{NO}_3^-$ (2,1–11,1) > $\text{NO}_2^-$ (2,5–9,8) > $\text{Cl}^-$ (3,3–5,5) > $\text{SO}_4^{2-}$ (1,1–3,3) > $\text{HCO}_3^-$ (1,4–2,9)
Транспортная	$\text{NO}_3^-$ (4,6–9,2) > $\text{NO}_2^-$ (1,5–7,1) > $\text{Cl}^-$ (2,8–4,0) > $\text{HCO}_3^-$ (1,5–2,1) > $\text{SO}_4^{2-}$ (1,2–2,0)	$\text{NO}_3^-$ (3,9–17,6) > $\text{NO}_2^-$ (2,9–9,8) > $\text{Cl}^-$ (4,0–8,8) > $\text{HCO}_3^-$ (1,4–2,9) > $\text{SO}_4^{2-}$ (1,1–2,6)
Рекреационная	$\text{NO}_3^-$ (1,9–12,3) > $\text{Cl}^-$ (1,8–2,8) > $\text{HCO}_3^-$ (1,3–1,8) > $\text{NO}_2^-$ (1,1–9,3) > $\text{SO}_4^{2-}$ (1,5–1,8)	$\text{NO}_3^-$ (1,1–8,9) > $\text{NO}_2^-$ (1,2–4,0) > $\text{Cl}^-$ (2,0–2,8) > $\text{SO}_4^{2-}$ (1,5–2,6) > $\text{HCO}_3^-$ (1,0–1,8)

Примечание. Составлено авторами.

## REFERENCES

1. Bespalova E.V., Prozhorina T.I., Kurolap S.A. Otsenka geokhimicheskogo sostoyaniya snezhnogo pokrova g. Voronezha [Assessment of Geochemical State of Snow Cover in Voronezh]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, 2013, no. 1, pp. 137-141.
2. Gavrilova I.P., Kasimov N.S. *Praktikum po geokhimi landshafta* [Practical Course in Landscape Geochemistry]. Moscow, Izd-vo Mosk. un-ta, 1988. 447 p.
3. Muravyev A.G., ed. *Rukovodstvo po analizu vody. Pityevaya i prirodnyaya voda, pochvennye vytyazhki* [Guidelines on Water Analysis. Drinking and Natural Water, Soil Extractions]. Saint Petersburg, Krismas + Publ., 2011. 264 p.
4. Kasimov N.S., ed. *Ekogeokhimiya gorodskikh landshaftov* [Ecogeochemistry of Urban Landscapes]. Moscow, Izd-vo MGU, 1995. 336 p.

## AEROTECHNOGENIC MONITORING OF URBAN ENVIRONMENT ON SNOW COVER POLLUTION (ON THE EXAMPLE OF VORONEZH CITY)

**Prozhorina Tatyana Ivanovna**

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University  
coriandre@rambler.ru  
Universitetskaya Sq., 1, 394006 Voronezh, Russian Federation

**Bespalova Elena Vladimirovna**

Master Student, Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University  
elena\_bespalova@bk.ru  
Universitetskaya Sq., 1, 394006 Voronezh, Russian Federation

**Kurolap Semen Aleksandrovich**

Doctor of Geographic Sciences, Professor, Head of the Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University  
skurolap@mail.ru  
Universitetskaya Sq., 1, 394006 Voronezh, Russian Federation

**Vinogradov Pavel Mikhaylovich**

Postgraduate Student, Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University  
vinpaul89@gmail.com  
Universitetskaya Sq., 1, 394006 Voronezh, Russian Federation

**Abstract.** Snow cover is characterized by high sorption ability and represents an informative object in the process of identifying the technogenic pollution of urban environment. The article contains the results of the research on the chemical composition of the snow which fell in Voronezh in the winter period of 2013–2014. The coefficients of chemical elements concentration were calculated to provide objective characteristics of snow cover pollution. The authors analyze the connection between the presence of pollutants in snow and the level of technogenic impact. The obtained ranges of anomaly coefficients among anions reflect the composition of technogenic emissions. The mineralization of snow water reliably characterizes

the intensity of anthropogenic impact on the urban environment, and the value of mineralization snow samples ranges from 62,6 (background) to 183,9 mg/l. Maximum values of mineralization (more than 150 mg/l) are typical for samples taken in transport area. High values of salinity (more than 120 mg/l) are observed in snow samples taken in the industrial area, which confirms the high “technogenic pressure” on the urban environment in zones of industrial and transport potential of the city. The investigated functional areas can be arranged in the following series by descending level of contamination: transport area > industrial zone > residential and recreational areas > background territory. The study of the chemical composition of snow cover in the various functional areas of Voronezh allows to conclude that the pH level, mineralization and the content of suspended solids in snow waters characterize the intensity of anthropogenic pressure on the urban environment, and the composition of melt waters indicates the nature of its pollution.

**Key words:** functional areas, chemical composition of snow, concentration coefficients, pollutants, background sample.