

---

---

# ПРОМЫШЛЕННАЯ И АГРАРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

---

## INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL ECOLOGY

---

---

УДК 504.064.2:631.41(476)

### ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОДЕРЖАНИЯ СУЛЬФАТОВ И НИТРАТОВ В ПОЧВАХ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

С. Е. ГОЛОВАТЫЙ<sup>1)</sup>, С. В. САВЧЕНКО<sup>2)</sup>, Е. А. САМУСИК<sup>3)</sup>, М. Л. СИНИЦКАЯ<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,  
Белорусский государственный университет,  
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь

<sup>2)</sup>Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси,  
ул. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь

<sup>3)</sup>Гродненский государственный университет им. Янки Купалы,  
ул. Элизы Ожешко, 22, 230023, г. Гродно, Беларусь

---

#### Образец цитирования:

Головатый СЕ, Савченко СВ, Самусик ЕА, Синицкая МЛ. Пространственно-временные особенности содержания сульфатов и нитратов в почвах урбанизированных территорий. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2024;4:99–113.  
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2024-4-99-113>

#### For citation:

Golovaty SE, Savchenko SV, Samusik EA, Sinitskaya ML. Spatiotemporal peculiarities of sulfate and nitrate concentration in soils of urbanized areas. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2024;4:99–113. Russian.  
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2024-4-99-113>

---

#### Авторы:

**Сергей Ефимович Головатый** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; заведующий кафедрой экологического мониторинга и менеджмента.

**Светлана Валентиновна Савченко** – кандидат геолого-минералогических наук, доцент; ведущий научный сотрудник лаборатории оптимизации геосистем.

**Елена Андреевна Самусик** – старший преподаватель кафедры экологии.

**Марина Леонидовна Синицкая** – младший научный сотрудник лаборатории трансграничного загрязнения.

#### Authors:

**Sergei E. Golovaty**, doctor of science (agriculture), full professor; head of the department of environmental monitoring and management.

[sscience@yandex.ru](mailto:sscience@yandex.ru)

**Svetlana V. Savchenko**, PhD (geology and mineralogy), docent; leading researcher at the laboratory of geosystems optimization.

[svscience@rambler.ru](mailto:svscience@rambler.ru)

**Elena A. Samusik**, senior lecturer at the department of ecology.

[e.samusik@mail.ru](mailto:e.samusik@mail.ru)

**Marina L. Sinitskaya**, junior researcher at the laboratory of transboundary pollution.

[marina.si.mary@gmail.com](mailto:marina.si.mary@gmail.com)

Оценка современного состояния почв городских территорий выявила пространственные различия в накоплении нитратов и сульфатов по административным областям страны. Наименьшие концентрации нитратов отмечены в городах Брестской обл. ( $K_c = 0,5$ ), наибольшие – в Гомельской ( $K_c = 2,8$ ). Для сульфатов наблюдалась обратная тенденция: наименьшее среднее содержание зафиксировано в городах Гомельской обл. ( $K_c = 1,0$ ), наибольшее – в Брестской ( $K_c = 1,5$ ). При этом различия в накоплении сульфатов по областям незначительные, в то время как для нитратов разброс средних значений составил более чем в 5 раз. Максимальные значения сульфатов, отмеченные на отдельных участках городов, составили от  $> 1,0$  до  $3,0$  ПДК. Исследования показали, что за 2000–2020 гг. в 90 % населенных пунктов отмечена тенденция снижения концентрации нитратов в почвах городов. Можно предположить, что такое уменьшение азотсодержащих веществ обусловлено снижением количества органического вещества в почвах и замедлением процессов нитрификации при его разложении, а также незначительной долей азотфиксирующих организмов, присутствующих в городских почвах. Установлено, что за исследуемый период содержание сульфатов в почвах городов увеличилось. При этом в 59 % случаев почвы характеризовались значительным увеличением содержания сульфатов: в 41 % случаев накопление серосодержащего соединения в почвах незначительное. В почвах г. Минска за 2000–2022 гг. установлены разнонаправленные свойства в содержании нитратов по годам с общей тенденцией к значительному понижению их концентрации. Для сульфатов отмечалась некоторое накопление в почвах с незначительным снижением концентраций в 2013 и 2015 гг. Следовательно, можно прогнозировать ухудшение экологического состояния почв в 94 % исследованных населенных пунктов за счет увеличения в них концентрации сульфатов и положительную тенденцию, выраженную в снижении или стабилизации накопления нитратов в почвенном покрове городских территорий.

**Ключевые слова:** почвы; сульфаты; нитраты; городские территории; загрязнение; динамика; предельно допустимая концентрация; фоновое содержание; пороговое значение.

## SPATIOTEMPORAL PECULIARITIES OF SULFATE AND NITRATE CONCENTRATION IN SOILS OF URBANIZED AREAS

*S. E. GOLOVATYI<sup>a</sup>, S. V. SAVCHENKO<sup>b</sup>, E. A. SAMUSIK<sup>c</sup>, M. L. SINITSKAYA<sup>b</sup>*

*<sup>a</sup>International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University,  
23/1 Daŭhabrodskaja Street, Minsk 220070, Belarus*

*<sup>b</sup>Institute of Nature Management, National Academy of Sciences of Belarus,  
10 Surganava Street, Minsk 220076, Belarus*

*<sup>c</sup>Yanka Kupala State University of Grodno,  
22 Azheshka Street, Grodna 230023, Belarus*

*Corresponding author: S. E. Golovaty (science@yandex.ru)*

Assessment of the current state of soils of urban areas revealed spatial differences in the accumulation of nitrates and sulfates by administrative regions of the country. The lowest nitrate concentrations were observed in the cities of Brest region ( $K_c = 0.5$ ), the highest – in Gomel region ( $K_c = 2.8$ ). The opposite trend was observed for sulfates: the lowest average content was recorded in the cities of Gomel region ( $K_c = 1.0$ ), the highest – in Brest region ( $K_c = 1.5$ ). At the same time, the differences in the accumulation of sulphates by regions are insignificant, while for nitrates the variation of average values amounted to more than 5 times. Maximum values of sulphates observed in some parts of the cities were from  $> 1,0$  to  $3,0$  maximum permissible concentrations. Studies have shown that over the period 2000–2020, 90 % of populated areas showed a tendency to decrease to concentration nitrates in urban soils. It can be assumed that such a decrease in nitrogen-containing substances is due to a decrease in the amount of organic matter in soils and slowing down of nitrification processes during its decomposition, as well as an insignificant proportion of nitrogen-fixing organisms present in urban soils. It was found that over the study period, the content of sulfates in urban soils increased. At the same time, in 59 % of cases, soils were characterized by a significant increase in the content of sulfates, in 41 % of cases, the accumulation of sulfur-containing compounds in soils was insignificant. In the soils of Minsk for the period 2000–2022, multidirectional trends in the content of nitrates were established by year with a general tendency towards a significant decrease in their concentration. For sulfates, some accumulation was noted in soils with an insignificant decrease in concentrations in 2013 and 2015. In general, it is possible to predict a deterioration in the ecological state of soils in 94 % of the studied settlements due to an increase in the concentration of sulfates in them and a positive trend expressed in a decrease or stabilization of the accumulation of nitrates in the soil cover of urban areas.

**Keywords:** soils; sulfates; nitrates; urban areas; pollution; dynamics; maximum permissible concentration; background content; threshold value.

## Введение

На территории Беларуси эколого-геохимические исследования почв урбанизированных территорий на содержание в них химических веществ и показателей проводятся с середины XX в. Чаще всего изучались тяжелые металлы и нефтепродукты, выступающие основными загрязнителями городских почв. Оценке присутствия серо- и азотсодержащих соединений в почвах городов уделялось значительно меньше внимания, так как эта область исследований касается главным образом сельскохозяйственных земель, для которых наличие в почвах азота и серы являются обязательным условием получения качественной растениеводческой продукции [1–7]. В естественных условиях обогащение почв нитратами происходит в процессе нитрификации при разложении органических веществ почвы, а также вследствие отмирания азотфиксирующих микроорганизмов [8].

Сульфатная форма серы образуется с участием микроорганизмов в качестве побочного продукта в процессе минерализации органического вещества почвы, представленного растительными остатками и гумусом. Незначительная часть от валового содержания серы в почве находится в неорганической форме в виде сульфатов, которые входят в состав почвенного раствора, удерживаются поверхностью минеральных частиц почвы, а также находятся в составе отдельных минералов [8].

Дополнительное поступление серы и азота в почвы городских территорий, по сравнению с природными аналогами, может быть обусловлено их присутствием в атмосферном воздухе городов в виде оксидов серы и азота, которые входят в группу газов, обладающих высокой химической активностью, и поступают в атмосферу при сгорании ископаемых видов топлива, деятельности промышленных объектов и выбросах автотранспорта [1–3]. Поступившие из атмосферы техногенные соединения серы могут закрепляться в почве в результате адсорбции в виде нерастворимых соединений, что ограничивает их миграцию. В то же время большинство сульфатов и нитратов хорошо растворимы в воде, что способствует их вымыванию из поверхностного слоя почв в нижележащие горизонты [8].

В статье дается оценка содержания сульфатов и нитратов в городских почвах по результатам обследования городов в рамках наблюдений за химическим загрязнением почв Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь (НСМОС) (по данным последнего тура обследования города), а также изменений концентраций данных веществ в почвах городских территорий, произошедших за более чем двадцатилетний период (2000–2022)<sup>1</sup>.

## Материалы и методы исследования

При наблюдениях за химическим загрязнением земель урбанизированных территорий, проводимых в рамках НСМОС, сульфаты и нитраты входят в обязательный перечень наблюдаемых в почвах городов показателей.

Исследуемыми в рамках НСМОС территориями являются г. Минск и областные центры Беларуси, города с населением 50 тыс. чел. и более, а также населенные пункты, где размещены потенциальные источники поступления в почвенный покров загрязняющих веществ.

Согласно «Инструкции о порядке проведения наблюдений за химическим загрязнением земель», для оценки состояния почв город делится на ячейки по ортогональной сетке, охватывающей всю территорию населенного пункта, со сторонами, кратными 1 км, и площадью ячеек не более 4 км<sup>2</sup>. В точках пересечения диагоналей каждой ячейки располагаются пункты наблюдений (размер пункта наблюдений 100 м × 100 м), где производится отбор проб почв. Наблюдения в населенных пунктах проводятся таким образом, чтобы за тур обследования были изучены почвы на всех пунктах наблюдений в пределах городской территории.

Определение нитратов и сульфатов в отобранных почвенных образцах проводится в аккредитованных на выполнение данного вида работ лабораториях и центрах.

**Подходы к оценке экологического состояния почв на городской территории.** Для оценки экологического состояния почв городских земель традиционно используются фактические значения содержания химических веществ в почвах (мг/кг)<sup>2</sup>, коэффициент концентрации (Кс), гигиенические нормативы (предельно допустимые концентрации (ПДК))<sup>3</sup> и экологические нормативы (пороговые значения для различных по гранулометрическому составу почв) (табл. 1) [9].

<sup>1</sup>Национальная система мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь, 2000–2023 гг. [Электронный ресурс]. Минск, 2000–2023. URL: [nsmos.by/content/402.html](https://nsmos.by/content/402.html) (дата обращения: 16.03.2024).

<sup>2</sup>ЭкоНиП 17.03.01-001-2021. Охрана окружающей среды и природопользование. Земли (в том числе почвы). Нормативы качества окружающей среды. Дифференцированные нормативы содержания химических веществ в почвах и требования к их применению. Введ. 01.07.2022. Минск : Минприроды, 2021. 34 с.

<sup>3</sup>Об утверждении гигиенических нормативов: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 25 января 2021 г. № 37 [Электронный ресурс]. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100037> (дата обращения: 23.03.2024).

Таблица 1

**Предельно допустимые концентрации и пороговые значения содержания сульфатов и нитратов в почвах (грунтах) населенных пунктов, мг/кг**

Table 1

**Maximum permissible concentrations and threshold values for the content of sulfates and nitrates in soils of populated areas, mg/kg**

Почва (грунт)	Нитраты	Сульфаты
Пороговое значение содержания химического вещества	Песчаная	136
	Супесчаная	210
	Суглинистая	259
Предельно допустимая концентрация (ПДК)	130,0	160,0

Коэффициент концентрации ( $K_c$ ) показывает изменения в химическом составе почв по сравнению с природными аналогами и определяется как отношение фактического содержания химического вещества в почве конкретной территории к его фоновому содержанию:

$$K_c = C_i / C_{\text{фон}},$$

где  $C_i$  – фактическое содержание элемента;  
 $C_{\text{фон}}$  – геохимический фон.

В соответствии с целями данного исследования в качестве фона для оценки почв урбанизированных территорий использовались данные НСМОС для фоновых территорий в разрезе административных областей за 2018–2022 гг. с учетом расположения города в конкретной административной области (табл. 2).

Таблица 2

**Содержание нитратов и сульфатов в почвах фоновых территорий административных областей Беларуси, по данным 2018–2022 гг.**

Table 2

**Background content of nitrates and sulfates in soils of background territories of administrative regions of Belarus to data from 2018–2022 years**

Административная область	Среднее содержание химических веществ, мг/кг	
	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>
Брестская	10,5	73,7
Витебская	18,4	59,7
Гомельская	10,7	65,9
Гродненская	9,9	54,4
Минская	11,0	55,2
Могилевская	6,2	51,5
Среднее по Республике Беларусь	11,1	57,3

На основе ПДК и пороговых значений оценивается степень загрязнения почв (при его наличии).

Пороговые значения выступают основой для установления дифференцированных нормативов, которые определяют степень загрязнения почв для различных категорий земель и функциональных зон в пределах населенных пунктов.

В настоящем исследовании в качестве пороговых значений в связи с использованием усредненных величин содержания нитратов и сульфатов в почвах городов принимались наименьшие значения, установленные для песчаных почв земель населенных пунктов: для нитратов – 136 мг/кг, сульфатов – 214 мг/кг<sup>4</sup>.

**Современное состояние почв в городах Беларуси.** Оценка современного состояния почв в отдельных городах Беларуси, которые входят в перечень населенных пунктов, где проводились/проводятся наблюдения за химическим загрязнением почвенного покрова, свидетельствует, что в разрезе административных областей наименьшая средняя концентрация нитратов отмечена в городах Брестской обл. с  $K_c = 0,5$  ( $K_c$  рассчитывался по среднему фоновому значению, установленному для почв Беларуси), наибольшая –

<sup>4</sup>ЭкоНиП 17.03.01-001-2021. Охрана окружающей среды и природопользование. Земли (в том числе почвы). Нормативы качества окружающей среды. Дифференцированные нормативы содержания химических веществ в почвах и требования к их применению. Введ. 01.07.2022. Минск: Минприроды, 2021. 34 с.

в Гомельской,  $K_c = 2,8$ . Для сульфатов наблюдалась обратная тенденция: наименьшее среднее содержание зафиксировано в почвах городов Гомельской обл.,  $K_c = 1,0$ , наибольшее – в Брестской,  $K_c = 1,5$ . При этом различия в накоплении сульфатов по областям незначительные, в то время как для нитратов разброс средних для областей значений составил 5,7 раза (табл. 3).

Таблица 3

Содержание нитратов и сульфатов в почвах городов административных областей Беларуси

Table 3

Content of nitrates and sulfates in urban soils of administrative regions of Belarus

Административная область	Содержание химических веществ, мг/кг					
	среднее	минимальное	максимальное	среднее	минимальное	максимальное
	NO <sub>3</sub>			SO <sub>4</sub>		
Брестская	5,4	< п. о.	36,4	84,7	35,4	166,2
Витебская	21,5	< п. о.	54,2	62,8	18,6	202,5
Гомельская	30,8	< п. о.	63,8	58,2	22,4	133,2
Гродненская	21,2	< п. о.	50,1	63,2	31,1	120,2
Минская	21,6	< п. о.	60,4	69,5	27,5	140,2
Могилевская	11,4	< п. о.	27,8	60,6	28,3	140,0

Максимальная для областей концентрация нитратов также отмечена в городских почвах Гомельской обл.,  $K_c = 5,7$ , сульфатов – в Витебской и Брестской,  $K_c = 3,5$  и  $K_c = 2,9$  соответственно и превышением ПДК в 1,0–1,3 раза.

На территории городов *Брестской обл.* среднее содержание нитратов в городских почвах ниже фона, полученного при мониторинге земель на фоновых территориях Брестской обл., с наименьшим средним значением в Белоозерске,  $K_c = 0,2$ , наибольшим – в Пинске,  $K_c = 0,7$  (табл. 4).

Таблица 4

Содержание нитратов и сульфатов в почвах городов Брестской обл.

Table 4

Content of nitrates and sulfates in soils of cities of the Brest region

Город, год	Содержание химических веществ, мг/кг					
	среднее	минимальное	максимальное	среднее	минимальное	максимальное
	NO <sub>3</sub>			SO <sub>4</sub>		
Барановичи, 2018	4,7	< п. о.	15,5	98,2	34,6	<b>173,9</b>
Белоозерск, 2018	2,2	< п. о.	3,6	39,9	11,5	69,6
Брест, 2022	5,1	< п. о.	51,3	66,7	25,5	131,6
Дрогичин, 2009	6,9	3,8	21,9	85,1	52,6	<b>161,1</b>
Кобрин, 2019	5,5	< п. о.	18,6	105,0	55,2	<b>193,1</b>
Лунинец, 2019	6,1	< п. о.	43,6	95,1	27,4	<b>270,4</b>
Пинск, 2017	7,1	< п. о.	100,0	103,1	40,8	<b>163,8</b>
Фоновое значение	10,5			73,7		
ПДК	130,0			160,0		
Пороговое значение	136,0			214,0		

Примечания. Жирным шрифтом – значение выше гигиенического норматива; < п. о. – ниже предела обнаружения метода определения.

Разброс значений максимальных концентраций нитратов по отдельным городам составил более чем 30 раз с наибольшим значением в почвах на одном из участков в г. Пинске с  $K_c = 9,5$ . Превышений над ПДК или пороговым значением ни в одном из городов не отмечено (рис. 1).

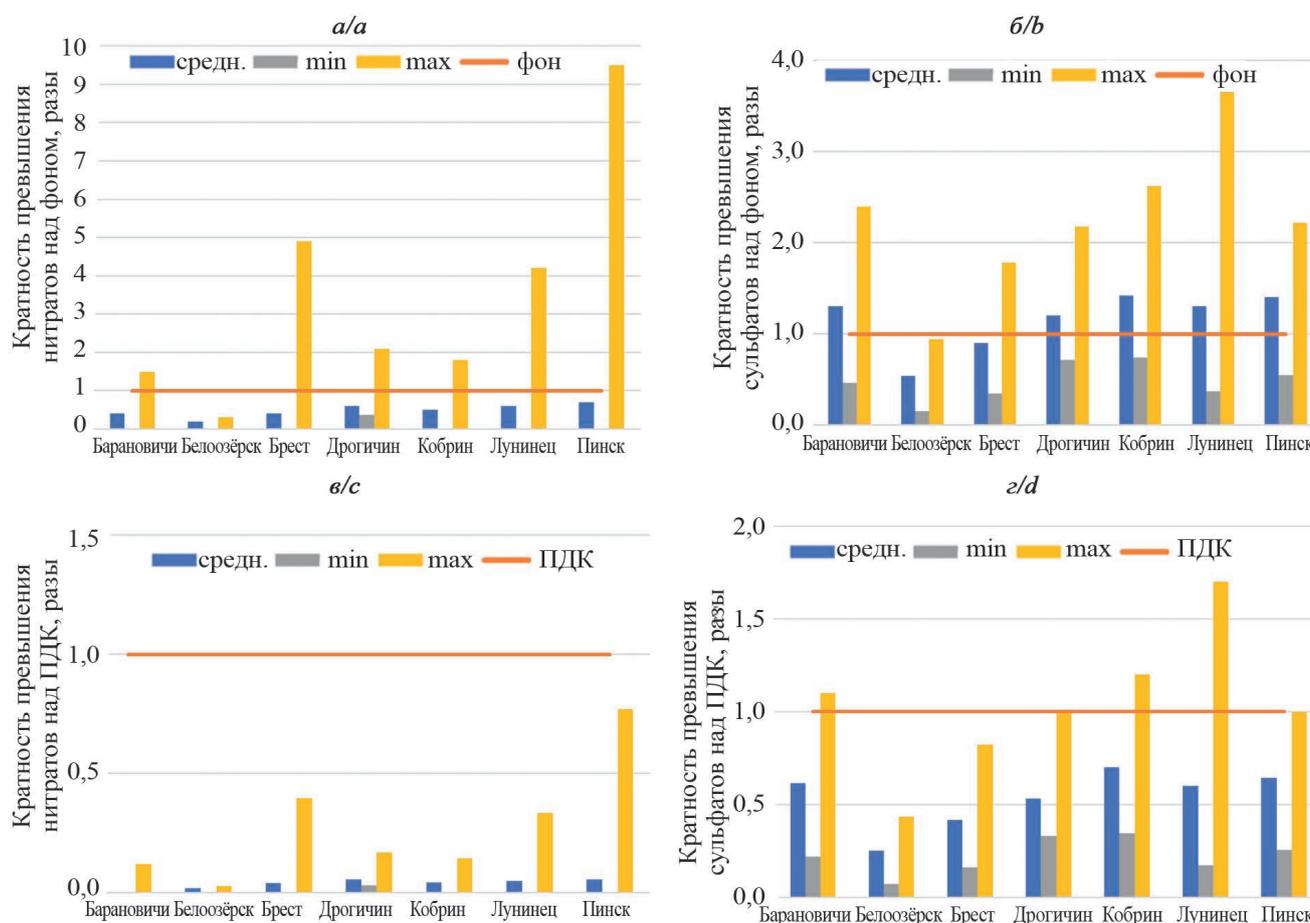


Рис. 1. Кратность превышения содержания нитратов и сульфатов в почвах городов Брестской обл.:  
 а и б – над фоновым значением, в и г – над ПДК

Fig. 1. Multiplicity of excess of the content of nitrates and sulfates in the soils of the cities of the Brest region:  
 a and b – above the background value, c and d – above the MPC

Наибольшее среднее по городу содержание сульфатов зафиксировано в г. Кобрине,  $K_c = 1,4$ , наименьшее в г. Белоозерске –  $K_c = 0,5$ . Превышение над фоном отмечено в почвах пяти городов.

Наименьшие зафиксированные в почвах содержания сульфатов ни в одном из городов не достигли фонового значения. Коэффициенты концентрации максимальных значений составили от  $K_c = 0,9$  в г. Белоозерске до  $K_c = 3,7$  в г. Лунинце. При этом превышение над гигиеническими нормативами зафиксировано в почвах пяти городов – от  $>1,0$  до  $1,7$  ПДК, в г. Лунинце отмечено превышение порогового значения с низкой степенью загрязнения почв (см. рис. 1).

Обследование почв городов **Витебской обл.** показало, что разброс средних значений содержания нитратов составил  $19,2$  раза,  $K_c$  от  $0,2$  в г. Новолукомле до  $4,3$  в г. Лепеле. В половине обследованных населенных пунктов среднее по городу содержание нитратов ниже фона для почв Витебской обл. (табл. 5, рис. 2).

Максимальное содержание нитратов составило от  $K_c = 0,4$  в г. Новолукомле до  $K_c = 6,7$  в г. Лепеле. Превышений над гигиеническими и экологическими нормативами в почвах на территории городов Витебской обл. отмечено не было.

Среднее содержание сульфатов в почвах городов Витебской обл. изменялось незначительно от  $K_c = 0,5$  в г. Лепеле до  $K_c = 1,4$  в г. Витебске (см. рис. 2). Наименьшие концентрации вещества значительно ниже фона во всех обследованных городах. Коэффициенты концентрации для максимальных значений, зафиксированных в городах, составили от  $K_c = 1,6$  в г. Лепеле до  $K_c = 8,0$  в г. Новополоцке.

Превышение гигиенического норматива для сульфатов отмечено в почвах трех населенных пунктов – от  $>1,0$  в г. Полоцке до  $3,0$  ПДК в г. Новополоцке, порогового значения – в г. Новополоцке в пределах, определяющих низкую степень загрязнения почв.

В почвах городов **Гомельской обл.** разброс значений среднего содержания нитратов составил более  $26$  раз,  $K_c = 0,4$  в г. Мозыре до  $K_c = 9,5$  в г. Буда-Кошелево. Накопление нитратов выше фона, установленного для почв Гомельской обл., отмечено в большинстве обследованных городов (табл. 6, рис. 3).

Содержание нитратов и сульфатов в почвах городов Витебской обл.

Table 5

Content of nitrates and sulfates in soils of cities of the Vitebsk region

Город, год	Содержание химических веществ, мг/кг					
	среднее	минимальное	максимальное	среднее	минимальное	максимальное
	NO <sub>3</sub>			SO <sub>4</sub>		
Витебск, 2022	6,0	< п. о.	69,2	86,0	9,6	<b>191,2</b>
Лепель, 2010	79,2	29,8	123,5	31,2	15,9	93,9
Новолукомль, 2019	4,0	< п. о.	8,1	59,4	22,1	137,9
Новополоцк, 2021	22,5	< п. о.	56,2	77,6	31,2	<b>478,0</b>
Орша, 2021	9,8	< п. о.	30,2	67,2	22,1	150,8
Полоцк, 2020	7,6	< п. о.	38,0	55,3	10,6	<b>163,3</b>
Фоновое значение	18,4			59,7		
ПДК	130,0			160,0		
Пороговое значение	136,0			214,0		

Примечания. Жирным шрифтом – значение выше гигиенического норматива; < п. о. – ниже предела обнаружения метода определения.

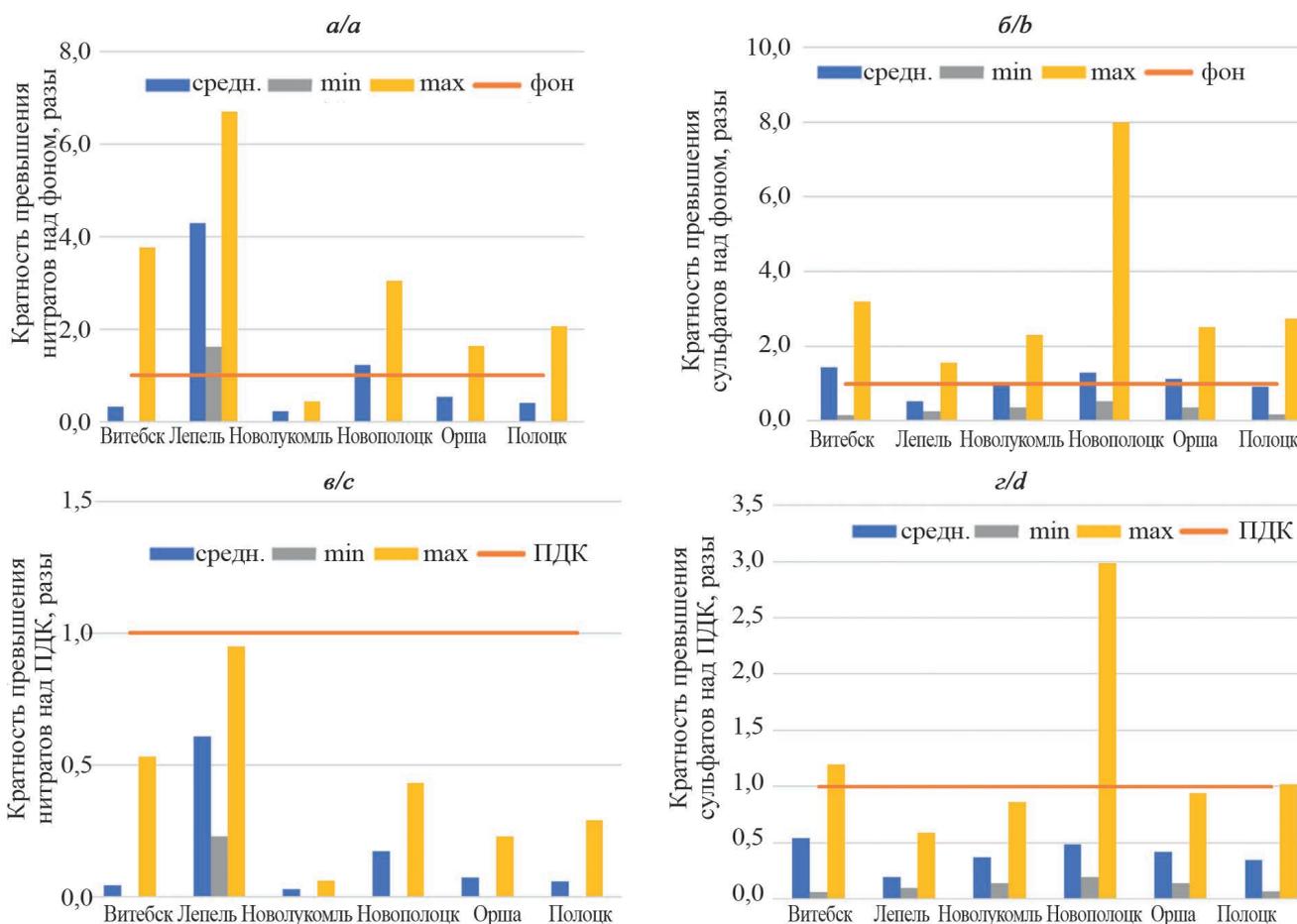


Рис. 2. Кратность превышения содержания нитратов и сульфатов в почвах городов Витебской обл.:  
а и б – над фоновым значением, в и г – над ПДК

Fig. 2. Multiplicity of excess of the content of nitrates and sulfates in the soils of the cities of the Vitebsk region:  
a and b – above the background value, c and d – above the MPC

Содержание нитратов и сульфатов в почвах городов Гомельской обл.

Table 6

Content of nitrates and sulfates in soils of cities of the Gomel region

Город, год	Содержание химических веществ, мг/кг					
	среднее	минимальное	максимальное	среднее	минимальное	максимальное
	NO <sub>3</sub>			SO <sub>4</sub>		
Буда-Кошелево, 2009	101,7	79,4	109,0	44,2	12,6	150,0
Гомель, 2021	15,8	< п. о.	85,1	56,9	19,2	<b>177,2</b>
Добруш, 2009	87,2	58,9	109,0	48,8	6,4	<b>237,5</b>
Ельск, 2012	14,0	2,8	41,7	56,7	25,1	126,6
Жлобин, 2019	9,9	< п. о.	45,7	59,3	22,1	<b>165,7</b>
Калинковичи, 2017	9,0	< п. о.	20,4	57,6	26,9	71,1
Мозырь, 2018	3,9	< п. о.	20,4	85,3	34,6	<b>173,9</b>
Речица, 2020	4,8	< п. о.	19,1	45,0	10,6	76,4
Рогачев, 2020	19,8	3,5	55,0	34,1	4,9	62,4
Светлогорск, 2022	25,5	5,1	89,1	74,3	35,5	115,8
Чечерск, 2009	46,8	11,1	107,9	78,1	49,0	109,0
Фоновое значение	10,7			65,9		
ПДК	130,0			160,0		
Пороговое значение	136,0			214,0		

Примечания. Жирным шрифтом – значение выше гигиенического норматива; < п. о. – ниже предела обнаружения метода определения.

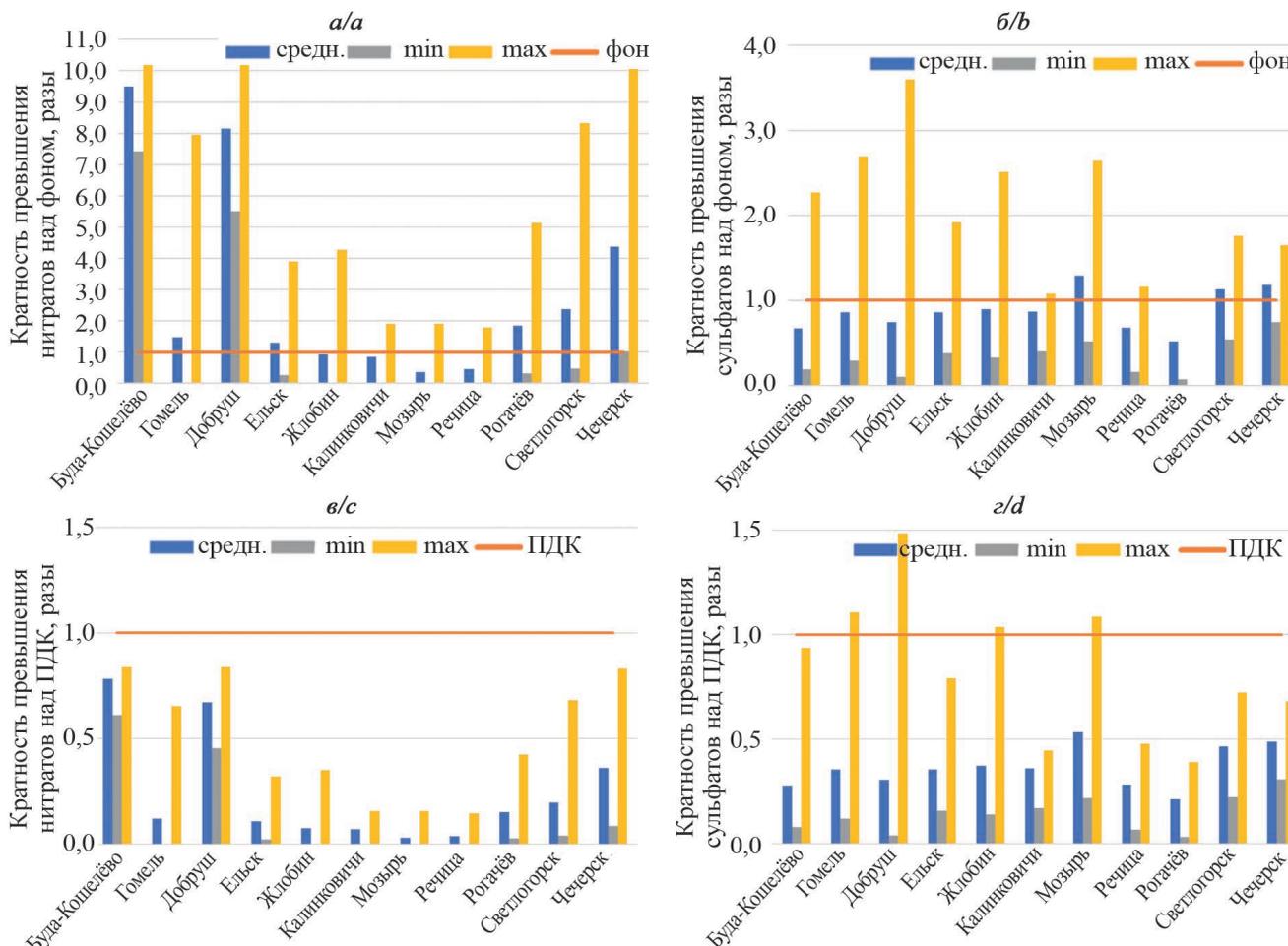


Рис. 3. Кратность превышения содержания нитратов и сульфатов в почвах городов Гомельской обл.:  
а и б – над фоновым значением, в и г – над ПДК

Fig. 3. Multiplicity of excess of the content of nitrates and sulfates in the soils of the cities of the Gomel region:  
a and b – above the background value, c and d – above the MPC

Минимальные отмеченные на территории городов Гомельской обл. значения нитратов ниже предела обнаружения метода или кратны фону с Кс от 0,3 до 7,4. Максимальная концентрация варьировала от Кс = 1,7 в г. Речица до Кс = 10,2 в г. Буда-Кошелево и г. Добруше.

Среднее содержание сульфатов в почвах городов Гомельской обл. не превысило фон с Кс = 0,7 в г. Буда-Кошелево до Кс = 1,3 в г. Мозыре.

Наименьшие зафиксированные в почвах населенных пунктов концентрации сульфатов ниже фоновых значений от 1,3 до 13,4 раза. Максимальное содержание различалось по городам в 3,8 раз с Кс от 0,9 в г. Рогачеве до Кс = 3,6 в г. Добруше.

Превышения гигиенического норматива зафиксированы на отдельных участках четырех городов от 1,1 до 1,5 ПДК (см. рис. 3). В г. Добруше на одном из участков городской территории выявлено превышение порогового значения с низкой степенью загрязнения почвы.

В почвах городов *Гродненской обл.* среднее содержание нитратов составило по коэффициенту концентрации от 0,4 в г. Новогрудке до 10,9 – в г. Сморгони. Превышение средних значений над фоном наблюдалось в половине обследованных городов (табл. 7, рис. 4).

Таблица 7

Содержание нитратов и сульфатов в почвах городов Гродненской обл.

Table 7

Content of nitrates and sulfates in soils of cities of the Grodno region

Город, год	Содержание химических веществ, мг/кг					
	среднее	минимальное	максимальное	среднее	минимальное	максимальное
	NO <sub>3</sub>			SO <sub>4</sub>		
Березовка, 2018	1,9	< п. о.	5,5	40,1	28,3	65,8
Волковыск, 2019	11,0	< п. о.	44,7	59,1	27,4	126,8
Гродно, 2022	18,5	3,9	77,6	103,7	31,2	<b>169,6</b>
Красносельский, 2019	7,4	< п. о.	18,2	37,4	16,3	60,5
Лида, 2022	6,5	< п. о.	22,4	85,8	44,7	<b>186,8</b>
Новогрудок, 2019	4,0	< п. о.	8,1	59,4	22,1	137,9
Слоним, 2021	12,4	3,1	20,4	71,0	44,2	143,6
Сморгонь, 2011	107,9	52,6	<b>203,6</b>	48,9	34,7	70,8
Фоновое значение	9,9			54,4		
ПДК	130,0			160,0		
Пороговое значение	136,0			214,0		

Примечания. Жирным шрифтом – значение выше гигиенического норматива; < п. о. – ниже предела обнаружения метода определения.

Максимальные зафиксированные значения нитратов в городских почвах имели существенные различия: от Кс = 0,6 в г. Березовке до Кс = 20,6 – в г. Сморгони. Загрязнение почв нитратами с превышением ПДК в 1,6 раза и порогового значения с низкой степенью загрязнения отмечено на отдельном участке в г. Сморгони, что не характерно для других городов Беларуси (рис. 4).

Среднее содержание сульфатов в почвах по городам отличалось незначительно. Наименьшее среднее для города значение отмечено в п. Красносельском с Кс = 0,7, наибольшее – в г. Гродно с Кс = 1,9.

Максимальные концентрации варьировали от Кс = 1,1 в почвах на территории Березовки до Кс = 3,4 в г. Лиде. Превышения максимальных концентраций над ПДК отмечены в двух городах – г. Гродно и г. Лида (рис. 4).

В почвах на территории городов *Минской обл.* наименьшая средняя концентрация нитратов зафиксирована в г. Солигорске с Кс = 0,3, наибольшая – в г. Воложине с Кс = 4,9 (табл. 8, рис. 5).

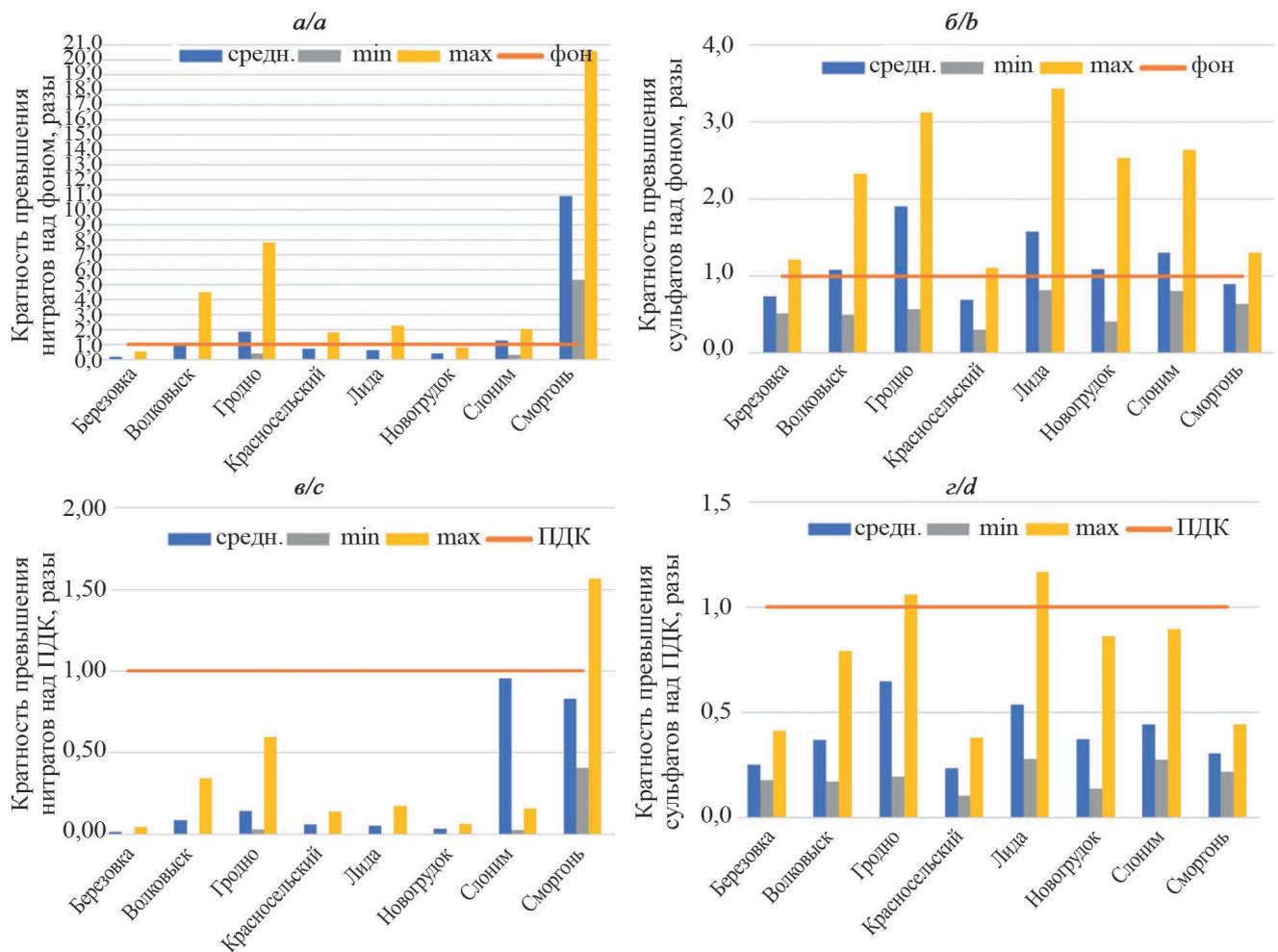


Рис. 4. Кратность превышения содержания нитратов и сульфатов в почвах городов Гродненской обл.:  
а и б – над фоновым значением, в и г – над ПДК

Fig. 4. Multiplicity of excess of the content of nitrates and sulfates in the soils of the cities of the Grodno region:  
a and b – above the background value, c and d – above the MPC

Таблица 8

Содержание нитратов и сульфатов в почвах городов Минской обл.

Table 8

Content of nitrates and sulfates in soils of cities of the Minsk region

Город, год	Содержание химических веществ, мг/кг					
	среднее	минимальное	максимальное	среднее	минимальное	максимальное
	NO <sub>3</sub>			SO <sub>4</sub>		
Минск, 2019	18,0	< п. о.	64,6	80,5	27,4	159,0
Борисов, 2022	22,9	3,5	89,1	69,9	11,8	127,3
Воложин, 2010	53,8	19,1	109,0	59,8	28,5	92,8
Жодино, 2020	4,5	< п. о.	15,1	84,6	37,0	150,8
Молодечно, 2021	29,8	5,2	83,2	78,5	37,5	156,1
Слуцк, 2020	18,5	5,9	52,5	48,4	22,0	<b>172,9</b>
Солигорск, 2018	3,7	< п. о.	9,1	65,0	28,3	122,5
Фоновое значение	11,0			55,2		
ПДК	130,0			160,0		
Пороговое значение	136,0			214,0		

Примечания. Жирным шрифтом – значение выше гигиенического норматива; < П. О. – ниже предела обнаружения метода определения.

Минимальные значения нитратов в почвах большинства исследованных городов ниже предела обнаружения метода или ниже фона для почв Минской обл., в г. Воложине  $K_c = 1,7$ . Различия в максимальных для городов значениях составили 11,9 раза, коэффициенты концентраций варьировали от  $K_c = 0,8$  в почвах г. Солигорска до  $K_c = 9,9$  – г. Воложина. Накопления нитратов выше нормативов не зафиксировано (рис. 5).

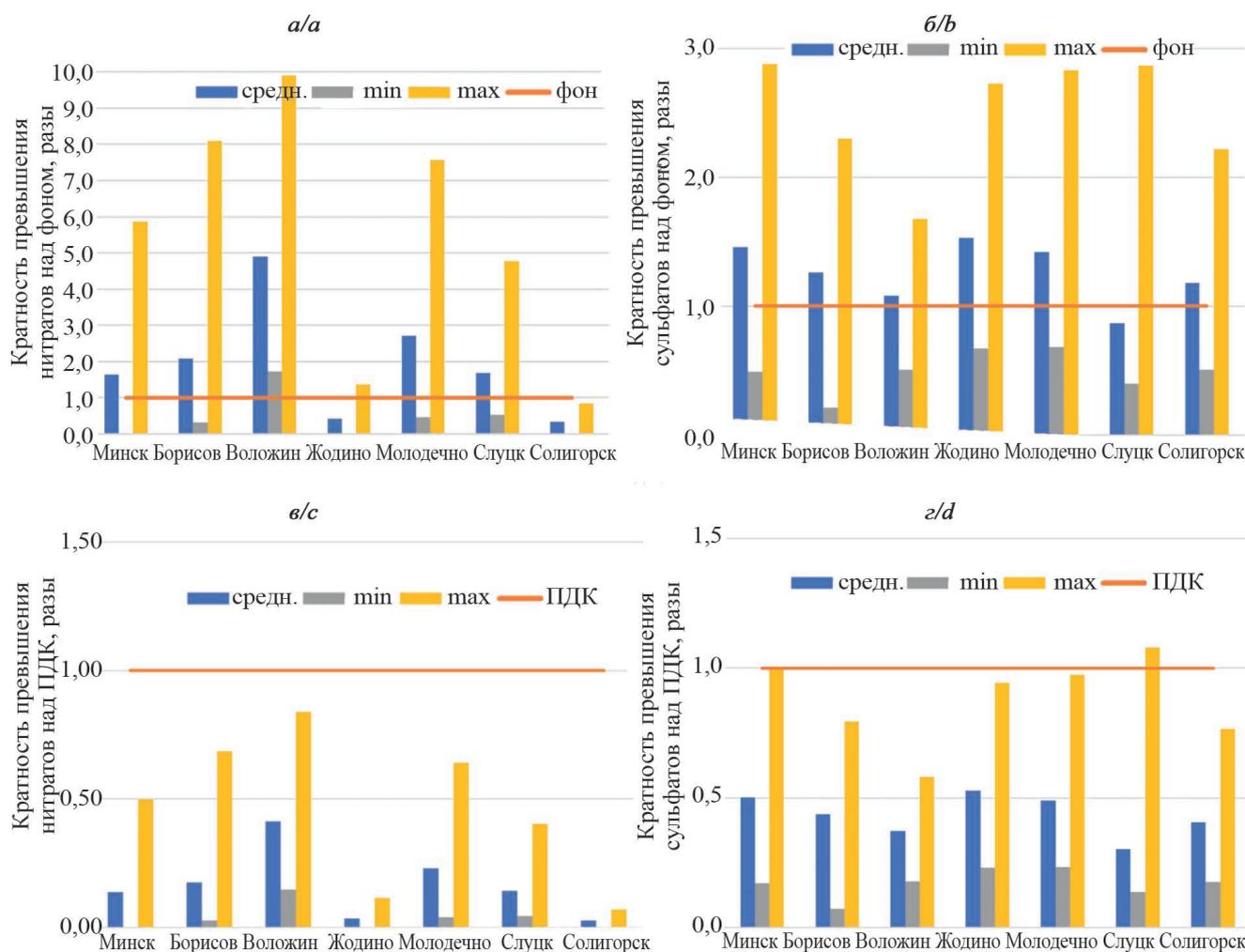


Рис. 5. Кратность превышения содержания нитратов и сульфатов в почвах городов Минской обл.: а и б – над фоновым значением, в и г – над ПДК

Fig. 5. Multiplicity of excess of the content of nitrates and sulfates in the soils of the cities of the Minsk region: a and b – above the background value, c and d – above the MPC

Среди средних показателей содержания сульфатов в почвах городов Минской области наименьший зафиксирован в г. Слуцке ( $K_c = 0,9$ ), наибольший – в г. Жодино ( $K_c = 1,5$ ) (см. рис. 5).

Наименьшие концентрации сульфатов в почвах обследованных населенных пунктов не превысили фонового значения. Максимальные зафиксированные значения варьировали незначительно с  $K_c = 1,7$  в почвах г. Воложина до  $K_c = 3,1$  – г. Слуцка. При этом в почвах г. Слуцка максимальное содержание превысило ПДК в 1,1 раза.

В почвах городов **Могилевской обл.** разброс значений среднего содержания нитратов составил десятки раз, с  $K_c = 0,2$  в почвах г. Костюковичей до  $K_c = 9,8$  – г. Быхова. Накопление нитратов выше фона, установленного для почв Могилевской обл., отмечено в четырех обследованных городах (табл. 9, рис. 6).

Минимальные значения нитратов в почвах большинства исследованных городов ниже предела обнаружения метода. Исключениями явились города Быхов, Осиповичи и Чериков, где  $K_c$  составили от 0,5 до 5,1.

Превышение максимальных значений над фоном зафиксировано в большинстве обследованных населенных пунктов Могилевской обл. с  $K_c$  от 1,4 в г. Горках до 15,6 – в г. Быхове.

Коэффициенты концентрации сульфатов, рассчитанные для средних по городам значениям, составили от  $K_c = 0,1$  в г. Быхове до  $K_c = 2,2$  в г. Костюковичи и в большинстве городов превысили региональный фон.

Содержание нитратов и сульфатов в почвах городов Могилевской обл.

Table 9

Content of nitrates and sulfates in soils of cities of the Mogilev region

Город, год	Содержание химических веществ, мг/кг					
	среднее	минимальное	максимальное	среднее	минимальное	максимальное
	NO <sub>3</sub>			SO <sub>4</sub>		
Бобруйск, 2019	3,2	< п. о.	20,0	52,7	13,4	<b>269,1</b>
Быхов, 2009	61,0	31,4	97,0	3,1	<п.о	52,5
Горки, 2011	2,8	< п. о.	8,5	74,9	36,9	103,2
Костюковичи, 2017	1,0	< п. о.	6,9	114,0	13,4	<b>295,9</b>
Кричев, 2018	7,2	< п. о.	34,7	69,1	13,3	<b>267,0</b>
Могилев, 2020	3,4	< п. о.	15,5	63,9	11,1	<b>173,9</b>
Мстиславль, 2009	5,9	< п. о.	39,8	61	39,9	79,9
Осиповичи, 2010	37,5	20,9	74,1	50,7	15,7	125
Славгород, 2009	3,8	< п. о.	10	69,8	51,4	91,3
Чаусы, 2012	2,0	< п. о.	8,9	6,4	55,1	74,5
Чериков, 2012	6,7	3,2	12,9	70,9	48,7	93,7
Шклов, 2011	1,7	< п. о.	5,8	90,3	40,5	121,6
Фоновое значение	6,2			51,5		
ПДК	130,0			160,0		
Пороговое значение	136,0			214,0		

Примечания. Жирным шрифтом – значение выше гигиенического норматива; < п. о. – ниже предела обнаружения метода определения.

Наименьшие зафиксированных значения сульфатов в большинстве городов ниже или в пределах фонового уровня. Максимальные концентрации составили от  $K_c = 1,0$  до  $K_c = 5,7$ . Превышение ПДК отмечено в четырех городах от 1,1 ПДК до 1,8 ПДК. В г. Бобруйске, г. Костюковичах и г. Кричеве также зафиксировано превышение пороговых значений для сульфатов, свидетельствующее о низкой степени загрязнения почв на отдельных участках городских территорий.

**Временная динамика и прогноз изменения концентрации нитратов и сульфатов в почвах исследованных городов.** Для оценки динамики накопления/рассеивания сульфатов и нитратов на территории городов Беларуси использовались значения их среднего содержания в городских почвах по турам обследований. Для анализа выбрано 30 городов, для которых проводилось четыре и более туров обследования за период с 2000 по 2022 гг.

После статистической обработки фактических данных в программе *Microsoft Office Excel* все анализируемые города условно были разделены на несколько групп по методике, предложенной в [10]. К *первой группе* отнесены города, в почвах которых различия в содержании химического вещества между первым и последним турами обследования составили менее 1,2 раза и можно считать, что динамика отсутствует. К *второй группе* отнесены города, в почвах которых различия в содержании химического вещества по турам обследования составили от 1,2 до 1,5 раза (такое увеличение или уменьшение содержания химического вещества считалось незначительным). *Третья группа* – это города со значительным снижением / увеличением за исследованный период содержания химических веществ, при котором средние по городу концентрации различались по турам обследования более чем в 1,5 раза.

Оценка динамики концентрации **нитратов** в почвах исследованных городов показала, что в 90 % населенных пунктов, расположенных во всех административных областях Беларуси, наблюдалось снижение за анализируемый период концентрации нитратов в почвенном покрове, что свидетельствует об устойчивой тенденции сокращения их образования / поступления в почвы урбанизированных территорий. При этом в ряде городов наблюдалось относительно планомерное уменьшение содержания данного химического вещества в почвах по турам обследования, в других населенных пунктах количественные характеристики нитратов в отдельных турах обследования существенно различались с общей тенденцией к понижению концентраций к последнему туру обследования (рис. 7).

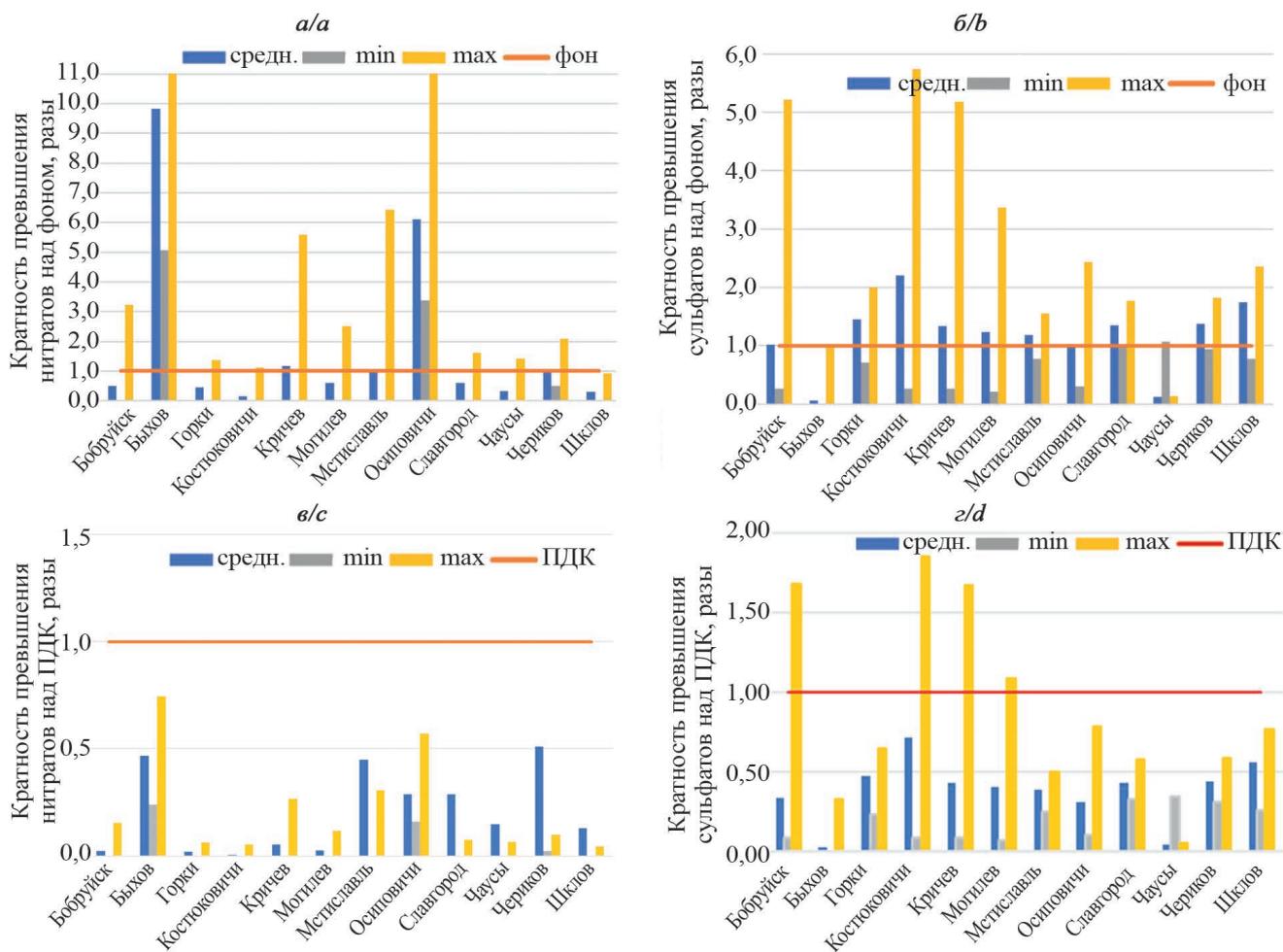


Рис. 6. Кратность превышения содержания нитратов и сульфатов в почвах городов Могилевской обл.:  
а и б – над фоновым значением, в и г – над ПДК

Fig. 6. Multiplicity of excess of the content of nitrates and sulfates in the soils of the cities of the Mogilev region:  
a and b – above the background value, c and d – above the MPC

В некоторых населенных пунктах, расположенных в Витебской и Минской областях, существенных изменений в концентрации нитратов в почвах за период наблюдений не зафиксировано.

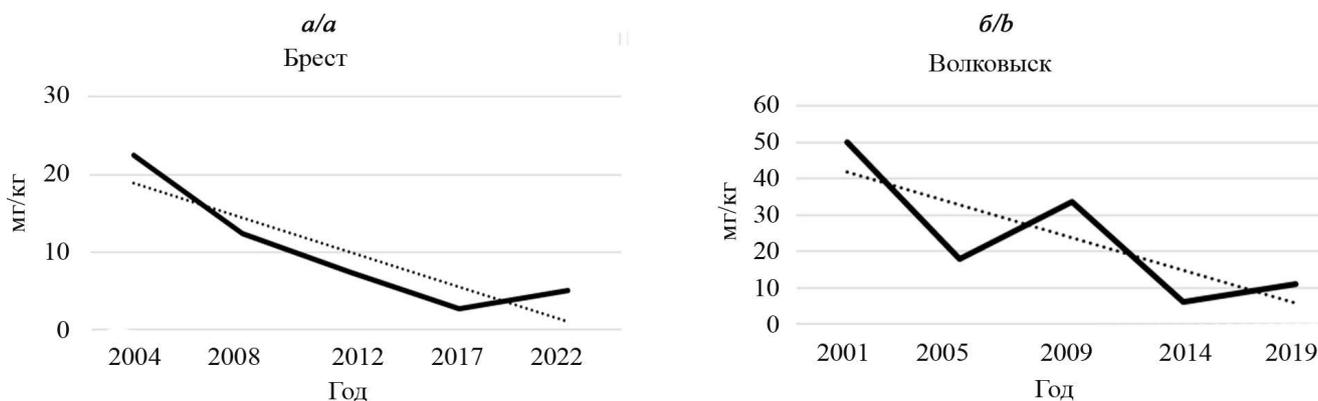


Рис. 7. Различия в характере накопления нитратов в почвах отдельных городов Беларуси по турам обследования:  
а) Брест; б) Волковыск

Fig. 7. Differences in the nature of nitrate accumulation in the soils of individual cities of Belarus according to survey rounds:  
a) Brest; b) Volkovysk

Оценка изменений, произошедших за более чем двадцатилетний период в концентрации **сульфатов** в почвенном покрове, выявила тенденцию к их накоплению в большинстве населенных пунктов всех административных областей Беларуси. В 59 % случаев почвы характеризовались значительным увеличением содержания сульфатов, в 1,5 раза превысившем значения, зафиксированные в начальный период измерений, в 41 % случаев накопление серосодержащего соединения в почвах незначительное.

Несмотря на общую тенденцию к увеличению содержания сульфатов в городских почвах, по турам обследования их концентрации на территории отдельных городов существенно отличались. В ряде населенных пунктов увеличение содержания сульфатов характеризовалось равномерностью, в других городах в отдельные туры обследования различия в их концентрациях в почвах были существенны (рис. 8).

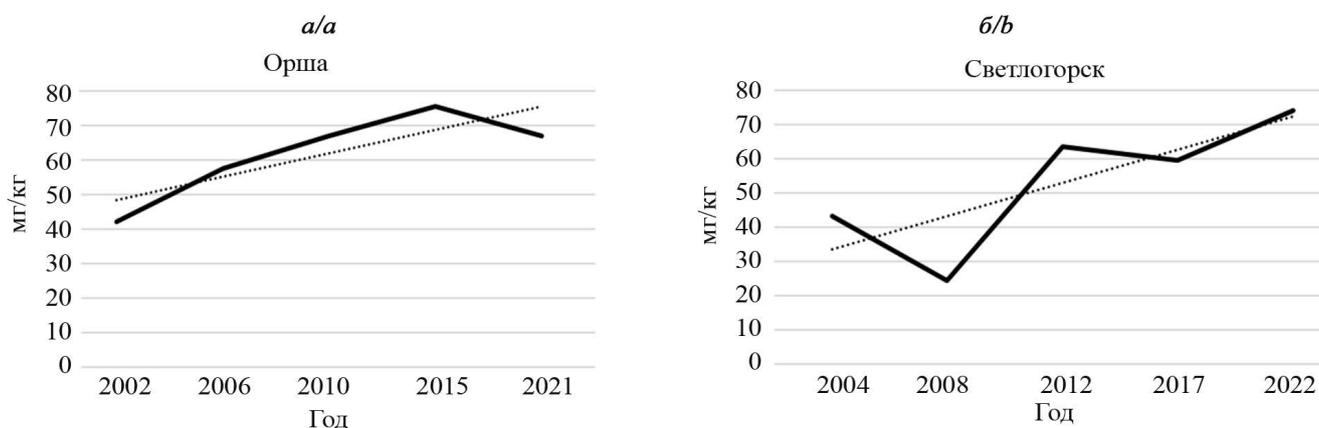


Рис. 8. Различия в характере накопления сульфатов в почвах отдельных городов Беларуси по турам обследования:  
а) Орша; б) Светлогорск

Fig. 8. Differences in the nature of sulfate accumulation in the soils of individual cities of Belarus according to survey rounds:  
a) Orsha; b) Svetlogorsk

В почвах г. Слуцка, относящегося к городам Минской обл., наблюдалась тенденция значительного снижения концентрации в них сульфатов, что не характерно для большинства городских земель. Единичный случай отсутствия выраженной динамики в содержании сульфатов отмечен в почвах г. Полоцка, однако по турам обследования наблюдались разнонаправленные тенденции в их накоплении.

В г. Минске за 2000–2022 гг. проведено 10 этапов обследования, которые выявили разнонаправленные тенденции в содержании нитратов в почвах по годам со значительным разбросом значений с общей тенденцией к понижению их концентраций в почвенном покрове города от первого к последнему этапу наблюдений. Для сульфатов отмечалась общая тенденция к их накоплению в почвах с незначительным снижением концентраций в 2013 и 2015 гг.

Итак, можно прогнозировать долгосрочную позитивную тенденцию в улучшении экологического состояния почв за счет снижения или стабилизации накопления нитратов во всех исследованных населенных пунктах, сульфатов – в двух населенных пунктах.

Негативная тенденция увеличения содержания химических веществ в городских почвах проявилась для сульфатов в 94 % населенных пунктов, что требует принятия мер по минимизации техногенных поступлений серосодержащих соединений в почвенный покров городских территорий.

## Заключение

Оценка современного состояния почв городских территорий выявила пространственные различия в накоплении нитратов и сульфатов по административным областям страны. Наименьшие концентрации нитратов отмечены в городах Брестской обл. ( $K_c = 0,5$ ), наибольшие – в Гомельской ( $K_c = 2,8$ ). Для сульфатов наблюдалась обратная тенденция: наименьшее среднее содержание зафиксировано в Гомельской обл. ( $K_c = 1,0$ ), наибольшее – в Брестской ( $K_c = 1,5$ ). При этом различия в накоплении сульфатов по областям незначительные, в то время как для нитратов разброс средних значений составил более 5 раз.

В одном из городов Гродненской обл. (г. Сморгонь) зафиксировано локальное загрязнение почв нитратами до 1,6 ПДК и превышение порогового значения с низкой степенью загрязнения, что не характерно для городских почв, в которых содержание нитратов незначительное и имеет тенденцию к снижению.

Максимальные значения сульфатов, отмеченные на отдельных участках городов, составили от >1,0 до 3,0 ПДК, в шести случаях фиксировалось превышение порогового значения в пределах, определяющих низкую степень загрязнения почв.

Оценка концентрации нитратов в городских почвах показала, что в 90 % населенных пунктов отмечена тенденция значительного сокращения их содержания в почвы урбанизированных территорий. Можно предположить, что такое уменьшение азотсодержащих веществ обусловлено снижением количества органического вещества в почвах и замедлением процессов нитрификации при его разложении, а также незначительной долей азотфиксирующих организмов, присутствующих в городских почвах.

Оценка изменений, произошедших за более чем двадцатилетний период в концентрации сульфатов в почвенном покрове, выявила в большинстве городов тенденцию к их накоплению, что предполагает техногенный характер поступления в почвы. При этом в 59 % случаев почвы характеризовались значительным увеличением содержания сульфатов, в 41 % случаев накопление серосодержащего соединения в почвах незначительное.

В почвах г. Минска за 2000–2022 гг. установлены разнонаправленные тенденции в содержании нитратов по годам с общей тенденцией к значительному понижению их концентрации. Для сульфатов отмечалась некоторое накопление в почвах с незначительным снижением концентраций в 2013 и 2015 гг.

Следовательно, можно прогнозировать ухудшение экологического состояния почв в 94 % исследованных населенных пунктов за счет увеличения в них концентрации сульфатов и положительную тенденцию, выраженную в снижении или стабилизации накопления нитратов в почвенном покрове городских территорий.

### Библиографические ссылки

1. Хомич ВС, Какарека СВ, Кухарчик ТИ. *Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси*. Минск: Минсктиппроект; 2004. 259 с.
2. Курбатова АС, Башкин ВН, Касимов НС. *Экология города*. Москва: Научный мир; 2004. 624 с.
3. Хомич ВС, Какарека СВ, Кухарчик ТИ и др. *Городская среда: геоэкологические аспекты: монография*. Минск: Беларуская навука; 2013. 301 с.
4. Оношко МП. *Азот и его минеральные формы в ландшафтах Беларуси*. Минск: Наука и техника; 1990. 174 с.
5. Ереско МА, Клебанович НВ. О необходимости совершенствования нормативов предельно допустимых концентраций минеральных форм азота в почвах. *Природные ресурсы*. 2019;1:14–23.
6. Семененко НН, Невмержицкий НВ. *Азот в земледелии Беларуси*. Минск: Белорусское издательское товарищество «Хата»; 1997. 193 с.
7. Маслова ИЯ. Воздействие содержащих серу аэротехногенных веществ на некоторые агрохимически значимые процессы и свойства почвы. *Агрохимия*. 2008;6:80–94.
8. Орлов ДС, Садовникова ЛК, Суханова НИ. *Химия почв*. Москва: Высшая школа; 2005. 558 с.
9. Саэт ЮЕ, Ревич БА, Янин ЕП, и др. *Геохимия окружающей среды*. Москва: Недра; 1990. 335 с.
10. Хомич ВС, редактор. *Прогноз состояния природной среды Беларуси на период до 2035 года*. Минск: Беларуская навука; 2023. 120 с.

### References

1. Khomich VS, Kakareka SV, Kukharchik TI. *Ekogeokhimiya gorodskikh landshaftov Belarusi* [Ecogeochemistry of urban landscapes of Belarus]. Minsk: Minsktipproekt; 2004. 259 p. Russian.
2. Kurbatova AS, Bashkin VN, Kasimov NS. *Ekologiya goroda* [Ecology of the city]. Moscow: Nauchnyi mir; 2004. 624 p. Russian.
3. Khomich VS, Kakareka SV, Kukharchik TI, et al. *Gorodskaya sreda: geoekologicheskie aspekty. Monografiya* [Urban environment: geoeological aspects. Monograph]. Minsk: Belarusskaya navuka; 2013. 301 p. Russian.
4. Onoshko MP. *Azot i ego mineral'nye formy v landshaftakh Belarusi* [Nitrogen and its mineral forms in the landscapes of Belarus]. Minsk: Nauka i Technika; 1990. 174 p. Russian.
5. Yeresko MA, Klebanovich NV. *O neobkhodimosti sovershenstvovaniya normativov predel'no dopustimyykh kontsentratsii mineral'nykh form azota v pochvakh* [On the need to improve the standards of maximum permissible concentrations of mineral forms of nitrogen in soils]. *Natural Resources*. 2019;1:14–23. Russian.
6. Semenenko NN, Nevmerzhitsky NV. *Azot v zemledelii Belarusi* [Nitrogen in agriculture of Belarus]. Minsk: Belorusskoye izdatel'skoye tovarishchestvo «Khata»; 1997. 193 p. Russian.
7. Maslova IYa. *Vozdeystvie soderzhashchikh seru aerotekhnogennykh veshchestv na nekotorye agrokhimicheski znachimyye protsessy i svoystva pochvy* [The effect of sulfur-containing aerotechnogenic substances on some agrochemically significant processes and soil properties]. *Agrochemistry*. 2008;6:80–94. Russian.
8. Orlov DS, Sadovnikova LK, Sukhanova NI. *Khimiya pochv* [Chemistry of soils]. Moscow: Vysshaya shkola; 2005. 558 p. Russian.
9. Saet YuE, Revich BA, Yanin EP, et al. *Geokhimiya okruzhayushchei sredy* [Geochemistry of the environment]. Moscow: Nedra; 1990. 335 p. Russian.
10. *Prognoz sostoyaniya prirodnoi sredy Belarusi na period do 2035 goda* [Forecast of the state of the natural environment of Belarus for the period until 2035]. Minsk: Bielaruskaja navuka; 2022. 120 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 21.10.2024.  
Received by editorial board 21.10.2024.