УДК 631.415:911.375.227(476)

ОЦЕНКА КИСЛОТНОСТИ ПОЧВ В ГОРОДАХ БЕЛАРУСИ

С. Е. ГОЛОВАТЫЙ[1)], ***С. В. САВЧЕНКО***[2)], ***С. В. АЛИСИЕВИЧ***[2)], ***Е. А. УЛАЩИК***[1)]

[1)]*Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова, Белорусский государственный университет, ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь*
[2)]*Институт природопользования, Национальная академия наук Беларуси, ул. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь*

В результате анализа показателя pH в городских почвах, проведенного по данным Национальной системы мониторинга окружающей среды (НСМОС), установлено, что в городах пяти административных областей Беларуси по среднему значению показателя pH почвы характеризуются как слабощелочные, в Гомельской обл. – как нейтральные. В 74 % исследованных населенных пунктов преобладают слабощелочные почвы, в 22 – нейтральные и в 4 % – близкие к нейтральным. Оценка кислотности городских почв за более чем двадцатилетний период показала, что в 47 % городов наблюдается подщелачивание почв, в 20 – подкисление, в 33 % изменений не отмечено. Пространственные различия по минимальным и максимальным значениям pH в почвах 55 % городов с течением времени уменьшились, 39 – остался без изменений, 8 % – увеличились. Процесс подщелачивания почв в них может быть обусловлен промышленными выбросами, накоплением строительных материалов в виде пылеватых частиц в почвенный покров при градостроительном освоении территории, сезонным применением противогололедных смесей и изменением механизма инфильтрации атмосферных осадков за счет больших площадей запечатанных территорий. На фоновых территориях, исследуемых в рамках НСМОС, отмечено высокое значение pH, что может быть обусловлено дерновым процессом почвообразования с насыщенным основаниями гумусовым горизонтом, характерным для территорий с травянистой растительностью, преобладающей на фоновых участках. Почвы сельскохозяйственных земель во все туры их обследования (1966–2020 гг.) относились к группам с повышенной кислотностью от среднекислых до слабокислых, что является результатом природных особенностей территорий, а также систематического применения удобрений и известкования почв с целью регулирования их кислотно-щелочных условий. Изменение кислотности городских почв в сторону подщелачивания может иметь ряд экологических последствий, в частности, снижение активности почвенных ферментов и скорости трансформации органического вещества, уменьшение подвижности тяжелых металлов за счет образования труднорастворимых соединений, снижение и их доступности для растений в качестве микроэлементов, накопления в верхних горизонтах, что способствует загрязнению городских почв.

Ключевые слова: почвы; кислотно-щелочные условия; показатель pH; временная динамика; пространственные различия; городские территории.

Образец цитирования:
Головатый СЕ, Савченко СВ, Алисиевич СВ, Улащик ЕА. Оценка кислотности почв в городах Беларуси. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2026;3:55–70.
https://doi.org/10.46646/2521-683X/2026-3-55-70

For citation:
Golovatyi SE, Savchenko SV, Alisievich SV, Ulashchyk EA. Assessment of soil acidity in cities of Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2026;3:55–70. Russian.
https://doi.org/10.46646/2521-683X/2026-3-55-70

Авторы:
Сергей Ефимович Головатый – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; заведующий кафедрой экологической безопасности и ресурсосбережения.
Светлана Валентиновна Савченко – кандидат геолого-минералогических наук, доцент; ведущий научный сотрудник лаборатории оптимизации геосистем.
Святослав Владимирович Алисиевич – младший научный сотрудник лаборатории оптимизации геосистем.
Екатерина Александровна Улащик – преподаватель кафедры экологической безопасности и ресурсосбережения.

Authors:
Sergey E. Golovatyi, doctor of science (agriculture), full professor; head of the department of environmental safety and resource conservation.
sscience@yandex.ru
Svetlana V. Savchenko, PhD (geology and minerology), docent; leading researcher at the laboratory of geosystems optimization.
svcience@rambler.ru
Svyatoslav V. Alisievich, junior researcher at the laboratory of geosystems optimization.
geo.sviatalv@gmail.com
Ekaterina A. Ulashchik, lecturer at the department of environmental safety and resource conservation.
ulasikekaterina@gmail.com

Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2026;3:55–70
Journal of the Belarusian State University. Ecology. 2026;3:55–70

ASSESSMENT OF SOIL ACIDITY IN CITIES OF BELARUS

S. E. GOLOVATYI[a], ***S. V. SAVCHENKO***[b], ***S. V. ALISIEVICH***[b], ***E. A. ULASHCHYK***[a]

[a]*International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, 23/1 Daŭhabrodskaja Street, Minsk 220070, Belarus*
[b]*Institute of Nature Management, National Academy Sciences of Belarus, 10 Skaryny Street, Minsk 220076, Belarus*
Corresponding author: S. V. Savchenko (svcience@rambler.ru)

As a result of the analysis of the pH indicator in urban soils, carried out according to the NSMOS data, it was found that in the cities of five administrative regions of Belarus, according to the average pH value, the soils are characterized as slightly alkaline, in the Gomel region – as neutral. In 74 % of the studied settlements, slightly alkaline soils predominate, in 22 % – neutral and in 4 % – close to neutral. An assessment of the acidity of urban soils over a more than twenty-year period showed that in 47 % of cities soil alkalization is observed, in 20 there is acidification, and in 33 % no changes noted. Spatial differences in minimum and maximum pH values in soils of 55 % of cities decreased over time, 39 remained unchanged, and 8 % increased. The process of soil alkalization in cities can be caused by industrial emissions, the accumulation of building materials and debris in the soil during urban development of the territory, the seasonal use of deicing mixtures and a change in the mechanism of infiltration of atmospheric precipitation due to large areas of sealed territories. In the background areas studied within the framework of the NSMOS, a high pH value was also noted, which may be due to the soddy process of soil formation with a humus horizon saturated with bases, characteristic of areas with herbaceous vegetation that predominates in the background areas. The soils of agricultural lands in all rounds of their survey (1966–2020) belonged to groups with high acidity from moderately acidic to slightly acidic, which is the result of the natural features of the territories, as well as the systematic use of fertilizers and liming of soils in order to regulate their acid-base conditions. A change in the acidity of urban soils towards alkalization can have a number of environmental consequences, in particular, a decrease in the activity of soil enzymes and the rate of transformation of organic matter, a decrease in the mobility of heavy metals due to the formation of sparingly soluble compounds, a decrease in their availability for plants as microelements, and their accumulation in the upper horizons, which contributes to the pollution of urban soils.

Keywords: soils; acid-base conditions; pH value; time dynamics; spatial differences; urban areas.

Введение

Кислотность почвенного покрова является одним из диагностических критериев, определяющих качественное состояние почв, под которой понимается ее способность подкислять почвенный раствор (растворы солей) вследствие наличия в составе почвы кислот, обменных ионов водорода и катионов, образующих при их вытеснении гидролитически кислые соли.

Исследования кислотно-щелочных условий почв Беларуси имеет долговременный характер, так как показатель pH является обязательным параметром, определяемым в почвах сельскохозяйственных земель для оценки их плодородия, напрямую влияющего на урожайность сельскохозяйственных культур. Кислотность почв сельхозугодий существенно отличается по районам и зависит от состава почвообразующих пород, структуры и плотности сложения, наличия гумуса и других количественных и качественных характеристик почв [1–3].

Исследования городских почв по показателю pH проводятся с середины XX в. в рамках комплексных эколого-геохимических исследований, при которых их изучение проводятся по широкому перечню показателей, включая тяжелые металлы и нефтепродукты, выступающие основными загрязнителями урбанизированных территорий [4–6]. Более двух десятков лет оценка кислотно-щелочных условий в почвах урбанизированных и фоновых территорий осуществляется в рамках НСМОС[1] [7].

Определение кислотности почв при педогеохимических исследованиях обусловлено ее влиянием на направленность и скорость химических реакций, биологическую активность, а также на поведение в почвах тяжелых металлов и других химических веществ, в том числе техногенного происхождения.

При низких значениях показателя pH (<6) металлы чаще находятся в растворимой и ионизированной форме, легко перемещаются в почвенном растворе и легкодоступны для растений. При щелочном pH (>7) ряд тяжелых металлов образуют нерастворимые соединения (оксиды, гидроксиды), что уменьшает их подвижность в почвах и доступность растениям. При изменении pH меняется способность металлов образовывать комплексы с органическими и неорганическими лигандами. При подщелачивании почвы металлы чаще поглощаются и фиксируются на коллоидах почвы [8; 9].

Для песчаных почв характерны низкие значения pH, что обусловлено их низкой буферной способностью, высокой водопроницаемостью и низкой влагоемкостью. Пески, состоящие из крупных частиц

[1]Национальная система мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь [Электронный ресурс]. 2013–2024. URL: https://www.nsmos.by/content/402.html (дата обращения: 07.03.2026).

кварца и полевого шпата с незначительной площадью удельной поверхности и низким содержанием илистых и глинистых частиц, не способны нейтрализовать органические почвенные кислоты, вследствие чего последние остаются в почве в активной форме и приводят к частичному закислению почв [1; 9].

Супеси и суглинки содержат больше первичных минералов (слюд, полевых шпатов, карбонатов), которые в результате разрушения высвобождают кальций, калий и магний, что способствует сдвигу pH в сторону нейтральной или слабощелочной реакции. Кроме того, суглинки за счет наличия тонкодисперсных фракций удерживают основания в почвенном поглощающем комплексе, что приводит к замедлению процесса выщелачивания. При этом органические кислоты связываются с глиной, образуя нерастворимые гумусовые комплексы, снижая их влияние на кислотность почвенного раствора [8; 9].

На урбанизированных территориях почвенный покров претерпевает значительные изменения гранулометрического состава, гидрологического режима и протекания всех физико-химических процессов, в том числе и кислотно-щелочных условий. Анализ и обобщение статистической информации по кислотности почвенного покрова городских территорий в пространственно-временном аспекте позволяет расширить представление об экологическом состоянии почв населенных пунктов.

Материалы и методы исследования

В настоящем исследовании дается оценка и анализ показателя pH в городских почвах по результатам обследования городов в рамках наблюдений за химическим загрязнением земель Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь, а также по данным последнего тура обследования города и динамики показателя pH в почвах городских территорий, произошедших за более чем двадцатилетний период (2000 по 2024 гг.)[2][7].

При наблюдениях за химическим загрязнением почв урбанизированных территорий НСМОС, pH входят в обязательный перечень наблюдаемых в почвах городов показателей. Однако его детальная оценка при обобщении мониторинговых данных не проводится, а значения pH используются только для характеристики и оценки поведения в почвах других загрязняющих веществ.

Исследуемыми территориями, определяющими показатель pH, 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.

Пункты наблюдений для отбора проб почв охватывают все функциональные зоны в границах города, который делится на ячейки по ортогональной сетке со сторонами, кратными 1 км, и площадью ячеек не более 4 км^2. В точках пересечения диагоналей каждой ячейки располагаются пункты наблюдений размером 100 м × 100 м, где на пробной площадке методом конверта производится отбор почвенных образцов. Наблюдения в каждом населенном пункте проводятся таким образом, чтобы за тур обследования были изучены почвы на всех пунктах наблюдений в пределах городской территории.

Определение pH_{KCl} в почвенных образцах проводится в аккредитованных на выполнение данного вида работ лабораториях и центрах по стандартным методикам.

В соответствии с целями данного исследования, в качестве критерия оценки кислотно-щелочных условий почв урбанизированных территорий используются шкалы градаций почв по степени кислотности и щелочности, представленные в табл. 1 и 2 [9; 10].

Таблица 1

Градации почв по степени кислотности [10]

Table 1

Soil gradations according to the degree of acidity [10]

Степень кислотности для минеральных почв	Величина pH
Сильнокислые	≤ 4,50
Среднекислые	4,51–5,00
Кислые	5,01–5,50
Слабокислые	5,51–6,00
Близкие к нейтральным	6,01–6,50
Нейтральные	6,51–7,00
Слабощелочные	>7,00

[2]Национальная система мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь [Электронный ресурс]. 2013–2024. URL: https://www.nsmos.by/content/402.html (дата обращения: 07.03.2026).

Таблица 2

Градации почв по степени щелочности (по Б. А. Зимовцу) [9]

Table 2

Soil gradations according to the degree of alkalinity (according to B. A. Zimovets) [9]

Степень щелочности для минеральных почв	Величина pH
Слабощелочные	7,5–8,0
Среднещелочные	8,0–8,5
Сильнощелочные	>8,5

Результаты исследования и их обсуждение

Пространственно-временные особенности почв по показателю pH в городах Беларуси. Оценка современного состояния почв в городах Беларуси, которые входят в перечень населенных пунктов НСМОС для наблюдений за химическим загрязнением почвенного покрова, свидетельствует, что в разрезе административных областей наименьший средний показатель pH = 6,92, характеризующий почву как нейтральную, отмечен в городах Гомельской обл. В населенных пунктах остальных областей почвы имеют слабощелочную реакцию с незначительным разбросом значений pH от 7,10 – в Могилевской до 7,32 – в Брестской обл. (табл. 3).

По средним минимальным значениям pH почвы в городах Витебской, Гомельской и Минской областей относятся к близким к нейтральным с pH = 6,09–6,35, Брестской и Гомельской – к нейтральным с pH = 6,52–6,54, Могилевской – к слабокислым с pH = 5,89. По средним максимальным значениям почвы населенных пунктов во всех областях характеризуются как слабощелочные – с pH от 7,65 до 8,00.

Таблица 3

Показатель pH в почвах городов административных областей Беларуси, данные 2000–2024 гг.

Table 3

Indicator pH in urban soils of administrative regions of Belarus to data from 2000–2024 years

Административная область	Кислотность почвы по показателю pH		
	среднее	минимальное	максимальное
Брестская	7,32	6,54	8,00
Витебская	7,16	6,33	7,82
Гомельская	6,92	6,09	7,65
Гродненская	7,24	6,52	7,87
Минская	7,14	6,35	7,80
Могилевская	7,10	5,89	7,98
Среднее по городам Беларуси	7,15	6,29	7,85

Кислотно-щелочные условия почв на территории всех исследованных городов ***Брестской обл.*** по средним значениям pH характеризуются как слобощелочные (табл. 4).

По минимальному значению отдельные участки на территории Барановичей, Бреста и Лунинца имеют близкую к нейтральной реакцию почвенного раствора, в остальных городах – слабощелочную. По максимальному отмеченному в городских почвах значению pH в Белоозерске, Дрогичине и Пинске почвы среднещелочные, в остальных – слабощелочные.

Во временном аспекте в Барановичах, Дрогичине, Кобрине и Лунинце за исследованный период (2000–2024 гг.) произошел сдвиг кислотности городских почв в сторону подщелачивания. По средним значениям почвы этих городов из группы нейтральных с pH = 6,70–6,94 перешли в слабощелочные с pH = 7,19–7,90. В Белоозерске и Бресте кислотно-щелочные условия почвенного раствора не изменились. В Пинске произошло подкисление почв, по степени кислотности среднещелочных почвы с pH = 8,23 перешли в группу слабощелочных с pH = 7,63 (рис. 1).

Таблица 4

Показатель pH в почвах городов Брестской обл.

Table 4

Indicator pH in soils of cities of the Brest region

Город, год	Кислотность почвы по показателю pH		
	среднее значение	минимальное значение	максимальное значение
Барановичи, 2023	7,19	6,68	7,80
Белоозерск, 2023	7,73	7,18	8,30
Брест, 2022	7,27	6,71	7,76
Дрогичин, 2009	7,90	7,10	8,20
Кобрин, 2024	7,33	7,11	7,60
Лунинец, 2024	7,16	6,33	7,60
Пинск, 2023	7,63	7,11	8,54

Пространственная контрастность значений pH в Барановичах, Дрогичине, Кобрине и Лунинце за многолетний период сократилась. Особенно показательным является изменение кислотно-щелочных условий в почвах Барановичей, где на начальном этапе наблюдений почвы по минимальным значениям pH, фиксируемым на отдельных участках, относились к слабокислым, по максимальным – к среднещелочным. По данным последнего тура обследования, по минимальным значениям почвы перешли в группу нейтральных, по максимальным – слабощелочных (см. рис. 1). Для Кобрина, Дрогичина и Лунинца наблюдается аналогичная тенденция, однако вариабельность значений менее выражена. Для Белоозерска, Бреста и Пинска пространственно-временные изменения показателя pH не существенны.

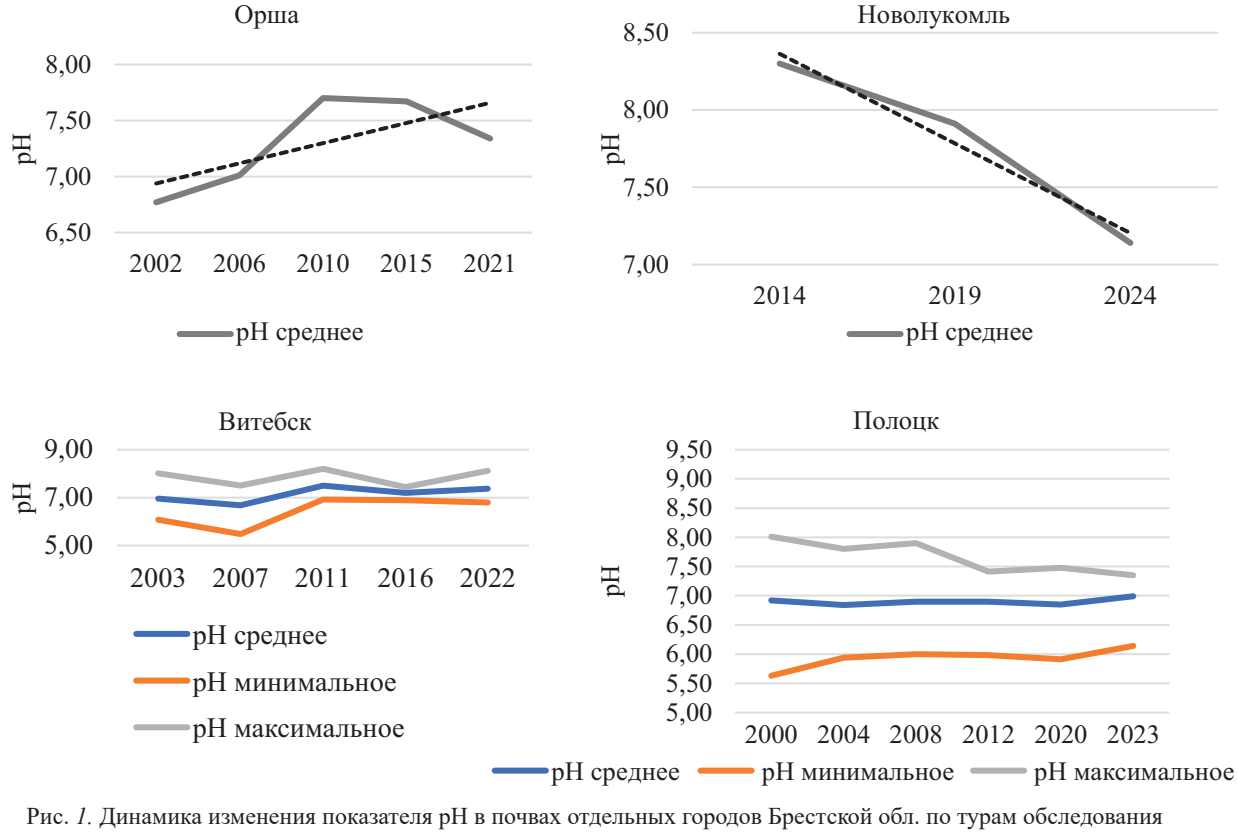


Рис. *1*. Динамика изменения показателя pH в почвах отдельных городов Брестской обл. по турам обследования

Fig. 1. Dynamics of changes in indicator pH in soils of individual cities Brest region to survey rounds

Обследование почв населенных пунктов ***Витебской обл.*** показало, что, как и в Брестской обл., по средним значениям pH почвы большинства городов относятся к слабощелочным, за исключением Полоцка, где по степени кислотности почвы нейтральные (табл. 5).

Таблица 5

Показатель pH в почвах городов Витебской обл.

Table 5

Indicator pH in soils of cities of the Vitebsk region

Город, год	Кислотность почвы по показателю pH		
	среднее значение	минимальное значение	максимальное значение
Витебск, 2022	7,37	6,80	8,12
Лепель, 2010	7,50	6,99	7,92
Новолукомль, 2024	7,14	6,88	8,00
Новополоцк, 2021	7,05	6,42	7,44
Орша, 2021	7,34	6,05	7,98
Полоцк, 2023	6,99	6,14	7,35

По минимальному зафиксированному значению pH почвенный покров Новополоцка и Орши на отдельных территориях имеют близкую к нейтральной, в остальных городах – нейтральную реакцию почвенного раствора, по наибольшим значениям – слобощелочную, в Витебске – среднещелочную.

Оценка временной динамики показателя pH за двадцатилетний период наблюдений в городах Витебской обл. показала, что в Витебске, Лепеле, Новополоцке и Орше почвы по средним для города значениям pH перешли из группы нейтральных с pH = 6,5–6,96 в слабощелочные с pH = 7,34–7,50. В Новолукомле произошло подкисление почв, по степени кислотности среднещелочных почвы с pH = 8,30 перешли в слабощелочные с pH = 7,14. В Полоцке значения показателя pH практически не изменились (рис. 2).

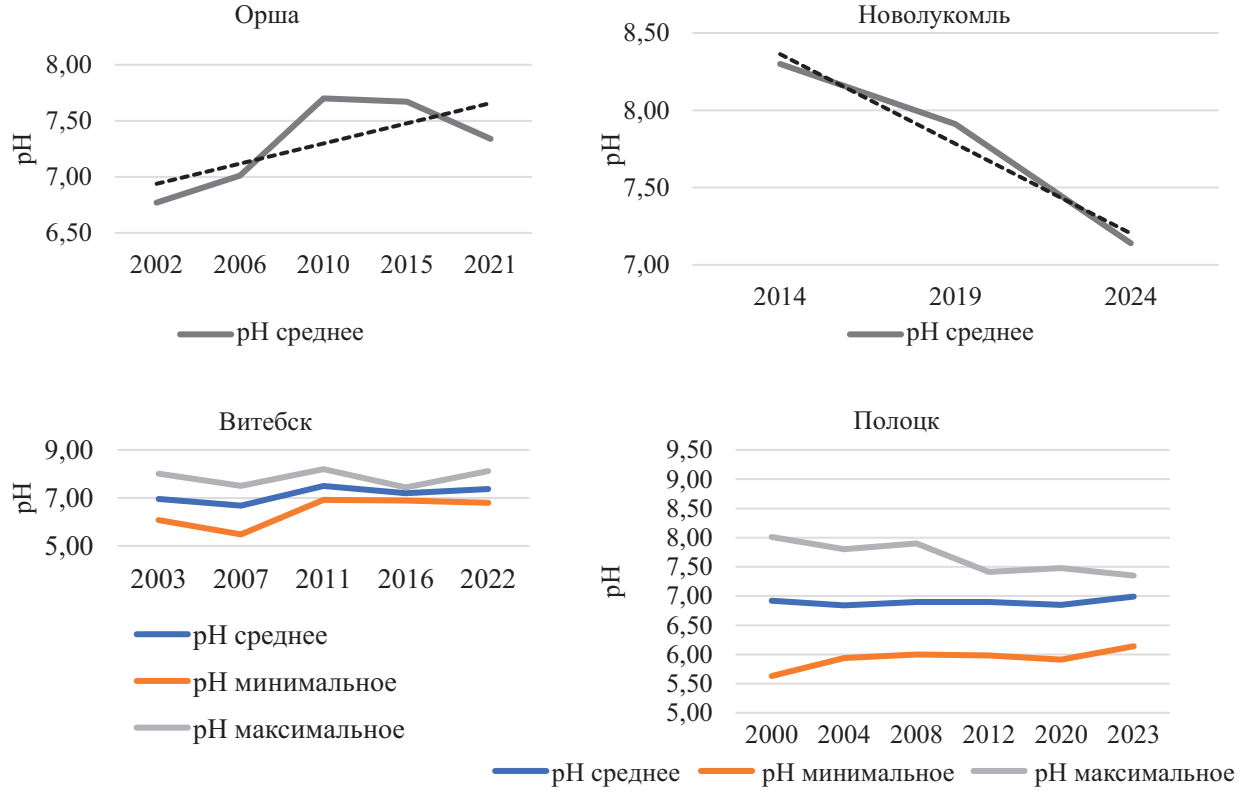


Рис. *2.* Динамика изменения показателя pH в почвах отдельных городов Витебской обл. по турам обследования

Fig. 2. Dynamics of changes in indicator pH in soils of individual cities Vitebsk region to survey rounds

Территориальные различия, определяемые минимальными и максимальными значениями pH, в Витебске, Лепеле, Новополоцке, Орше и Полоцке за период исследований уменьшилась. При этом почвы Полоцка по минимальным отмеченным на отдельных участках значениям перешли из среднекислых в группу близких к нейтральным, по максимальным – из среднещелочных в слабощелочные. В Новолукомле минимальные зафиксированные значения pH за многолетний период сместились из группы слабощелочных в нейтральные, по максимальным – из сильнощелочных в слабощелочные, при этом разброс значений увеличился.

Кислотность почв на территории исследованных городов Ельска, Калинковичей, Рогачева и Светлогорска, расположенных в ***Гомельской обл.,*** по средним значениям pH характеризуется как нейтральные, в остальных городах как слобощелочные (табл. 6).

Таблица 6

Показатель pH в почвах городов Гомельской обл.

Table 6

Indicator pH in soils of cities of the Gomel region

Город, год	Кислотность почвы по показателю pH		
	среднее значение	минимальное значение	максимальное значение
Буда-Кошелево, 2009	7,50	7,20	7,80
Гомель, 2021	7,13	6,37	7,73
Добруш, 2009	7,20	6,10	8,30
Ельск, 2012	6,69	5,98	7,64
Жлобин, 2024	7,09	6,63	7,60
Калинковичи, 2023	6,92	6,06	7,23
Мозырь, 2023	7,09	6,42	7,61
Речица, 2024	7,28	6,96	7,48
Рогачев, 2020	6,98	6,34	7,81
Светлогорск, 2022	6,92	6,31	7,15
Чечерск, 2009	7,30	6,60	8,00

Минимальные значения кислотности почв по городам существенно различаются. В Ельске почвы имеют слабокислую реакцию почвенного раствора, в Буда-Кошелеве – слабощелочную, в Жлобине, Речице и Чечерске – нейтральную. Почвы остальных городов относятся к близким к нейтральным. Максимальные зафиксированные значения pH для большинства населенных пунктов характеризуют почвы как слабощелочные, в Добруше – среднещелочные.

Во временном интервале за период 2000–2024 гг. в Буда-Кошелева, Гомеле, Добруше, Речице и Чечерске в пределах городских территорий по средним значениям pH произошло подщелачивание почв из нейтральных и близких к нейтральным с pH = 6,40–6,97 до слабощелочных с pH = 7,13–7,50, в Светлогорске – со слабокислых с pH = 6,00 до нейтральных с pH = 6,92, в Ельске – с близких к нейтральным с pH = 6,25 до нейтральных с pH = 6,69 (рис. 3).

В Калинковичах, Жлобине и Мозыре кислотно-щелочные условия почв существенно не изменились, почвы остались в группе слабощелочных. В Рогачеве произошло смещение pH в сторону подкисления, слабощелочные почвы перешли в группу нейтральных.

Различия в минимальных и максимальных значениях показателя pH в Буда-Кошелеве, Гомеле, Калинковичах, Светлогорске и Чечерске за многолетний период стали менее выраженными. Наиболее значимые различия отмечены в Буда-Кошелеве, где по минимальным значениям pH почвы перешли из слабокислых в слабощелочные. При этом максимальные величины не изменились и почвы остались в группе слабощелочных (рис. 3).

Для Добруша, Ельска, Жлобина и Мозыря наблюдается аналогичная тенденция, однако разброс значений менее контрастный. При этом на территории Жлобина с течением времени наблюдается незначительное подкисление почв: по максимальным значениям, почвы перешли из сильнощелочных в слабощелочные.

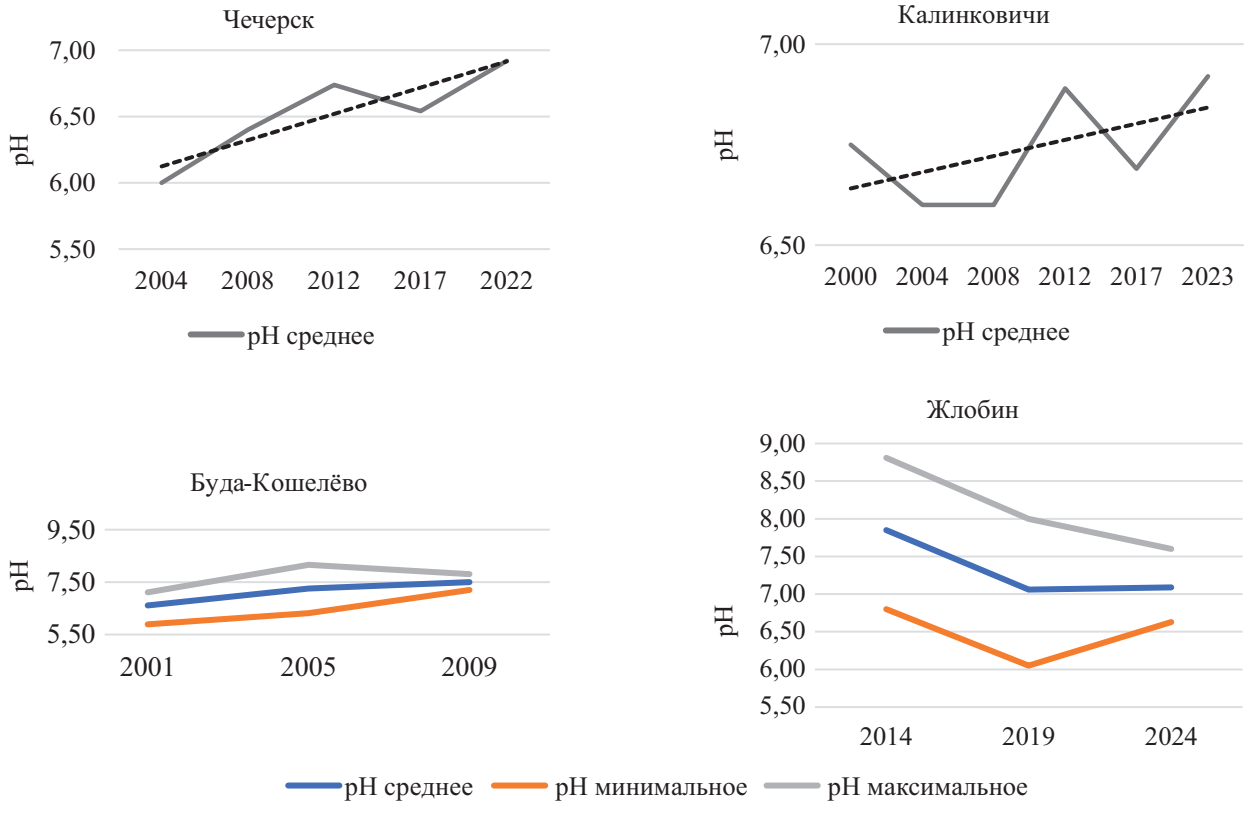


Рис. 3. Динамика изменения показателя pH в почвах отдельных городов Гомельской обл. по турам обследования

Fig. 3. Dynamics of changes in indicator pH in soils of individual cities Gomel region to survey rounds

Для территории Рогачева и Речицы пространственно-временные изменения показателя pH в почвенном покрове не существенны.

В почвах населенных пунктов ***Гродненской обл.*** средние величины pH изменяются от 7,01 до 7,91, что позволяет отнести почвы всех обследованных городов к слабощелочным (табл. 7). По минимальному значению pH отдельные участки в Гродно имеют близкую к нейтральной реакцию почвенного раствора, в Новогрудке и Слониме – слабощелочную, в остальных городах – нейтральную. По максимальному значению кислотно-щелочные условия почв отдельных участков в Сморгони и Новогрудке среднещелочные, в остальных городах – слабощелочные.

Таблица 7

Показатель pH в почвах городов Гродненской обл.

Table 7

Indicator pH in soils of cities of the Grodno region

Город, год	Кислотность почвы по показателю pH		
	среднее значение	минимальное значение	максимальное значение
Березовка, 2023	7,28	6,81	7,60
Волковыск, 2024	7,21	6,88	7,74
Гродно, 2022	7,01	6,03	7,40
Красносельский, 2024	7,13	6,89	7,41
Лида, 2022	7,21	6,78	7,68
Новогрудок, 2019	7,91	7,19	8,42
Слоним, 2021	7,56	7,16	7,89
Сморгонь, 2011	7,66	6,94	8,40

Оценка временной динамики среднего значения pH в почвенном покрове городов Гродненской обл. за период наблюдений свидетельствует, что в Волковыске, Новогрудке и Слониме почвы перешли из группы нейтральных с pH = 6,65–6,94 в слабощелочные с pH = 7,21–7,91, в Сморгони из близких к нейтральным в слабощелочные (рис. 4). В остальных городах почвы по степени кислотности не изменились и осталась в группе слабощелочных с незначительным подкислением почвенных условий.

Разброс минимальных и максимальных значений показателя pH в почвах Волковыска, Лиды, Новогрудка, Гродно и Слонима за многолетний период сократился.

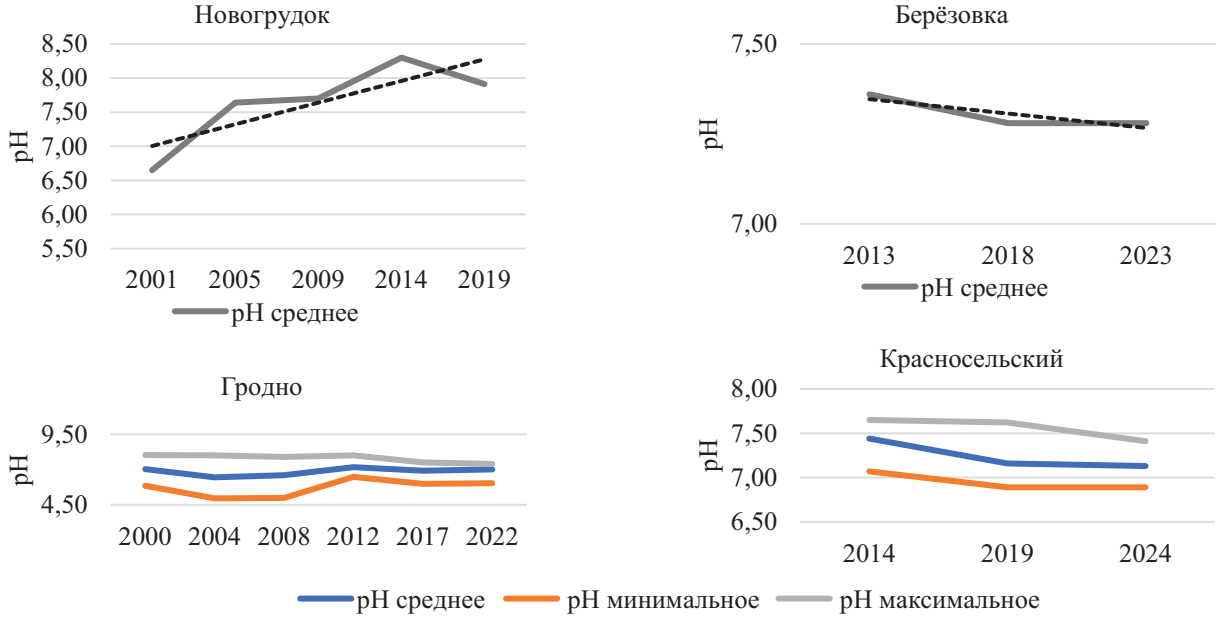


Рис. 4. Динамика изменения показателя pH в почвах отдельных городов Гродненской обл. по турам обследования

Fig. 4. Dynamics of changes in indicator pH in soils of individual cities Grodno region to survey rounds

Наиболее заметные пространственные различия кислотно-щелочных условий почвенного покрова в начальный период наблюдений зафиксированы в Гродно, где по минимальным значениям pH почвы относились к слабокислым, по максимальным – к среднещелочным. В последний тур обследования по наименьшим значениям почвы Гродно перешли в группу близких к нейтральным, по максимальным – слабощелочных (см. рис. 4). В Новогрудке наименьшие значения pH сместились с кислых до слабощелочных, наибольшие – со слабощелочных в среднещелочные. Аналогичная тенденция наблюдается в почвах Сморгони, однако вариабельность значений сохранилась. В Березовке и г. п. Красносельском значительных изменений не отмечено.

Почвы на территории городов ***Минской обл.*** по средним значениям pH характеризуются как слабощелочные, за исключением Слуцка, где почвы относятся к группе нейтральных (табл. 8).

По минимальному значению pH отдельные участки на территории Минска, Молодечно и Слуцка имеют слабокислую реакцию почвенного раствора, в Жодино – близкую к нейтральной, в Борисове, Воложине и Солигорске – нейтральную. По максимальному отмеченному в почвах значению pH в большинстве городов почвы слабощелочные, в Воложине – среднещелочные.

За период 2000–2024 гг. в Минске, Борисове, Жодино и Молодечно по средним для города значениям pH почвы перешли из группы нейтральных с pH = 6,52–6,94 в слабощелочные с pH = 7,04–7,60, при этом по турам обследования наблюдались разнонаправленные тенденции в изменении кислотно-щелочных условий в почвенном покрове городских территорий, что особенно показательно для Минска (рис. 5).

В Воложине и Солигорске за период наблюдений кислотность почв не изменилась, оставаясь слабощелочной. На территории Слуцка наблюдается подкисление почв, которые из группы слабощелочных с pH = 7,33 перешли в нейтральные с pH = 6,90.

Пространственные различия, определяемые наименьшими и наибольшими значениями показателя pH, зафиксированными на городских территориях, за период наблюдений в Борисове, Жодино и Солигорске сократились, в остальных городах разброс значений остался прежним. Так, в почвах Борисова изменения показателя pH весьма существенны, особенно по минимальным значениям, по которым почвы перешли из группы среднекислых в нейтральные (рис. 5).

Таблица 8

Показатель pH в почвах городов Минской обл.

Table 8

Indicator pH in soils of cities of the Minsk region

Город, год	Кислотность почвы по показателю pH		
	среднее значение	минимальное значение	максимальное значение
Минск, 2024	7,10	5,77	7,88
Борисов, 2022	7,04	6,68	7,40
Воложин, 2010	7,60	6,84	8,16
Жодино, 2020	7,12	6,18	7,55
Молодечно, 2021	7,38	5,94	7,81
Слуцк, 2020	6,90	5,78	7,28
Солигорск, 2023	7,21	6,96	7,49

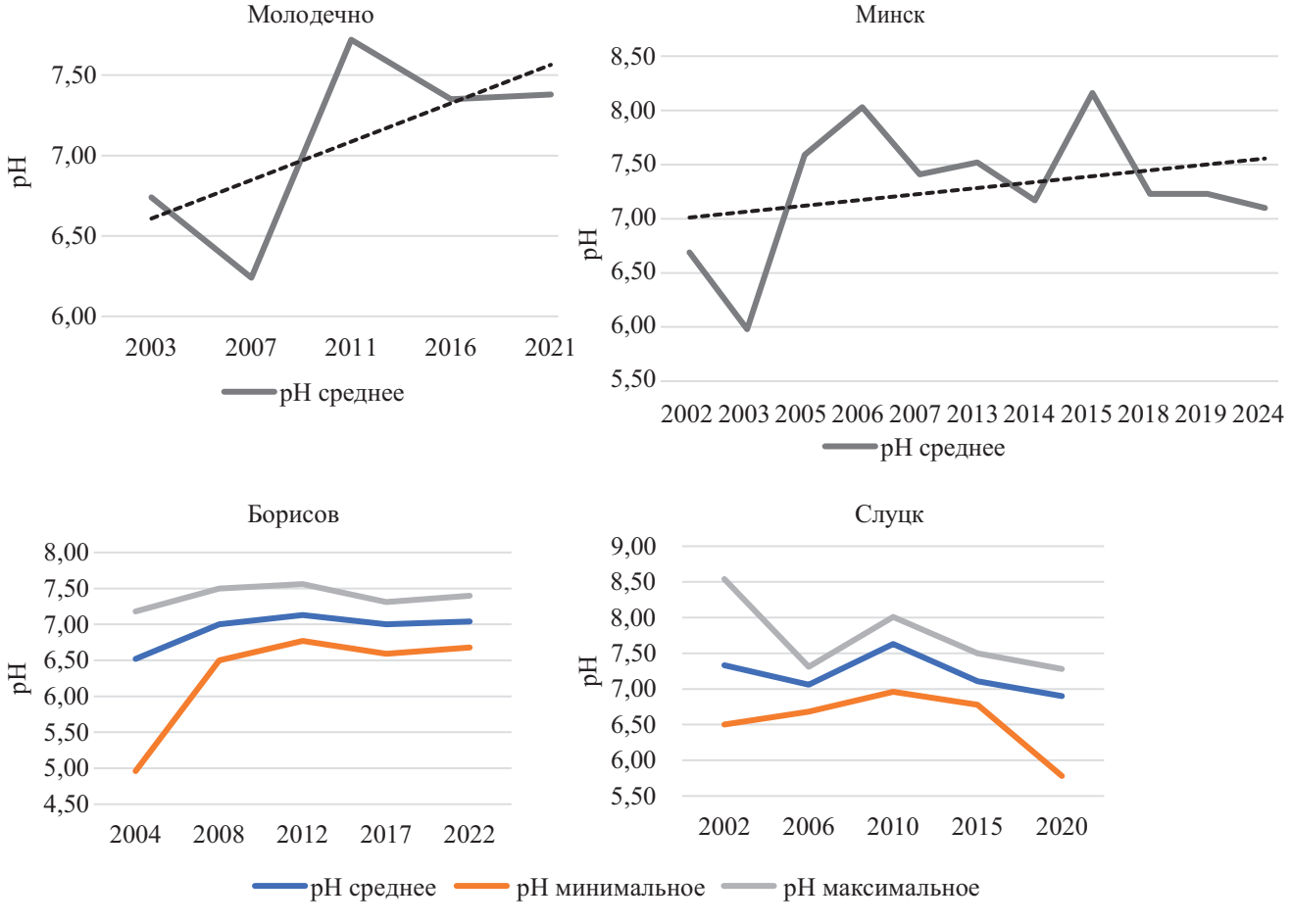


Рис. 5. Динамика изменения показателя pH в почвах отдельных городов Минской обл. по турам обследования

Fig. 5. Dynamics of changes in indicator pH in soils of individual cities Minsk region to survey rounds

При этом для Минска, Солигорска и Молодечно к последнему туру обследований наблюдается подкисление почв по максимальным значениям, почвы перешли из среднещелочных в слабощелочные. Снижение щелочности присуще также почвам на территории Слуцка, где почвы на отдельных участках по

наименьшим значениям pH перешли из близких к нейтральным в группу слабокислых, по наибольшим – из сильнощелочных в слабощелочные.

Обследование почвенного покрова на территории городов ***Могилевской обл.*** установило, что по средним значениям pH почвы Чаусов и Чирикова относятся к близким к нейтральным, пяти городов – к нейтральным и пяти – к слабощелочним (табл. 9). Минимальное значение pH по городам существенно различается – от сильнокислых в Быхове и среднекислых в Мстиславле до слабощелочных в Осиповичах и Костюковичах.

По максимальному значению pH в большинстве городов почвы слабощелочные, в пяти городах – среднещелочные.

Таблица 9

Показатель pH в почвах городов Могилевской обл.

Table 9

Indicator pH in soils of cities of the Mogilev region

Город, год	Кислотность почвы по показателю pH		
	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение
Бобруйск, 2024	6,92	5,99	7,59
Быхов, 2009	6,60	4,30	7,60
Горки, 2011	6,91	6,24	7,51
Костюковичи, 2017	7,53	7,04	8,47
Кричев, 2024	7,46	6,83	8,93
Могилев, 2020	7,39	6,65	8,03
Мстиславль, 2009	6,70	5,00	7,40
Осиповичи, 2010	7,57	7,16	8,24
Славгород, 2009	7,10	6,50	7,80
Чаусы, 2012	6,44	5,18	7,45
Чериков, 2012	6,47	5,51	7,10
Шклов, 2011	6,86	5,82	8,02

Во временном интервале за период исследований в городах региона наблюдаются разнонаправленные тенденции в изменении показателя pH в почвах городских территорий. По средним значениям pH в городах Бобруйск, Быхов, Горки, Мстиславль, Чаусы и Шклов зафиксировано подкисление почв со слабощелочных с pH = 7,13–7,96 до нейтральных и близких к нейтральным с pH = 6,44–6,92. В Осиповичах наблюдалось подщелачивание почв с нейтральных до слабощелочных. В остальных населенных пунктах кислотно-щелочные условия почвенного покрова от начального к последнему туру обследования существенно не изменились, почвы остались в группе слабощелочных, в Черикове – близких к нейтральным, при этом по турам обследования значение pH в почвах городов существенно менялось (рис. 6).

Пространственная вариабельность по наименьшим и наибольшим значениям показателя pH в почвах на территории Быхова, Кричева и Шклова с течением времени увеличились, Бобруйска и Костюкович – уменьшились, в остальных городах существенно не изменились. Наиболее значимые различия наблюдаются в Шклове, где почвы по минимальным значениям перешли из группы близких к нейтральным в слабокислые, по максимальным – из слабощелочных в среднещелочные (рис. 6).

Подкисление почв за период наблюдений по минимальным и максимальным значениям отмечены в Бобруйске, Быхове, Горках, Мстиславле, Славгороде и Чаусах.

Для почв Костюковичей, Могилева, Осиповичей и Черикова зафиксировано смещение значения pH в сторону подщелачивания, при это для Костюковичей эти изменения наиболее выражены: по минимальным значениям почвы города перешли из слабокислых в слабощелочные.

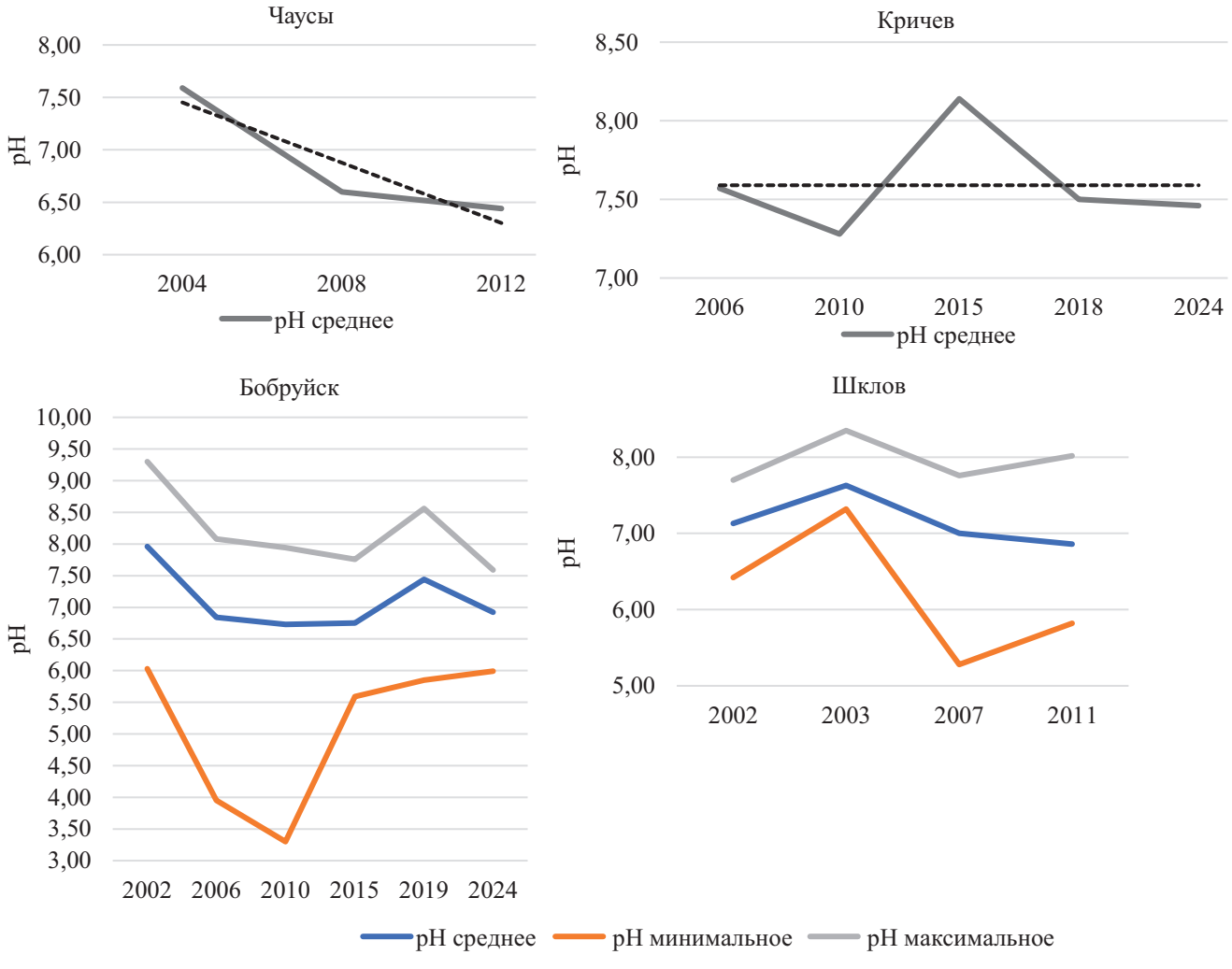


Рис. 6. Динамика изменения показателя pH в почвах отдельных городов Могилевской обл. по турам обследования

Fig. 6. Dynamics of changes in indicator pH in soils of individual cities Mogilev region to survey rounds

Таким образом, на городских территориях в комплекс техногенных изменений физико-химических свойств почвенного покрова относится сдвиг кислотно-щелочного равновесия в щелочную сторону. Так, в 74 % исследованных городов Беларуси преобладают почвы, относящиеся к группе слабощелочных, в 22 – нейтральных и в 4 % – к группе близких к нейтральным. Минимальные зафиксированные на территории населенных пунктов значения pH имеют разброс от среднекислых до слабощелочных, максимальные – преимущественно слабо- и среднещелочные.

Во временном аспекте в 47 % городов наблюдается подщелачивание почв, в 33 изменений кислотно-щелочных условий почвенного покрова не отмечено, в 20 % случаев в пределах городских территорий идет подкисление почв, преимущественно в городах Могилевской обл..

Разброс минимальных и максимальных значений pH в почвах за период 2000–2024 гг. на территории 55 % городов уменьшился, в 39 – остался без изменений, в то же время на территории 8 % населенный пунктов мозаичность почвенного покрова по показателю pH увеличилась.

К одному из наиболее значимым факторов подщелачивания городских почв можно отнести поступление в нее используемых при градостроительном освоении территории материалов, содержащих карбонаты кальция и магния, процесс гидролиза которых приводит к высвобождению ионов OH^- и, как следствие, повышению показателя pH. Такими материалами являются бетон, цемент, асфальтобетонные смеси, известковая штукатурка и строительный мусор, а также карбонатсодержащая пыль, образующаяся при атмосферном выветривании и механическом разрушении строительных и дорожных конструкций [4; 5; 11].

Еще одним источником карбонатной пыли и щелочных аэрозолей выступают теплоэнергетические предприятия, цементные заводы и металлургические производства, при осаждении выбросов которых на почву происходит нейтрализация кислых компонентов атмосферных осадков и общее подщелачивание почвенного покрова [12; 13].

Важным фактором, приводящим к подщелачиванию почв на урбанизированных территориях, является применение в зимний период противогололедных реагентов для борьбы с обледенением дорожных покрытий, в качестве которых применяются хлориды натрия и кальция, а также их комбинации с различными добавками. Их поступление в придорожные почвы приводит к непосредственному повышению pH за счет гидролиза солей слабых оснований, а также вытеснению обменных катионов водорода и алюминия из почвенного поглощающего комплекса с последующим подщелачиванием [14; 15].

Из-за изменения гидрологического режима городских почв вследствие их запечатанности, зарегулированности поверхностного стока, изменения механизма инфильтрации атмосферных осадков и ослабления нисходящих потоков влаги изменяется промывной режим почвенной толщи и, как следствие, накопление щелочных элементов в верхних горизонтах почв, что влияет на смещение показателя pH в сторону подщелачивания.

Кислотность почв на фоновых территориях. Для сравнения кислотности почв городов с высоким уровнем техногенной нагрузки и участков, в наименьшей степени подверженных воздействию различных источников загрязнения, проведена оценка показателя pH в почвах фоновых территорий по данным НСМОС за полный тур обследования (табл. 10).

Таблица 10

Показатель pH в почвах фоновых территории (2020–2024 гг.) [7]

Table 10

Indicator pH in soils of background areas (2020–2024 years) [7]

Брестская обл.		Витебская обл.		Гомельская обл.		Гродненская обл.		Минская обл.		Могилевская обл.	
№ ПН	pH	№ ПН	pH	№ ПН	pH	№ ПН	pH	№ ПН	pH	№ ПН	pH
Ф-1/1	7,54	Ф-2/1	7,29	Ф-3/1	7,01	Ф-4/1	7,26	Ф-5/1	6,88	Ф-6/1	5,89
Ф-1/2	6,64	Ф-2/2	7,32	Ф-3/2	7,54	Ф-4/2	6,71	Ф-5/2	7,01	Ф-6/2	6,84
Ф-1/3	7,48	Ф-2/3	7,38	Ф-3/3	7,18	Ф-4/3	7,21	Ф-5/3	6,94	Ф-6/3	6,99
Ф-1/4	7,01	Ф-2/4	6,60	Ф-3/4	6,99	Ф-4/4	7,44	Ф-5/4	6,90	Ф-6/4	7,40
Ф-1/5	6,81	Ф-2/5	7,10	Ф-3/5	7,28	Ф-4/5	7,29	Ф-5/5	7,34	Ф-6/5	6,26
Ф-1/6	6,84	Ф-2/6	7,14	Ф-3/6	7,01	Ф-4/6	6,55	Ф-5/6	5,89	Ф-6/6	7,06
Ф-1/7	6,97	Ф-2/7	7,04	Ф-3/7	6,88	Ф-4/7	7,04	Ф-5/7	6,48	Ф-6/7	6,85
Ф-1/8	6,74	Ф-2/8	7,22	Ф-3/8	7,00	Ф-4/8	7,28	Ф-5/8	7,16	Ф-6/8	6,41
Ф-1/9	7,00	Ф-2/9	7,34	Ф-3/9	7,00	Ф-4/9	7,19	Ф-5/9	7,28	Ф-6/9	6,67
Ф-1/10	6,94	Ф-2/10	7,11	Ф-3/10	7,21	Ф-4/10	7,16	Ф-5/10	7,22	Ф-6/10	6,40
Ф-1/11	6,94	Ф-2/11	7,00	Ф-3/11	6,94	Ф-4/11	7,16	Ф-5/11	7,12	Ф-6/11	7,14
Ф-1/12	6,79	Ф-2/12	7,14	Ф-3/12	7,28	Ф-4/12	7,40	Ф-5/12	7,34	Ф-6/12	7,28
Ф-1/13	7,14	Ф-2/13	6,98	Ф-3/13	7,11	Ф-4/13	7,00	Ф-5/13	6,98	Ф-6/13	7,28
Ф-1/14	7,12	Ф-2/14	7,00	Ф-3/14	7,08	Ф-4/14	6,88	Ф-5/14	7,18	Ф-6/14	7,29
Ф-1/15	7,31	Ф-2/15	7,21	Ф-3/15	7,14	Ф-4/15	6,94	Ф-5/15	6,69	Ф-6/15	6,69
Среднее	7,02	Среднее	7,12	Среднее	7,11	Среднее	7,10	Среднее	6,96	Среднее	6,83

Пункты отбора проб почв на фоновых территориях расположены на участках земной поверхности с перепадом относительных высот не более 1 м, естественной травянистой растительностью и ненарушенным почвенным покровом, которые могут располагаться на землях сельскохозяйственного назначения (луговых, залежных и используемых под постоянными культурами), землях лесного фонда, землях природоохранного, оздоровительного, рекреационного, историко-культурного назначения.

Анализ полученных результатов свидетельствуют о слабощелочной реакции почв на территории 57 % пунктов наблюдений, нейтральной – 38, близкой к нейтральной – 4 %. На двух пунктах наблюдений в Минской и Могилевской областях зафиксирована слабокислая реакция почвенного раствора.

По средним значениям pH почвы на фоновых территориях Брестской, Витебской, Гомельской и Гродненской административных областей относятся к группе слабощелочных с pH от 7,02 до 7,12. Наибольшее количество пунктов наблюдений, где на момент обследования зафиксированы слабощелочные почвы,

отмечено в Витебской обл. – 11, Гомельской и Гродненской – 10, Минской – 8, в Брестской и Могилевской – 6. В Минской и Могилевской областях почвы нейтральные с pH 6,96 и 6,83 соответственно, при этом на отдельных пунктах наблюдений присутствуют почвы, относящиеся к слабокислым и близким к нейтральным, что для остальных областей не характерно.

Отмеченное высокое значение pH на исследованных участках может быть обусловлено биогенным накоплением оснований в дерновом процессе почвообразования, характерном для территорий с травянистой растительностью, преобладающей на участках отбора проб почв. Мощная корневая система луговых трав, формирующая гумусовый горизонт, извлекает из более глубоких почвенных слоев ионы кальция и магния, которые при разложении растительных остатков остаются в корнеобитаемом слое [16]. Это приводит к формированию насыщенного основаниями гумусового горизонта, в результате чего происходит подщелачивание почв.

Показатель pH в почвах сельскохозяйственных земель. Кислотно-щелочные условия почв сельскохозяйственных земель существенно отличаются от городских территорий более кислой реакцией почвенного раствора, что является результатом природных особенностей территорий, где размещаются сельхозугодья, а также антропогенных процессов, обусловленных использованием земель в сельскохозяйственном производстве.

К природным особенностям территории Беларуси можно отнести значительное распространение почвообразующих пород с преобладанием песчаных и супесчаных отложений, бедных элементами питания растений и обладающих низкой буферностью, определяющей способность почв сопротивляться изменению кислотности, а также преобладание на территории страны дерново-подзолистых почв, занимающих около 60 % пахотных сельскохозяйственных земель, которые формируются в условиях промывного водного режима, приводящего к выносу кальция и магния из пахотного слоя в нижележащие горизонты, что приводит к развитию процесса естественного закисления [16].

К антропогенным факторам относятся систематическое применение удобрений и известкование почв с целью регулирования их кислотно-щелочного равновесия, так как оптимизация степени кислотности почв является важным условием повышения урожайности сельскохозяйственных культур [17].

В 1970 г. на пашне преобладали сильно- и среднекислые почвы с pH KCl <5,0, занимающие более 66 % сельхозземель. К 2004 г. в связи с систематическим крупномасштабным известкованием сельскохозяйственных земель с целью повышения их продуктивной способности, средневзвешенный показатель pH на пахотных землях составил 5,98, а доля кислых почв снизилась до 4,5 % (табл. 11). Однако с 2009–2012 гг. объемы известкования уменьшились, что привело к снижению показателя pH и восстановлению процесса естественного подкисления почв сельхозугодий страны [3].

Таблица 11

Показатель pH в почвах сельскохозяйственных земель за 1966–2020 гг. [3]

Table 11

Indicator pH in soils of agricultural lands for 1966–2020 [3]

Периоды обследования, годы	Средневзвешенный показатель pH_{KCl}	% площади земель с pH_{KCl} <5,0
1966–1970	4,95	66,8
1971–1975	5,19	
1976–1980	5,44	30,8
1981–1984	5,61	
1985–1988	5,81	11,8
1989–1992	5,88	
1993–1996	5,99	5,8
1997–2000	5,98	
2001–2004	5,98	4,5
2005–2008	5,92	
2009–2012	5,89	7,1
2013–2016	5,84	9,1
2017–2020	5,80	9,8

Согласно данным табл. 11, за все туры обследования сельскохозяйственных земель страны почвы сельхозугодий относились к группам с повышенной кислотностью. В первый тур обследования почвы были среднекислые, далее шло повышение показателя pH и в 1971–1980 гг. почвы перешли в группу кислых, с 1981 по 2020 гг. – слабокислых с наибольшим значением pH, равным 5,98–5,99, в период с 1993 по 2004 год.

Одним из заметных факторов, влияющих на плодородие почв сельскохозяйственных земель, в том числе кислотно-щелочные условия, является структура посевных площадей, значительную долю которых занимают пропашные культуры, которые влияют на подкисление почв и снижение общего уровня их плодородия.

Постепенному сдвигу pH почвы в кислую сторону способствует систематическое использование на сельхозземлях кислых форм азотных удобрений, а также вынос с растениеводческой продукцией кальция, содержащегося в тканях сельскохозяйственных культур, что приводит к истощению его запасов в почвах с последующим увеличением ее кислотности.

Заключение

В результате оценки показателя pH в городских почвах, проводимой в рамках НСМОС, установлено, что по административным областям Беларуси среднее значение показателя pH в городах Гомельской обл. характеризует почвы как нейтральные, в остальных областях – как слабощелочные.

В разрезе отдельных городов в 74 % исследованных населенных пунктов преобладают почвы, относящиеся к группе слабощелочных, в 22 – нейтральных и в 4 % – близких к нейтральным. Минимальные зафиксированные на территории городов значения pH изменяются от среднекислых до слабощелочных, максимальные – слабо- и среднещелочные.

Оценка изменений кислотно-щелочных условий, произошедших за более чем двадцатилетний период, показала, что в 47 % городов наблюдается подщелачивание почв, в 20 – подкисление, в 33 % – кислотно-щелочные условия почвенного покрова не изменились. Разброс минимальных и максимальных значений pH в почвах на территории 55 % городов уменьшился, 39 – остался без изменений, 8 % – увеличился. Процесс подщелачивания почв на территории населенных пунктов может быть обусловлен комплексом факторов, к основным из которых относится поступление промышленных выбросов, содержащих карбонаты пылевых частиц, накопление строительных материалов и строительного мусора при градостроительном освоении территории, сезонное применение противогололедных реагентов.

Отмечено высокое значение pH на фоновых территориях, исследуемых в рамках НСМОС, что может быть обусловлено дерновым процессом почвообразования с насыщенным основаниями гумусовым горизонтом, характерным для территорий с травянистой растительностью, преобладающей на фоновых участках.

В то же время для почв сельскохозяйственных земель характерна кислая реакция почвенного раствора, что является результатом природных особенностей территорий, систематическим применением кислых форм азотных удобрений, а также известкование почв с целью регулирования их кислотно-щелочных условий. Во все туры обследования на сельхозземлях Беларуси почвы относились к группам от среднекислых до слабокислых.

Смещение кислотно-щелочного баланса почвенного покрова городов в сторону подщелачивания может иметь ряд негативных последствий. Они проявляются в снижении активности почвенных ферментов и скорости трансформации органического вещества, являющихся важными составляющими экологического состояния почвы, уменьшении подвижности тяжелых металлов за счет образования труднорастворимых соединений, снижающих их доступность для растений в качестве микроэлементов, необходимых для роста и развития. Однако это приводит к накоплению поллютантов в верхних горизонтах городских почв с последующим их загрязнением.

Библиографические ссылки

1. *Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2017–2020 гг.)*. Минск: Институт почвоведения и агрохимии; 2022. 275 с.

2. Богдевич ИМ, Ломонос ОЛ, Таврыкина ОМ. Динамика степени кислотности пахотных и луговых почв в результате известкования. *Почвоведение и агрохимия.* 2014;1(52):159–172.

3. Богдевич ИМ. Итоги и перспективы оптимизации агрохимических показателей плодородия пахотных почв Беларуси. *Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук.* 2023;61(1):22–33.

4. Хомич ВС, и др. *Городская среда: геоэкологические аспекты.* Минск: Беларуская навука; 2013. 301 с.

5. Хомич ВС, Какарека СВ, Кухарчик ТИ. *Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси*. Минск: РУП «Минсктиппроект»; 2004. 260 с.

6. Сает ЮЕ, и др. *Геохимия окружающей среды.* Москва: Недра; 1990. 335 с.

7. *Состояние природной среды Беларуси.* В*:* Логинов ВФ, редактор. *Экологический бюллетень 2000–2012 г.* Минск: Минсктиппроект; 2001–2013.

8. Головатый СЕ. *Тяжелые металлы в агроэкосистемах.* Минск: Институт почвоведения и агрохимии; 2002. 240 с.

9. Орлов ДС, Садовникова ЛК, Суханова НИ. *Химия почв.* Москва: Высшая школа; 2005. 558 с.

10. *Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных угодий Беларуси*. Минск: БИТ «Хата»; 2006. 64 с.

11. Юрк ВМ, Зайцев ОБ, Зайцева АВ. Основные предпосылки утилизации строительных отходов совместно с загрязненными почвами (грунтами). *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика.* 2020;1(37):68–84.

12. Головатый СЕ, Самусик ЕА, Савченко СВ. Формирование педогеохимических аномалий в зонах воздействия промышленных предприятий. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2018;3:94–104.

13. Какарека СВ и др. *Выбросы тяжелых металлов в атмосферу: опыт оценки удельных показателей.* Минск: Институт геологических наук АН Беларуси; 1998. 156 с.

14. Рыжиков ВА. Влияние применения противогололедных солей на придорожный ландшафт. В: *Сборник трудов молодых ученых Национальной академии наук Беларуси*. *Том 2.* Минск: ИП Логинов; 2004. с. 299–303.

15. Барсуков ПА, Русалимова ОА. Влияние противогололедных реагентов на свойства почв придорожных газонов г. Новосибирска. *Почвы и окружающая среда.* 2024;7(2):265.

16. Лапа ВВ, и др. *Почвы Республики Беларусь*. Минск: ИВЦ Минфина; 2019. 631 с.

17. Кирюшин ВИ, Иванов АЛ. Экологические аспекты применения удобрений в интенсивном земледелии. *Почвоведение.* 2021;4:45–58.

References

1. Bogdevich IM, et al. *Agrokhimicheskaya kharakteristika pochv sel'skokhozyaystvennykh zemel' Respubliki Belarus'* [Agrochemical characteristics of soils in agricultural lands of the Republic of Belarus (2017–2020)]. Minsk: Institut pochvovedeniya i agrokhimii; 2022. 275 p. Russian.

2. Bogdevich IM, Lomonos OL, Tavrykina OM. *Dinamika stepeni kislotnosti pakhotnykh i lugovykh pochv v rezul'tate izvestkovaniya* [Dynamics of the degree of acidity of arable and meadow soils as a result of liming]. *Soil Science and Agrochemistry*. 2014;1(52):159–172. Russian.

3. Bogdevich IM. Itogi i perspektivy optimizatsii agrokhimicheskikh pokazateley plodorodiya pakhotnykh pochv Belarusi [Results and prospects for optimizing agrochemical indicators of fertility of arable soils in Belarus]. *News of the National Academy of Sciences of Belarus. Gray agricultural sciences*. 2023;61(1):22–33. Russian.

4. Khomich VS, et al. *Gorodskaya sreda: geoekologicheskiye aspekty* [Urban environment: geoecological aspects]. Minsk: Bielaruskaja navuka; 2013. 301 p. Russian.

5. Khomich VS, Kakareka SV, Kuharchik TI. *Ekogeokhimiya gorodskikh landshaftov Belarusi* [Ecogeochemistry of urban landscapes of Belarus]. Minsk: RUE «Minsktipproekt»; 2004. 260 p. Russian.

6. Sayet YE, et al. *Geokhimiya okruzhayushchey sredy* [Geochemistry of the environment]. Moscow: Nedra; 1990. 335 p. Russian.

7. *Sostoyaniye prirodnoy sredy Belarusi.* V: Loginov VF, redaktor. *Ekologicheskiy byulleten' 2000–2012 g.* [State of the Natural Environment of Belarus. In: Loginov VF, editor. Environmental Bulletin 2000–2012. Minsk: RUE «Minsktipproekt»; 2001–2013. Russian.

8. Golovaty SE. *Tyazhelyye metally v agroekosistemakh* [Heavy metals in agroecosystems]. Minsk: Institute of Soil Science and Agrochemistry; 2002. 240 p. Russian.

9. Orlov DS. Sadovnikova LK, Sukhanova NI. *Khimiya pochv* [Soil chemistry]. Moscow: Higher School; 2005. 558 p. Russian.

10. Bogdevich IM, Lapa VV, Smeyan NI, et al. *Krupnomasshtabnoye agrokhimicheskoye i radiologicheskoye obsledovaniye pochv sel'skokhozyaystvennykh ugodiy Belarusi* [Large-scale agrochemical and radiological survey of soils on agricultural lands in Belarus: guidelines]. Minsk: BIT Khata; 2006. 64 p. Russian.

11. Yurk VM, Zaitsev OB, Zaitseva AV. *Osnovnyye predposylki utilizatsii stroitel'nykh otkhodov sovmestno s zagryaznennymi pochvami (gruntami)* [Basic prerequisites for the disposal of construction waste together with contaminated soils]. *Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Applied ecology. Urbanism.* 2020;1(37):68–84. Russian.

12. Golovaty SE, Samusik EA, Savchenko SV. *Formirovaniye pedogeokhimicheskikh anomaliy v zonakh vozdeystviya promyshlennykh predpriyatiy* [Formation of pedogeochemical anomalies in zones of influence of industrial enterprises]. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2018;3:94–104. Russian.

13. Kakareka SV, et al. *Vybrosy tyazhelykh metallov v atmosferu: opyt otsenki udel'nykh pokazateley* [Emissions of heavy metals into the atmosphere: experience in assessing specific indicators]. Minsk: Institute of Geological Sciences of the Academy of Sciences of Belarus; 1998. 156 p. Russian.

14. Ryzhikov VA. *Vliyaniye primeneniya protivogololednykh soley na pridorozhnyy landshaft* [The influence of the use of de-icing salts on the roadside landscape. In: Collection of works of young scientists of the National Academy of Sciences of Belarus. Volume 2. Minsk: IP Loginov; 2004. p. 299–303. Russian.

15. Barsukov PA, Rusalimova OA. *Vliyaniye protivogololednykh reagentov na svoystva pochv pridorozhnykh gazonov g. Novosibirska* [The influence of de-icing reagents on the properties of soils on roadside lawns in Novosibirsk]. *Soils and Environment*. 2024;7(2):265. Russian.

16. Lapa VV, et al. *Pochvy Respubliki Belarus'* [Soils of the Republic of Belarus]. Minsk: Information Computing Center of the Ministry of Finance; 2019. 631 p. Russian.

17. Kiryushin VI, Ivanov AL. *Ekologicheskiye aspekty primeneniya udobreniy v intensivnom zemledelii* [Environmental aspects of the use of fertilizers in intensive agriculture]. *Soil science*. 2021;4:45–58. Russian.

Статья поступила в редколлегию 11.07.2026.
Received by editorial board 11.07.2026.