



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2023. Т. 23, вып. 1. С. 51–61
Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2023, vol. 23, iss. 1, pp. 51–61
<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2023-23-1-51-61>, EDN: UDXDQM

Научная статья
УДК 614.71:551.578.4

Определение антропогенного загрязнения по физико-химическим характеристикам талого снега



Е. О. Маркова , Ю. П. Корякина, М. А. Титова, Д. В. Баранова-Федорова

Смоленский государственный медицинский университет, Россия, 214019, г. Смоленск, ул. Крупской, д. 28

Маркова Екатерина Олеговна, кандидат биологических наук, доцент кафедры общей и медицинской химии, smeshik-kate@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4361-0824>

Корякина Юлия Петровна, кандидат биологических наук, доцент кафедры общей гигиены, tuman-yu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4341-4417>

Титова Маргарита Андреевна, студент педиатрического факультета, rita.2003.titova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3978-0986>

Баранова-Федорова Дарья Вадимовна, студент педиатрического факультета, dbaranovafedorova@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4398-2115>

Аннотация. Состояние окружающей среды в городах определяется степенью загрязнения отдельных компонентов окружающей среды. Геохимические аномалии в городских агломерациях часто образуются в депонирующих загрязнение средах: почвенный, снежный покров, донные отложения. Цель исследования – экологический мониторинг антропогенного воздействия в разных районах г. Смоленска и г. Вязьмы по физико-химическим характеристикам талого снега. Объектом исследования был выбран снег, так как он накапливает в себе многие вещества, поступающие в атмосферу, а впоследствии может стать источником вторичного загрязнения почвенного покрова, подземных и поверхностных вод. Определялись органолептические показатели (запах, цветность, мутность, наличие осадка в талой воде), химические показатели (количество взвешенных частиц, pH, общая жесткость, общая минерализация, количество органических веществ). Проводились определения на наличие хлорид-ионов (Cl^-), сульфат-ионов (SO_4^{2-}), нитрат-ионов (NO_3^-), нитрит-ионов (NO_2^-), гидрокарбонат-ионов (HCO_3^-) и ионов некоторых тяжелых металлов (Pb^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+}). Параллельно проводилась биоиндикация исследуемых проб на кресс-салате. Был установлен низкий уровень загрязнения г. Смоленска и г. Вязьмы. Наибольший вклад в формирование уровня загрязнения в холодный период года вносят концентрации взвешенных веществ, соединения железа и марганца, концентрация которых превышает ПДК. Концентрация примесей зависит от удаленности от крупных промышленных объектов, авто- и ж/д-объектов, санитарно-технического состояния и режима уборки территории. Наиболее чистые – это придворовые территории Смоленска и Вязьмы. Наибольшую часть загрязнения снега дает ТЭЦ и транспорт. Самыми неблагоприятными оказались пробы, взятые вблизи автостоянок, ж/д-путей и недалеко от ТЭЦ.

Ключевые слова: экологический мониторинг, антропогенное воздействие, предельно допустимая концентрация

Для цитирования: Маркова Е. О., Корякина Ю. П., Титова М. А., Баранова-Федорова Д. В. Определение антропогенного загрязнения по физико-химическим характеристикам талого снега // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2023. Т. 23, вып. 1. С. 51–61. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2023-23-1-51-61>, EDN: UDXDQM

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Determination of atmospheric air pollution by physical and chemical characteristics of snowmelt

Е. О. Markova , Yu. P. Koryakina, M. A. Titova, D. A. Baranova-Fedorova

Smolensk State Medical Academy, 28 Krupskaya St., Smolensk 214019, Russia

Ekaterina O. Markova, smeshik-kate@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4361-0824>

Yuliya P. Koryakina, tuman-yu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4341-4417>

Margarita A. Titova, rita.2003.titova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3978-0986>

Daria A. Baranova-Fedorova, dbaranovafedorova@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4398-2115>

Abstract. The state of the environment in cities is determined by the degree of pollution of individual components of the environment. Geochemical anomalies in urban agglomerations are often formed in pollution depositing media such as soil, snow cover, bottom sediments. The purpose of the study is environmental monitoring of anthropogenic impact in different areas of Smolensk and Vязьма according to the physical and chemical characteristics of melted snow. Snow was chosen as the object of the study, because it accumulates many substances



entering the atmosphere, and subsequently can become a source of secondary pollution of the soil cover, underground and surface waters. The study determined organoleptic parameters (smell, color, turbidity, the presence of sediment in melt water), chemical parameters (the number of suspended particles, pH, total rigidity and mineralization, the amount of organic substances). The presence of chloride ions (Cl^-), sulfate ions (SO_4^{2-}), nitrate ions (NO_3^-), nitrite ions (NO_2^-), bicarbonate ions (HCO_3^-) and ions of some heavy metals (Pb^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+}) have been determined. Bioindication of the studied samples on watercress has been carried out in parallel. A low level of air pollution in Smolensk and Vyazma has been established. The greatest contribution to the formation of the level of pollution in the cold period of the year is made by suspended substances, iron and manganese compounds in concentrations exceeding the maximum permissible concentration. The concentration of impurities depends on the distance from large industrial objects, automobile and railway objects, sanitary and technical condition and cleaning regime of the territory. The courtyard territories of Smolensk and Vyazma are the cleanest. The largest part of snow pollution is provided by the thermoelectric power stations and transport. Samples taken near car parks, railway tracks and near the thermoelectric power stations were the most unfavorable.

Keywords: environmental monitoring, anthropogenic impact, maximum permissible concentration

For citation: Markova E. O., Koryakina Yu. P., Titova M. A., Baranova-Fedorova D. A. Determination of atmospheric air pollution by physical and chemical characteristics of snowmelt. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2023, vol. 23, iss. 1, pp. 51–61 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2023-23-1-51-61>, EDN: UDXDQM

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Состояние окружающей среды оценивается по состоянию отдельных ее составляющих: атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, почв и растительного покрова. Снег – один из наиболее информативных и удобных индикаторов загрязнения [1]. Зимой наблюдается повышение концентрации различных химических веществ в атмосфере, обусловленное ухудшением метеорологических условий рассеяния примесей, увеличением количества промышленных выбросов, замедлением химических процессов трансформации веществ. По этим причинам в снежном покрове накапливается основная масса атмосферных поллютантов [2–5]. При образовании и выпадении снега в результате процессов сухого и влажного вымывания концентрация загрязняющих веществ оказывается обычно на 2–3 порядка выше, чем в атмосферном воздухе [6, 7]. Более 93% загрязнителей имеют антропогенное происхождение: загрязняющие вещества от выбросов промышленных заводов, автотранспорта, противогололедные реагенты [8, 9]. Загрязняющие вещества ведут себя по-разному при контакте со снежным покровом: некоторые абсорбируются снегом, другие возвращаются в атмосферу. Снег, взаимодействуя с аэрозолями, может увеличивать концентрацию частиц в воздухе над снежным покровом, что также может негативно сказываться на здоровье людей. Во время весеннего таяния снега токсичные вещества поступают в почву. Это приводит к загрязнению почвы тяжелыми металлами, полициклическими ароматическими углеводородами, легкорасстворимыми солями. Однако не все элементы задерживаются почвой. Часть загрязнителей вместе с талыми водами просачивается сквозь

почву и попадает в грунтовые воды, а затем в реки [9, 10]. Контроль загрязнения снежного покрова дает возможность проанализировать состав загрязнителей и оценить техногенный поток, позволяет проследить пространственное распределение загрязняющих веществ по территории и получить достоверную картину зон влияния конкретных промышленных предприятий и других объектов на состояние окружающей среды [11, 12].

Цель исследования: экологический мониторинг антропогенного воздействия в разных районах г. Смоленска и г. Вязьмы по физико-химическим характеристикам талого снега.

Материалы и методы

Исследование проводилось в г. Смоленске (325,5 тыс. человек) и в г. Вязьме (52,3 тыс. человек). Основные источники загрязнения в этих городах: автотранспорт, предприятия приборостроения и машиностроения, производства строительных материалов [13]. Для взятия проб были отобраны зоны с различной степенью интенсивности и разными видами техногенного воздействия (табл. 1).

Пробы отбирали одновременно в начале марта непосредственно перед началом снеготаяния методом шурфа, не доходя 5-сантиметрового слоя над почвой, в трех повторностях [14]. Определялись органолептические показатели: запах [15], цветность [16], мутность [17], наличие осадка [18]. Отмечали наличие радужной пленки у исследуемой воды на фильтре при фильтровании проб [15]. Определялись физико-химические показатели: концентрация взвешенных частиц (гравиметрически после фильтрования пробы, по привесу высушенного фильтра), pH (потенциометрически с помо-



Таблица 1 / Table 1

Точки отбора проб снега
Snow sampling points

№ пробы / No. samples	Местоположение Location	Характеристика Characteristic
1	г. Смоленск, ул. Светлая, д. 4 / Smolensk, Svetlyaya St., 4 (54,74952° С, 32,11511° В)	Придворовая территория, удаленная от дороги / Yard territory, remote from the road
2	г. Смоленск, ул. Крупской, д. 28 / Smolensk, Krupskaya str., 28 (54,76929° С, 32,06048° В)	Оживленный перекресток / Busy intersection
3	г. Смоленск, ул. Куриленко, д. 13 / Smolensk, Kurylenko St., 13 (54,76564° С, 32,07145° В)	Крупная автостоянка / Large parking lot
4	г. Вязьма, кв. Парковый, д.3 / Vyazma, Park square, 3 (55,22208° С, 34,30036° В)	Придворовая территория, удаленная от дороги / Yard territory, remote from the road
5	г. Вязьма, ул. Космонавтов, д.1 / Vyazma, Kosmonavtov St., 1 (55,20979° С, 34,28697° В)	Оживленный перекресток / Busy intersection
6	г. Вязьма, 25 Октября, д. 47 / Vyazma, October 25, 47 (55,19151° С, 34,30729° В)	Крупная автостоянка г. Вязьмы / Large parking lot in Vyazma
7	г. Смоленск, ТЭЦ-2 / Smolensk, CHP-2 (54,77808° С, 32,14750° В)	В районе теплоэлектростанции / In the area of the thermal power plant
8	г. Смоленск, ж/д / Smolensk, railway (54,79774° С, 32,03715° В)	В районе железнодорожных путей / In the area of railway tracks
9	г. Смоленск, Днепр / Smolensk, Dnipro (54,79103° С, 32,04803° В)	В районе набережной р. Днепр / In the area of the embankment of the Dnieper river

щью рН - метра-ионометра «Экотест - 2000»), общая жесткость (комплексометрически), общая минерализация (кондуктометрически), концентрация органических веществ (фотокolorиметрически), концентрация ионов SO_4^{2-} , Fe^{3+} (фотометрически), Cl^- , HCO_3^- (титриметрически) [16], NO_3^- (потенциометрически) [19], NH_4^+ , Mn^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} (спектрофотометрически) [20–23]. При проведении биоиндикации использовали кресс-салат, отличающийся быстрым прорастанием семян и почти стопроцентной всхожестью. Его побеги и корни под действием загрязнителей подвергаются заметным морфологическим изменениям [24, 25]. Опыт проводился в лабораторных условиях при естественном освещении и температуре 22–24°C. Семена кресс-салата поливались пробами талого снега и сравнивались с контрольной пробой (водопроводная хлорированная вода). В течение 14 дней регистрировались всхожесть, высота

проростков, морфологические изменения побегов, на 14-й день измерялась масса. Статистическую обработку данных проводили с помощью пакетов прикладных программ Microsoft Excel 2019 и Statistica 7. Различия между сравниваемыми параметрами считали достоверными при $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Наиболее чистые пробы по органолептическим показателям взяты в придворовых территориях. В качестве контрольной отобрана проба, взятая на придворовой территории г. Смоленска, как имеющая наилучшие показатели (табл. 2).

Во всех пробах отмечается наличие осадка в виде песка, что может быть обусловлено применением в качестве антигололедных средств песчано-соляной смеси. Наиболее загрязненные пробы взяты в районе автостоянок и вблизи железной дороги.



Таблица 2 / Table 2

Органолептические показатели исследуемых проб
Organoleptic parameters of the studied samples

№ пробы No. samples	Показатель / Indicator				
	Запах (в норме 0–3) [26] Smell (normally 0–3)	Цветность (в норме до 20°) [26] Chroma (normally up to 300)	Мутность (в норме отсутствует) [26] Turbidity (normally absent)	Наличие осадка Presence of sediment	Наличие радужной пленки The presence of an iridescent film
1	Слабый, 2 Weak, 2	15	Отсутствует Absent	+	–
2	Заметный, 3 Notable, 3	45*Δ	Слабо-мутный Slightly muddy	+	–
3	Отчетливый, 4 Distinct, 4	321*Δ	Мутный Muddy	+	+
4	Слабый, 2 Weak, 2	20*	Слабо-мутный Slightly muddy	+	–
5	Отчетливый, 4 Distinct, 4	45*Δ	Слабо-мутный Slightly muddy	+	–
6	Отчетливый, 4 Distinct, 4	65*Δ	Мутный Muddy	+	+
7	Очень сильный, 5 Very strong, 5	125*Δ	Сильно-мутный Very muddy	+	–
8	Отчетливый, 4 Distinct, 4	211*Δ	Сильно-мутный Very muddy	+	+
9	Заметный, 3 Notable, 3	45*Δ	Отсутствует Absent	+	+

Примечание. * – $p < 0,05$ – по отношению к контрольной пробе; Δ – $p < 0,05$ – по отношению к ПДК.

Note. * – $p < 0,05$ – in relation to the control sample; Δ – $p < 0,05$ – in relation to the MPC.

В пробах 3, 6, 8, 9 обнаружены радужные пленки на поверхности воды, что может свидетельствовать о наличии органических веществ или оксидов железа. Формы железистых и нефтяных пленок различны: первые представляют собой тонкие пленки, разбивающиеся на остроугольные части, вторые имеют округлые очертания [27]. По форме обнаруженные пленки соответствуют пленкам железных оксидов. При проведении количественного исследования в пробах обнаружено, что концентрация органических веществ ниже 1 мг/л. Наименьшая концентрация растворенных органических веществ в незагрязненных природных водах должна составлять около 1 мг/л, наибольшая не превышать 10–20 мг/л [28]. Таким образом, существенного загрязнения органическими веществами не происходит и полученные радужные пленки говорят о наличии ионов железа в пробах.

В приземных слоях воздуха присутствуют твердые частицы: конгломерат углерода с

водородом, сажи, зола, различные выбросы, образующиеся при горении топлива [29, 30]. Появление взвешенных частиц может происходить от природных и антропогенных источников: применение в качестве антигололедных средств песчано-соляной смеси, двигатели внутреннего сгорания, твердые виды топлива, строительство, а также эрозия дорожного покрытия вследствие движения автотранспорта и истирания тормозных колодок и шин. За счет химических реакций газообразных загрязняющих веществ в воздухе (оксидов серы и азота) происходит формирование вторичных частиц [31]. В соответствии с ГН 2.1.6.3492-17 ПДК взвешенных веществ в воздухе составляет 0,15 мг/л. В РФ это значение выше, чем рекомендуемое ВОЗ: для взвешенных частиц PM10 рекомендуемая средне-суточная концентрация – 0,05 мг/л, а для PM2.5 – 0,025 мг/л [32]. По данным Росприроднадзора, в 2020 г. в Смоленской области выброс загрязняющих веществ составил 86,1 тыс. тонн. В целом



по г. Смоленску содержание взвешенных частиц составляло 0,283 мг/л [12]. По степени негативного влияния взвешенные вещества отнесены к 3-му классу опасности. Они способствуют повышению уровня заболеваемости болезнями

органов дыхания, системы кровообращения, злокачественными новообразованиями [33]. Наиболее чистые показатели исследуемых проб – в придворовой территории г. Вязьмы (в 2 раза меньше, чем в контрольном образце) (табл. 3).

Таблица 3 / Table 3

Содержание взвешенных частиц в исследуемых пробах
The content of suspended particles in the samples under study

№ пробы / no. samples	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Концентрация взвешенных частиц, мг/л Concentration of suspended particles, mg/l	20,2 ± 1,0 ^Δ	36,5 ± 1,1 ^{*Δ}	70,3 ± 1,5 ^{*Δ}	10,0 ± 0,9 ^{*Δ}	35,0 ± 0,5 ^{*Δ}	55,2 ± 1,1 ^{*Δ}	32,06 ± 0,13 ^{*Δ}	35,07 ± 0,04 ^{*Δ}	23,1 ± 0,9 ^Δ

Примечание. См. табл. 2.
Note. See Table 2.

Максимальная концентрация взвешенных частиц наблюдается в пробах, взятых в районе автостоянок г. Смоленска (в 3,5 раза больше, чем в контрольном пробе) и г. Вязьмы (в 2,8 раза). Вблизи дорог уровень запыленности возрастает в 1,8 раза, в районе ТЭЦ – в 1,6 раза, в районе ж/д – в 1,8 раз по отношению к контрольному образцу. Вблизи набережной р. Днепр уровень запыленности близок к контрольному. Полученные данные согласуются и с большим количеством осадка, наблюдаемого в пробах при отстаивании. Для природных вод сухой остаток может составлять до 1000–1500 мг/л, поэтому обнаруженные нами концентрации взвешенных частиц не будут критичными для водных объектов, куда они попадут при таянии снега.

Полученные при определении физико-химических показателей данные представлены в табл. 4, 5 и 6. В придворовых территориях г. Смоленска и Вязьмы показатель pH более близок к 7, чем в других пробах (см. табл. 4). Вблизи дороги и на автостоянке г. Вязьма наблюдали снижение pH, что может быть вызвано наличием в атмосфере оксидов серы, азота, хлористого водорода или летучих органических соединений, поступающих в больших количествах от автотранспорта. Оксиды, попадая в атмосферу, реагируют с молекулами воды, образуя кислоты [29]. От котлоагрегатов ТЭЦ, работающих на угле, выбрасываются в атмосферу NO, NO₂, SO₂, CO, сажа, зола угля и бенз(а)пирен, а от котлоагрегатов ТЭЦ, работающих на газе, – NO, NO₂, бенз(а)пирен и CO [34], что может вызывать снижение pH.

Таблица 4 / Table 4

Физико-химические показатели талого снега (часть 1)
Chemical indicators of melted snow (part 1)

№ пробы no. samples	pH	Общая минерализация, мг/л Total mineralization, mg/l	Общая жесткость, мг-экв/л Total hardness, mg-eq/l
1	6,89 ± 0,14	21,1 ± 0,2	0,761 ± 0,014
2	7,45 ± 0,12*	47,1 ± 0,2*	2,326 ± 0,012*
3	7,59 ± 0,17*	252,2 ± 0,2*	3,704 ± 0,016*
4	7,05 ± 0,13*	67,4 ± 0,2*	1,302 ± 0,011*
5	5,66 ± 0,11*	132,6 ± 0,2*	2,340 ± 0,011*
6	6,61 ± 0,14*	168,4 ± 0,2*	2,607 ± 0,015*
7	5,86 ± 0,19*	318,5 ± 0,2*	10,604 ± 0,013*
8	7,38 ± 0,14*	278,8 ± 0,2*	4,523 ± 0,015*
9	6,00 ± 0,12*	77,4 ± 0,2*	1,122 ± 0,012*

Примечание. * – $p < 0,05$ – по отношению к контрольной пробе.
Note. * – $p < 0,05$ – in relation to the control sample.



Физико-химические показатели талого снега (часть 2)
Chemical indicators of melted snow (part 2)

№ пробы / no. samples	[HCO ₃ ⁻], мг/л / mg/l	[SO ₄ ²⁻], мг/л / mg/l	[Cl ⁻], мг/л / mg/l	[NO ₃ ⁻], мг/л / mg/l	[NO ₂ ⁻], мг/л / mg/l	[NH ₄ ⁺] мг/л / mg/l
1	16,47±0,12	–	18,02±0,14	0,121±0,013	–	0,0596 ± 0,0017
2	69,54±0,17*	–	28,00±0,13*	0,47±0,02*	–	0,1930 ± 0,0016*
3	97,62±0,13*	–	36,64±0,18*	0,84±0,02*	–	0,3520 ± 0,0012*
4	31,72±0,14*	–	18,0±0,2	0,15±0,02	–	0,0370 ± 0,0012*
5	64,66±0,19*	22,009±0,012*	29,60±0,11*	0,553±0,011*	–	0,192 ± 0,005*
6	56,73±0,11*		36,6±0,2*	1,115±0,014*	–	0,0630 ± 0,0016*
7	26,92±0,16*	23,652±0,013*	47,97±0,14*	2,712±0,013*	–	0,237 ± 0,004*
8	119,56±0,17*	–	20,00±0,15*	0,90±0,02	–	0,4290 ± 0,0017*
9	24,41±0,12*	–	18,01±0,11	1,643±0,017*	–	0,0112 ± 0,0015*

Примечание. См. табл. 4.

Note. See Table 4.

По жесткости талая вода почти всех рассматриваемых образцов относится к классу мягких вод, что свидетельствует о низком содержании ионов Ca²⁺ и Mg²⁺ в образцах. Минимальные показатели зафиксированы в контрольной пробе. Однако вода из пробы, взятая в районе ж/д, относится к водам средней жесткости, а в районе ТЭЦ – к жестким водам (см. табл. 4).

Слабощелочная реакция среды, наблюдаемая в пробах, взятых вблизи дороги и на стоянке г. Смоленска, у ж/д и ТЭЦ может быть связана с наличием Ca(HCO₃)₂ и Mg(HCO₃)₂, что коррелирует с данными, полученными нами в эксперименте (содержание ниже ПДК – 400 мг/л [35]) (см. табл. 5).

Концентрация гидрокарбонатов в снежном покрове может определяться концентрацией CO₂ в атмосфере. Поступление больших количеств пыли в атмосферу г. Смоленска (цементная, строительная промышленность, теплоэнергетика) также приводит к увеличению содержания HCO₃⁻ за счет растворения техногенных карбонатов, содержащихся в пыли. Кроме того, подщелачивание осадков может быть обусловлено присутствием в атмосфере значительного количества твердых фракций сгоревшего топлива, оксидами металлов, аммиака и т.д. Обнаруженное нами содержание ионов NH₄⁺ не превышает ПДК в воде водоемов (2,6 мг/л) и в питьевой воде (1,5 мг/л). По данным

ВОЗ, содержание NH₄⁺ не должно превышать всего 0,5 мг/л. Более высокое содержание ионов аммония, чем в контрольном образце обнаружено в пробах вблизи дорог (в 3,2 раза) и на стоянке г. Смоленска (в 5,95 раза), у железной дороги (в 7,2 раза) и у ТЭЦ (в 4,0 раза). На придворовой территории г. Вязьмы содержание ионов аммония ниже, чем в контрольной пробе в 1,6 раза, а в районе набережной р. Днепр в 5,3 раза.

Во всех пробах обнаружены хлорид-ионы, содержание которых не превышает ПДК в питьевой воде (350 мг/л). Cl⁻ обладают большой миграционной способностью, что объясняется их хорошей растворимостью, слабо выраженной способностью к сорбции на взвешенных веществах. Этим, возможно, и объясняется невысокое содержание хлоридов в талых водах [36, 37]. Более высокое содержание хлорид-ионов, по сравнению с контрольной пробой, отмечается в пробах, взятых вблизи дорог (в 1,5 раза больше), автостоянок (в 2,0 раза больше) и ТЭЦ (2,7 раза больше).

В пробах, взятых вблизи дороги г. Вязьмы и ТЭЦ, были обнаружены сульфаты (содержание ниже ПДК – 500 мг/л [35]). Накопление даже небольшого количества сульфатов может отражаться на снижении pH. Во всех пробах были обнаружены NO₃⁻, содержание которых меньше ПДК (45 мг/л [35]). Самые низкие показатели на придворовых территориях г. Смоленска



(0,27 ПДК) и г. Вязьмы (0,33 ПДК). В остальных пробах наблюдается увеличенное количество нитратов: вблизи дороги г. Смоленска в 4 раза больше, чем в контрольной пробе; вблизи дороги г. Вязьмы в 4,6 раза, вблизи автостоянки г. Смоленска – в 1,4 раз, вблизи автостоянки г. Вязьмы – в 1,3 раз, в районе ж/д путей – в 1,6 раза, в районе ТЭЦ – в 2,9 раза больше. Нитриты в пробах не обнаружены (ПДК в питьевой воде – 0,3 мг/л; в воде водоемов составляет 3,3 мг/л). Вероятно, это объясняется их легкой окисляемостью.

В атмосфере над городами часто содержатся частицы железа и марганца, выступающие катализаторами реакций и усиливающие

образование кислот [38]. Ионы железа были обнаружены во всех пробах, кроме пробы 9. Концентрация ионов железа во всех пробах, кроме придворовых территорий, превышает ПДК в питьевой воде (0,3 мг/л [35]). Вблизи дороги г. Смоленска в 1,1 раза; вблизи дороги г. Вязьмы в 1,2 раза, вблизи автостоянки г. Смоленска – в 7 раз, вблизи автостоянки г. Вязьмы – в 9,3 раз, в районе набережной Днепра – в 13,3 раза, в районе ТЭЦ – в 22,5 раза больше (см. табл. 6). ПДК соединений железа в пересчете на железо в атмосферном воздухе (при воздействии не менее 24 ч) не должно превышать 0,015 мг/л.

Таблица 6 / Table 6

Содержание ионов тяжелых металлов в исследуемых пробах
The content of heavy metal ions in the studied samples

Ионы металлов / Metal ions	№ пробы / no. samples								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
[Fe ³⁺] мг/л / mg/l	0,33 ± 0,02*	0,363 ± 0,014 ^Δ	0,47 ± 0,02* ^Δ	0,31 ± 0,02	0,392 ± 0,011* ^Δ	0,425 ± 0,016* ^Δ	0,973 ± 0,014* ^Δ	0,54 ± 0,02 ^Δ	–
[Mn ²⁺] мг/л / mg/l	0,123 ± 0,017 ^Δ	0,245 ± 0,012* ^Δ	0,309 ± 0,016* ^Δ	0,137 ± 0,011* ^Δ	0,249 ± 0,016* ^Δ	0,335 ± 0,015* ^Δ	0,506 ± 0,01* ^Δ	0,588 ± 0,014* ^Δ	0,487 ± 0,019* ^Δ

Примечание. См. табл. 2.
Note. See Table 2.

Концентрация ионов марганца, обнаруженных во всех пробах, превышает ПДК в питьевой воде (0,1 мг/л): на придворовых территориях – в 1,2 раза, вблизи дорог – в 2,4; вблизи автостоянок – в 3–3,3, в районе набережной р. Днепр – в 4,8, в районе ТЭЦ – в 5, в районе ж/д путей – 5,8 раза. ПДК соединений марганца в пересчете на диоксид марганца в атмосферном воздухе (при воздействии не менее 24 ч) не должно превышать 0,001 мг/л. Ионы свинца и меди в пробах не обнаружены.

При проведении биоиндикации была получена 100% всхожесть семян кресс-салата во всех пробах, кроме пробы, взятой в районе ж/д (всхожесть 50%) и автостоянок (всхожесть 75%). Находящиеся в пробах примеси простимулировали рост семян: в контрольной пробе за 4 дня прирост составил 2,5 см, а в пробах, обработанных талыми водами – в среднем 3,5 см. Но после 5-го дня ростки, обрабатываемые талыми водами, замедлили рост и достоверного прироста уже не наблюдалось, проростки стали искривляться, на 10-й день рост остановился. В контрольной группе растений рост продолжался до последнего дня ис-

следования. Кроме того, во всех группах растений наблюдалось обламывание проростков на вторую неделю исследования, кроме контрольной. Это свидетельствует о том, что находящиеся в пробах вещества превысили допустимые значения концентрации и стали отрицательно воздействовать на рост растений. Наблюдалось отмирание нижних листьев, и они осыпались без всяких видимых изменений (табл. 7).

Прирост массы проростков так же подтверждает пагубное действие примесей, содержащихся в талых водах. Максимальный вес растений на 14-й день исследования отмечен в контрольной группе. В остальных группах – примерно в 1,67 раза меньше.

Заключение

Уровень загрязнения снега в г. Смоленске и г. Вязьме достаточно низкий. Наибольший вклад в формирование уровня загрязнения в холодный период года вносят взвешенные вещества, соединения железа и марганца, концентрация которых превышает ПДК. Концентрация примесей зависит от удаленности от крупных про-



Таблица 7 / Table 7

Биоиндикация проростков семян кресс-салата
Bioindication of watercress seed seedlings

№ пробы no. samples	День исследования / Research day						Масса, г Weight, g
	4	7	9	11	13	14	
1	3,67 ± 0,16*	6,4±0,9	6,1±1,0	6,7±0,3	6,7±0,3	6,7±0,3	3,2±0,2
2	4,0 ± 0,2*	6,2±0,7	6,05±0,10	6,6±0,2	6,6±0,2	6,6±0,2	3,0±0,2
3	3,8 ± 0,3*	5,4±1,7	6,2±0,3	6,8±0,4	6,8±0,4	6,8±0,4	3,2±0,4
4	3,6 ± 0,4*	6,9±0,8	7,1±0,3	7,4±0,8	7,4±0,8	7,8±1,8	3,6±0,3
5	3,6 ± 0,4*	6,7±0,8	6,4±0,8	6,7±0,3	6,7±0,3	7,2±0,8	3,3±0,2
6	3,2±0,2*	6,2±0,3	6,3±0,3	6,8±0,8	6,8±0,8	6,8±0,8	3,35±0,15
7	2,1±0,6*	4,6±1,4	5,1±1,0	6,1±1,1	6,2±0,6	6,2±0,6	3,0±0,2
8	3,7±0,7*	4,2±0,4	4,55±0,07	5,00±0,71	5,2±0,4	5,6±0,5	2,95±0,15
9	4,025±0,012*	7,0±0,3	6,5±0,4	7,2±0,3	7,4±1,0	7,4±1,0	3,4±0,4
Контрольная группа / Control	2,5±0,2*	5,6±0,9	6,2±0,9	7,63±0,15	8,4±0,2	9,381±0,018	5,2±0,2

Примечание. См. табл. 4.

Note. See Table 4.

мышленных объектов, авто- и ж/д-объектов, санитарно-технического состояния и режима уборки территории. Наиболее чистые – придворовые территории г. Смоленска и г. Вязьмы. Результаты исследования подтвердили, что наибольшую часть загрязнения снега дает ТЭЦ и транспорт. Самыми неблагоприятными оказались пробы, взятые вблизи автостоянок, ж/д-путей и недалеко от ТЭЦ.

Список литературы

1. Стручкова Г. П., Крупнова Т. Г., Тихонова С. А., Капитонова Т. А. Исследование загрязнения снежного покрова угледобывающих районов с использованием спектральных характеристик // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2021. № 12-1. С. 195–203. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2021-121-0-195>
2. Белова Е. А., Ковальчук Н. В. Оценка загрязненности снежного покрова города Гродно // Живые и биокосные системы. 2013. № 3. С. 9.
3. Галеева Э. М., Теплова Д. С. Пространственная структура загрязнения депонирующих сред г. Уфы // Вестник Башкирского университета. 2015. Т. 20, № 4. С. 1251–1254.
4. Воробьевская Е. Л., Седова Н. Б., Слипечук М. В., Цымбал М. Н. Геоэкологические исследования снега и поверхностных вод в зимний период в центральной части Кольского полуострова // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 1. С. 64–70. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-1-064-070>
5. Cichowicz R., Wielgosinski G., Fetter W. Dispersion of atmospheric air pollution in summer and winter season // Environ. Monit. Assess. 2017. Vol. 189, iss.12. P. 1–10. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6319-2>
6. Соловьева Н. Е., Олькова Е. А., Алябьева А. А., Краева О. В. Исследование талой воды (снега) как показатель загрязнения атмосферы урбанизированной среды // Молодой ученый. 2015. № 14 (94). С. 668–672.
7. Негроров О. П., Астанин И. К., Стародубцев В. С., Астанина Н. Н. Снежный покров как индикатор состояния атмосферного воздуха в системе социально-гигиенического мониторинга // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2005. № 2. С. 149–153.
8. Потехина Р. М., Макаева В. И., Альмитова Л. И., Идиятов И. И., Трмасова А. М., Кузовкова Ю. В., Вафин И. Ф. Снежный покров как индикатор загрязнения атмосферного воздуха вблизи ТЭЦ микелиальными грибами и тяжелыми металлами // Ветеринарный врач. 2021. № 3. С. 39–45.
9. Курбаков Д. Н., Кузнецов В. К., Сидорова Е. В., Саруханов А. В., Дементьева Н. В., Новикова Н. В. Сравнительная оценка загрязнения тяжелыми металлами снежного покрова предприятиями черной металлургии // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26, № 8. С. 59–65. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-8-59-65>
10. Тающий городской снег содержит токсичные вещества. URL: https://news.rambler.ru/science/36677934/?utm_content=news_media&utm_medium=read_more&utm_source=copylink (дата обращения: 11.09.2022).



11. Lu K., Guo S., Tan Zh., Wang H., Shang D., Liu Y., Li X., Wu Zh., Hu M., Zhang Y. Exploring atmospheric free-radical chemistry in China: The self-cleansing capacity and the formation of secondary air pollution // National Science Review. 2019. Vol. 6, № 3. P. 579–594. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwy073>
12. Баранова Л. А. Химические элементы и их соединения в окружающей среде города Тюмени // Башкирский химический журнал. 2021. Т. 28, № 2. С. 87–89. <https://doi.org/10.17122/bcj-2021-2-87-89>
13. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Смоленской области в 2020 году: материалы к государственному докладу. Смоленск: Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Смоленской области, ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Смоленской области», 2021. 187 с.
14. ГОСТ 17.1.5.05-85 Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200008297> (дата обращения: 12.11.2022).
15. ГОСТ Р 57164-2016 Вода питьевая. Методы определения запаха, вкуса и мутности. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200140391> (дата обращения: 12.11.2022).
16. Пименова Е. В. Химические методы анализа в мониторинге водных объектов. Пермь : Изд-во ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2011. 138 с.
17. ГОСТ 1030 Вода хозяйственно-питьевого назначения. Полевые методы анализа. URL: https://allgosts.ru/13/060/gost_1030-81 (дата обращения: 12.11.2022).
18. Аксенов В. И., Ушакова Л. И., Ничкова И. И. Химия воды: Аналитическое обеспечение лабораторного практикума. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. 140 с.
19. ГОСТ 23268.9-78 Вода. Воды минеральные, питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200022319> (дата обращения: 12.11.2022).
20. ГОСТ 33045-2014 Вода. Методы определения азотсодержащих веществ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200115428> (дата обращения: 12.11.2022).
21. ГОСТ 4974-2014 Вода питьевая Определение содержания марганца фотометрическими методами. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200115798> (дата обращения: 12.11.2022).
22. ПНД Ф 14.1:2:3:4.239-2007 Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации свинца в питьевых, поверхностных, подземных пресных и сточных водах хроматным фотометрическим методом с дифенилкарбазидом. URL: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293793/4293793127.htm> (дата обращения: 12.11.2022).
23. ГОСТ 20580.2-80* Свинец. Методы определения меди. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200010738> (дата обращения: 12.11.2022).
24. Тагирова К. Б., Барахнина В. Б., Гилязов А. А. Биотестирование буровых сточных вод на проростках кресс-салата, водорослях и низших ракообразных // Экологический вестник России. 2020. № 6. С. 14–17.
25. Кубрина Л. В., Супиниченко Е. А. Использование кресс-салата как тест-объекта для оценки загрязнения снежного покрова // Научное обозрение. Биологические науки. 2021. № 1. С. 11–15. <https://doi.org/10.17513/srbs.1218>
26. ГОСТ 2761-84 Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003220> (дата обращения: 12.11.2022).
27. Винокуров С. Ф., Тарасова Н. П., Трунова А. Н., Крюков Г. В. Содержания редкоземельных элементов и тяжелых металлов в пробах почв и снега // Безопасность в техносфере. 2018. № 1 (70). С. 27–30. https://doi.org/10.12737/article_5b5ef709e7e877.93882747
28. Татаринцева Е. А., Ольшанская Л. Н., Бухарова Е. А. Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов и технологии утилизации металлосодержащих гальваншламов // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. 2021. Т. 43, № 3. С. 53–64. <https://doi.org/10.15593/2409-5125/2021.03.05>
29. Логинова Е. В., Лопух П. С. Гидроэкология. Минск : БГУ, 2011. 300 с.
30. Сейпишова А. А. Исследование кислотности атмосферных осадков // Молодой ученый. 2019. № 21 (259). С. 74–76.
31. Мальцева В. С., Юшин В. В. Экологические проблемы крупных городов на примере Курска // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2016. № 1 (18). С. 36–41.
32. Трескова Ю. В. Проблемы нормирования мелкодисперсных частиц в России и за рубежом // Молодой ученый. 2017. № 23 (157). С. 17–19.
33. Muthukumar P., Cocom E., Nagrecha K., Comer D., Burga I., Taub J., Calvert Ch. F., Holm J., Pourhormayoun M. Predicting PM 2.5 atmospheric air pollution using deep learning with meteorological data and ground-based observations and remote-sensing satellite big data // Air Quality, Atmosphere and Health. 2022. № 15. P. 1221–1234. <https://doi.org/10.1007/s11869-021-01126-3>
34. Петров С. Б., Онучина Е. Н., Петров Б. А. Эколого-эпидемиологическое исследование по оценке влияния взвешенных веществ в атмосферном воздухе городской среды на развитие болезней органов дыхания // Фундаментальные исследования. 2011. № 11, ч. 2. С. 346–349.
35. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. URL: <https://fsvps.gov.ru/sites/default/files/npa-files/2021/01/28/sanpin1.2.3685-21.pdf> (дата обращения: 12.11.2022).
36. Волкова М. В., Климов К. К., Любомудров Б. Э., Сарапулова А. С., Велькин В. И. Разработка кон-



цепции экологически чистых ТЭЦ и ТЭС с активным использованием фотосинтетических процессов // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2020. № 25–27 (347–349). С. 184–192. <https://doi.org/10.15518/isjaee.2020.09.017>

37. Салтан Н. В., Святковская Е. А., Тростенюк Н. Н. Оценка загрязнения снегового покрова урбоэкосистем Кольского Севера в зоне влияния железнодорожных отводов // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 78–83. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-1-078-083>
38. Тунакова Ю. А., Шагидуллина Р. А., Новикова С. В., Валиев В. С., Абдеев Э. Р. Методология определения нормативов содержания приоритетных химических загрязняющих веществ в объектах окружающей среды // Башкирский химический журнал. 2014. Т. 21, № 3. С. 79–85.

References

1. Struchkova G. P., Krupnova T. G., Tikhonova S. A., Kapitonova T. A. Investigation of snow cover pollution in coal mining areas using spectral characteristics. *Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2021, no. 12-1, pp. 195–203 (in Russian). <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2021-121-0-195>
2. Belova E. A., Kovalchuk N. V. Assessment of the pollution of the snow cover of the city of Grodno. *Zhivye i biokosnye sistemy*, 2013, no. 3, pp. 9 (in Russian).
3. Galeeva E. M., Teplova D. S. Spatial structure of pollution of depositing media of Ufa. *Vestnik Bashkirskogo universiteta* [Bulletin of Bashkir University], 2015, vol. 20, no. 4, pp. 1251–1254 (in Russian).
4. Vorobevskaya E. L., Sedova N. B., Slipenchuk M. V., Tsymbal M. N. Geoecological studies of snow and surface waters in winter in the central part of the Kola Peninsula. *Theoretical and Applied Ecology*, 2020, no. 1, pp. 64–70 (in Russian). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-1-064-070>
5. Cichowicz R., Wielgosinski G., Fetter W. Dispersion of atmospheric air pollution in summer and winter season. *Environ. Monit. Assess*, 2017, vol. 189, iss. 12, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6319-2>
6. Soloveva N. E., Olkova E. A., Alyabeva A. A., Kraeva O. V. Investigation of melt water (snow) as an indicator of atmospheric pollution of an urbanized environment. *Young Scientist*, 2015, no. 14 (94), pp. 668–672 (in Russian).
7. Negrobov O. P., Astanin I. K., Starodubtsev B. C., Astanina N. N. Snow cover as an indicator of the state of atmospheric air in the system of social and hygienic monitoring. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*, 2005, no. 2, pp. 149–153 (in Russian).
8. Potekhina R. M., Makaeva V. I., Almitova L. I., Idiyatov I. I., Tremasova A. M., Kuzovkova Yu. V., Vafin I. F. Snow cover as an indicator of atmospheric air pollution near thermal power plants by mycelial fungi and heavy metals. *The Veterinarian*, 2021, no. 3, pp. 39–45 (in Russian).
9. Kurbakov D. N., Kuznetsov V. K., Sidorova E. V., Sarukhanov A. V., Dementeva N. V., Novikova N. V. Comparative assessment of heavy metal pollution of snow cover by ferrous metallurgy enterprises. *Ecology and Industry of Russia*, 2022, vol. 26, no. 8, pp. 59–65 (in Russian). <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-8-59-65>
10. *Melting urban snow contains toxic substances*. Available at: https://news.rambler.ru/science/36677934/?utm_content=news_media&utm_medium=read_more&utm_source=copylink (accessed 11 September 2022).
11. Lu K., Guo S., Tan Zh., Wang H., Shang D., Liu Y., Li X., Wu Zh., Hu M., Zhang Y. Exploring atmospheric free-radical chemistry in China: The self-cleansing capacity and the formation of secondary air pollution. *National Science Review*, 2019, vol. 6, no. 3, pp. 579–594. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwy073>
12. Baranova L. A. Chemical elements and their compounds in the environment of the city of Tyumen. *Bashkir Chemical Journal*, 2021, vol. 28, no. 2, pp. 87–89 (in Russian). <https://doi.org/10.17122/bcj-2021-2-87-89>
13. *On the state of sanitary and epidemiological welfare of the population in the Smolensk region in 2020: materials for the state report*. Smolensk, Upravlenie Federalnoy sluzhby po nadzoru v sfere zashchity prav potrebiteley i blagopoluchiya cheloveka po Smolenskoj oblasti, FBUZ «Tsentr gigieny i epidemiologii v Smolenskoj oblasti», 2021. 187 p (in Russian).
14. *GOST 17.1.5.05-85 Nature conservation. Hydrosphere. General requirements for sampling surface and sea waters, ice and precipitation*. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200008297> (accessed 12 November 2022) (in Russian).
15. *GOST P 57164-2016 Drinking water. Methods for determining odor, taste and turbidity*. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200140391> (accessed 12 November 2022) (in Russian).
16. Pimenova E. V. *Khimicheskiye metody analiza v monitoringe vodnykh ob"yektov* [Chemical methods of analysis in the monitoring of water bodies]. Perm, Izd-vo FGBOU VPO Permskaya GSKHA, 2011. 138 p. (in Russian).
17. *GOST 1030 Water for household and drinking purposes. Field methods of analysis*. Available at: https://allgosts.ru/13/060/gost_1030-81 (accessed 12 November 2022) (in Russian).
18. Aksenov V. I., Ushakova L. I., Nichkova I. I. *Khimiya vody: Analiticheskoye obespecheniye laboratornogo praktikuma* [Water chemistry: Analytical support for laboratory practice]. Ekaterinburg, Izd-vo Ural. un-ta, 2014. 140 p. (in Russian).
19. *GOST 23268.9-78 Water. Mineral waters, medicinal drinking waters, therapeutic canteens and natural canteens*. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200022319> (accessed 12 November 2022) (in Russian).



20. GOST 33045-2014 *Water. Methods for the determination of nitrogen-containing substances*. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200115428> (accessed 12 November 2022) (in Russian).
21. GOST 4974-2014 *Drinking water Determination of manganese content by photometric methods*. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200115798> (accessed 12 November 2022) (in Russian).
22. PND F 14.1:2:3:4.239-2007 *Quantitative chemical analysis of waters. Method of measuring the mass concentration of lead in drinking, surface, underground fresh and wastewater by chromatic photometric method with diphenyl carbamide*. Available at: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293793/4293793127.htm> (accessed 12 November 2022) (in Russian).
23. GOST 20580.2-80* *Lead. Methods for determining copper*. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200010738> (accessed 12 November 2022) (in Russian).
24. Tagirova K. B., Barakhnina V. B., Gilyazov A. A. Bio-testing of drilling wastewater on watercress seedlings, algae and lower crustaceans. *Ecological Bulletin of Russia*, 2020, no. 6, pp. 14–17 (in Russian).
25. Kubrina L. V., Supinichenko E. A. Using watercress as a test object for assessing snow cover pollution. *Scientific Review. Biological Sciences*, 2021, no. 1, pp. 11–15 (in Russian). <https://doi.org/10.17513/srbs.1218>
26. GOST 2761-84 *Sources of centralized household and drinking water supply*. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200003220> (accessed 12 November 2022) (in Russian).
27. Vinokurov S. F., Tarasova N. P., Trunova A. N., Kryukov G. V. The content of rare earth elements and heavy metals in soil and snow samples. *Safety in Technosphere*, 2018, no. 1 (70), pp. 27–30 (in Russian). https://doi.org/10.12737/article_5b5ef709e7e877.93882747
28. Tatarintseva E. A., Olshanskaya L. N., Bukharova E. A. Wastewater treatment from heavy metal ions and technologies for the disposal of metal-containing electroplating. *PNR PU Bulletin. Applied Ecology. Urban Development*, 2021, vol. 43, no. 3, pp. 53–64 (in Russian). <https://doi.org/10.15593/2409-5125/2021.03.05>
29. Loginova E. V., Lopukh P. S. *Gidroekologiya* [Hydroecology]. Minsk, BGU Publ., 2011. 300 p. (in Russian).
30. Seypishova A. A. Study of the acidity of atmospheric precipitation. *Young Scientist*, 2019, no. 21 (259), pp. 74–76 (in Russian).
31. Maltseva V. S., Yushin V. V. Environmental problems of large cities on the example of Kursk. *Proceedings of the South-West State University. Technics and Technology*, 2016, no. 1 (18), pp. 36–41 (in Russian).
32. Treskova Yu. V. Problems of fine particle rationing in Russia and abroad. *Young Scientist*, 2017, no. 23 (157), pp. 17–19 (in Russian).
33. Muthukumar P., Cocom E., Nagrecha K., Comer D., Burga I., Taub J., Calvert Ch. F., Holm J., Pourhomayoun M. Predicting PM 2.5 atmospheric air pollution using deep learning with meteorological data and ground-based observations and remote-sensing satellite big data. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 2022, no. 15, pp. 1221–1234. <https://doi.org/10.1007/s11869-021-01126-3>
34. Petrov S. B., Onuchina E. N., Petrov B. A. Ecological and epidemiological study to assess the influence of suspended substances in the atmospheric air of the urban environment on the development of respiratory diseases. *Fundamental Research*, 2011, no. 11 (part 2), pp. 346–349 (in Russian).
35. SanPiN 1.2.3685-21. *Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans*. Available at: <https://fsvps.gov.ru/sites/default/files/npa-files/2021/01/28/sanpin1.2.3685-21.pdf> (accessed 12 November 2022) (in Russian).
36. Volkova M. V., Klimov K. K., Lyubomudrov B. E., Sarapulova A. S., Velkin V. I. Development of the concept of environmentally friendly thermal power plants and thermal power plants with the active use of photosynthetic processes. *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAEE)*, 2020, no. 25–27 (347–349), pp. 184–192 (in Russian). <https://doi.org/10.15518/isjaee.2020.09.017>
37. Saltan N. V., Svyatkovskaya E. A., Trostenyuk N. N. Assessment of pollution of snow cover of urban ecosystems of the Kola North in the zone of influence of railway branches. *Theoretical and Applied Ecology*, 2022, no. 1, pp. 78–83 (in Russian). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-1-078-083>
38. Tunakova Yu. A., Shagidullina R. A., Novikova S. V., Valiev V. S., Abdeev E. R. Methodology for determining the standards for the content of priority chemical pollutants in environmental objects. *Bashkir Chemical Journal*, 2014, vol. 21, no. 3, pp. 79–85 (in Russian).

Поступила в редакцию 21.09.22; одобрена после рецензирования 05.12.22; принята к публикации 06.12.22
 The article was submitted 21.09.22; approved after reviewing 05.12.22; accepted for publication 06.12.22