



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2026. Т. 26, вып. 2. С. 85–93
Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 2026, vol. 26, iss. 2, pp. 85–93
<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2026-26-2-85-93>, EDN: FIQGSA

Научная статья
УДК 550.4.02(470.325)



Эколого-геохимическая характеристика почв и грунтов зеленых насаждений г. Белгорода

А. Г. Корнилов¹✉, П. В. Голусов¹, К.-Б. Морабандза¹, С. Н. Колмыков²

¹Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85

²Белгородский юридический институт МВД России имени И. Д. Путилина, Россия, 308024, г. Белгород, ул. Горького, д. 71

Корнилов Андрей Геннадьевич, доктор географических наук, заведующий кафедрой географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности, kornilov@bsuedu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7962-0274>

Голусов Павел Вячеславович, доктор географических наук, профессор кафедры природопользования и земельного кадастра, goleusov@bsuedu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9882-8142>

Морабандза Куму-Буйа, ассистент кафедры природопользования и земельного кадастра, kumumorabandza@gmail.com

Колмыков Сергей Николаевич, кандидат географических наук, доцент кафедры тактико-специальной подготовки, snkolmykov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7962-0274>

Аннотация. В г. Белгороде характер функционирования источников загрязнения окружающей среды и связанных с ними геохимических потоков, подчиняется общим закономерностям, вместе с тем, для данного города имеются и определенные физико-географические и геоэкологические особенности, что определяет научную актуальность изучения загрязнения почв и грунтов, а также прикладное значение для г. Белгорода. Для выявления закономерностей распределения загрязняющих веществ по территории города было проведено попарное сопоставление (корреляционный анализ) макро- и микроэлементных показателей проб почв и грунтов. Дополнительно был проведен корреляционный анализ для выборки пунктов наблюдения, сохранивших естественный (квазиестественный) почвенный слой (10 пунктов из 20 обследованных).

Проведенное исследование геохимической обстановки г. Белгорода выявило сложную, мозаичную картину распределения химических элементов в почвах и грунтах, что характерно для урбанизированных территорий. Основными факторами, определяющими эту картину, являются литогенная основа (песчаные, суглинистые и «обогащенные карбонатами кальция» породы) и интенсивная антропогенная физическая трансформация почвенного покрова, на которые накладываются атмо- и гидрохимические трансформации. Основными источниками загрязнения являются автотранспорт и хозяйственная деятельность, приводящая к физическому нарушению почв.

Ключевые слова: геохимия, антропогенное воздействие, почвенный слой, корреляционный анализ, техногенное загрязнение

Для цитирования: Корнилов А. Г., Голусов П. В., Морабандза К.-Б., Колмыков С. Н. Эколого-геохимическая характеристика почв и грунтов зеленых насаждений г. Белгорода // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2026. Т. 26, вып. 2. С. 85–93. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2026-26-2-85-93>, EDN: FIQGSA

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

Article

Ecological and geochemical characteristics of soils and ground substrates of green spaces in the city of Belgorod

A. G. Kornilov¹✉, P. V. Goleusov¹, Morabandza K.-B.¹, S. N. Kolmykov²

¹Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod 308015, Russia

²Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia named after I. D. Putilin, 71 Gorky St., Belgorod 308024, Russia

Andrey G. Kornilov, kornilov@bsuedu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7962-0274>

Pavel V. Goleusov, goleusov@bsuedu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9882-8142>

Morabandza Kumu-Buya, kumumorabandza@gmail.com

Sergey N. Kolmykov, snkolmykov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7962-0274>

Abstract. In Belgorod, the nature of environmental pollution sources and associated geochemical flows obeys general patterns. However, the city also has specific natural and climatic characteristics, which determine the scientific relevance of studying soil and ground pollution, as well as its practical significance for Belgorod. To identify patterns in the distribution of pollutants across the city, a pairwise comparison (correlation analysis) of macro- and microelement parameters of soil and ground samples was conducted. Additionally, a correlation analysis was carried out for a sample of observation points that retained a natural (quasi-natural) soil layer (10 out of 20 surveyed points).

The conducted study of the geochemical conditions of Belgorod revealed a complex, mosaic pattern of chemical element distribution in soils and grounds, which is typical for urbanized areas. The main factors determining this pattern are the lithogenic base (sandy, loamy, and carbonate rocks) and intensive anthropogenic transformation of the soil cover. The main sources of pollution are motor vehicles and economic activities leading to physical disturbance of the soil.

Keywords: geochemistry, anthropogenic impact, soil layer, correlation analysis, technogenic pollution



For citation: Kornilov A. G., Goleusov P. V., Morabandza K.-B., Kolmykov S. N. Ecological and geochemical characteristics of soils and ground substrates of green spaces in the city of Belgorod. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2026, vol. 26, iss. 2, pp. 85–93 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2026-26-2-85-93>, EDN: FIQGSA

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

Введение

Хозяйственная деятельность человека постоянно и неизменно приводит к нарушению естественного круговорота химических элементов в окружающей среде. Наиболее выраженные геохимические аномалии чаще всего наблюдаются на территориях ведения интенсивного сельского хозяйства и в еще большей степени на территориях селитебно-промышленного освоения [1, 2]. В последнем случае спонтанное расположение промышленных зон, жилого сектора и объектов транспортной инфраструктуры приводит к весьма мозаичному характеру распределения зон геохимических аномалий [3–5]. Пространственные закономерности распределения ареалов выпадения и накопления выбросов загрязняющих веществ, несомненно, в значительной мере прослеживаются, но в силу сочетания многочисленных факторов, трансформирующих геохимические потоки, общая картина геохимической ситуации городских территорий часто напоминает «лоскутное одеяло» [6].

На территории крупных промышленных центров России существует достаточно обширная практика мониторинговых и научных исследований геохимической ситуации в отношении почв и грунтов [7, 8]. В Белгородской области объектом пристального внимания при изучении геохимической обстановки чаще всего является Старооскольско-Губкинский горнопромышленный район в связи с деятельностью там крупных горнопромышленных предприятий (АО «Лебединский ГОК», АО «Стойленский ГОК», АО «Комбинат КМАруда») [9]. В г. Белгороде формально характер функционирования источников загрязнения окружающей среды (промышленные предприятия, транспорт) и связанных с ними геохимических потоков имеет множество аналогов, вместе с тем для данного города имеются и определенные природно-климатические особенности (умеренное количество осадков, меловые грунты, фильтрационные особенности черноземов, большая доля запечатанных почв и т. п.), что определяет научную актуальность изучения загрязнения почв и грунтов, а также прикладное значение для г. Белгорода.

Материал и методика исследований

Отбор проб проводился на 20 учетных площадках, относящихся к разным функциональным зонам города. На каждой площадке производился отбор объединенной пробы поверхностного слоя 0–20 см методом «конверта» и пробы с глубины 90–100 см для оценки состояния почвообразующей породы/культурного слоя. Бурение производили ручным буром Эдельмана. Для поверхностного слоя и в скважинах проводился анализ наличия карбонатов по реакции «вскипания» с 10%-ным раствором соляной кислоты. Такой способ отбора проб позволил, с одной стороны, выявить особенности химического состава поверхностных образований, обеспечивающих биологический круговорот и участвующих в актуальных эколого-геохимических процессах, в том числе вторичного загрязнения воздуха. С другой стороны, химический состав нижних горизонтов позволил оценить «историческое» состояние городских культурных слоев и ландшафтно-геохимические особенности участков.

Химический анализ образцов проводили рентгенофлуоресцентным методом на приборе «СПЕКТРОСКАН-МАКС GV» по методике М-049-П/16¹.

Из 20 поверхностных образований 4 представлены урбаноземами, 4 – вариантами лесных почв, 3 – черноземами выщелоченными, 3 – гумусированными трансплантами, 3 – техногенными поверхностными образованиями, 1 – чернозёмом типичным (деградированным под лесом), 1 – стратозём, 1 – новообразованная дерновая почва, т. е. 7 разновидностей – это квазиприродные почвы, 13 – антропогенные почвы и техногенные поверхностные образования. В целом для городских зеленых насаждений распространенной является ситуация их формирования на рекультивированных трансплантами поверхностях, сформированных культурными слоями или техногенными поверхностными образованиями (ТПО). Разница между ними заключается в скорости образования: культурные слои формируются постепенно, параллельно процессам почвообразования, а ТПО – быстро, в ходе строительных и планировочных работ, при проведении благоустройства территорий. Обращает на себя внимание карбонатность многих почв, сформированная вследствие выпадения из атмосферы пылевых выбросов предприятий

¹М-049-П/16. Методика измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв рентгенофлуоресцентным методом : свидетельство об аттестации методики (метода измерений) № 789/242-(01.00250)-2016. Санкт-Петербург : ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, 2016. 18 с. Изготовитель прибора и разработчик методики «НПО «Спектрон»» (Санкт-Петербург).



стройиндустрии. Кроме того, карбонатными являются все урбогенные горизонты и слои ТПО. Таким образом, геохимическая специфика исследованных поверхностных образований определяется формированием кальциевых техногенных аномалий, как правило, неблагоприятно влияющих на рост и развитие зеленых насаждений.

Для каждого пункта обследования проводилась экспертная оценка уровня антропогенной нагрузки, складывающаяся исходя из масштабов рядом расположенных объектов влияния и расстояния до этих объектов (в баллах от 0 до 5), что отражено в таблице.

Расположение точек обследования представлено на рис. 1.

Выявление групп поверхностных образований по химическим свойствам проводили посредством кластерного анализа, с использованием Евклидова расстояния, методом Уорда в программном пакете Statistica. Учитывая разную размерность (% , ppm) и разрядность, данные были разделены на две группы: «макроэлементы» (содержанием более 0.1%: Si, Al, Fe, Na, Ca, Mg, K, P, Ti) и «микроэлементы» (содержанием менее 0.1%: Mn, S, Ba, Zr, Sr, Zn, V, Rb, Cr, Ni, Pb, Cu, Cl, Co, As), а затем – стандартизированы в долях

стандартного отклонения выборки. Мера различий объектов – Евклидово расстояние.

Для выявления геохимических ассоциаций химических элементов в исследованных объектах было проведено попарное сопоставление (корреляционный анализ) макро- и микроэлементных показателей проб почв и грунтов с использованием программы MS Excel. Для выборки из 20 пунктов отбора почв и грунтов критическое значение коэффициента корреляции, определяющее достоверность результата, $r = \pm 0.444$ при $p = 0.05$ ($r = \pm 0.561$ при 1%-ном уровне значимости), поэтому в дальнейших рассуждениях результаты с $r < 0.44$ не рассматривались. Дополнительно был проведен корреляционный анализ для выборки пунктов наблюдения, сохранивших естественный (квазиестественный) почвенный слой (10 пунктов из 20 обследованных), в этом случае критическое значение коэффициента корреляции составляет $r = \pm 0.632$ при $p = 0.05$ ($r = \pm 0.765$ при 1%-ном уровне значимости) [11].

Результаты и их обсуждение

Состав макроэлементов в образцах грунтов отражает их минералогические характеристики, прежде всего, по соотношению Si и Al+Fe, но так

Экспертная оценка экологического состояния пунктов отбора проб

№ пункта отбора проб	Наименование микрорайона	Тип местности	Почва	Экспертная оценка, баллы
1	Сосновка	Лес	Песчаная	2
2	Гринёвка	Луг	Постагrogenная серая	5
3	Архиерейская роща	Лес, дно оврага	Темно-серая лесная	4
4	Урочище Оскочное	Лес	Темно-серая лесная	3
5	Урочище Жулино	Лес	Темно-серая лесная	3
6	Ботанический сад	Луг	Чернозем выщелоченный	3
7	Ботанический сад	Лес	Чернозем типичный	3
8	Ботанический сад	Лесопосадка	Чернозем выщелоченный, глинистый	3
9	Лесополоса в ю-з районе	Лес	Чернозем выщелоченный	4
10	Микрорайон Новая Жизнь	Луг (пустырь)	Привозной грунт	4
11	Горбольница № 2	Газон	Привозной грунт	4
12	Микрорайон Новая Жизнь	Лесопосадка вдоль ж/д	Почва на делювиальных отложениях (страгозем тёмногумусовый, карбонатный)	5
13	Парк Победы	Парк	Тёмногумусовая супесчаная	5
14	Двор по ул. Щорса	Дворовые газоны	Урбозём	5
15	Сквер за Диорамой	Парк	Реплантозём на строительном мусоре	5
16	Аллея по ул. Щорса	Газон	Реплантозём на строительном мусоре	5
17	Двор по ул. Гагарина	Дворовые газоны	Урбозём	7
18	Двор по ул. Б. Хмельницкого	Дворовые газоны	Урбозём	8
19	Аллея у перекрестка ул. Б. Хмельницкого с ул. Гагарина	Газон	Техногенный грунт	8
20	Сквер у завода Энергомаш	Газон	Реплантозём	9

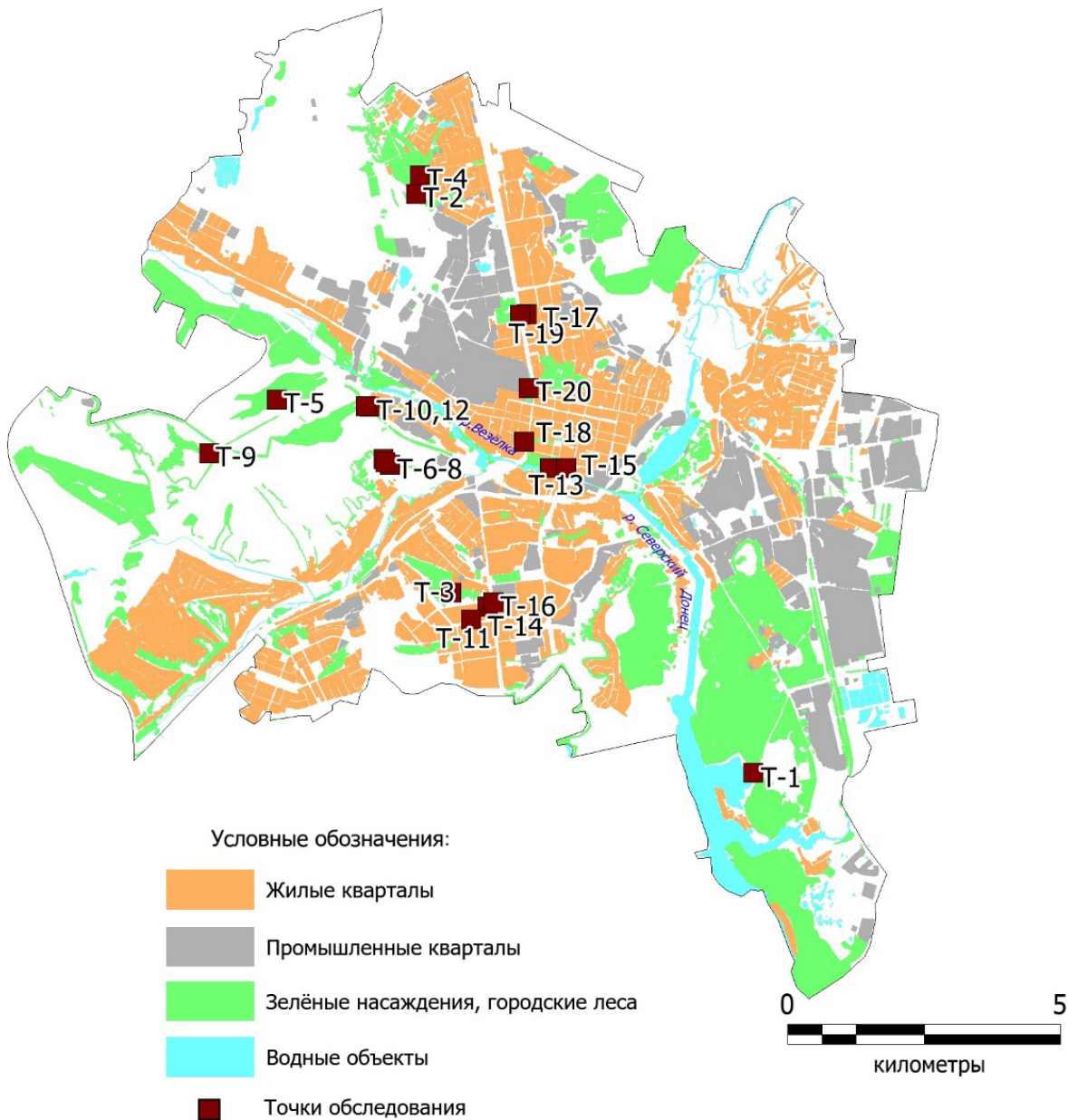


Рис. 1. Расположение точек обследования поверхностных образований г. Белгорода (цвет онлайн)

как образцы отбирались на разных глубинах, то и совпадения группировок объектов в кластерном анализе нет (рис. 2).

Это связано с особенностями формирования городских поверхностных образований: «опесчанивание» верхнего горизонта вследствие эолового и делювиального поступления материала, механического переформирования, периодического ремонта поверхности с отсыпкой литологически иного, по сравнению с фоновым, материала. Так, кластер «Песчаные» имеет профильную общность только по объекту Т1 – песчаная почва в лесном массиве «Сосновка», в остальных объектах литологическая принадлежность была изменена.

Особенности минералогического состава имеют первостепенное значение и для содержания микроэлементов, группировка этих поверхностных образований сохраняется (рис. 3). Однако структура кластера суглинистых грунтов по микроэлементам отличается от таковой для макроэлементов, что связано в том числе и с техногенезом.

В частности, обособлена группа реплантозёмов (Т-15, 16, 19, 20), устойчивую группу формируют почвы Ботанического сада. Их, кстати, целесообразно использовать как фоновые для оценки суглинистых поверхностных образований города.

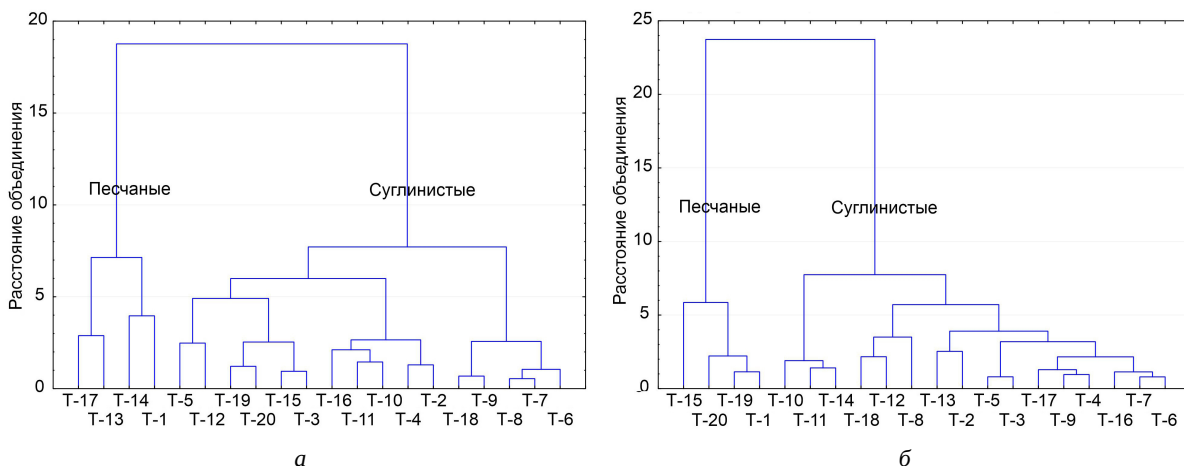


Рис. 2. Классификация образцов по содержанию макроэлементов: а – в слое 0–20 см, б – в слое 90–100 см

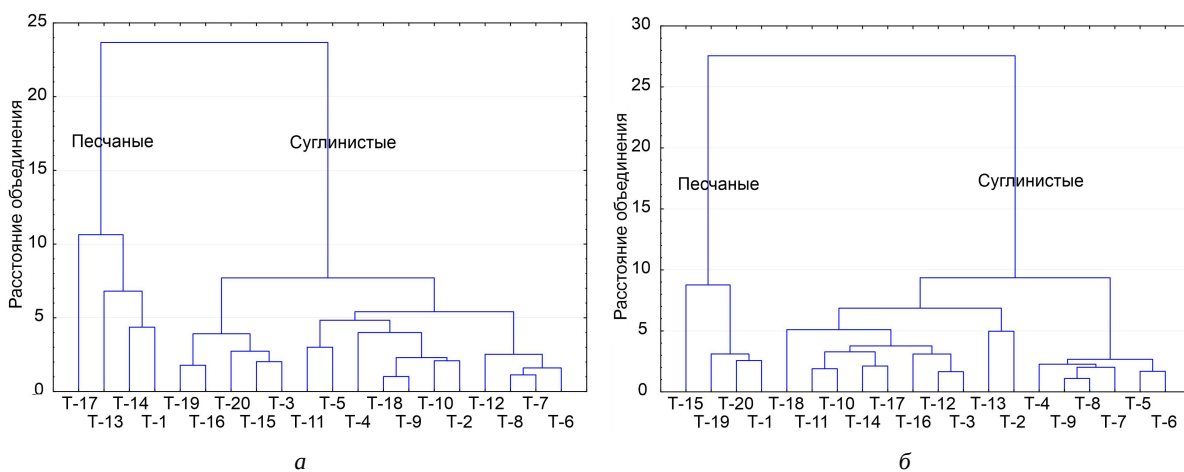


Рис. 3. Классификация образцов по содержанию микроэлементов: а – в слое 0–20 см, б – в слое 90–100 см

Результаты попарного сопоставления (корреляционный анализ) макро- и микроэлементных показателей проб почв и грунтов отражают группировку образцов грунта и, соответственно, геохимических ассоциаций с повышенным содержанием силикатов (песчаные, супесчаные грунты), оксидов алюминия и железа (суглинки) и соединений кальция (почвы с повышенным содержанием карбонатов кальция).

При этом содержание силикатов в пробах верхнего горизонта и нижнего горизонта (далее – в.г. и н.г. соответственно) имеет более или менее тесную отрицательную связь с содержанием большинства иных анализируемых компонентов, характерных для иных типов почв: алюминий ($r = -0.88$ и -0.84), железо (-0.91 и -0.88), магний (-0.93 и -0.90), калий (-0.69 и -0.82), фосфор (-0.53 для в.г.), титан (-0.77 и -0.79), барий (-0.58 и -0.82), цирконий (-0.54 и -0.63), стронций (-0.70 и -0.76), ванадий (-0.84 и -0.84), рубидий (-0.77 и -0.84), хром (-0.57 и -0.84), никель (-0.90 и -0.86), медь (-0.87 и -0.87), мышьяк (-0.58 и -0.62). Умеренная положительная

связь выявлена только в отношении с кобальтом (0.51 для в.г.). Для выборки из 10 пунктов с сохранившимся почвенным покровом ситуация аналогичная, но дополнительно проявляется отрицательная связь оксида кремния с натрием (-0.55 и -0.55), кальцием (-0.51 и -0.56), серой (-0.82 для в.г.), усиливается – с фосфором для в.г. (-0.77), с цинком (-0.69 и -0.90), хромом (до -0.66 и -0.97), мышьяком (до -0.77 и -0.85). Немного усиливается положительная связь с кобальтом (до 0.60 для в.г.).

Что касается глиноземных компонентов, то содержание оксида алюминия имеет более или менее тесную связь с железом (0.99 и 0.98), натрием (0.64 для в.г.), магнием (0.94 и 0.92), калием (0.77 и 0.90), титаном (0.91 и 0.94), марганцем (0.68 для в.г.), барием (0.62 и 0.94), цирконием (0.63 и 0.74), стронцием (0.59 и 0.51), цинком (0.87 для н.г.), ванадием (0.97 и 0.98), рубидием (0.95 и 0.96), хромом (0.70 и 0.93), никелем (0.98 и 0.96), медью (0.98 и 0.98), мышьяком (0.70 и 0.75). Отрицательную связь имеют соединения алюминия с кремнием (см. выше), хлором (-0.60



для н.г.), кобальтом (-0.50 для в.г.). Для выборки почвенных проб усиливается отрицательная связь с кремнеземом (до -0.92 и -0.94), сохраняются тесные связи с железом (0.99 и 0.98), магнием (0.96 и 0.93), калием (0.76 и 0.79), титаном (0.87 и 0.84), барием (0.76 и 0.84), цинком (0.75 и 0.90), ванадием (0.97 и 0.98), рубидием (0.93 и 0.91), хромом (0.74 и 0.96), никелем (1.00 и 0.95), медью (0.99 и 0.95), мышьяком (0.72 и 0.75). Появляется умеренная связь с натрием (0.75 и 0.55), фосфором (0.66 для в.г.), серой (0.66 для в.г.), стронцием (0.67 и 0.73), свинцом (0.63 для в.г.). Уменьшается теснота связи с марганцем (0.54 для в.г.), цирконием (0.57 , 0.58). Для обеих совокупностей (полной и выборочной) отсутствует связь глинозёма с оксидом кальция, фосфором для н.г., марганцем для н.г., серой для н.г., хлором для в.г. Связь оксида алюминия с кобальтом незначительна (и большей частью не значима), причем разнонаправлена: для полной совокупности проб (-0.50 для в.г.), для почвенной выборки (0.53 для н.г.).

Для «произвесткованных» грунтов (как таковых известковых и меловых грунтов в составе пунктов обследования не выявлено, но есть многочисленные образцы, захлапанные строительным материалом, а расчетная массовая доля карбонатного компонента в почвах-грунтах составляет до 10.7% для в.г. и 9.8% для н.г.; для сохранившихся почв повышенное содержание карбоната кальция характерно для почв на мелах) – показатели оксида кальция коррелируют с кремнием (-0.58 для н.г.), фосфором (0.56 для в.г.), серой (0.61 для в.г.), стронцием (0.72 и 0.70), цинком (0.59 для в.г.), свинцом (0.53 для в.г.), слабая отрицательная связь с кобальтом (-0.44 для н.г.). Для почвенной выборки сохраняется умеренная (и не значимая) отрицательная связь с оксидом кремния (-0.51 и -0.56), появляется тесная связь с кобальтом (-0.72 для в.г.). Наблюдается умеренная связь кальция с цирконием (0.63 и 0.54), стронцием (0.77 для в.г.), цинком (0.57 для в.г.), хромом (0.58 для в.г.), мышьяком (0.68 и 0.63).

Предположительно низкие коэффициенты корреляции силикатов с загрязняющими веществами могут быть обусловлены как незначительными адсорбирующими свойствами песчаных грунтов, так и двойственной природой оксидов кремния, в значительной мере присутствующих не только в песчаных породах в виде кварцитов, но и в глиноземах, хотя и в составе иных химических соединений (алюмосиликатов).

Высокие коэффициенты корреляции оксида алюминия с некоторыми загрязняющими веществами могут говорить как о значительных адсорбционных способностях глины, так и о естественном (фоновом) содержании этих элементов в этом минерале. Так, для почв Белгородской области характерен определенный естественный фон по мышьяку, меди, марганцу и др.

В отношении загрязнения почв и грунтов свинцом и цинком можно отметить одну точку в жилом дворе с аномально высоким содержанием этих компонентов (кратно превышающим уровень загрязнения в других пунктах), видимо, вследствие загрязнения этого пункта автохламом (Т-17; рис. 4). Для выявления закономерностей распространения этих поллютантов без учета этой аномалии был проведен корреляционный анализ выборки с корректировкой значений содержания цинка и свинца в данном пункте до среднежидаемых значений.

В исходной выборке высокий уровень корреляции свинца с цинком в верхних слоях (0.96) говорит об общем источнике поступления этих загрязняющих веществ в почвы (предположительно аэрозоли от автотранспорта, места складирования во дворах автохлама), а в нижнем горизонте данная связь отсутствует вследствие различий геохимических свойств этих металлов. Кроме того, свинец взаимосвязан с натрием (-0.49 для в.г.), кальцием (0.53 для в.г.), фосфором (0.62 и 0.63), серой (0.81 и 0.66), хлором (0.65 и 0.59), кобальтом (0.50 для н.г.). С учетом выявленных взаимных корреляций свинец, цинк, фосфор, сера, хлор, отчасти кальций, формируют в в.г. обособленную группу умеренно или сильно связанных поллютантов (за редким исключением, например пары фосфор-цинк с отсутствующей связью).

В адаптированной выборке для верхнего горизонта сохраняется связь для цинка и оксида кальция (0.59), фосфора (0.55), значительно уменьшается связь с серой (с 0.70 до 0.54) и хлором (с 0.55 до незначимых величин), видимо, вследствие повышенного содержания в автохламе следов серной кислоты и соединений хлора; значительно снижается связь цинка и свинца (с 0.96 до 0.63); появляется умеренная связь цинка с компонентами глиноземной композиции: оксидом алюминия (0.48), оксидом калия (0.69), титаном (0.62), марганцем (0.48), барием (0.66), цирконием (0.57), стронцием (0.85), медью (0.56). Видимо, это обусловлено двойственным характером вклада цинка в почвы: фоновое содержание в глинах и суглинках и выпадение атмосферических потоков от автотранспорта. Снижается связь свинца с кальцием (с 0.53 до 0.40), натрием (с -0.49 до незначимых величин), усилилась связь свинца с фосфором (с 0.62 до 0.78), серой (с 0.81 до 0.86), сохранилась связь с хлором (0.63), обозначилась слабая связь уровнем экспертной оценки антропогенной нагрузки (0.46).

В целом натрий имеет более или менее умеренную тесноту связи с такими компонентами глинистых минералов и их спутниками, как алюминий, железо, магний, калий, титан, марганец, цирконий, ванадий, мышьяк (от 0.53 до 0.79) для в.г., а для н.г. сохраняется умеренная теснота связи только для мышьяка (0.63) и циркония (0.59). Это может свидетельствовать о существенной

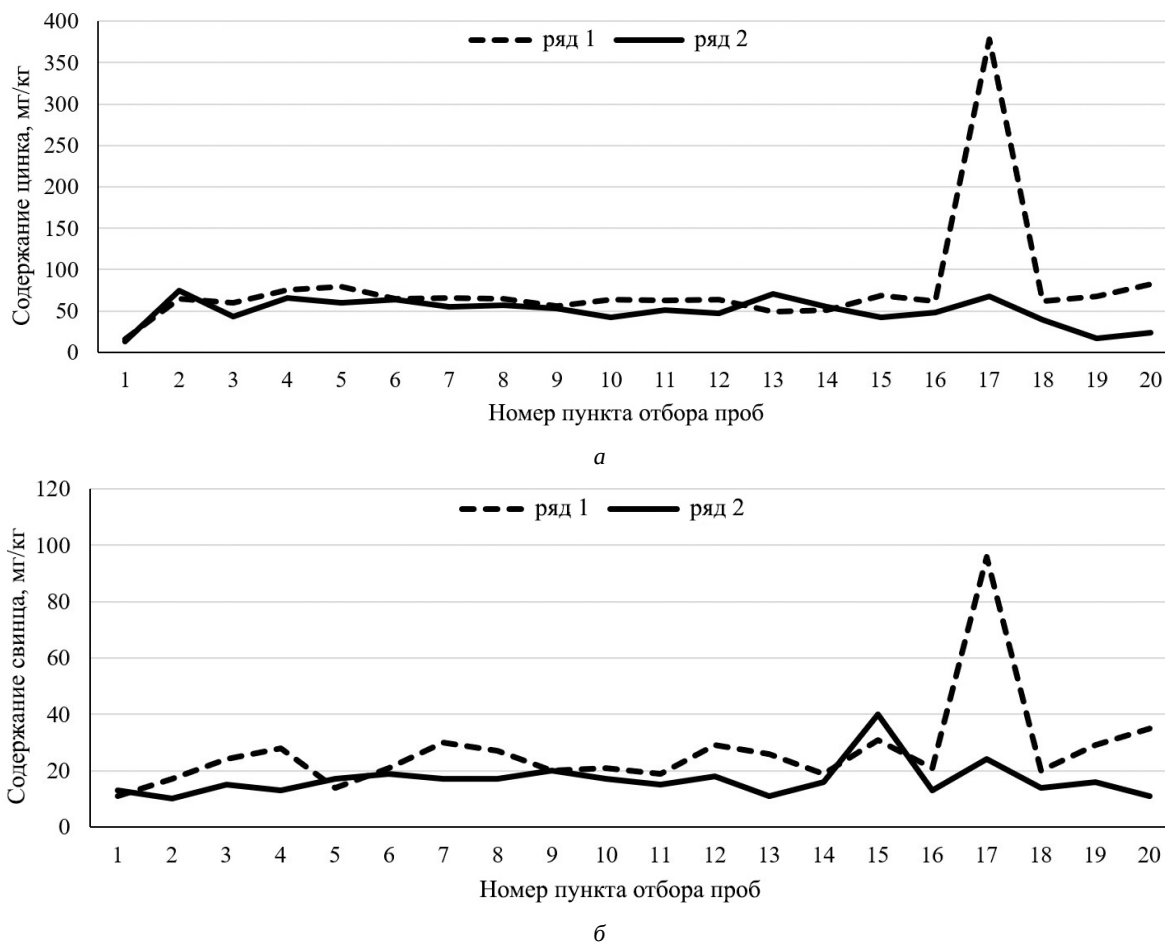


Рис. 4. Содержание цинка (а) и свинца (б) на учетных площадках, мг/кг (ppm): ряд 1 – верхний горизонт, ряд 2 – нижний горизонт

доле фонового присутствия этих элементов в составе его общего (валового) содержания. Кроме того, умеренная отрицательная связь показателей натрия и хлора (-0.61) не подтверждает (но и не опровергает) гипотезы повышенной засоленности почв города вследствие использования хлорида натрия как антиобледенителя зимой. С одной стороны, повышенное содержание хлора наблюдается именно на дворовых территориях и площадях и аллеях с большим присутствием посетителей, где, естественно, применяются антиобледенители, с другой стороны, современные антиобледенители часто содержат не хлорид натрия, а хлориды кальция и магния. В выборке только почвенных образцов связь показателей содержания натрия и показателей компонентов, характерных для глин, значительно увеличивается и, напротив, отсутствует связь натрия с кальцием, фосфором, серой, свинцом, хлором.

Техногенный характер значительного количества образцов почво-грунтов для полной совокупности обследованных участков обуславливает отсутствие тесной связи для показателей содержания большинства изучаемых компонентов в верх-

нем и нижнем горизонтах. Слабая связь выявлена при сопоставлении этих величин лишь для циркония (0.46), ванадия (0.49), хлора (0.49), кобальта (0.44), мышьяка (0.46). Напротив, для выборки из 10 почвенных образцов в группе показателей, связанных с глинистым субстратом, наблюдается достаточно тесная связь между показателями содержания одного и того же компонента в верхнем и нижнем горизонтах: оксид алюминия (0.82), оксид железа (0.77), оксид калия (0.96), оксид титана (0.91), барий (0.89), цирконий (0.64), стронций (0.70), цинк (0.86), ванадий (0.91), рубидий (0.95), хром (0.82), никель (0.75), медь (0.78), мышьяк (0.76), магний (0.53). Для иных компонентов в почвенных образцах также прослеживается более или менее тесная связь: оксид кремния (0.75), сера (0.59), отсутствует связь для натрия, кальция, фосфора, марганца, свинца, хлора и кобальта. Выявленные тенденции позволяют предположить, что для хлора, свинца, отчасти и кобальта ведущим источником поступления в почво-грунты является загрязнение окружающей среды.

В общей совокупности площадок опробования кроме глиноземной ассоциации наблюдает-



ся более или менее плотная ассоциация сера-кальций-фосфор-цинк-свинец-хлор, в почвенной выборке у серы, преимущественно в в.г., возникает слабая связь с компонентами глинистого комплекса, а с кальцием связь пропадает, что, наряду с биофильным характером серы, может объясняться и определенным атмосферическим выпадением оксидов серы и сульфатов.

Повышенной теснотой связи в составе глиноземного комплекса характеризуется группа магний-ванадий-рубидий-никель-медь (от 0.87 до 0.94), в этой же группе барий, хром и мышьяк с несколько меньшей теснотой связи (0.70), накапливающиеся больше в н.г. по сравнению с в.г., что косвенно свидетельствует о несущественном вкладе современных производственно-транспортных процессов в загрязнение окружающей среды в г. Белгороде этими поллютантами.

В большей степени накапливаются в в.г. такие вещества, как цинк, свинец, сера, фосфор, стронций (в половине проб), что для серы и фосфора может происходить вследствие их биогеогенного накопления, а для тяжелых металлов – как вследствие биофильного характера этих загрязняющих веществ, так и вследствие их более или менее регулярного выпадения из атмосферы (цинк и свинец – от автотранспорта, стронций – на участках влияния строительной отрасли).

С учетом фактора «удаленности» пробных площадок от крупных промышленных предприятий и крупных автомагистралей была проведена экспертная оценка уровней антропогенной нагрузки на этих территориях. Сопоставление уровней накопления загрязняющих веществ с экспертными оценками по большинству загрязняющих веществ не выявило какой-либо тесной связи. Слабое взаимодействие, иногда даже чуть ниже критических значений достоверности (0.44), выявлено в отношении фосфатов (0.42), цинка (0.39), свинца (0.46), кобальта (0.56). Видимо, вследствие высокой степени нарушенности почв на площадках с высоким уровнем антропогенной нагрузки (большое присутствие насыпных грунтов, строительного мусора), выявлена на первый взгляд парадоксальная отрицательная очень слабая зависимость показателей уровня антропогенной нагрузки с показателями некоторых компонентов из группы глинозема: оксид алюминия (–0.40 для в.г.), титан (–0.46 для в.г.), марганец (–0.44 для н.г.), барий (–0.44 для н.г.), ванадий (–0.36 для н.г.), медь (–0.39 для н.г.).

Заключение

Исследование геохимической обстановки г. Белгорода выявило мозаичную, сложную картину распределения химических элементов в грунтах и почвах, что особенно характерно для урбанизированных территорий. Основными факторами, определяющими эту картину, являются литогенная основа (песчаные и суглинистые

породы, грунты, обогащенные карбонатным материалом), а также интенсивная антропогенная трансформация почвенного покрова.

Проведенными исследованиями установлено, что естественные геохимические ассоциации (кальциевая, силикатная и глиноземная) сохраняют свое влияние на распределение как макро-, так и микроэлементов. При этом глиноземная ассоциация демонстрирует тесные связи с широким спектром элементов (Fe, Mg, K, Ti, V, Rb, Ni, Cu, As), что обусловлено как высокими сорбционными свойствами глинистых минералов, так и их естественным фоновым содержанием. Напротив, песчаные грунты (силикатная ассоциация) характеризуются отрицательными корреляциями с большинством изучаемых элементов из-за их низкой сорбционной способности.

Авторами выявлены признаки техногенного загрязнения на территории г. Белгорода. Об этом свидетельствует формирование специфической ассоциации элементов (S, P, Zn, Pb, Cl), связанной, в первую очередь, с автотранспортом (Zn, Pb) и использованием противогололедных реагентов (Cl, S, Ca). Аномальное содержание цинка и свинца на одной из точек указывает на локальные источники загрязнения, такие как автохлам. Отсутствие четкой связи между экспертными оценками уровня антропогенной нагрузки и содержанием большинства загрязняющих веществ объясняется сильной нарушенностью почвенного покрова в урбанизированной среде (насыпные грунты, строительный мусор), что маскирует прямые зависимости.

Сравнение верхнего и нижнего горизонтов проб показало, что для нарушенных урбаноэмов связь между горизонтами ослаблена, в то время как на участках с сохранившимися естественными почвами она остается тесной для элементов глиноземного комплекса. Это подтверждает, что такие элементы, как хлор, свинец и отчасти кобальт, имеют преимущественно техногенное происхождение в городских условиях.

Подводя итог рассмотрению свойств поверхностных образований г. Белгорода, отметим высокую степень их антропогенной преобразованности в районах многоэтажной застройки и вблизи крупных автомагистралей. В меньшей степени преобразованы почвы лесных массивов и Ботанического сада. Ряд скверов и аллей также в качестве поверхностных образований имеют ТПО, в которых верхний слой представляет собой отсыпанный при благоустройстве (иногда неоднократно) плодородный слой почвы, который улучшает геохимическую ситуацию, характерную для погребенных слоев.

Таким образом, современная геохимическая ситуация в г. Белгороде определяется сочетанием природных факторов и разнонаправленных антропогенных воздействий, ведущих к формированию сложного и неоднородного поля концентраций химических элементов. Основными источниками



загрязнения являются автотранспорт и антропогенная деятельность, сопровождающаяся физическим нарушением почв.

Библиографический список

1. Чендев Ю. Г. Геохимия окружающей среды. М. : Юрайт, 2025. 146 с.
2. Мачулина Н. Ю. Геохимия окружающей среды. Ухта : УГТУ, 2015. 154 с.
3. Макаров В. З., Неврюев А. М., Суркова Д. Е., Шарипова Е. М. Детские игровые площадки Саратова: анализ эколого-геохимической ситуации // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле. 2024. Т. 24, вып. 3. С. 159–166. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-3-159-166>, EDN: DHOVNO
4. Макаров В. З., Неврюев А. М. Анализ загрязнения снежного покрова пылью в Кировском районе г. Саратова // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле. 2024. Т. 24, вып. 2. С. 101–106. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-2-101-106>, EDN: ZHAXKL
5. Неврюев А. М., Макаров В. З. Пылевая нагрузка на приземный воздух и уличные дороги в центральной (исторической) части Саратова // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия : Науки о Земле. 2022. Т. 22, вып. 2. С. 88–93. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2022-22-2-88-93>, EDN: KKYBDN
6. Саит Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П. Геохимия окружающей среды. М. : Недра, 1990. 335 с. EDN: XDXBQN
7. Лукин С. В. Динамика кислотности и проведение химической мелиорации пахотных почв в Белгородской области // Агрохимический вестник. 2016. № 6. С. 2–6. EDN: YFMBQB
8. Лукин С. В. Динамика агроэкологического состояния почв Белгородской области при длительном сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. 2023. № 12. С. 1671–1685. <https://doi.org/10.31857/S0032180X23600890>, EDN: DQWBWW
9. Корнилов А. Г., Петин А. Н., Кичигин Е. В., Присный Ю. А., Колчанов А. Ф., Присный А. В. Современные изменения природных комплексов в Старооскольско-Губкинском промышленном районе Белгородской области // Известия РАН. Серия : Географическая. 2008. № 2. С. 85–92. EDN: IJMTQP
10. Юдин Ф. А. Методика агрохимических исследований. М. : Колос, 1980. 366 с.

Поступила в редакцию 04.02.2026; одобрена после рецензирования 06.03.2026; принята к публикации 12.03.2026; опубликована 01.06.2026

The article was submitted 04.02.2026; approved after reviewing 06.03.2026; accepted for publication 12.03.2026; published 01.06.2026