

ПОЧВОВЕДЕНИЕ

SOIL SCIENCE



УДК 579.222.3

Оригинальное эмпирическое исследование

Валовой химический состав антропогенно-преобразованных почв федеральной территории «Сириус»

Н.В. Сальник^{1,2}  , С.Н. Горбов^{1,2} , Д.И. Бузин¹ , И.П. Лобзенко¹ ¹ Научно-технологический университет «Сириус», Сириус, Российская Федерация² Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация salnik@sfedu.ru

Аннотация

Введение. Антропогенно-преобразованные почвы федеральной территории «Сириус» сформированы в условиях масштабной инженерной планировки, проведённой при подготовке Олимпийских игр 2014 года и последующего градостроительного развития Имеретинской низменности. Поверхностные горизонты этих почв сложены привезённым материалом тёмногумусового горизонта (AU) чернозёма миграционно-сегрегационного, который в условиях влажного субтропического климата подвергается не свойственной чернозёмам трансформации. Цель работы — оценить особенности валового химического состава антропогенно-преобразованных почв ФТ «Сириус» и характер ранней стадии трансформации чернозёмного материала с применением геохимических индексов выветривания и педогенеза.

Материалы и методы. Объекты исследования — антропогенно-преобразованные почвы территорий ФТ «Сириус», функционирующие 10–12 лет. Эталонные объекты — горизонты AU и Cca чернозёма миграционно-сегрегационного. Валовое содержание макроэлементов определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) портативным анализатором «МеталлТест». Для интерпретации применены индексы CIA, Ki, Kr.

Результаты исследования. В рекультивационно-гумусовом горизонте RAT установлено статистически значимое снижение SiO₂ при одновременном повышении Al₂O₃ и Fe₂O₃ по сравнению с генетически однородным горизонтом AU. По CaO, MgO и K₂O значимых различий не выявлено. По всем интегральным коэффициентам и большинству макроэлементов установлены достоверные различия RAT–Cca, что подтверждает существенную трансформацию чернозёмного материала за 10–12 лет.

Обсуждение и заключение. Выявленный сдвиг отражает раннюю стадию субтропического гипергенеза: декарбонатизацию, вынос оснований и относительное накопление полуторных оксидов в условиях промывного водного режима при сохранении карбонатно-щёлочного резерва, наследуемого от исходного чернозёма. Полученные результаты обосновывают необходимость регулярного геохимического мониторинга городских почв ФТ «Сириус» и могут быть использованы при разработке регламентов рекультивации в зонах влажных субтропиков.

Ключевые слова: валовой химический состав, макроэлементы, рекультивационный горизонт, урбопедогенез, антропогенно-преобразованные почвы, индексы выветривания, чернозём, Имеретинская низменность

Финансирование. Результаты получены при финансовой поддержке проекта, реализуемого в рамках государственной программы федеральной территории «Сириус» «Научно-технологическое развитие федеральной территории «Сириус» (Соглашение № 3-03 от 18.02.2025).

Для цитирования. Сальник Н.В., Горбов С.Н., Бузин Д.И., Лобзенко И.П. Валовой химический состав антропогенно-преобразованных почв Федеральной территории «Сириус». *Продовольственная безопасность и биоэкономика*. 2026;1(1):25–32.

Total Chemical Composition of Anthropogenically Transformed Soils of the Sirius Federal Territory

Nadezhda V. Salnik^{1,2} , Sergey N. Gorbov^{1,2} , Daniil I. Buzin¹ , Ilia P. Lobzenko¹ 

¹ Sirius University of Science and Technology, Sirius Federal Territory, Russian Federation

² Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ salnik@sfedu.ru

Abstract

Introduction. Anthropogenically transformed soils of the Sirius Federal Territory were formed following of large-scale engineering levelling carried out during preparation for the 2014 Olympics and subsequent urban development of the Imeretinskaya Lowland. The surface horizons of these soils are composed of imported material from the dark-humus horizon (AU) of Halpic Chernozem, which, under the humid subtropical climate, undergoes transformation atypical of chernozems. The aim of the study is to assess the features of the bulk chemical composition of the anthropogenically transformed soils of the Sirius Federal Territory and the nature of the early stage of transformation of the chernozem material using geochemical indices of weathering and pedogenesis.

Materials and Methods. The study objects are anthropogenically transformed soils of the Sirius Federal Territory that have been functioning for 10–12 years. The reference objects are the AU and Cca horizons of Halpic Chernozem. The bulk content of macroelements was determined by X-ray fluorescence (XRF) analysis using a portable MetallTest analyzer. The CIA, Ki, and Kr indices were used for interpretation.

Research Results. A statistically significant decrease in SiO₂ along with a simultaneous increase in Al₂O₃ and Fe₂O₃ was established in the reclamation–humus horizon RAT compared with the genetically homogeneous AU horizon. No significant differences were detected for CaO, MgO, and K₂O. For all integral coefficients and most macroelements, significant RAT–Cca differences were found, which confirms the substantial transformation of the chernozem material over 10–12 years.

Discussion and Conclusion. The observed shift reflects the early stage of subtropical hypergenesis: decarbonatization, leaching of bases, and relative accumulation of sesquioxides under a leaching water regime, while preserving the carbonate–alkaline reserve inherited from the original Halpic Chernozem. The results obtained substantiate the need for regular geochemical monitoring of urban soils of the Sirius Federal Territory and can be used in the development of reclamation regulations for humid subtropical zones.

Keywords: bulk chemical composition, macroelements, reclamation horizon, urbopedogenesis, anthropogenically transformed soils, weathering indices, Chernozem, Imeretinskaya Lowland

Funding. The results were obtained with the financial support of the project implemented within the framework of the state programme of the Sirius Federal Territory "Scientific and Technological Development of the Sirius Federal Territory" (Agreement No. 3-03 of 18.02.2025).

For citation. Salnik NV, Gorbov SN, Buzin DI, Lobzenko IP. Total Chemical Composition of Anthropogenically Transformed Soils of the Sirius Federal Territory. *Food Security and Bioeconomy*. 2026;1(1):25–32.

Введение. Урбанизация городских территорий неизбежно сопровождается формированием почвенного покрова, существенно отличающегося по своим свойствам от зональных естественных почв. Антропогенно-преобразованные почвы занимают значительную часть городских ландшафтов и характеризуются нарушенной профильной организацией, эклектичным валовым составом и специфическим геохимическим функционированием [1, 2]. Особый интерес представляют территории, на которых процессы урбопедогенеза протекают в нетипичных для исходного почвенного материала климатических условиях, что приводит к ускоренной и нелинейной трансформации почвенной массы.

Федеральная территория «Сириус», расположенная в пределах Имеретинской низменности на побережье Чёрного моря, представляет собой уникальный объект для подобных исследований. Природный почвенный покров этой территории до начала олимпийского строительства 2007–2014 годов был представлен преимущественно аллювиально-болотными и аллювиально-луговыми почвами, формировавшимися в дельте реки Мзымта в условиях полугидроморфного и гидроморфного режимов увлажнения. Зональными почвами прилегающих территорий служат желтозёмы и бурозёмы, типичные для влажных субтропиков Черноморского побережья Кавказа [3–5].

В ходе масштабной инженерной планировки естественный почвенный покров был практически полностью уничтожен или погребён, а на его месте сформированы реплантозёмы, поверхностный горизонт которых сложен привезённым материалом.

Современные исследования антропогенно-преобразованных почв в России активно развиваются благодаря работам Прокофьевой Т.В., Герасимовой М.И., Безугловой О.С., Горбова С.Н., Васенева В.И., Ивашенко К.В. и других [1–2, 6–7]. Применительно к городам Юга России наиболее последовательно изучены почвы Ростовской агломерации, для которой установлены закономерности перераспределения углерода [8, 9], профилей тяжёлых металлов [10] и направленности элементарных почвообразовательных процессов [11]. Однако в отношении городских почв влажных субтропиков Черноморского побережья объём накопленной информации существенно меньше; особенно скудно представлены данные по валовому химическому составу антропогенно-преобразованных почв и его динамике в условиях ФТ «Сириус».

Существующий пробел в научном знании заключается в отсутствии количественной геохимической характеристики начальной стадии трансформации привезённого материала под воздействием влажного субтропического климата, выраженной через систему интегральных индексов выветривания и педогенеза. Решение данной задачи имеет как фундаментальное значение для теории урбопедогенеза, так и прикладное – для разработки регламентов рекультивации и почвенно-экологического мониторинга в новых градостроительных зонах субтропиков.

Цель работы — проанализировать валовое содержание макроэлементов в антропогенно-преобразованных почвах ФТ «Сириус» и охарактеризовать особенности трансформации их минеральной части в условиях урбопедогенеза с применением геохимических индексов выветривания и педогенеза.

Материалы и методы

Объекты исследования. В качестве объекта исследования выступают городские почвы ФТ «Сириус», представленные антропогенно-преобразованными вариациями, сформированными в результате инженерной планировки территории. Поверхностные рекультивационно-гумусовые горизонты (RAT) урбостратоземов сложены привезёнными темногомусовыми горизонтами (AU) чернозема миграционно-сегрегационного, что определяет специфику профильной организации антропогенно-преобразованных почв в общем и валового состава, в частности.

Климатические условия района исследования. Федеральная территория «Сириус» расположена в зоне влажного субтропического климата (Cfa по классификации Кёппена-Гейгера). Среднегодовая температура воздуха составляет +14,2...+14,5 °С, среднегодовая сумма осадков –1500–1700 мм, при максимуме в зимний период. Коэффициент увлажнения по Иванову превышает 1,5, что обеспечивает промывной водный режим почв на хорошо дренированных поверхностях [5]. Геологическое строение территории определяется аллювиально-морскими отложениями дельты реки Мзымта мощностью до 70–80 метров, представленными суглинками, песчано-галечниковыми наносами и лагунными илами.

Метод исследования. Анализ валового содержания макроэлементов выполнен методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) с использованием портативного рентгенофлуоресцентного анализатора «МеталлТест». Образцы почв высушивали до воздушно-сухого состояния, измельчали в агатовой ступке до размерности менее 0,25 мм, прессовали в таблетки. Время экспозиции составляло 90 секунд при тройном повторе для каждой пробы. Определялись содержания SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O [12].

Геохимические индексы выветривания и педогенеза. Для интерпретации полученных данных применены следующие интегральные коэффициенты, рассчитанные в молярных пропорциях оксидов. Индекс химического изменения CIA определяли по формуле (1), индекс силикатов Харрассовица K_i — по формуле (2), а индекс глинизации K_g — по формуле (3).

– CIA (Chemical Index of Alteration, индекс химического изменения по Несбитту–Янгу [13]):

$$\text{CIA} = [\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})] \times 100, \quad (1)$$

где CaO^* — содержание CaO в силикатной фракции с поправкой на карбонатную и фосфатную составляющие. Свежим неизменённым породам соответствуют значения 45–55, среднеизменённым — 60–75, сильно выветрелым — 85–100 [14];

– K_i (индекс силикатов Харрассовица), K_g (индекс глинизации):

$$K_i = \text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3, \quad (2)$$

$$K_g = \text{SiO}_2 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3). \quad (3)$$

Сиаллитным почвам соответствуют значения K_i в интервале 2–4, ферраллитным — менее 2 [15, 16].

Статистическая обработка. Статистическую обработку результатов выполняли в программе Statistica 13.0 с применением *t*-критерия Стьюдента для нормально распределённых выборок и *U*-критерия Манна–Уитни – для распределений, отклоняющихся от нормальных. Различия признавали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования. Установлено, что в рекультивационно-гумусовом горизонте RAT содержание SiO_2 статистически достоверно ниже по сравнению с генетически однородным горизонтом AU чернозёма миграционно-сегрегационного, при одновременном повышении содержаний Al_2O_3 и Fe_2O_3 (табл. 1). Выявленные различия носят характер устойчивого тренда, что отражает относительное обогащение минеральной массы полуторными оксидами в условиях декарбонатизации, выноса оснований и усиления химического выветривания при промывном водном режиме субтропического климата [17].

Таблица 1

Валовой химический состав генетических горизонтов антропогенно-преобразованных почв ФТ «Сириус» и референсного чернозёма миграционно-сегрегационного (медиана и межквартильный размах, % на прокалённую навеску)

Горизонт	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O
RAT	58,33 (55,70–63,22)	18,74 (14,82–19,78)	6,11 (5,62–6,45)	2,72 (1,76–3,68)	2,27 (1,98–2,48)	2,31 (2,16–2,45)
AU	66,03 (62,99–69,76)	12,78 (11,80–13,21)	4,96 (4,83–5,25)	1,69 (1,50–1,87)	1,44 (1,32–1,70)	2,19 (2,10–2,24)
Cca	55,94 (54,73–56,36)	11,41 (10,79–11,63)	4,27 (4,14–4,48)	9,49 (8,22–10,68)	2,01 (1,84–2,39)	1,85 (1,77–1,93)

Содержание CaO и MgO в горизонте RAT демонстрирует тенденцию к более высоким валовым значениям по сравнению с AU, однако статистически значимых различий между ними не выявлено. Повышенные концентрации этих оксидов могут быть обусловлены мозаичностью антропогенно-преобразованного субстрата и участием в его составе труднорастворимых силикатных и карбонатных фаз, что нарушает прямую связь между валовым содержанием щёлочноземельных элементов и их подвижными формами. Содержание K_2O в RAT и AU также не имеет статистически значимых различий, что указывает на устойчивость калиевой составляющей к ранним стадиям трансформации в условиях урбопедогенеза.

Сравнение горизонта RAT с эталонной материнской породой Cca выявило статистически достоверные различия по большинству макроэлементов и по всем интегральным геохимическим коэффициентам. Значения индекса CIA в RAT систематически превышают значения в Cca, что отражает направленный сдвиг геохимического функционирования профиля в сторону усиления гипергенных процессов. Соотношение $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (K_i) сохраняет значения, типичные для сиааллитных почв (3,5–4,5), что указывает на отсутствие выраженной ферраллитизации за период функционирования 10–12 лет, но фиксирует начальную стадию формирования специфической геохимической обстановки.

При сравнении горизонтов RAT и AU значимые различия установлены только по SiO_2 , Al_2O_3 и Fe_2O_3 , тогда как по CaO , MgO и K_2O они отсутствуют. Это свидетельствует о сохранении литогенной основы привезённого материала при одновременной перестройке геохимического функционирования профиля, выражающейся прежде всего в относительном перераспределении инертных полуторных оксидов и подвижного кремнезёма.

Обсуждение и заключение. Полученные результаты позволяют интерпретировать наблюдаемую картину как раннюю стадию субтропического гипергенеза, наложенного на чернозёмный материал. Главным фактором, обеспечивающим направленность трансформации, выступает несоответствие между геохимическим обликом исходного субстрата и климатическими условиями его нынешнего функционирования [17]. Чернозёмы миграционно-сегрегационные сформированы в условиях семигумидного климата степной зоны Юга России с непромывным водным режимом, что определяет накопление карбонатов в средней и нижней частях профиля и поддержание щелочного баланса в верхних горизонтах. При перемещении такого материала в условия влажных субтропиков с коэффициентом увлажнения свыше 1,5 указанный геохимический баланс становится неустойчивым: запускаются процессы декарбонатизации, выноса оснований и относительного накопления полуторных оксидов.

Отсутствие значимых различий между горизонтами RAT и AU по содержанию CaO , MgO и K_2O на первый взгляд противоречит модели декарбонатизации, однако объясняется устойчивостью карбонатно-щёлочного резерва, унаследованного от исходного чернозёма. По литературным данным, в почвах гумидных регионов граница декарбонатизации продвигается со скоростью 0,5–2 см/год [18]. За 10–12 лет функционирования это соответствует продвижению на 5–24 см вглубь профиля. Учитывая, что мощность горизонта RAT обычно составляет

25–40 см, граница декарбонатизации успела затронуть лишь его верхнюю часть, тогда как средневзвешенное содержание CaO по всему горизонту пока остаётся в пределах исходных значений. Дополнительным фактором, замедляющим выщелачивание, служит поступление карбонатной пыли со строительных материалов и городских поверхностей, частично компенсирующее вынос оснований [19]. Этот «карбонатный буфер» обеспечивает временную устойчивость геохимической системы, не отменяя при этом направленности самого процесса.

В то же время статистически значимые различия по SiO_2 , Al_2O_3 и Fe_2O_3 между RAT и AU фиксируют именно тот процесс относительного накопления полуторных оксидов, который рассматривается классической геохимией гипергенеза [13, 17] как универсальный индикатор интенсивного выветривания. По нашим данным, в течение 10–12 лет в условиях ФТ «Сириус» этот процесс уже выходит за пределы аналитической погрешности и доступен для статистической диагностики. Наблюдаемый сдвиг согласуется с механизмом «относительного накопления»: вынос подвижных кремнезёма и оснований при сохранении инертных Al и Fe приводит к перераспределению пропорций в пользу последних. Сходные тенденции, но более чётко выраженные, отмечены при изучении желтозёмов сочинского дендрария [3, 4], где соотношение $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ в верхних элювиальных горизонтах опускается ниже значений, характерных для исходных пород, и приближается к значениям, типичным для каолинит-доминированных гипергенных систем.

Достоверные различия между RAT и Cca по большинству макроэлементов и всем интегральным коэффициентам подтверждают, что чернозёмный материал в составе профиля антропогенно-преобразованных почв за 10–12 лет уже значительно отделился от исходного состояния материнской породы. Рост значений CIA в RAT относительно Cca на 5–10 единиц соответствует переходу от неизменённого к умеренно изменённому состоянию по шкале Несбитта–Янга [13]. При этом значения K_i остаются в сипаллитном диапазоне, что свидетельствует о начальной, а не завершённой стадии трансформации, и согласуется с короткими сроками формирования антропогенно-преобразованных почв.

Особый интерес представляет сопоставление направленности трансформации почв ФТ «Сириус» с данными по другим городам Черноморского побережья. По данным Захарихиной с соавторами [4], в естественных кислых желтоземах городских ландшафтов Сочи под воздействием городской пыли и строительных материалов происходит «подщелачивание» — рост pH от 5,8 до 7,5 и насыщенности основаниями с 72,9 до 97,7 % в верхнем горизонте, то есть антипедогенная инверсия в сторону чернозёмного облика. В нашем случае процесс направлен в противоположную сторону: привезённый щелочной чернозём в условиях промывного режима сдвигается в сторону подкисления и выноса оснований. Эти встречные тренды отражают универсальный механизм конвергенции свойств городских почв, описанный Херрманном с соавторами [20], при котором городской урбопедогенез независимо от исходного субстрата приводит к усреднённому набору свойств, определяемому преимущественно градостроительной обстановкой.

Сравнение с данными по Ростовской агломерации [9, 11], где аналогичные конструкторы и реплантозёмы функционируют в условиях семиаридного климата с коэффициентом увлажнения 0,7–0,9, показывает существенно более медленную геохимическую трансформацию: статистически значимые различия по полуторным оксидам там фиксируются преимущественно в почвах с возрастом более 30 лет. Таким образом, в условиях ФТ «Сириус» темпы трансформации привезённого чернозёмного материала в 2–3 раза выше, чем в зоне его естественного распространения, что обусловлено в первую очередь климатическим фактором. Это обстоятельство имеет важное практическое значение для разработки регламентов рекультивации: использование чернозёмного материала в качестве плодородного слоя в субтропической зоне требует более частого мониторинга и, возможно, корректирующих агрохимических мероприятий (известкование, поддержание органогенного слоя), направленных на стабилизацию геохимического функционирования профиля.

Проведённое исследование валового химического состава антропогенно-преобразованных почв федеральной территории «Сириус» позволило получить количественную геохимическую характеристику начальной стадии трансформации привезённого чернозёмного материала в условиях влажного субтропического климата.

Установлено, что в рекультивационно-гумусовом горизонте RAT содержание SiO_2 статистически достоверно ниже, а содержания Al_2O_3 и Fe_2O_3 — выше, чем в исходном тёмногумусовом горизонте AU чернозёма миграционно-сегрегационного. Различия по CaO , MgO и K_2O между RAT и AU не достигают статистической значимости, что объясняется устойчивостью карбонатно-щёлочного резерва чернозёмного материала и медленным продвижением границы декарбонатизации вглубь профиля.

Сравнение горизонта RAT с эталонной материнской породой Cca показало достоверные различия по большинству макроэлементов и по всем интегральным геохимическим коэффициентам, что подтверждает существенную трансформацию чернозёмного материала за 10–12 лет функционирования. Рост индекса CIA на 5–10 единиц

при сохранении сиаллитного характера соотношения $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ свидетельствует о начальной стадии субтропического гипергенеза, проявляющейся в декарбонатизации, выносе оснований и относительном накоплении полуторных оксидов.

Темпы геохимической трансформации привезённого чернозёма в условиях ФТ «Сириус» оцениваются как в 2–3 раза превышающие аналогичные показатели в зоне естественного распространения чернозёмов (Ростовская агломерация), что обусловлено более жёстким воздействием влажного субтропического климата. Полученные результаты обосновывают необходимость развития системы регулярного геохимического мониторинга городских почв ФТ «Сириус», корректировки регламентов рекультивации и разработки специализированных агрохимических подходов к поддержанию плодородия в условиях, отличных от условий формирования исходного чернозёмного материала.

Список литературы/References

1. Гончарова О.Ю., Семенюк О.В., Стома Г.В. Исследование почв на урбанизированных территориях: анализ методических аспектов и подходов (на примере г. Москвы). *Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение*. 2021;(4):4–12.
2. Goncharova OYu, Semenyuk OV, Stoma GV. Study of soils in urbanized territories: analysis of methodological aspects and approaches (on the example of Moscow). *Bulletin of Moscow University. Series 17. Soil Science*. 2021;(4):4–12. (In Russ.)
3. Прокофьева Т.В., Герасимова М.И. Городские почвы: диагностика и классификационное определение по материалам научной экскурсии конференции SUITMA-9 по Москве. *Почвоведение*. 2018;(9):1057–1070. <https://doi.org/10.1134/S0032180X18090095>
4. Prokofyeva TV, Gerasimova MI. Urban Soils: Diagnostics and Taxonomic Position according to Materials of Scientific Excursion in Moscow at the Suitma-9 Workshop. *Eurasian Soil Science*. 2018;51(9):995–1007. <https://doi.org/10.1134/S1064229318090090>
5. Чижикина Н.П., Гуров И.А. Минералогический состав элювиально-глеевых желтозёмов (на примере почв дендрария г. Сочи). *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева*. 2011;(69):60–76. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2012-69-60-76>
6. Chizhikova NP, Gurov IA. Mineralogical Composition of Eluvial-gleyzheltozems (on the Example of Soils of the Sochi Arboretum). *Bulletin of the VV Dokuchaev Soil Institute*. 2011;(69):60–76. (In Russ.) <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2012-69-60-76>
7. Zakharikhina LV, Malyukova LS, Ryndin AV. Genesis and Geochemistry of the Soils of Urban Landscapes of the Black Sea Coast of Russia. *CATENA*. 2022;210:105881. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105881>
8. Gerasimova MI, Gurov IA. Micromorphology of Zheltozems on Hard Sedimentary Rocks and Products of Their Decomposition: Pedogenic and Lithogenic Features (With the Sochi Arboretum as an Example). *Eurasian Soil Science*. 2012;45(1):22–32. <https://doi.org/10.1134/S106422931201005X>
9. Vasenev V, Kuzyakov Y. Urban Soils as hot Spots of Anthropogenic Carbon Accumulation: Review of Stocks, Mechanisms and Driving Factors. *Land Degradation & Development*. 2018;29(6):1607–1622. <https://doi.org/10.1002/ldr.2944>
10. Ivashchenko K, Lepore E, Vasenev V, Ananyeva N, Demina S, Khabibullina F et al. Assessing Soil-Like Materials for Ecosystem Services Provided by Constructed Technosols. *Land*. 2021;10(11):1185. <https://doi.org/10.3390/land10111185>
11. Tagiverdiev SS, Gorbov SN, Bezuglova OS, Skripnikov PN. The Content and Distribution of Various Forms of Carbon in Urban Soils of Southern Russia on the Example of Rostov Agglomeration. *Geoderma Regional*. 2020;21:00266. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00266>
12. Skripnikov PN, Gorbov SN, Tagiverdiev SS, Salnik NV, Kozyrev DA, Terekhov IV et al. Carbon Accumulation Features in Different Functional Zones of Cities in the Steppe Zone. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2024;196(7):601. <https://doi.org/10.1007/s10661-024-12773-1>
13. Минкина Т.М., Мотузова Г.В., Назаренко О.Г. Состав соединений тяжелых металлов в почвах. Ростов-на-Дону. «Эверест», 2009: 208.
14. Minkina TM, Motuzova GV, Nazarenko OG. Composition of Heavy Metal Compounds in Soils. Rostov-on-Don. Everest, 2009: 208. (In Russ.)
15. Salnik NV, Gorbov SN, Tagiverdiev SS, Skripnikov PN, Bezuglova OS. On basic elementary soil-forming processes in urban soils of Rostov. *Forest Science Issues*. 2024;7(1):140. <https://doi.org/10.31509/2658-607x-202471-140>
16. Ravansari R, Wilson SC, Tighe M. Portable X-ray Fluorescence for Environmental Assessment of Soils: Not Just a Point and Shoot Method. *Environment International*. 2020;134:105250. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105250>

13. Nesbitt HW, Young GM. Early Proterozoic Climates and Plate Motions Inferred From Major Element Chemistry of Lutites. *Nature*. 1982;299:715–717. <https://doi.org/10.1038/299715a0>
14. Harnois L. The CIW index: A new Chemical Index of Weathering. *Sedimentary Geology*. 1988;55(3–4):319–322. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(88\)90137-6](https://doi.org/10.1016/0037-0738(88)90137-6)
15. Fedo CM, Nesbitt HW, Young GM. Unraveling the Effects of Potassium Metasomatism in Sedimentary Rocks and Paleosols, With Implications for Paleoweathering Conditions and Provenance. *Geology*. 1995;23(10):921–924. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1995\)023<0921:UTEOPM>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1995)023<0921:UTEOPM>2.3.CO;2)
16. Price JR., Velbel MA. Chemical Weathering Indices Applied to Weathering Profiles Developed on Heterogeneous Felsic Metamorphic Parent Rocks. *Chemical Geology*. 2003;202(3–4):397–416. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2002.11.001>
17. Алексеев А.О., Калинин П.И., Алексеева Т.В. Почвенные индикаторы параметров палеоэкологических условий на юге Восточно-Европейской равнины в четвертичное время. *Почвоведение*. 2019;4:389–399. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19040026>
- Alekseev AO, Kalinin PI, Alekseeva TV. Soil Indicators of Paleoenvironmental Conditions in the South of the East European Plain in the Quaternary Time. *Eurasian Soil Science*. 2019;52:349–358. <https://doi.org/10.1134/S1064229319040021>
18. Глушакова А.М., Лысак Л.В., Умарова А.Б., Прокофьева Т.В., Подушин Ю.В., Быкова Г.С. и др. Бактериальные комплексы урбанозёмов некоторых южных городов России. *Почвоведение*. 2021;(2):224–231. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21020052>
- Glushakova AM, Lysak LV, Umarova AB, Prokof'eva TV, Bykova GS, Podushin YV et al. Bacterial Complexes of Urbanozems in Southern Cities of Russia. *Eurasian Soil Science*. 2021;54(2):257–263. <https://doi.org/10.1134/S1064229321020058>
19. Прокофьева Т.В., Мартыненко И.А., Иванников Ф.А. Систематика почв и почвообразующих пород Москвы и возможность их включения в общую классификацию. *Почвоведение*. 2011;(5):611–623.
- Prokofyeva TV, Martynenko IA, Ivannikov FA. Classification of Moscow soils and parent materials and its possible inclusion in the classification system of Russian soils. *Eurasian Soil Science*. 2011;44(5):561–571. <https://doi.org/10.1134/S1064229311050127>
20. Herrmann DL, Schiffman LA, Shuster WD. Urbanization Drives Convergence in Soil Profile Texture and Carbon Content. *Environmental Research Letters*. 2020;15(11):114001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abbb00>

Об авторах:

Надежда Владимировна Сальник, кандидат биологических наук, научный сотрудник международного научного центра в области экологии и вопросов изменения климата Научно-технологического университета «Сириус» (354340, Российская Федерация, Краснодарский край, федеральная территория «Сириус», Олимпийский проспект, 1), младший научный сотрудник Академии биологии и медицины им. Д.И. Иванковского Южного федерального университета (344090, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194/1), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [ScopusID](#), [ResearcherID](#), salnik.nv@talantiuspeh.ru

Сергей Николаевич Горбов, доктор биологических наук, руководитель группы Международного научного центра в области экологии и вопросов изменения климата, Научно-технологического университета «Сириус» (354340, Российская Федерация, Краснодарский край, федеральная территория «Сириус», пгт. Сириус, Олимпийский проспект, д. 1), профессор кафедры ботаники Южного федерального университета (344090, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194/1), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [ScopusID](#), [ResearcherID](#), gorbov.sn@talantiuspeh.ru

Даниил Игоревич Бузин, лаборант-исследователь международного научного центра в области экологии и вопросов изменения климата Научно-технологического университета «Сириус» (354340, Российская Федерация, Краснодарский край, федеральная территория «Сириус», пгт. Сириус, Олимпийский проспект, д. 1), [SPIN-код](#), [ORCID](#), buzin.di@talantiuspeh.ru

Илья Павлович Лобзенко, младший научный сотрудник международного научного центра в области экологии и вопросов изменения климата Научно-технологического университета «Сириус» (354340, Российская Федерация, Краснодарский край, федеральная территория «Сириус», пгт. Сириус, Олимпийский проспект, д. 1), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [ScopusID](#), lobzenko.ip@talantiuspeh.ru

Заявленный вклад авторов:

Н.В. Сальник: концептуализация, методология, проведение исследования, формальный анализ, визуализация, первоначальный вариант рукописи.

С.Н. Горбов: концептуализация, методология, научное руководство, рецензирование и редактирование рукописи.

Д.И. Бужин: проведение исследования.

И.П. Лобзенко: проведение исследования, формальный анализ.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Nadezhda V. Salnik, Cand. Sci. (Biol.), Researcher, International Scientific Center for Ecology and Climate Change, Sirius University of Science and Technology (1 Olimpiyskiy Ave., Sirius Federal Territory, Krasnodar Krai, 354340, Russian Federation); Junior Researcher, D.I. Ivanovsky Academy of Biology and Medicine, Southern Federal University (194/1 Stachki Ave., Rostov-on-Don, 344090, Russian Federation), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [ScopusID](#), [ResearcherID](#), salnik.nv@talantiuspeh.ru

Sergey N. Gorbov, Dr. Sci. (Biol.), Head of the Research Group, International Scientific Center for Ecology and Climate Change, Sirius University of Science and Technology (1 Olimpiyskiy Ave., Sirius Federal Territory, Krasnodar Krai, 354340, Russian Federation); Professor, Department of Botany, Southern Federal University (194/1 Stachki Ave., Rostov-on-Don, 344090, Russian Federation), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [ScopusID](#), [ResearcherID](#), gorbov.sn@talantiuspeh.ru

Daniil I. Buzin, Research Laboratory Assistant, International Scientific Center for Ecology and Climate Change, Sirius University of Science and Technology (1 Olimpiyskiy Ave., Sirius Federal Territory, Krasnodar Krai, 354340, Russian Federation), [SPIN-код](#), [ORCID](#), buzin.di@talantiuspeh.ru

Ilya P. Lobzenko, Junior Researcher, International Scientific Center for Ecology and Climate Change, Sirius University of Science and Technology (1 Olimpiyskiy Ave., Sirius Federal Territory, Krasnodar Krai, 354340, Russian Federation), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [ScopusID](#), lobzenko.ip@talantiuspeh.ru

Author Contributions:

NV Salnik: conceptualization, methodology, investigation, formal analysis, visualization, writing – original draft.

SN Gorbov: conceptualization, methodology, supervision, writing – review & editing.

DI Buzin: investigation.

IP Lobzenko: investigation, formal analysis.

Conflict of interest statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Поступила в редакцию/Received 19.05.2026

Поступила после рецензирования/Reviewed 05.06.2026

Принята к публикации/Accepted 28.06.2026