

DOI: 10.22363/2313-2310-2026-34-1-84-111

EDN: YDYDYO

УДК 911.9:502

Научная статья / Research article

## Эколого-геохимическое состояние почв центральной части полуострова Куршская коса, Калининградская область, Российская Федерация

Я.О. Лебедев<sup>1,2,3,4</sup>, А.А. Карпиченко<sup>5</sup>, А.А. Юрманов<sup>6,7</sup>,  
Н.С. Кокорина<sup>8</sup>, М.Н. Лец<sup>9</sup>, В.Л. Гаазов<sup>9</sup>,  
А.Я. Лебедева-Георгиевская<sup>10</sup>, К.В. Молодых<sup>11</sup>,  
А.А. Рогачев<sup>12</sup>, М.Р. Махмудов<sup>13</sup>, Н.Р. Соболев<sup>13</sup>,  
А.Г. Гиголов<sup>13</sup>, В.М. Некрасов<sup>13</sup>, З.А. Василенко<sup>13</sup>

<sup>1</sup>Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр Институт биологии южных морей имени  
А.О. Ковалевского РАН, г. Севастополь, Российская Федерация

<sup>3</sup>Научно-исследовательский институт Центр экологической промышленной политики,  
г. Москва, Российская Федерация

<sup>4</sup>МИРЭА — Российский технологический университет, г. Москва, Российская Федерация

<sup>5</sup>Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>6</sup>Институт физиологии растений имени К.А. Тимирязева РАН, г. Москва, Российская  
Федерация

<sup>7</sup>Мурманский арктический государственный университет, Мурманск, Российская  
Федерация

<sup>8</sup>Общероссийское общественно-государственное движение детей и молодежи  
«Движение первых», г. Москва, Российская Федерация

<sup>9</sup>ЭКО-центр «Человек» им. В.Г. Гниловского, г. Ставрополь, Российская Федерация

<sup>10</sup>ЧОУ «Аметист», г. Химки, Российская Федерация

<sup>11</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Российская  
Федерация

<sup>12</sup>Agora Andorra International School, La Massana, Andorra

<sup>13</sup>Общероссийское общественно-государственное движение детей и молодежи  
«Движение первых», г. Ставрополь, Российская Федерация

✉ lebedev\_yao@pfur.ru

**Аннотация.** Представленные результаты исследований получены в период проведения экспедиции на Куршской косе весной 2024 г. в рамках финала Всероссийского чемпионата «Безграничные экспедиции» Общероссийского общественно-государствен-

© Лебедев Я.О., Карпиченко А.А., Юрманов А.А., Кокорина Н.С., Лец М.Н., Гаазов В.Л., Лебедева-Георгиевская А.Я., Молодых К.В., Рогачев А.А., Махмудов М.Р., Соболев Н.Р., Гиголов А.Г., Некрасов В.М., Василенко З.А., 2026



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

ного движения детей и молодежи «Движение первых» на особо охраняемых территориях Российской Федерации за 2023 г. Исследовательская группа обучающихся, ранее успешно реализовавшая апробацию методик на территории Ставропольского края, провела геоэкологические почвенные исследования на территории Национального парка «Куршская коса», заложив геохимическую трансекту от Куршского залива до побережья Балтийского моря. Полученные данные позволили уточнить современное геоэкологическое состояние некоторых типов почв, распространенных на территории Национального парка «Куршская коса», а также выявить критерии физико-химического состояния почв, имеющих связь с современным антропогенным воздействием. В целом значения большинства исследованных параметров свидетельствуют об экологическом благополучии территории исследований, что подтверждает эффективность реализуемых мер, направленных на ее сохранение.

**Ключевые слова:** экология почв, геохимия почв, гранулометрический состав почв, морская импัลверизация, особо охраняемые природные территории (ООПТ), Балтийское море, экологическое состояние

**Вклад авторов.** *Лебедев Я.О.* — методология, формальный анализ, верификация данных, проведение исследования. *Карпиченко А.А.* — методология. *Юрманов А.А.* — концептуализация исследования, определение области исследования. *Кокорина Н.С.* — концептуализация исследования, администрирование данных. *Леу М.Н.* — администрирование данных, верификация данных. *Гаазов В.Л.* — администрирование данных, верификация данных. *Лебедева-Георгиевская А.Я.* — программное обеспечение, формальный анализ. *Молодых К.В.* — проведение исследования. *Рогачев А.А.* — проведение исследования. *Махмудов М.Р.* — проведение исследования и верификация данных. *Соболев Н.Р.* — проведение исследования. *Гиголов А.Г.* — проведение исследования. *Некрасов В.М.* — проведение исследования. *Василенко З.А.* — проведение исследования. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

**Финансирование.** Работа поддержана Программой стратегического академического лидерства РУДН.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность сотрудникам Национального парка «Куршская коса» в лице директора А.А. Калины, начальника отдела экологического просвещения и туризма Евгении Васильевне Калашниковой, а также сотрудникам инспекторского состава парка за предоставленную возможность проведения исследований и чуткое сопровождение на протяжении полевого этапа исследований. Авторы выражают благодарность организаторам исследований и руководству Общероссийского общественно-государственного движения детей и молодежи «Движение первых», в особенности Советнику Председателя Правления Т.Ф. Сафину, руководителю Дирекции равных возможностей Э.С. Гильметдиновой, а также М.А. Боженовой и М.О. Деркач, А.Г. Кривой, Р.С. Кабановой, С.Г. Спичуковой, Т.А. Барышникову, А.А. Селезневу, С.Ю. Молчанову, М.Р. Ступиной, Е.Е. Фединой, Л.В. Молодых, С.Р. Елкиной, А.В. Быковской — за активное участие и медийное сопровождение в период полевых исследований.

**История статьи:** поступила в редакцию 28.10.2025; доработана после рецензирования 14.11.2025; принята к публикации 02.12.2025.

**Заявление о конфликте интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** *Лебедев Я.О., Карпиченко А.А., Юрманов А.А., Кокорина Н.С., Леу М.Н., Гаазов В.Л., Лебедева-Георгиевская А.Я., Молодых К.В., Рогачев А.А., Махмудов М.Р., Соболев Н.Р., Гиголов А.Г., Некрасов В.М., Василенко З.А.* Эколого-геохимиче-

ское состояние почв центральной части полуострова Куршская коса, Калининградская область, Российская Федерация // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2026. Т. 34. № 1. С. 84–111. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-84-111> EDN: YDYDYO

## Ecological and geochemical state of soils in the central part of the Curonian Spit Peninsula, Kaliningrad Region, Russian Federation

Yaroslav O. Lebedev<sup>1,2,3,4</sup>  , Aliaksandr A. Karpichenka<sup>5</sup> ,  
Anton A. Iurmanov<sup>6,7</sup> , Nadezhda S. Kokorina<sup>8</sup>, Marina N. Letz<sup>9</sup>,  
Vasily L. Gaazov<sup>9</sup>, Alena Y. Lebedeva-Georgievskaya<sup>10</sup>,  
Kirill V. Molodykh<sup>11</sup>, Artem A. Rogachev<sup>12</sup>,  
Marat R. Makhmudov<sup>13</sup>, Nikita R. Sobolev<sup>13</sup>, Avtandil G. Gigolov<sup>13</sup>,  
Vladimir M. Nekrasov<sup>13</sup>, Zlata A. Vasilenko<sup>13</sup>

<sup>1</sup>Research Institute CEIP, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>RUDN University, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup>RTU MIREA, Moscow, Russian Federation

<sup>4</sup>A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation

<sup>5</sup>Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

<sup>6</sup>Timiryazev Institute of Plant Physiology of RAS, Moscow, Russian Federation

<sup>7</sup>Murmansk Arctic University, Murmansk, Russian Federation

<sup>8</sup>All-Russian Public and state movement of Children and Youth “Movement of the First”, Moscow, Russian Federation

<sup>9</sup>V.G. Gnilovsky ECO-Human Center, Stavropol, Russian Federation

<sup>10</sup>CHOU «Amethyst», Khimki, Russian Federation

<sup>11</sup>St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russian Federation

<sup>12</sup>Agora Andorra International School, La Massana, Andorra

<sup>13</sup>All-Russian Public and state Movement of Children and Youth “Movement of the First”, Stavropol, Russian Federation

 lebedev\_yao@pfur.ru

**Abstract.** The research results presented in this article were obtained during the expedition to the Curonian Spit in the spring of 2024 as part of the final of the All-Russian Championship “Limitless Expeditions” of the All-Russian public and State Movement of Children and Youth “Movement of the First” in specially protected areas of the Russian Federation in 2023. A research group of students, who had previously successfully implemented the testing of techniques in the Stavropol Territory, conducted geoecological soil studies in the Curonian Spit National Park, laying a geochemical transect from the Curonian Lagoon to the Baltic Sea coast. The data obtained made it possible to clarify the current geoecological state of some types of soils common in the territory of the Curonian Spit National Park, as well as to identify criteria for the physico-chemical state of soils related to modern anthropogenic impact. In general, the values of the majority of the studied parameters indicate the ecological well-being of the research area, which confirms the effectiveness of the implemented measures aimed at its conservation.

**Keywords:** soil ecology, soil geochemistry, granulometric composition of soils, marine pulverization, specially protected natural areas, Baltic Sea, ecological status

**Authors' contribution.** *Y.O. Lebedev* — methodology, analysis, verification of data, conducting research. *A.A. Karpichenka* — methodology. *A.A. Iurmanov* — conceptualization of research, definition of the research area. *N.S. Kokorina* — conceptualization of research, data administration. *M.N. Letz* — data administration, data verification. *V.L. Gaazov* — data administration, data verification. *A.Y. Lebedeva-Georgievskaya* — software, formal analysis. *K.V. Molodykh* — conducting research. *A.A. Rogachev* — conducting research. *M.R. Makhmudov* — conducting research and verifying data. *N.R. Sobolev* — conducting research. *A.G. Gigolov* — conducting research. *V.M. Nekrasov* — conducting research. *Z.A. Vasilenko* — conducting research. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

**Funding.** The RUDN University Strategic Academic Leadership Program has supported this research.

**Acknowledgements.** The authors would like to thank the staff of the Curonian Spit National Park represented by Director A.A. Kalina, Head of the Department of Environmental Education and Tourism E.V. Kalashnikova, as well as the staff of the park's inspection staff for the opportunity to conduct research and provide sensitive support during the field stage of research. The authors would like to thank the organizers of the study and the leadership of the All-Russian Public and State Movement of Children and Youth "Movement of the First", in particular, adviser to the Chairman of the Board Safin T.F., head of the Directorate of Equal Opportunities E.S. Gilmetdinova, as well as M.A. Bozhenova and M.O. Derkach, A.G. Krivaya, R.S. Kabanova, S.G. Spichukova, T.A. Baryshnikov, A.A. Seleznev, S.U. Molchanova, M.R. Stupina, E.E. Fedina, L.V. Molodykh, S.R. Elkina, A.V. Bykovskaya, for active participation and media support during field research.

**Article history:** received 28.10.2025; revised 14.11.2025; accepted 02.12.2025.

**Conflicts of interest.** The authors declare no conflicts of interest.

**For citation:** Lebedev YO, Karpichenka AA, Iurmanov AA, Kokorina NS, Letz MN, Gaazov VL, Lebedeva-Georgievskaya AY, Molodykh KV, Rogachev AA, Makhmudov MR, Sobolev NR, Gigolov AG, Nekrasov VM, Vasilenko ZA. Ecological and geochemical state of soils in the central part of the Curonian Spit Peninsula, Kaliningrad Region, Russian Federation. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2026;34(1):84–111. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-84-111> EDN: YDYDYO

## Введение

Национальный парк «Куршская коса» — это полуостровная природно-антропогенная система юго-восточного побережья Балтики, расположенная в Восточной Европе. Национальный парк «Куршская коса» имеет статус особо охраняемой природной территории (ООПТ) федерального значения, является единственным Национальным парком в Калининградской области. Куршская коса входит в перечень объектов Всемирного наследия ЮНЕСКО и сочетает в себе различные ландшафты и экосистемы [1].

Климат Куршской косы умеренный, переходный от морского к континентальному, — формируется под влиянием воздушных масс с Балтийского моря и Евразии. Зима мягкая, лето умеренно теплое, погоды характеризуются

значительной изменчивостью. Наибольшее количество осадков выпадает в летне-осенний период. Для Куршской косы характерны постоянно дующие ветры, несколько раз в год случаются ураганы. Устойчивый ледовый покров характерен для акватории Куршского залива, в то время как на побережье Балтийского моря ледовый покров кратковременен или не образуется вовсе.

Куршская коса имеет моренное (ледниковое) происхождение, включения представлены обломками горных пород различного генезиса, принесенных с ледником (например, граниты, гнейсы, песчаники, а также фоссилии губок и белеменитов мелового (К) возраста). Тело косы состоит из песка, покрытого тонким (в несколько сантиметров толщиной) растительным слоем, формирование которого происходило на протяжении многих десятилетий и первых столетий. Коса представляет собой узкую полосу суши, отделяющую Куршский залив от Балтийского моря. Протяженность Национального парка составляет 98 км ширина — от 0,8 до 3,8 км [2]. На территории Косы расположены уникальные дюнные комплексы — сплошная полоса песчаных белых дюн шириной 0,3–1 км и высотой до 67 м.

Около 72 % территории косы занимают леса. Почти все леса имеют искусственное происхождение. Территория национального парка «Куршская коса» характеризуется значительным видовым разнообразием флоры: на ней произрастают 884 вида (включая гибриды, разновидности и формы) высших растений из 397 родов и 111 семейств. Голосеменные представлены 11 видами (в том числе 6 видами интродуцентов); споровые — 19; однодольные — 187; двудольные — 556 видами. Адвентивный компонент флоры составляет 91 вид (в том числе 7 инвазионные). Редкие в растения из Красной книги Калининградской области и Красной книги России представлены 109 видами [2]. Фауна насчитывает 296 видов наземных позвоночных животных.

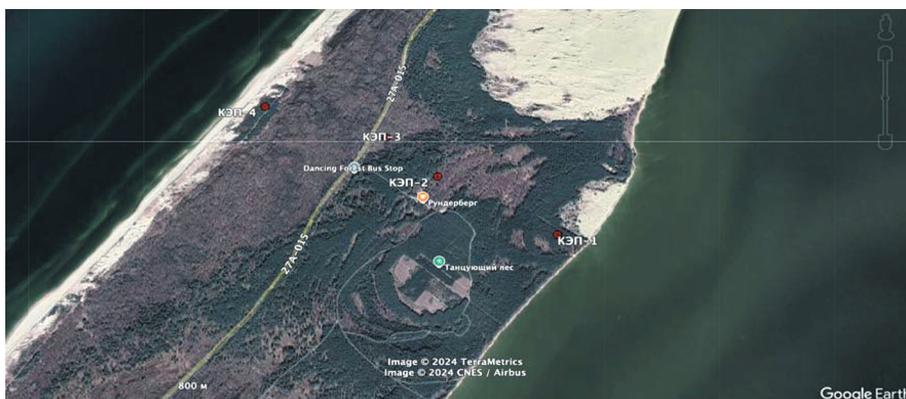
Сосновые леса составляют более половины лесной площади Куршской косы. Лиственные леса представлены березняками и ольшаниками с примесью осины. Встречаются леса из дуба, липы, граба. Березняки с примесью ольхи занимают второе место после сосновых лесов и часто имеют естественное происхождение. На лугах (пальве) можно увидеть редкие виды орхидных: башмачок настоящий, ятрышник-дремлик. Растительность Куршской косы можно подразделить на три основные группы: нелесная (луговая, водно-болотная, дюнная), лесная и синантропная. Каждая из групп представляет важное ландшафтно-биотопическое значение для экосистемного разнообразия территории национального парка «Куршская коса» [2].

Для исследований нами была выбрана территория, развивающаяся под лесной растительностью, как наиболее устойчивая экосистема, формирование которой заняло значительное время без или после хозяйственного вмешательства человека. **Цель исследования** — уточнение современного эколого-геохимического состояния почв природно-антропогенных экосистем

Куршской косы, что потребовало решения ряда задач, заложения почвенной трансекты (катены) через тело песчаной косы с последующим проведением лабораторных физико-химических исследований образцов почв и анализом полученных результатов. Исследование физических свойств предполагало определение механического состава почв для выявления артефактов в накоплении разноразмерных частиц, в то время как исследование химического состава почв заключалось в уточнении концентрации токсических элементов (тяжелых металлов) по отношению к их ориентировочно допустимым (ОДК) и предельно допустимым концентрациям (ПДК) в почвах.

## Материалы и методы

Воздействие на природные комплексы при проведении исследований ограничивалось точечным вмешательством с нарушением почвенно-растительного слоя в количестве четырех почвенных разрезов. Все выполненные почвенные разрезы по окончании исследований были законсервированы (посредством засыпки) с обратной укладкой почвенно-растительного слоя. Почвенные эколого-геохимические исследования без локального нарушения почвенно-растительного слоя не представляются возможными. Территория исследований и точки заложения почвенных разрезов представлены на фрагменте космоснимка Google Earth (рис. 1). Последовательное заложение почвенных разрезов позволило охватить наиболее типичные биотопы в районе исследований, выполнить геохимическую трансекту через Куршскую косу. Следует отметить, что геохимически соподчиненных ландшафтов в рамках трансекты установлено не было — ввиду пересеченного и слабохолмистого рельефа местности. Таким образом, каждый почвенный разрез и результаты химических исследований к нему можно рассматривать с позиции автоморфных (автономных) ландшафтных условий.



**Рис. 1.** Территория исследований и точки почвенных разрезов в НП «Куршская коса». Масштаб 1:20000

Источник: составлено Я.О. Лебедевым на основе Google Earth.

Программа исследований включала в себя:

- полевые почвенные исследования — заложение почвенной катены (координаты точек представлены в табл. 1);
- описание почвенных разрезов;
- фиксация физических свойств почвы (температура почвенных горизонтов, нативная влажность, сложение и т.д.);
- отбор почвенных проб и последующая пробоподготовка;
- исследование физико-химических параметров: гранулометрический (механический) состав, химический состав по 27 элементам.

Табл. 1. Координаты точек исследованных почвенных разрезов

№№	Система координат WGS-84	
	Широта	Долгота
КЭП-1	55° 10.854'	20° 52.185'
КЭП-2	55° 11.016'	20° 51.664'
КЭП-3	55° 11.129'	20° 51.432'
КЭП-4	55° 11.222'	20° 50.875'

Источник: составлено Я.О. Лебедевым.

Ситовой анализ образцов почв проводился в соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 12536—2014<sup>1</sup>. Графики распределения фракций выполнялись в программе Excel.

Химический анализ проводился в аккредитованном исследовательском центре ИЦ «МГУЛАБ» (аттестат аккредитации RA.RU.21OM11 от 25.11.2021). Анализ образцов проводился на приборе АЭС-ИСП в соответствии с ГОСТ Р 57165-2016 (ИСО 11885:2007)<sup>2</sup> при пятикратной повторности определений и автоматическом расчете доверительного интервала значений по стандартной ошибке среднего. При определении содержания в почве загрязняющих веществ предельное значение относительной погрешности результатов анализа при доверительной вероятности  $P = 0,95$  не превышало 30 %. В образцах почв было определено содержание в валовой форме следующих элементов: Al, Ba, Be, B, V, Fe, Cd, K, Ca, Co, Si, Li, Mg, Mn, Cu, Mo, Na, Ni, Pb, Se, Ag, S, Sr, Sb, Ti, P, Cr, Zn с последующим анализом содержания макробиогенных элементов (Ca, K, Mg, Na), тяжелых металлов (токсических элементов). Для оценки современного геоэкологического состояния почвенного покрова в рамках заложённой геохимической трансекты нас интересовало содержание

<sup>1</sup> ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. Введ. 2016-07-01. Москва : Стандартинформ, 2016.

<sup>2</sup> ГОСТ Р 57165-2016 (ИСО 11885:2007). Вода. Определение содержания элементов методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой. Введ. 2018-01-01. Москва : Стандартинформ, 2018.

химических элементов (в валовой форме), отнесенных, согласно гигиеническим нормативам<sup>3</sup>, к 1-3 группам токсикологической опасности (Zn, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Co, Mn, As).

## Результаты

Выполненная почвенно-геохимическая catena протянулась от побережья Куршского залива до побережья Балтийского моря через типичные для данной местности биотопы. В рамках исследования мы старались заложить почвенные разрезы в разнообразных биотопах, чтобы попытаться выявить собственные для территории особенности почвообразовательного процесса. Площадки заложения почвенных разрезов располагались на значительном отдалении от антропогенно-нарушенных территорий (населенных пунктов, дорог, экологических троп) и представляли собой фоновые ландшафтные условия — насколько это применимо по отношению к природно-антропогенной системе Куршской косы.

### Точка КЭП-1

Точка КЭП-1 расположена в непосредственной близости от побережья Куршского залива (около 40–50 м) в сосновом лесу (биотоп сосновый лес — преобладающий тип леса на Куршской косе) с мощным травянистым и мохово-лишайниковым надпочвенным покровом. Общая мощность почвенного разреза: 49 см. Грунтовые воды не были вскрыты. Почва: дерново-слабоподзолистая песчаная. Морфологическое описание почвенного разреза приведено в табл. 2.

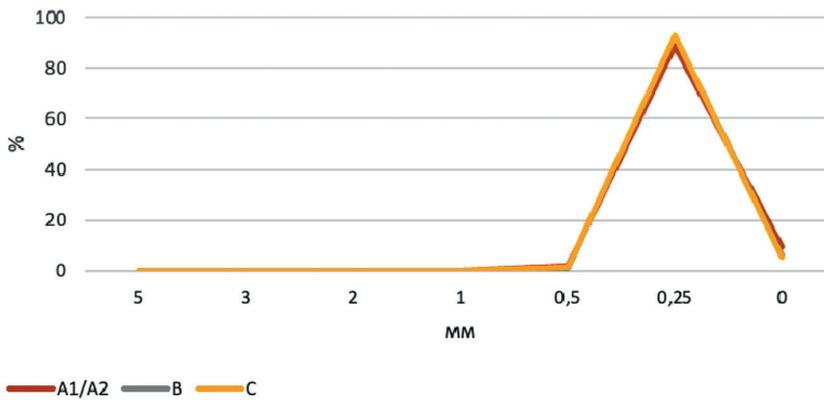
Почва песчаная, до глубины в 20 см отмечается гумусное иллювиирование, корни растений встречаются до глубины в 40 см. Отмечено легкое оподзоливание до глубины в 13–16 см. Влажность профиля соответствует атмосферному увлажнению и промывному режиму почвы. Плотность горизонтов увеличивается с глубиной, соответствует естественному гравитационному уплотнению. Ситовой анализ образцов почвенного разреза КЭП-1 не выявил различий в распределении фракций исследованных горизонтов (рис. 2).

<sup>3</sup> ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве : гигиенические нормативы. Москва : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. Утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ 18.05.2009; О введении в действие гигиенических нормативов ГН 2.1.7.2041-06 : Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 23.01.2006 № 1 (в ред. Постановления Главного государственного санитарного врача РФ от 26.06.2017 № 89) // КонтурНорматив. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=9&documentId=299876&ysclid=mkpt70csy5181221664> (дата обращения: 12.12.2025); Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами : Письмо Минприроды РФ № 04-25, Роскомзема № 61-5678 от 27.12.93 // КонтурНорматив. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=8&documentId=6352&ysclid=mkptb5qce0581410956> (дата обращения: 12.12.2025).

Таблица 2. Морфологическое описание разреза дерновой слабоподзолистой песчаной почвы, точка КЭП-1

Общий вид биотопа и разреза	Горизонт	Описание горизонта
	Ad Глубина: 0–5/6 см Мощность: 5–6 см $t^{\circ}\text{C}$ : 7,8 $^{\circ}\text{C}$ Цвет: 	Цвет (по примазке / шкале Манселла): серо-коричневый / 10YR 3/3 Влажность: влажный Окраска: однородная Механический состав: модер, супесчаный Плотность: рыхлый Сложение: нелипкий, слабо-пластичный Включения: отсутствуют Живая фаза: обильные корни трав, ризоиды мхов $D = 1–2$ мм, частые корни деревьев $D = 0,2–0,3$ см Новообразования: отсутствуют Переход: заметный по цвету Граница: волнистая
	A1/A2 Глубина: 5/6–13/16 см Мощность: 7–11 см $t^{\circ}\text{C}$ : 7,5 $^{\circ}\text{C}$ Цвет: 	Цвет (по примазке / шкале Манселла): коричневый / 10YR 2/3 Влажность: влажный Окраска: однородная Механический состав: песок Плотность: рыхлый Сложение: нелипкий, непластичный Включения: отсутствуют Живая фаза: редкие корни деревьев $D = 0,2–0,8$ см Новообразования: отсутствуют Переход: четкий Граница: волнистая
	B Глубина: 13/16–38/41 см Мощность: 22–28 см $t^{\circ}\text{C}$ : 7,3 $^{\circ}\text{C}$ Цвет: 	Цвет (по примазке / шкале Манселла): светло-охристый / 5Y 5/4 Влажность: свежий Окраска: однородная Механический состав: песок Плотность: уплотненный Сложение: слаболипкий, слабопластичный Живая фаза: единичные мелкие корни деревьев $D = 0,2–0,3$ см Включения: отсутствуют Переход: заметный по цвету Граница: волнистая, затечная
	C Глубина: 38/41–49 см Видимая мощность: 8–11 см $t^{\circ}\text{C}$ : 7,4 $^{\circ}\text{C}$ Цвет: 	Цвет (по примазке / шкале Манселла): охристый / 7.5Y 5/3 Влажность: свежий Окраска: однородная Механический состав: песок Плотность: плотный Сложение: слаболипкий, пластичный Включения: отсутствуют Живая фаза: отсутствует Новообразования: отсутствуют

Источник: фото выполнено Я.О. Лебедевым.

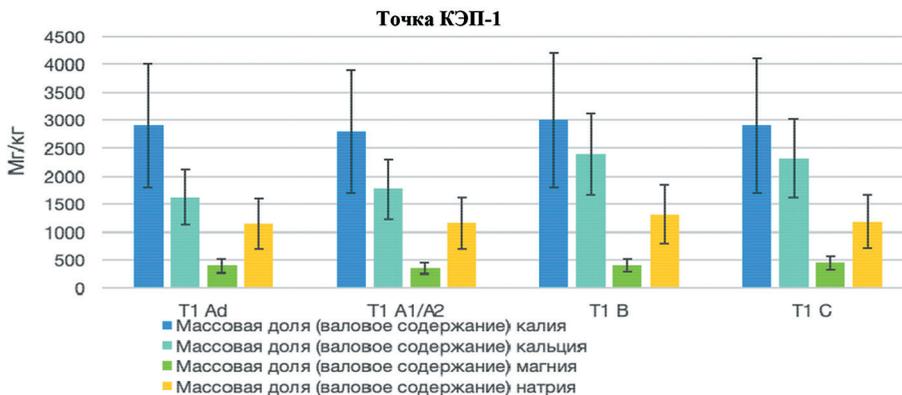


**Рис. 2.** График распределения фракций дерновой слабоподзолистой песчаной почвы, точка КЭП-1  
 Источник: составлено А.Я. Лебедевой-Георгиевской.

Из графика (рис. 2) видно, что распределение фракций твердой фазы во всех исследованных почвенных (органо-минеральных и минеральных) горизонтах практически идентичное, что может указывать на естественное и постепенное накопление твердой фазы почвы в процессе ее формирования. Свыше 90 % от проб из трех исследованных горизонтов приходится на фракцию 0,25 мм — среднего песка.

По преобладающей в исследованных горизонтах фракции и содержанию глинистых, пылеватых частиц данная почва по ее гранулометрическому (механическому) составу была отнесена нами к песчаной — песку связному [3].

Анализ результатов определения химического состава указывает на свободную миграцию макробиогенных элементов вниз по почвенному профилю с незначительной концентрацией Ca, Mg и Na в минеральных горизонтах (рис. 3). В горизонте A1/A2 валовое содержание Mg и K снижается, в то время как в остальных горизонтах значение для K остается в диапазоне 2900–3000 мг/кг.

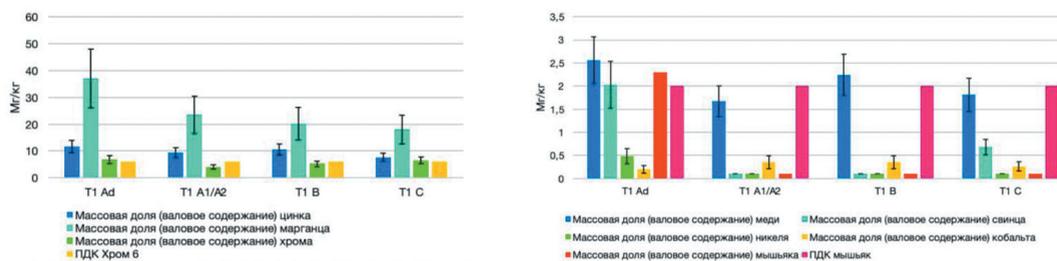


**Рис. 3.** График распределения макробиогенных элементов в горизонтах дерновой слабоподзолистой песчаной почвы, точка КЭП-1

Источник: составлено Я.О. Лебедевым, А.А. Карпиченко, А.А. Юрмановым, Н.С. Кокориной, М.Н. Лец, В.Л. Гаазовым, А.Я. Лебедевой-Георгиевской, К.В. Молодых, А.А. Рогачевым, М.Р. Махмудовым, Н.Р. Соболевой, А.Г. Гиголовым, В.М. Некрасовым, З.А. Василенко.

Анализ результатов определения содержания тяжелых металлов и токсических химических элементов позволил выявить для Cr ( $6,8 \pm 1,4$  мг/кг) и As ( $2,3 \pm 1,2$  мг/кг) в органогенном горизонте Ad и для Cr ( $6,5 \pm 1,4$  мг/кг) в минеральном горизонте С — незначительное превышение ПДК и ОДК ( $> 2,0$  и  $> 6,0$  мг/кг для As и Cr соответственно; здесь и далее значения ПДК приведены для элементов в соответствии с нормативными документами)<sup>4</sup>. Для ряда исследованных металлов (Ni, Co, Mn, As) отмечена свободная (гравитационная) миграция; для Zn, Pb, Cr, Cu прослеживается накопление в минеральных горизонтах, что может указывать на наличие геохимического барьера физико-химического типа. Распределение концентрации исследованных элементов по горизонтам приведено на рис. 4.

#### Точка КЭП-1



**Рис. 4.** Распределение содержания элементов отдельных металлов в горизонтах дерновой слабоподзолистой песчаной почвы, точка КЭП-1

*Источник:* составлено Я.О. Лебедевым, А.А. Карпиченко, А.А. Юрмановым, Н.С. Кокориной, М.Н. Лец, В.Л. Гаазовым, А.Я. Лебедевой-Георгиевской, К.В. Молодых, А.А. Рогачевым, М.Р. Махмудовым, Н.Р. Соболевой, А.Г. Гиголовым, В.М. Некрасовым, З.А. Василенко.

Отмечено последовательное снижение валового содержания Mn от органогенного к минеральному горизонту. Эколого-геохимическое состояние дерновой слабоподзолистой песчаной почвы (точка КЭП-1) может быть оценено как благоприятное с незначительными единичными превышениями по Cr и As в горизонтах Ad и С.

#### Точка КЭП-2

Точка КЭП-2 расположена на границе соснового леса, переходящего в смешанный лес (береза, осина, ель) с преобладанием березы. Общая мощность почвенного разреза — 63 см. Грунтовые воды вскрыты на глубине

<sup>4</sup> ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве : гигиенические нормативы. Москва : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. Утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ 18.05.2009; О введении в действие гигиенических нормативов ГН 2.1.7.2041-06 : Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 23.01.2006 № 1 (в ред. Постановления Главного государственного санитарного врача РФ от 26.06.2017 N 89) // КонтурНорматив. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=9&documentId=299876&ysclid=mkpt70csy5181221664> (дата обращения: 12.12.2025).

60 см. Почва: слабоподзолистая торфянисто-глееватая песчаная. Морфологическое описание почвенного разреза приведено в табл. 3.

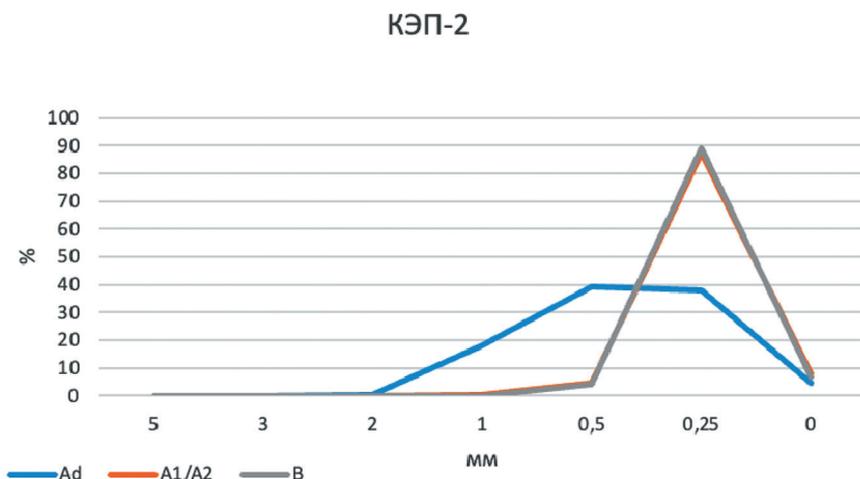
Таблица 3. Морфологическое описание разреза слабоподзолистой торфянисто-глееватой песчаной почвы, точка КЭП-2

Общий вид биотопа и разреза	Горизонт	Описание горизонта
	<p>Ad Глубина: 0–16 см Мощность: 16 см <math>t^{\circ}\text{C}</math>: 7.5 °C Цвет:</p> 	<p>Цвет (по примазке / шкале Манселла): коричневый / 7.5YR 3/4 Влажность: влажный Окраска: однородная Механический состав: мюль опесчаненный Плотность: рыхлый Сложение: нелипкий, пластичный Включения: отсутствуют Живая фаза: тонкие обильные корни трав <math>D &lt; 1</math> мм, частые корни деревьев <math>D = 1–1,5</math> см Новообразования: отсутствуют Переход: ч ткий Граница: слабоволнистая</p>
	<p>A1/A2 Глубина: 16–22/25 см Мощность: 6–9 см <math>t^{\circ}\text{C}</math>: 6.7 °C Цвет:</p> 	<p>Цвет (по примазке / шкале Манселла): светло-коричневый / 7.5YR 4/4 Влажность: влажный Окраска: однородная Механический состав: песок Плотность: рыхлый Сложение: слаболипкий, пластичный Включения: отсутствуют Живая фаза: редкие корни деревьев <math>D = 2–2,5</math> см Новообразования: отсутствуют Переход: постепенный Граница: неровная</p>
	<p>Bg Глубина: 25–63 см Видимая мощ- ность: 38 см <math>t^{\circ}\text{C}</math>: 6.8 °C Цвет:</p> 	<p>Цвет (по примазке / шкале Манселла): светло-коричневый / 7.5YR 4/6 Влажность: влажный Окраска: неоднородная, с пятнами новообразований Механический состав: песок Плотность: уплотненный Сложение: липкий, пластичный Включения: отсутствуют Живая фаза: единичные корни деревьев Новообразования: редкие пятна ожелез- нения, охристые пятна и примазки</p>

Источник: фото выполнено Я.О. Лебедевым.

Почва песчаная с мощным оторфованным органометным горизонтом Ad (16–18 см), до глубины в 22–25 см отмечается гумусное иллювирирование (по корням), корни растений встречаются по всей глубине профиля. Отмечено слабое оподзоливание на глубине 18–25 см. Влажность профиля соответствует атмосферному увлажнению, промывному режиму почвы и близости грунтовых вод. Плотность горизонтов незначительно увеличивается с глубиной,

соответствует естественному гравитационному уплотнению. Ситовой анализ образцов почвенного разреза КЭП-2 позволил уточнить особенности распределения фракций исследованных горизонтов (рис. 5).

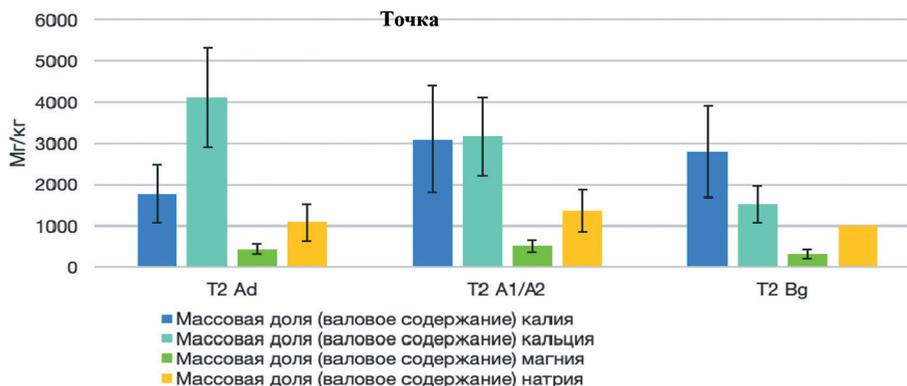


**Рис. 5.** График распределения фракций слабоподзолистой торфянисто-глеевой торфяной почвы, точка КЭП-2

Источник: составлено А.Я. Лебедевой-Георгиевской.

Из графика (рис. 5) видно, что распределение фракций твердой фазы в исследованных почвенных горизонтах отличается. В то время как в органо-минеральном A1/A2 и минеральном B горизонтах фракционное распределение оказалось полностью идентичным, в органогенном горизонте наблюдается разнообразный фракционный состав, что может указывать на неестественное накопление твердой фазы почвы в процессе ее формирования и связь с прошлой антропогенной деятельностью. В органо-минеральном и минеральном горизонтах 90 % от проб приходится на фракцию 0,25 мм — среднего песка. В органогенном горизонте Ad распределение иное — по 40 % от пробы относится к фракциям 0,25 и 0,5 мм — средний и крупный песок соответственно. В целом по преобладающим в исследованных горизонтах фракциям (средний песок) и содержанию глинистых, пылеватых частиц данная почва по ее гранулометрическому (механическому) составу была отнесена нами к песчаной — песку связному [3].

Анализ результатов определения химического состава указывает на особенности миграции макробиогенных элементов вниз по почвенному профилю с пиковым повышением концентрации Ca ( $4100 \pm 1200$  мг/кг) в органогенном горизонте Ad (рис. 6) и последующим снижением к минеральным горизонтам. Повышенное содержание кальция может быть связано с биологическим поглощением и опадом, отпадом листовых пород деревьев, произрастающих в районе точки КЭП-2. Отмечено невысокое содержание К (< 1800 мг/кг), снижается содержание Mg к минеральному горизонту Bg.



**Рис. 6.** График распределения макробиогенных элементов в горизонтах слабоподзолистой торфянисто-глееватой песчаной почвы, точка КЭП-2

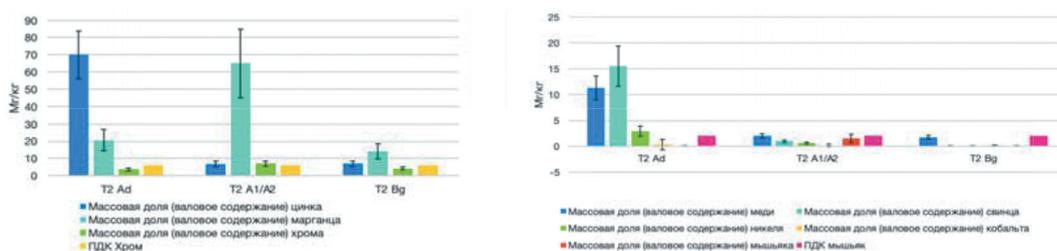
*Источник:* составлено Я.О. Лебедевым, А.А. Карпиченко, А.А. Юрмановым, Н.С. Кокориной, М.Н. Лец, В.Л. Гаазовым, А.Я. Лебедевой-Георгиевской, К.В. Молодых, А.А. Рогачевым, М.Р. Махмудовым, Н.Р. Соболевой, А.Г. Гиголовым, В.М. Некрасовым, З.А. Василенко.

Анализ результатов определения содержания тяжелых металлов позволил выявить некоторые особенности исследованной почвы. Так, в органо-генном горизонте Ad отмечены самые высокие (среди обследованных образцов) концентрации для Zn, Cu и Ni. Для хрома Cr в органо-минеральном горизонте A1/A2 отмечено незначительное превышение ( $> 6,0$  мг/кг) ПДК и ОДК<sup>5,6</sup> —  $7,0 \pm 1,4$  мг/кг, а также самые высокие (среди обследованных образцов) концентрации для Mn ( $65,0 \pm 20,0$  мг/кг). Содержание остальных тяжелых металлов коррелирует с их содержанием в горизонтах других обследованных почв. Содержание Ni, Cu и Pb постепенно снижается к минеральным горизонтам, но кратно превышает содержание других тяжелых металлов в органо-генном горизонте (что может указывать на наличие источника антропогенного загрязнения). В органо-генном горизонте Ad отмечено пиковое содержание для Zn, Pb, Cd, Cu, Ni и Mn. Распределение и концентрация отдельных тяжелых металлов могут являться подтверждением предположения об антропогенном характере нарушений почвенного покрова. Ниже приводим распределение концентрации исследованных элементов по горизонтам (рис. 7).

<sup>5</sup> ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве : гигиенические нормативы. Москва : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. Утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ 18.05.2009.

<sup>6</sup> О введении в действие гигиенических нормативов ГН 2.1.7.2041-06 : Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 23.01.2006 № 1 (в ред. Постановления Главного государственного санитарного врача РФ от 26.06.2017 N 89) // КонтурНорматив. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=9&documentId=299876&ysclid=mkpt70csy5181221664> (дата обращения: 12.12.2025).

### Точка КЭП-2



**Рис. 7.** Распределение содержания элементов отдельных металлов в горизонтах слабоподзолистой торфянисто-глеевой песчаной почвы, точка КЭП-2

*Источник:* составлено Я.О. Лебедевым, А.А. Карпиченко, А.А. Юрмановым, Н.С. Кокориной, М.Н. Лец, В.Л. Гаазовым, А.Я. Лебедевой-Георгиевской, К.В. Молодых, А.А. Рогачевым, М.Р. Махмудовым, Н.Р. Соболевой, А.Г. Гиголовым, В.М. Некрасовым, З.А. Василенко.

Несмотря на установленное незначительное единичное превышение для Сг в горизонте А1/А2, эколого-геохимическое состояние слабоподзолистой торфянисто-глеевой песчаной почвы (точка КЭП-2) может быть оценено как благоприятное.

### Точка КЭП-3

Точка КЭП-3 расположена в центральной части косы в смешанном лесу (сосна, ольха, береза) с преобладанием сосны. Общая мощность почвенного разреза: 59 см. Грунтовые воды не были вскрыты. Почва: дерново-подзолистая песчаная. Морфологическое описание почвенного разреза представлено в табл. 4.

Почва песчаная с маломощным оторфованным органоминеральным горизонтом Ad, до глубины в 8–9 см отмечается гумусное иллювиирование, а по корням растений — до 49 см. Корни растений встречаются по всей глубине профиля. Отмечено слабое оподзоливание на глубине 9–14 см. Влажность профиля соответствует атмосферному увлажнению и промывному режиму почвы. Плотность горизонтов увеличивается с глубиной, что соответствует естественному гравитационному уплотнению. Ситовой анализ образцов почвенного разреза КЭП-3 позволил уточнить особенности распределения фракций исследованных горизонтов (рис. 8).

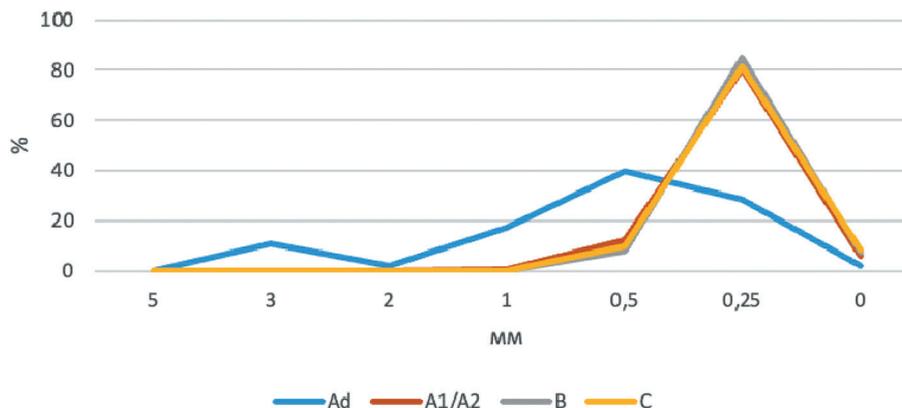
Распределение фракций твердой фазы в исследованных почвенных горизонтах отличается. Так, например, в органо-минеральных А1/А2, В и минеральном горизонте С фракциональное распределение оказалось полностью идентичным, в то время как в органоминеральном горизонте Ad наблюдается значительно более разнообразный фракционный состав, что может указывать на влияние антропогенной деятельности на накопление твердой фазы почвы в процессе ее формирования. В органо-минеральных и минеральном горизонтах 90 % от проб приходится на фракцию 0,25 мм — среднего песка. В органоминеральном горизонте распределение иное — по 40 % от пробы относится к фракциям 0,25 и 0,5 мм — средний и крупный песок соответственно.

Таблица 4. Морфологическое описание разреза дерново-подзолистой песчаной почвы, точка КЭП-3

Общий вид биотопа и разреза	Горизонт	Описание горизонта
	<p>Ad Глубина: 0–5/7 см Мощность: 5–7 см <math>t^{\circ}\text{C}</math>: 6,2 <math>^{\circ}\text{C}</math></p> 	<p>Цвет (по примазке / шкале Манселла): темно-коричневый / 10YR 2/2 Влажность: влажный Окраска: однородная Механический состав: модер опесчаненный Плотность: рыхлый Сложение: липкий, слабопластичный Включения: отсутствуют Живая фаза: частые корни трав, ризоиды мхов <math>D = 1–2</math> мм, частые корни деревьев <math>D = 0,2–0,3</math> см Новообразования: отсутствуют Переход: ясный по цвету и механическому составу Граница: слабоволнистая</p>
	<p>A2 Глубина: 5/7–10/14 см Мощность: 3–9 см <math>t^{\circ}\text{C}</math>: 6,1 <math>^{\circ}\text{C}</math></p> 	<p>Цвет (по примазке / шкале Манселла): серо-коричневый / 10YR 3/2 Влажность: свежий Окраска: однородная Механический состав: супесчаный Плотность: уплотненный Сложение: слаболипкий, слабопластичный Включения: отсутствуют Живая фаза: частые корни трав <math>D = 1–2</math> мм, корни деревьев <math>D = 0,3–0,6</math> см Новообразования: отсутствуют Переход: четкий Граница: слабоволнистая</p>
	<p>B Глубина: 10/14–51/53 см Мощность: 37–43 см <math>t^{\circ}\text{C}</math>: 6,1 <math>^{\circ}\text{C}</math></p> 	<p>Цвет (по примазке / шкале Манселла): охристо-серый / 10YR 5/2 Влажность: свежий Окраска: однородная Механический состав: песок Плотность: уплотненный Сложение: слаболипкий, непластичный Включения: отсутствуют Живая фаза: частые мелкие корни деревьев <math>D = 0,3–0,8</math> см Новообразования: отсутствуют Переход: заметный по цвету и плотности Граница: слабоволнистая</p>
	<p>C Глубина: 51/53–59 см Видимая мощность: 6–8 см <math>t^{\circ}\text{C}</math>: 6,2 <math>^{\circ}\text{C}</math></p> 	<p>Цвет (по примазке / шкале Манселла): охристо-коричневый / 10YR 4/3 Влажность: свежий Окраска: однородная Механический состав: песок Плотность: плотный Сложение: слаболипкий, пластичный Включения: отсутствуют Живая фаза: отсутствует Новообразования: отсутствуют</p>

Источник: фото выполнено Я.О. Лебедевым.

## КЭП-3



**Рис. 8.** График распределения фракций дерново-подзолистой песчаной почвы, точка КЭП-3  
 Источник: составлено А.Я. Лебедевой-Георгиевской.

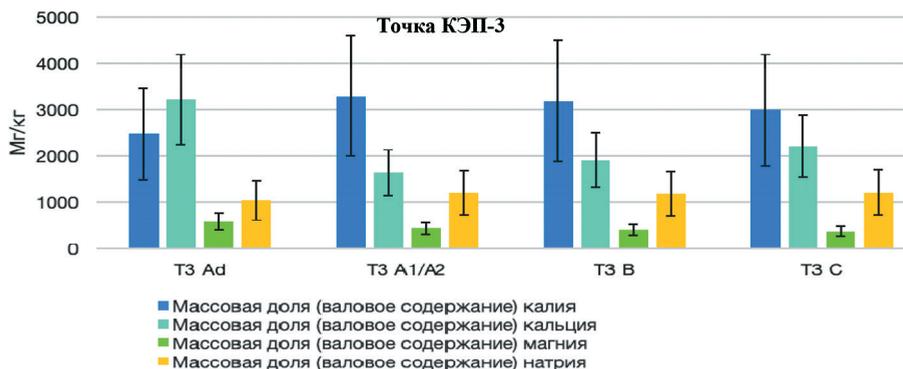
В отличие от органо-минеральных горизонтов в органогенном горизонте Ad преобладают фракции среднего и крупного песка. По преобладающим в исследованных горизонтах фракциям (средний песок) и содержанию глинистых, пылеватых частиц описываемая почва по ее гранулометрическому (механическому) составу была отнесена нами к песчаной — песку связному [3].

Химический состав почвы схож со слабоподзолистой торфянисто-глееватой песчаной почвой (точка КЭП-2), что указывает на нарушения в процессе миграции макробиогенных элементов вниз по почвенному профилю с пиковым повышением концентрации Са в органогенном горизонте Ad (см. рис. 6) и последующим снижением к минеральным горизонтам. Отмечено невысокое содержание К ( $> 2000$  мг/кг), снижается содержание Mg к минеральному горизонту Bg.

Анализ результатов определения химического состава указывает на особенности миграции макробиогенных элементов вниз по почвенному профилю: пиковое повышение концентрации Са ( $3230 \pm 970$  мг/кг) в органогенном горизонте Ad (рис. 9) и последующая последовательная аккумуляция к минеральным горизонтам. Повышенное содержание кальция наиболее вероятно связано с биологическим поглощением, а также влиянием опада и отпада листовых пород деревьев, произрастающих в районе точки КЭП-3. Содержание К и Mg имеет пик в органо-минеральном горизонте A1/A2 и снижается к минеральному горизонту C.

Анализ результатов определения содержания тяжелых металлов позволил выявить для As ( $2,7 \pm 1,3$  мг/кг) самое высокое из зафиксированных превышений в органогенном горизонте Ad и для Cr ( $6,9 \pm 1,4$  мг/кг) в минеральном горизонте B — незначительное превышение ПДК и ОДК ( $> 2,0$  мг/кг

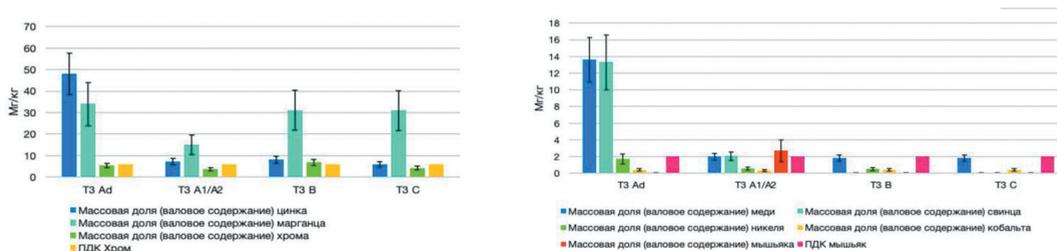
и > 6,0 мг/кг соответственно)<sup>7</sup>. Для ряда исследованных металлов (Zn = 48,0 ± 9,6, Pb = 13,3 ± 3,3, Cu = 13,6 ± 2,7, Mn = 34,0 ± 10,0 мг/кг) отмечен значительный пик концентрации в органогенном горизонте Ad, что может указывать на наличие источника антропогенного загрязнения. Свободная (гравитационная) миграция характерна для Zn, Pb, Cd, Cu, Ni, Mn (для Mn — кроме эллювиального горизонта A1/A2), равномерно распределяется по горизонтам Co. Геохимические барьеры не прослеживаются. Ниже приводим распределение концентрации исследованных элементов по горизонтам (рис. 10).



**Рис. 9.** График распределения макробиогенных элементов в горизонтах дерново-подзолистой песчаной почвы, точка КЭП-3

Источник: составлено Я.О. Лебедевым, А.А. Карпиченко, А.А. Юрмановым, Н.С. Кокориной, М.Н. Лец, В.Л. Гаазовым, А.Я. Лебедевой-Георгиевской, К.В. Молодых, А.А. Рогачевым, М.Р. Махмудовым, Н.Р. Соболевой, А.Г. Гиголовым, В.М. Некрасовым, З.А. Василенко.

**Точка КЭП-3**



**Рис. 10.** Распределение содержания элементов отдельных металлов в горизонтах дерново-подзолистой песчаной почвы, точка КЭП-3

Источник: составлено Я.О. Лебедевым, А.А. Карпиченко, А.А. Юрмановым, Н.С. Кокориной, М.Н. Лец, В.Л. Гаазовым, А.Я. Лебедевой-Георгиевской, К.В. Молодых, А.А. Рогачевым, М.Р. Махмудовым, Н.Р. Соболевой, А.Г. Гиголовым, В.М. Некрасовым, З.А. Василенко.

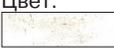
<sup>7</sup> ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве : гигиенические нормативы. Москва : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. Утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ 18.05.2009; О введении в действие гигиенических нормативов ГН 2.1.7.2041-06 : Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 23.01.2006 № 1 (в ред. Постановления Главного государственного санитарного врача РФ от 26.06.2017 N 89) // КонтурНорматив. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=9&documentId=299876&ysclid=mkp70csy5181221664> (дата обращения: 12.12.2025).

Эколого-геохимическое состояние дерново-подзолистой песчаной почвы (точка КЭП-3) может быть оценено как благоприятное с незначительными единичными превышениями по As и Cr в горизонтах Ad и B.

### Точка КЭП-4

Точка КЭП-4 расположена на берегу Балтийского моря за авандюной в смешанном лесу (береза, осина, ель) с преобладанием березы. Общая мощность почвенного разреза составила 49 см. Грунтовые воды были вскрыты на глубине 49 см. Разрез представлен слабоподзолистой песчаной почвой. Морфологическое описание почвенного разреза приведено в табл. 5.

Таблица 5. Морфологическое описание разреза слабоподзолистой песчаной почвы, точка КЭП-4

Общий вид биотопа и разреза	Горизонт	Описание горизонта
	Ad Глубина: 0–4 см Мощность: 4 см $t^{\circ}\text{C}$ : 4,9 °C Цвет: 	Цвет (по примазке / шкале Манселла): темно-коричневый / 10YR 2/1 Влажность: влажный Окраска: однородная Механический состав: супесчаный Плотность: рыхлый Сложение: слаболипкий, пластичный Включения: отсутствуют Живая фаза: тонкие обильные корни трав и ризоиды мхов $D = 0,1$ см Новообразования: отсутствуют Переход: заметный по цвету и механическому составу Граница: слабоволнистая
	A1/A2 Глубина: 4–18 см Мощность: 14 см $t^{\circ}\text{C}$ : 4,8 °C Цвет: 	Цвет (по примазке / шкале Манселла): коричневый / 10YR 3/1 Влажность: влажный Окраска: однородная Механический состав: песок Плотность: рыхлый Сложение: слаболипкий, непластичный Включения: отсутствуют Живая фаза: частые корни трав $D = 1–2$ мм, частые корни деревьев $D = 0,3–2,0$ см Новообразования: отсутствуют Переход: чёткий Граница: слабоволнистая
	B Глубина: 18–40 см Мощность: 22 см $t^{\circ}\text{C}$ : 5,0 °C Цвет: 	Цвет (по примазке / шкале Манселла): охристо-коричневый / 2.5Y 5/4 Влажность: влажный Окраска: однородная Механический состав: песок Плотность: рыхлый Сложение: слаболипкий, непластичный Включения: отсутствуют Живая фаза: редкие корни деревьев $D = 0,1–0,6$ см Новообразования: отсутствуют Переход: чёткий Граница: слабоволнистая

Общий вид биотопа и разреза	Горизонт	Описание горизонта
	С Глубина: 40–49 см Видимая мощность: 9 см $t^{\circ}\text{C}$ : 5,0 $^{\circ}\text{C}$ Цвет: 	Цвет (по примазке / шкале Манселла): светло-коричневый / 2.5Y 4/4 Влажность: влажный Окраска: неоднородная Механический состав: песок Плотность: рыхлый Сложение: слаболипкий, непластичный Включения: отсутствуют Живая фаза: единичные мелкие корни деревьев $D = 0,2\text{--}0,5$ см Новообразования: единичные сизоохристые пятна и примазки

Источник: фото выполнено Я.О. Лебедевым.

Почва песчаная с маломощным органомным горизонтом, до глубины в 18–19 см отмечается гумусное иллювирувание, по корням растений — до 28 см. Корни растений встречаются до глубины 38 см. Отмечено слабое оподзоливание на глубине 15–18 см. Влажность профиля соответствует атмосферному увлажнению и промывному режиму почвы. Плотность горизонтов с глубиной не меняется, что указывает на особенности седиментационного процесса песчаной фракции. Ситовой анализ образцов почвенного разреза КЭП-4 позволил уточнить особенности распределения фракций исследованных горизонтов (рис. 11).

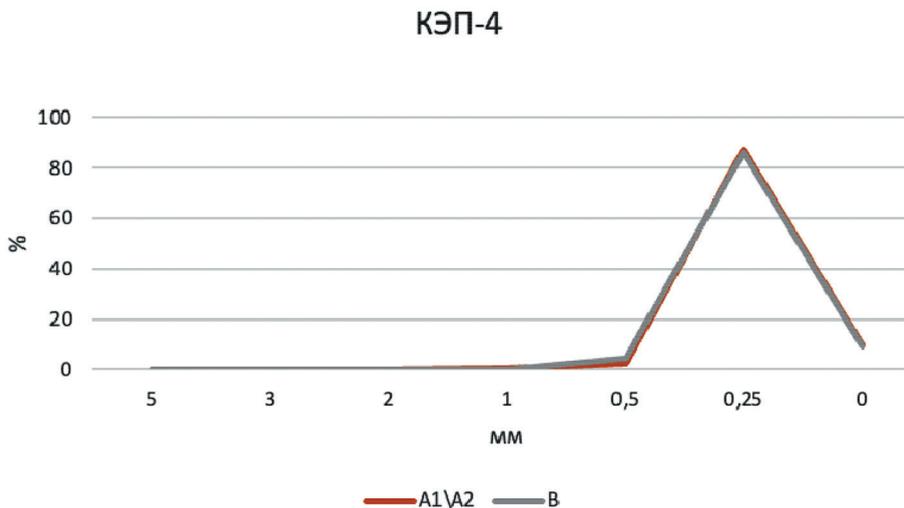


Рис. 11. График распределения фракций слабоподзолистой песчаной почвы, точка КЭП-4

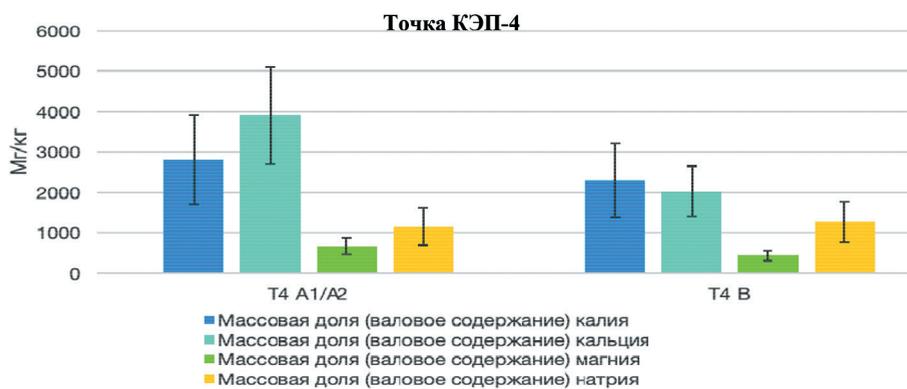
Источник: составлено А.Я. Лебедевой-Георгиевской.

Из графика видно, что распределение фракций твердой фазы во всех исследованных почвенных (органо-минеральных и минеральных) горизонтах идентичное, что может указывать на естественное и постепенное накопление

твердой фазы почвы в процессе ее формирования в непосредственной близости от авантюны. Свыше 80 % от проб из трех исследованных горизонтов приходится на фракцию 0,25 мм — среднего песка.

Преобладающая в исследованных горизонтах фракция и содержание глинистых, пылеватых частиц позволяют отнести данную почву по ее гранулометрическому (механическому) составу к песчаной — песку связному [3].

Анализ результатов определения химического состава указывает на свободную миграцию макробиогенных элементов (К, Са, Mg) вниз по почвенному профилю. Для Na отмечено повышение значений содержания к минеральным горизонтам (рис. 12).



**Рис. 12.** График распределения макробиогенных элементов в горизонтах слабоподзолистой песчаной почвы, точка КЭП-4

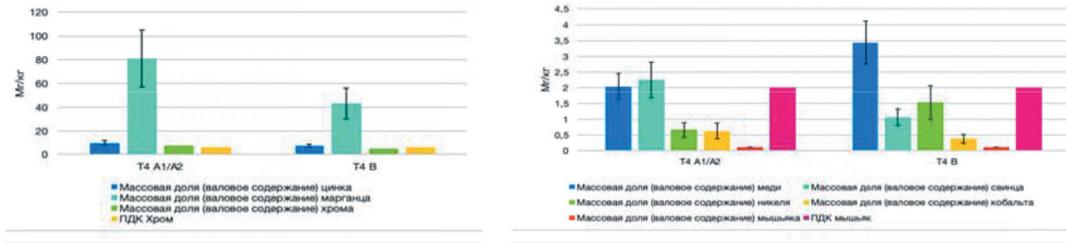
*Источник:* составлено Я.О. Лебедевым, А.А. Карпиченко, А.А. Юрмановым, Н.С. Кокориной, М.Н. Лец, В.Л. Гаазовым, А.Я. Лебедевой-Георгиевской, К.В. Молодых, А.А. Рогачевым, М.Р. Махмудовым, Н.Р. Соболевой, А.Г. Гиголовым, В.М. Некрасовым, З.А. Василенко.

Анализ результатов определения содержания тяжелых металлов позволил выявить для Cr в органо-минеральном горизонте A1/A2 незначительное превышение ПДК ( $> 6,0$  мг/кг)<sup>8</sup>. Вместе с тем это значение является самым высоким среди всех опробованных почвенных горизонтов ( $7,4 \pm 1,5$  мг/кг). Для Pb ( $2,25 \pm 0,56$  мг/кг) и Mn ( $81,0 \pm 24,0$  мг/кг) отмечен пик концентрации в органо-минеральном горизонте A1/A2, для Cu ( $3,44 \pm 0,69$  мг/кг) — в горизонте B. Свободная (гравитационная) миграция характерна для Zn, Cr, Pb, Co, а также Cd и Mn, равномерно распределяется по горизонтам As. Увеличение концентрации к минеральному горизонту отмечено для Cu и Ni, что может указывать на наличие физико-химического барьера окислительно-восстано-

<sup>8</sup> О введении в действие гигиенических нормативов ГН 2.1.7.2041-06 : Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 23.01.2006 № 1 (в ред. Постановления Главного государственного санитарного врача РФ от 26.06.2017 N 89) // КонтурНорматив. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=9&documentId=299876&ysclid=mkpt70csy5181221664> (дата обращения: 12.12.2025).

вительного типа. Далее приводим распределение концентрации исследованных элементов по горизонтам (рис. 13).

#### Точка КЭП-4



**Рис. 13.** Распределение содержания элементов отдельных металлов в горизонтах слабоподзолистой песчаной почвы, точка КЭП-4

Источник: составлено Я.О. Лебедевым, А.А. Карпиченко, А.А. Юрмановым, Н.С. Кокориной, М.Н. Лец, В.Л. Гаазовым, А.Я. Лебедевой-Георгиевской, К.В. Молодых, А.А. Рогачевым, М.Р. Махмудовым, Н.Р. Соболевой, А.Г. Гиголовым, В.М. Некрасовым, З.А. Василенко.

Несмотря на установленное незначительное единичное превышение для Сг в горизонте А1/А2, эколого-геохимическое состояние слабоподзолистой песчаной почвы (точка КЭП-4) может быть оценено как благоприятное.

Представленный анализ результатов физико-химических исследований образцов почв позволяет предположить наличие особенностей распределения песчаных фракций в слабоподзолистой торфянисто-глееватой песчаной и дерново-подзолистой песчаной почвах (точки КЭП-2 и КЭП-3 соответственно), что может быть связано с хозяйственной деятельностью здесь в прошлом или с активным агрегированием частиц при высоком содержании Са и Mg (коагулирующих катионов). Было установлено превышение ПДК и ОДК по As в двух образцах — в дерново-подзолистой песчаной почве (точка КЭП-3) и в дерновой слабоподзолистой песчаной почве (точка КЭП-1) и превышение ПДК по Сг в 5 образцах — во всех исследованных почвах (точки КЭП-1 — КЭП-4). Причины выявленных физико-химических особенностей мы рассмотрим ниже.

## Обсуждение и результаты

Почвенные разрезы заложенной катены располагались в типичных для территории Куршской косы биотопах [4; 5] на выдержанном друг от друга расстоянии и позволили оценить особенности химического состава почв, влияние на него растительных сообществ, прошлой антропогенной деятельности и импультверизации морских аэрозолей, а геохимические особенности и характер почвенного увлажнения способствовали формированию физико-химических барьеров (точка КЭП-1) [6].

Вскрытые и описанные в ходе исследований почвенные разрезы соответствуют распространенным на территории Куршской косы типам почв, формирующихся на эоловых отложениях в различных условиях водного режима и гумусонакопления<sup>9</sup>. В точке КЭП-4 частично обводненные и обводненные горизонты В и С обводнены посредством капиллярного подъема атмосферной влаги (а также, возможно, водой из морской акватории, расположенной на одной высоте с точкой КЭП-4 за авантюной в 30 м) с растворенными из почвы солями. Так, в период пробоподготовки доведение до постоянной массы отобранных образцов потребовало значительного времени в связи с тем, что растворенная в воде соль активно задерживала влагу на контакте с твердой фазой почвы [7]. Близкое залегание грунтовых вод в целом, а также наличие слабосоленых грунтовых вод (в результате импульверизации и последующей миграции талассофильных элементов с морскими аэрозолями) может являться геохимическим биоингибитором для развития корневой системы древесной растительности в глубину, а не столько легкий (слабосвязный, связный песок) гранулометрический состав почв (напротив, способствующий развитию корневой системы растений) и усугублять последствия разрушительных для экосистемы ветровалов [8]. Кроме того, выявленное подсолонение грунтовых вод и минеральных горизонтов почв не может являться следствием сельскохозяйственной деятельности, о чем свидетельствуют данные исследования воды оз. Чайка и акватории Куршского залива на предмет содержания растворенных солей посредством экспресс-лаборатории EcoLabox, — для проб воды была отмечена средняя жесткость, содержание нитратов менее 1 мг/л, нитритов — менее 0,05 мг/л, аммония — менее 0,2 мг/л, фосфаты — не обнаружены [4; 5]. Для почвенных горизонтов точки КЭП-4 характерно (кроме описанных выше) высокое содержание Na, Mg, P, Mn, а также Fe, Li, Ti, Cr, — по сравнению с остальными горизонтами исследованных почв.

Фракции песка, преобладающие в гранулометрическом составе почв, имеющих эоловое происхождение [9], соответствуют своему генезису, в то время как органогенные горизонты почвенных разрезов, расположенных в центральной части катены, носят следы антропогенной трансформации (турбирования) [10]. Распределение фракций песка в точке КЭП-2 и КЭП-3 может указывать на ее антропогенно-нарушенное состояние, на что указывает значительное содержание фракции крупного песка и небольшое содержание гравия в органогенном горизонте, что не согласуется с фракционным распределением в органогенных горизонтах других исследованных почвенных разрезов. Вместе с тем в настоящее время на этих территориях никакой хозяйственной деятельности не ведется, дорожная инфраструктура расположена на значительном отдалении, вследствие чего можно сделать предположение о нарушении почвенного покрова или эолового переноса отдельных песчаных фракций на эти

<sup>9</sup> Национальные парки России : справочник. Москва : Издательство Центра охраны дикой природы, 1996.

участки в прошлом. Привнос фракций размера 0,5–3 мм, предположительно, может быть связан с организацией в прошлом дорожной сети в центральной части Куршской косы, так как соответствует по диапазону фракций прежним и текущим государственным стандартам на строительный песок<sup>10</sup>. Специального минералогического исследования, способного подтвердить или опровергнуть данное предположение, не проводилось.

Проведенный нами анализ содержания в валовой форме макробиогенных элементов (Ca, K, Mg, Na), тяжелых металлов и токсических элементов, относимых к 1, 2 и 3-й группам токсикологической опасности (Zn, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Co, Mn, As)<sup>11</sup>, показал, что отдельные геохимические особенности исследованных почв могут быть связаны с атмосферной циркуляцией и близостью к акватории Балтийского моря. В частности, было отмечено, что содержание Na увеличивается в органо-минеральных и минеральных горизонтах почвенных разрезов, обращенных к Куршскому заливу (КЭП-1, КЭП-2), в то время как в почвенных разрезах, обращенных к акватории Балтийского моря (КЭП-4, КЭП-3), наоборот, содержание Na увеличивается к минеральным горизонтам.

Отмечена возможная импультверизация Ca, Mg (а также Sr, P и ряда других элементов) с морскими аэрозолями, выражающаяся в постепенном снижении значений содержания Ca в органо-минеральных горизонтах (в среднем 2449 мг/кг), Mg — в органогенных горизонтах почв (в среднем 450 мг/кг) — при движении от побережья Балтийского моря к Куршскому заливу. Тем не менее для K и Na подобной закономерности выявлено не было.

В образцах из двух обследованных горизонтов было установлено превышение ПДК и ОДК по As ( $\max = 2,7 \pm 1,2$  мг/кг). Отмеченные в почвенных горизонтах превышения содержания As могут объясняться процессами импультверизации с морскими аэрозолями, что является типичным способом его переноса [11].

В образцах из пяти обследованных горизонтов было установлено превышение ПДК по Cr ( $\max = 7,4 \pm 1,4$  мг/кг). Для отдельных случаев его повышенная

<sup>10</sup> ГОСТ 8736-93. Песок для строительных работ. Технические условия. Введ. 01.07.1995. Москва : Стандартинформ, 2005; ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия. Введ. 01.04.2015. Москва : Стандартинформ, 2019.

<sup>11</sup> ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве : гигиенические нормативы. Москва : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. Утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ 18.05.2009; О введении в действие гигиенических нормативов ГН 2.1.7.2041-06 : Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 23.01.2006 № 1 (в ред. Постановления Главного государственного санитарного врача РФ от 26.06.2017 N 89) // КонтурНорматив. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=9&documentId=299876&ysclid=mkpt70csy5181221664> (дата обращения: 12.12.2025); Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами : Письмо Минприроды РФ № 04-25, Роскомзема № 61-5678 от 27.12.93 // КонтурНорматив. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=8&documentId=6352&ysclid=mkptb5qce0581410956> (дата обращения: 12.12.2025).

концентрация в почвенных горизонтах преобладающих здесь песчаных почв может быть связана с геохимическими барьерами (окислительно-восстановительными условиями) [6]. Присутствие хрома во всех исследованных нами песчаных по своему гранулометрическому составу почвах — вне зависимости от их антропогенной нарушенности — указывает на особенности минералогического состава самих песков, что согласуется с литературными данными [12].

Таким образом, установленные нами превышения валового содержания в отдельных горизонтах почв As и Cr имеют естественное происхождение и не связаны с антропогенным загрязнением. На основании проведенного исследования эколого-геохимическое состояние почв Куршской косы в рамках заложенной катены может быть оценено как благоприятное с незначительными единичными превышениями ПДК и ОДК по Cr и As, связанными с естественными особенностями геологии и приморского положения.

## Заключение

Проведенное исследование эколого-геохимического состояния почв центральной части полуострова Куршская коса позволило актуализировать данные о физико-химических характеристиках, включая значения содержания широкого ряда токсикологических элементов. Было установлено, что в двух обследованных почвенных горизонтах содержание As превышает ОДК; максимальное содержание As составило  $2,7 \pm 1,3$  мг/кг (горизонт A1/A2, КЭП-3). Для пяти из обследованных почвенных горизонтов было установлено превышение ПДК по Cr; максимальное содержание Cr составило  $7,4 \pm 1,5$  мг/кг (горизонт A1/A2, КЭП-4).

Исследование гранулометрического состава почв показало, что органогенные горизонты почв в точках КЭП-2 и КЭП-3 имеют признаки антропогенного вмешательства в прошлом (предположительно в связи со строительством дороги), в то время как остальные почвы развивались естественным образом.

Уточнение причин повышенного содержания Cr ( $7,4 \pm 1,5$  мг/кг) в точке КЭП-4 не позволяет сделать вывод об антропогенном загрязнении по ряду причин. Так, повышенное содержание Cr объясняется геологическими особенностями территории и наличием геохимических барьеров: окислительные условия способствуют повышенному содержанию Cr, в то время как в восстановительных условиях его содержание снижается вследствие активной миграции.

Повышенное содержание As в органогенных и органо-минеральных горизонтах объясняется его активной импัลверизацией с акватории Балтийского моря (а также, возможно, с акватории Куршского залива). Точка КЭП-4 при этом защищена авандюной, что препятствует его аккумуляции. Вместе с тем отсутствует возможность исключать антропогенное воздействие, так как его высокое содержание отмечено в нарушенных горизонтах точек КЭП-2

и КЭП-3. Кроме того, ряд исследованных тяжелых металлов (Zn, Pb, Cu, Ni) имеют значительный пик концентрации в органогенных горизонтах именно этих точек, что также может указывать на наличие современного источника антропогенного загрязнения.

Эколого-геохимическое состояние обследованных почв: дерновой слабо-подзолистой песчаной почвы (точка КЭП-1 и КЭП-4), слабоподзолистой торфянисто-глееватой песчаной почвы (точка КЭП-2) и дерново-подзолистой песчаной почвы (точка КЭП-3) — может быть оценено как в целом благоприятное с незначительными единичными превышениями значений ПДК и ОДК по Cr и As соответственно.

Проведенные исследования могут стать базисом для организации геохимического мониторинга почв природно-антропогенной территории Национального парка «Куршская коса». Исследования могут быть масштабированы за счет увеличения количества точек исследований, заложения дополнительных поперечных и продольных катен. Полученные данные были направлены в Национальный парк «Куршская коса» для включения в материалы летописи природы.

### Список литературы

- [1] Ланге Е.К., Ежова Е.Е., Багиров Н.Э., Володина А.А., Герб М.А., Полунина Ю.Ю., Шартон А.Ю. Характеристика состояния биоты на основе результатов мониторинга прибрежной зоны Куршского залива в пределах национального парка «Куршская коса» в 2021 году // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса»: сб. науч. статей. Вып. 18 / сост. И.П. Жуковская. Калининград : Полиграфический центр Балтийского федерального университета имени И. Канта, 2023. С. 250.
- [2] Рыльков О.В., Жуковская И.П. Особо ценные природные и культурные объекты национального парка «Куршская коса» // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса»: сб. науч. статей. Вып. 17 / сост. И.П. Жуковская. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2021. 193 с.
- [3] Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. Москва : Изд-во Академии наук СССР, 1958. 192 с. EDN: YWWBDF
- [4] Бибко А.П., Кривовяз Е.В., Хрулев Т.С., Филиппенко Д.П. Исследовательская экспедиция в Национальном парке «Куршская коса» в 2023 году. Калининградская область // Сборник тезисов научно-исследовательских работ участников Всероссийского чемпионата «Безграничные экспедиции» в 2023 и 2024 годах. Москва : АНО «Центр содействия экспедиционной деятельности», 2024. С. 56–59.
- [5] Доткаев В.В., Деревянченко Я.А., Кузина Э.В., Барановская А.В., Колесников Е.А., Касимова Д.М., Яровенко П.В., Кудряшова Я.В., Балагурова А.Д., Баканова А.В., Алимова С.А., Жукаускайте О.В., Ваккер М.Е., Юрченко К.А., Мухаева Д.А., Жигунова А.А., Дмитриченко А.Д., Недбайло А.В., Слюсаренко Л.В., Коваленко А.И. Результаты научно-исследовательской экспедиции в Национальном парке «Куршская коса» Калининградской области. Калининградская область // Сборник тезисов научно-исследовательских работ участников Всероссийского чемпионата «Безгра-

- ничные экспедиции» в 2023 и 2024 годах. Москва : АНО «Центр содействия экспедиционной деятельности», 2024. С. 54–56.
- [6] Глазовская М.А. Геохимические барьеры в почвах равнин, их типология, функциональные особенности и экологическое значение // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2012. № 1. С. 8–14. EDN: OWYGNF
- [7] Найденов А.С., Василько В.П., Терехова С.С. Почвенная влага (принципы и пути регулирования водного режима почвы). Краснодар : КубГАУ, 2020. 77 с.
- [8] Комарова И.А. Эффективность мероприятий по ликвидации последствий массового ветровала в Национальном парке «Куршская коса» (Калининградская область) // Вестник защиты растений. 2007. № 4. С. 54–56. EDN: JIVYYM
- [9] Осинцева Н.В., Шмидт И.В., Горбунова Т.А., Лауэр Т., Шнайдер Б., Тинапп Х., Штойбле Х. Субаэральные отложения черноозерской гряды (долина р. Иртыш): гранулометрический состав; генезис; динамика осадконакопления // Геоморфология. 2022. Т. 53. № 2. С. 51–60. <https://doi.org/10.31857/S0435428122020080> EDN: EHGE CZ
- [10] Панин А.М., Муралев С.Г. Исследование значимости гранулометрического состава почв и почвообразующих пород при выполнении земельно-оценочных работ // Вестник Нижегородского государственного университета имени Н.И. Лобачевского. 2010. № 4. С. 109–114. EDN: MWCFHB
- [11] Breuninger E.S., Tolu J., Aemisegger F., Thurnherr I., Bouchet S., Mestrot A., Ossola R., McNeill K., Tukhmetova D., Vogl J., Meermann B., Sonke J.E., Winkel L.H.E. Marine and terrestrial contributions to atmospheric deposition fluxes of methylated arsenic species // Nature Communications. 2024. Vol. 15. No. 1. Article no. 9623. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-53974-z> EDN: INIJQL
- [12] Харин Г.С., Жуковская И.П., Исаченко С.М., Ерошенко Д.В. Рудные пески в осадках Куршской косы (Балтийское море) // Океанология. 2021. Т. 61, № 1. С. 132–140. EDN: КОУУАК

### Сведения об авторах:

*Лебедев Ярослав Олегович*, научный сотрудник Отдела стандартизации, методологии НДТ ФГАУ «НИИ «ЦЭПП», Российская Федерация, 115054, г. Москва, Стремянный переулок, д. 38; старший преподаватель департамента рационального природопользования, Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 115093, г. Москва, Подольское шоссе, д. 8; старший преподаватель кафедры НДТ и регуляторных практик, РТУ МИРЭА, Российская Федерация, 119454, г. Москва, проспект Вернадского, д. 78; научный сотрудник НИЦ Геоматики ФИЦ ИнБЮМ им. А.О. Ковалевского РАН, Российская Федерация, 299011, г. Севастополь, проспект Нахимова, д. 2. ORCID: 0000-0001-5792-1466; eLIBRARY SPIN-код: 6121-5978. E-mail: ya.o.lebedev@ya.ru

*Карпиченко Александр Александрович*, кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой (заместитель декана на общественных началах по научной работе и международному сотрудничеству), Белорусский государственный университет, Республика Беларусь, 220030, г. Минск, ул. Ленинградская, д. 16. ORCID: 0000-0002-7463-4685; eLIBRARY SPIN-код: 5608-1248. E-mail: karpichenka@gmail.com

*Юрманов Антон Алексеевич*, кандидат биологических наук, проректор по научной и инновационной деятельности, Мурманский арктический государственный университет, Российская Федерация, 183038, г. Мурманск, ул. Капитана Егорова, д. 15. ORCID: 0000-0002-0270-8737; eLIBRARY SPIN-код: 1337-5656; Istina Researcher ID (IRID): 71800360;

WoS Researcher ID: ААО-4528-2021; Scopus Author ID: 57200179180. E-mail: yurmanov-anton.ya.ru@yandex.ru

*Кокорина Надежда Сергеевна*, куратор проекта «Безграничные экспедиции», специалист Дирекции «Движение Первых», Российская Федерация, 109028, г. Москва, ул. Земляной Вал, д. 50А, стр. 2. E-mail: nadiapro555@gmail.com

*Лец Марина Николаевна*, руководитель «ЭКО-центр человека им. В.Г. Гниловского», Российская Федерация, 355017, Ставропольский край, г. Ставрополь, Зоотехнический пер, д. 6; куратор группы проекта «Движение Первых», Российская Федерация, 109028, г. Москва, ул. Земляной Вал, д. 50А, стр. 2. E-mail: marina-lec@yandex.ru

*Гаазов Василий Леонидович*, заместитель руководителя «ЭКО-центр человека им. В.Г. Гниловского», Российская Федерация, 355017, Ставропольский край, г. Ставрополь, Зоотехнический пер, д. 6; куратор группы проекта «Движение Первых», Российская Федерация, 109028, г. Москва, ул. Земляной Вал, д. 50А, стр. 2. E-mail: gaazov57@yandex.ru

*Лебедева-Георгиевская Алёна Ярославна*, обучающийся; помощник участников проекта «Движение Первых», Российская Федерация, 141401, Московская область, г. Химки, ул. Первомайская, д. 6. E-mail: a.ya.lebe-geo@ya.ru

*Молодых Кирилл Владимирович*, бакалавр, Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация, 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7-9; участник проекта «Движение Первых», Российская Федерация, 109028, г. Москва, ул. Земляной Вал, д. 50А, стр. 2. E-mail: molodix.kirill@yandex.ru

*Рогачев Артём Александрович*, бакалавр Agora International School, Княжество Андорра, Ла Массана, Carrer del Serrat del Camp, 14, AD400; участник проекта «Движение Первых», Российская Федерация, 109028, г. Москва, ул. Земляной Вал, д. 50А, стр. 2. E-mail: vehcagor@yandex.ru

*Махмудов Марат Рахимович*, обучающийся; участник проекта «Движение Первых», Российская Федерация, 109028, г. Москва, ул. Земляной Вал, д. 50А, стр. 2. E-mail: maratmah08@gmail.com

*Соболев Никита Романович*, обучающийся; участник проекта «Движение Первых», Российская Федерация, 109028, г. Москва, ул. Земляной Вал, д. 50А, стр. 2. E-mail: sobolevnikita564@gmail.com

*Гиголов Автандил Георгиевич*, обучающийся; участник проекта «Движение Первых», Российская Федерация, 109028, г. Москва, ул. Земляной Вал, д. 50А, стр. 2. E-mail: narusheprikyan@yandex.ru

*Некрасов Владимир Максимович*, обучающийся; участник проекта «Движение Первых», Российская Федерация, 109028, г. Москва, ул. Земляной Вал, д. 50А, стр. 2. E-mail: svetavv2516@yandex.ru

*Василенко Злата Андреевна*, обучающийся; участник проекта «Движение Первых», Российская Федерация, 109028, г. Москва, ул. Земляной Вал, д. 50А, стр. 2. E-mail: zlatavas@gmail.com