

ISSN 0136–1694 (Print)
ISSN 2312-4202 (Online)

ФГБНУ «ПОЧВЕННЫЙ ИНСТИТУТ ИМ. В.В. ДОКУЧАЕВА»

БЮЛЛЕТЕНЬ
ПОЧВЕННОГО ИНСТИТУТА
имени В.В. ДОКУЧАЕВА

Выпуск 114

Москва
2023

<https://bulletin.esoil.ru>

ISSN 0136–1694 (Print)
ISSN 2312-4202 (Online)

V.V. DOKUCHAEV SOIL SCIENCE INSTITUTE

Dokuchaev Soil Bulletin
**(Byulleten Pochvennogo instituta
imeni V.V. Dokuchaeva)**

Volume 114

Moscow
2023

<https://bulletin.esoil.ru>

ББК П03
Б 98
УДК 631.4

Главный редактор:
Иванов А. Л., академик РАН

Заместитель главного редактора:
Савин И. Ю., академик РАН

Редакционная коллегия:

А-Ксин Джу (университет Висконсина, США)
Когут Б. М. (Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва)
Монтанарелла Л. (Институт окружающей среды и устойчивого развития Объединенного исследовательского центра Европейской комиссии, Италия)
Розанов А. Б. (Университет Стелленбош, ЮАР)
Тихонович И. А., академик РАН (Санкт-Петербургский университет, Санкт-Петербург)
Тот Г. (Университет Паннонии, Венгрия)
Хитров Н. Б. (Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва)
Чендев Ю. Г. (Белгородский государственный университет, Белгород)
Швиденко А. З. (Международный институт прикладного системного анализа, Австрия)
Шишков Т. А. (Институт почвоведения им. Н. Пушкирова, Болгария)

Chief Editor:
A. L. Ivanov, Academician of RAS

Deputy Chief Editor:
I. Yu. Savin, Academician of RAS

Editorial board:

A-Xing Zhu (University of Wisconsin-Madison, USA)
B. M. Kogut (V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Russia)
L. Montanarella (Institute for Environment and Sustainability – European Commission’s Joint Research Centre (IES JRC), Italy)
A. B. Rozanov (Stellenbosh University, Republic of South Africa)
I. A. Tikhonovich, Academician of RAS (Saint Petersburg State University, Russia)
G. Toth (University of Pannonia, Hungary)
N. B. Khitrov (V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Russia)
Yu. G. Chendev (Belgorod State University, Russia)
A. Z. Shvidenko (International Institute for Applied Systems Analysis, Austria)
T. A. Shishkov (Pushkarov Soil Science Institute, Bulgaria)

© ФГБНУ ФИЦ “Почвенный институт им. В.В. Докучаева”, 2023 г.

© Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

О методах определения содержания органического углерода в почвах (критический обзор)

Когут Б.М., Милановский Е.Ю., Хаматнуров Ш.А. 5

Картографическая интерпретация химического и радиационного загрязнения почв России

*Аветян С.А., Савицкая Н.В., Савин И.Ю.,
Шишконокова Е.А.* 29

Почвы заполярного археологического памятника “Поселение Лабытнанги 1 (Комяцкая деревня)”: морфологический анализ и химическая характеристика

*Низамутдинов Т.И., Сулейманов А.Р., Моргун Е.Н.,
Гусев Ан.В., Тупахина О.С., Гусев Ал.В., Плеханов А.В.,
Тупахин Д.С., Абакумов Е.В.* 66

Пространственная неоднородность свойств почв рекреационных территорий г. Волгограда

Гордиенко О.А., Балкушкин Р.Н. 109

Константин Дмитриевич Глинка (23.06.1867 – 02.11.1927) – первый академик-почвовед, организатор, первый директор Почвенного института им. В.В. Докучаева и первый ректор Воронежского сельскохозяйственного института имени императора Петра I, профессор, действительный член АН СССР

Иванов А.Л., Орлова Л.В. 135

CONTENTS

Methods for determining the organic carbon content in soils (critical review)

Kogut B.M., Milanovsky E.Yu., Hamatnurov Sh.A. 5

Cartographic interpretation of chemical and radiation contamination of Russian soils

Avetyan S.A., Savitskaya N.V., Savin I.Yu.,

Shishkonakova E.A. 29

Soils of the polar archaeological site “Settlement Labytnangi 1 (Komy village)”: morphological analysis and chemical composition

Nizamutdinov T.I., Suleymanov A.R., Morgun E.N.,

Gusev An.V., Tupakhina O.S., Gusev Al.V., Plekhanov A.V.,

Tupakhin D.S., Abakumov E.V. 66

Spatial heterogeneity of soil properties of recreational areas of Volgograd

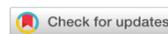
Gordienko O.A., Balkushkin R.N. 109

Konstantin Dmitrievich Glinka (23.06.1867 – 02.11.1927) – the first academician-soil scientist, organizer and first Director of V.V. Dokuchaev Soil Science Institute and the first Rector of Voronezh Agricultural Institute named after Emperor Peter I, Professor, full member of the USSR Academy of Sciences

Ivanov A.L., Orlova L.V. 135

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2023-114-5-28



Ссылки для цитирования:

Когут Б.М., Милановский Е.Ю., Хаматнуров Ш.А. О методах определения содержания органического углерода в почвах (критический обзор) // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2023. Вып. 114. С. 5-28. DOI: 10.19047/0136-1694-2023-114-5-28

Cite this article as:

Kogut B.M., Milanovsky E.Yu., Hamatnurov Sh.A., Methods for determining the organic carbon content in soils (critical review), Dokuchaev Soil Bulletin, 2023, V. 114, pp. 5-28, DOI: 10.19047/0136-1694-2023-114-5-28

Благодарность:

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения “Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах” (рег. № 123030300031-6).

Acknowledgments:

The work has been carried out within the framework of the most important innovative state project “Development of the system of ground-based and remote monitoring of carbon pools and greenhouse gas fluxes on the territory of the Russian Federation, providing for the creation of a system of accounting data on the fluxes of climatically active substances and the carbon budget in forests and other terrestrial ecological systems” (registration No. 123030300031-6).

О методах определения содержания органического углерода в почвах (критический обзор)

© 2023 г. Б. М. Когут^{1*}, Е. Ю. Милановский², Ш. А. Хаматнуров¹

¹ФИЦ “Почвенный институт им. В.В. Докучаева”, Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,

*e-mail: kogutb@mail.ru.

²*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения
РАН, Россия,*

142290, Московская обл., Пушкино, ул. Институтская, 2, корп. 2.

Поступила в редакцию 23.12.2022, принята к публикации 22.03.2023

Резюме: Изложены теоретические основы методов определения содержания почвенного органического углерода (ПОУ) прямым способом сухого сжигания на автоматических анализаторах и косвенным – по окисляемости Тюрина и Уолкли–Блэка. Приведены авторские и литературные экспериментальные данные анализов $C_{\text{орг}}$ в различных почвах с помощью этих методов. Сравнительный анализ приведенных данных показал, что в одних случаях содержание ПОУ, определенное по окисляемости, ниже, чем таковое, полученное способом сухого сжигания (в большинстве), а в других – наоборот, выше. Этот вывод находится в полном соответствии с теоретическими взглядами Тюрина о химической природе почвенного органического вещества (ПОВ). Дано схематическое описание определения содержания общего (органического) углерода в некарбонатных почвах способом сухого сжигания на автоматических анализаторах Лесо (США) и АН-7529 (Гомель, Беларусь). Указано на сложности определения содержания ПОУ способом сухого сжигания на автоматических анализаторах в карбонатных почвах. Рекомендовано определять содержание неорганического углерода с помощью разложения карбонатов раствором $HClO_4$ на экспресс-анализаторе АН-7529 в этих почвах. Прямой метод определения содержания ПОУ обладает наилучшей метрологической характеристикой по сравнению с таковой косвенного, что убедительно подтверждает авторитетные мнения Шолленберга и Тюрина о приблизительности последнего. Сделан вывод, что показатели, определяемые по методам Тюрина и Уолкли–Блэка и сухого сжигания, являются химически независимыми, характеризующими соответственно окисляемость и содержание органического углерода ПОВ. Рекомендовано при мониторинге содержания и запасов органического углерода в почвах использовать метод сухого сжигания на автоматических анализаторах.

Ключевые слова: почвенное органическое вещество, почвенный органический углерод, методы Тюрина и Уолкли–Блэка, метод сухого сжигания на автоматических анализаторах.

Methods for determining the organic carbon content in soils (critical review)

© 2023 B. M. Kogut¹, E. Yu. Milanovsky², Sh. A. Hamatnurov¹

¹*Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”,
7 Bld. 2 Puzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,
e-mail: kogutb@mail.ru.

²*Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science,
Russian Academy of Sciences, Russia,
2 Bld. 2 Institutskaya Str., Pushchino 142290, Moscow region,
Russian Federation.*

Received 23.12.2022, Accepted 22.03.2023

Abstract: The paper presents theoretical basis of the methods for determining the content of soil organic carbon (SOC) both by direct dry combustion using automated analyzers and indirectly – by I.V. Tyurin and Walkley–Black oxidation. Author’s and literature experimental data of SOC analyses in various soils by these methods are presented. Comparative analysis of the above data showed that in some cases the content of SOC determined by oxidability is lower than the one obtained by dry combustion (in most cases), while in others, on the contrary, the content of SOC is higher. This conclusion fully complies with the theoretical views of I.V. Tyurin on the chemical nature of soil organic matter (SOM). A schematic description of determining the content of total (organic) carbon in non-carbonate soils by dry combustion method using automated analyzers Leco (USA) and AH-7529 (Gomel, Belarus) is given. It was pointed out that it is difficult to determine SOC content by dry combustion method with automated analyzers in carbonate soils. For these soils it is recommended to determine the content of inorganic carbon by decomposition of carbonates with HClO₄ solution using express analyzer AN-7529. The direct method of determining the content of SOC has the best metrological characteristics compared to ones of the indirect method, which convincingly confirms the authoritative opinions of Schollenberg and Tyurin about the inaccuracy of the latter. It is concluded that the indicators determined by the methods of Tyurin and Walkley–Black and dry combustion are chemically independent, characterizing, respectively, the oxidability and organic carbon content of SOM. It is recommended to use dry combustion method with automated analyzers when monitoring the content and stocks of organic carbon in soils.

Keywords: soil organic matter, soil organic carbon, Tyurin and Walkley–Black methods, method of dry combustion with automated analyzers.

ВВЕДЕНИЕ

Современная проблема глобального изменения климата и связанные с ней исследования циклов углерода в окружающей среде, процессов дегумусирования и почвенной секвестрации углерода, зависящих от количественной оценки пространственно-временных изменений запасов почвенного органического углерода (ПОУ) на глобальном и региональном уровне, привела к актуализации изучения методов анализа почв на содержание $C_{\text{орг}}$.

В фундаментальных монографиях И.В. Тюрина (1937) и С.А. Ваксмана (1937) дан глубокий и всесторонний анализ методов определения содержания органического углерода в минеральных, в т. ч. карбонатных, и торфяных почвах. Ими детально рассмотрены теоретические основы и экспериментальные приемы выполнения анализов, представлена информация об истории возникновения и развития методов определения как содержания ПОУ, так и почвенного органического вещества (ПОВ) в целом.

В данной статье авторы ограничатся только обсуждением вопросов, связанных с аналитическими методами определения содержания ПОУ. На X Международном конгрессе почвоведов (Москва, 1974 г.) М.М. Кононова предложила отказаться от использования показателя “содержание гумуса”, перейдя к более простому и точнее определяемому – “содержание органического углерода” (Когут, Фрид, 1993). В современной научной литературе по ПОВ последний показатель приобрел доминирующее значение.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ

При определении содержания ПОУ используют прямые и косвенные методы анализа (Теория и практика..., 2006). К прямым методам относятся способы сухого и мокрого сжигания с последующей фиксацией количества выделившегося диоксида углерода. Наиболее известные в нашей стране – способ сухого сжигания по Густавсону (Тюрин, 1934) и мокрого озоления по Кнопу (Knop, 1872).

Согласно С.А. Ваксману (Ваксман, 1937, с. 394) “сухое сжи-

гание основано на принципе элементарного анализа Либиха; почва прокаливается в печи для сжигания в струе кислорода в присутствии сильно окисленной окиси меди. Углекислый газ поглощается либо во взвешенных натронных трубках, либо титрованными растворами щелочей“.

Применение косвенных методов определения содержания ПОУ по Тюрину и Уолкли–Блэку основано на допущении, предложенном В.И. Ищерековым (1904) и детально разработанном И.В. Тюриным (1931; 1937). Согласно этому предложению значения содержания $C_{\text{орг}}$, определенные прямым методом сухого сжигания и мокрого озоления, и таковые, полученные косвенным методом по окисляемости, будут совпадать, если степень окисленности органического вещества равна 0.

В экспериментальной работе (Пономарева, Плотникова, 1967) было показано, что при сопоставлении данных, полученных прямым методом мокрого озоления по Кнопу и косвенным методом Тюрина по окисляемости, нулевая степень окисленности ПОВ – скорее исключение, чем правило. Из проанализированных 100 образцов из различных почв России, Эстонии, Франции и Бирмы только в 6 степень окисленности была равна 0.

Анализ данных таблицы 1 показал, что в одних случаях содержание ПОУ, определенное по окисляемости, ниже, чем такое, полученное способом сухого сжигания (в большинстве), а в других – наоборот, выше.

Приведенные экспериментальные результаты исследований различных авторов полностью соответствуют теоретическим положениям, ранее высказанным И.В. Тюриным (1936): “Причины отклонений в ту и другую сторону лежат в различной степени внутримолекулярной окисленности гумуса, состав которого может выражаться в одних случаях формулой $C_nH_{2m}O_m$, в других – $C_nH_{2m}O_{m-x}$, в третьих, наоборот, – $C_nH_{2m}O_{m+y}$. Поэтому полное совпадение результатов приблизительных методов (принимая во внимание неполноту окисления) может быть только в первом случае; во втором случае титрометрическое определение должно дать более высокие результаты, так как часть хромовой кислоты израсходуется на окисление водорода, а в третьих случаях,

Таблица 1. Результаты определения содержания органического углерода способом сухого сжигания на автоматических анализаторах, методами Тюрина и Уолкли–Блэка по окисляемости, степени внутримолекулярной окисленности ПОВ, а также неорганического углерода для различных почв

Table 1. Results of determining of organic carbon content for different soils: by dry combustion method using automated analyzers; by Tyurin and Walkley–Black methods based on oxidability, degree of intramolecular oxidation of SOC, and inorganic carbon

Почва, образец	Мокрое озоление, по окисляемости, $C_{орг}$		Сухое сжигание на анализаторах		Степень окисленности		Источник
	$C_{1орг}$	$C_{2орг}$	$C_{неорг}$	$C_{3орг}$	1ω	2ω	
Дерново-подзолистая СП-2	0.42		нет	0.57	26.3		“Аналитическое обеспечение..., 1993” Когут, Фрид, 1993
Дерново-подзолистая супесчаная СДПС-3	0.71		нет	0.89	20.2		
Чернозем СП-1	3.23		нет	3.67	12.0		
Краснозем СКР-3	2.39		нет	3.19	25.1		
Чернозем выщелоченный САЧВП-01	1.80		нет	2.22	18.9		
Чернозем карбонатный САЧкП-01	2.26		0.09	2.92	22.6		

Продолжение таблицы 1
Table 1 continued

Почва, образец		Мокрое озоление, по окисляемости, C _{орг}		Сухое сжигание на анализаторах		Степень окисленности		Источник
		C _{1орг}	C _{2орг}	C _{неорг}	C _{3орг}	1ϖ	2ϖ	
Светло-каштановая СП-3		1.06		0.34	1.33	20.3		Аналитическое обеспечение...., 1993 Когут, Фрид, 1993
Засоленная САЗП-01		0.91		1.27	1.22	25.4		
Солонцовая САСолП-01		0.93		нет	1.23	24.4		
Серозем карбонатный ССК-3		0.27		2.32	0.42	35.7		
Феррасоль, см	0–10	7.64		нет	22.9	22.9		Милановский, 2009
	20–30	3.23		нет	28.5	28.5		
	60–80	1.18		нет	38.9	38.9		
Soil FS		1.48		нет	2.10	29.5		Ciavatta et al., 1989
Soil A		1.57		нет	2.25	30.2		
Eutric Albeluvisol 92 образца, 0–20 см		2.05	2.14	нет	1.94	-5.7	-10.3	Jankauskas et al., 2006

Продолжение таблицы 1
Table 1 continued

Почва, образец	Мокрое озоление, по окисляемости, C _{орг}		Сухое сжигание на анализаторах		Степень окисленности		Источник
	C _{1орг}	C _{2орг}	C _{неорг}	C _{3орг}	1ω	2ω	
Brazilian savannah soils 54 образца, 0–20см		1.64	нет	2.29		28.4	Sato et al., 2014
Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва, САДПП-09/4, ОСО 18911	0.79	0.77	нет	0.98	19.4	21.4	Shamrikova et al., 2022
Дерново-подзолистая среднесуглинистая GSO 10413-2014	1.07	1.02	нет	1.32	18.9	22.7	
Дерново-подзолистая супесчаная почва, ОСО 10904	1.66	1.52	нет	1.9	12.6	20.0	
Серая лесная супесчаная, ОСО 11201	2.13	2.09	нет	2.68	20.5	22.0	
Чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый, ОСО 21401	3.37	3.23	нет	4.01	16.0	19.5	
Чернозем карбонатный среднесуглинистый ОСО 39002	3.33	3.16	??	3.93	15.3	19.6	

Продолжение таблицы 1
Table 1 continued

Почва, образец	Мокрое озоление, по окисляемости, C _{орг}		Сухое сжигание на анализаторах		Степень окисленности		Источник
	C _{1орг}	C _{2орг}	C _{неорг}	C _{3орг}	1ω	2ω	
Чернозем типичный легкосуглинистый OSO 29106	4.15	3.94	нет	4.93	15.8	20.1	Shamrikova et al., 2022
Pamplona, ES		1.20	2.83	1.60		25.0	Apestequia et al., 2018
Typic Haploxerept		1.23	2.83	1.56		21.2	
Typic Haploxerept		0.77	4.30	0.72		-6.9	
Fluventic Haploxerept		0.91	4.76	0.84		-8.3	
Fluventic Haploxerept		1.07	4.62	1.11		3.6	
Typic Calcixerept		0.84	0.81	0.91		7.7	
Typic Calcixerept		2.78	0.91	2.96		6.1	
Petrocalcic Calcixerept		1.47	1.98	1.62		9.3	
Typic Calcixerept		0.75	3.79	0.99		24.2	

Продолжение таблицы 1
Table 1 continued

Почва, образец	Мокрое озоление, по окисляемости, C _{орг}		Сухое сжигание на анализаторах		Степень окисленности		Источник
	C _{1орг}	C _{2орг}	C _{неорг}	C _{3орг}	1ω	2ω	
Typic Calcixerept		0.94	3.75	1.26		25.4	Apestegui et al., 2018
Typic Calcixerept		0.72	4.68	0.88		18.2	
Calcic Haploxerept		1.01	4.11	0.96		-5.2	
Calcic Haploxerept		1.49	3.98	1.67		10.8	
Typic Xerorthent		0.70	4.00	0.84		16.7	
Typic Xerorthent		1.36	3.49	1.44		5.6	
Petrocalcic Rhodoxeralf		3.02	-0.09	3.85		21.6	
Xeric Haplocalcid		0.79	3.72	0.88		10.2	
Xeric Haplocalcid		0.75	3.57	0.86		12.8	
Xeric Haplocalcid		1.33	2.93	1.41		5.7	

Продолжение таблицы 1
Table 1 continued

Почва, образец	Мокрое озоление, по окисляемости, $C_{орг}$		Сухое сжигание на анализаторах		Степень окисленности		Источник
	$C_{1орг}$	$C_{2орг}$	$C_{неорг}$	$C_{3орг}$	1 ω	2 ω	
Xeric Haplocalcid		1.41	2.88	1.46		3.4	Apestequia et al., 2018

Примечание. В некарбонатных почвах способом сухого сжигания определяли $C_{общ} = C_{орг}$, а в карбонатных почвах способом сухого сжигания определяли $C_{общ}$, а $C_{орг} = C_{общ} - C_{неорг}$.

$C_{3орг}$, $C_{1орг}$, $C_{2орг}$ – содержание органического углерода, определенное методами сухого сжигания и по окисляемости Тюрина и Уолкли–Блэка соответственно; 1 ω , 2 ω – степень внутримолекулярной окисленности органического вещества почвы, рассчитанная по данным $C_{3орг}$, $C_{1орг}$ и $C_{2орг}$ по формуле (Пономарева, Плотнокова, 1967): 1 $\omega = (C_{3орг} - C_{1орг}/C_{3орг}) \times 100\%$; 2 $\omega = (C_{3орг} - C_{2орг}/C_{3орг}) \times 100\%$.

Note. In non-carbonate soils C_{total} was determined by dry combustion method $C_{total} = C_{орг}$, and in carbonate soils C_{total} was determined by dry combustion, but $C_{орг} = C_{total} - C_{inorg}$.

$C_{3орг}$, $C_{1орг}$, $C_{2орг}$ – are organic carbon contents determined by dry combustion and by Tyurin and Walkley–Black oxidation, respectively; 1 ω , 2 ω are intramolecular oxidation degree of soil organic matter, calculated from $C_{3орг}$, $C_{1орг}$, $C_{2орг}$ data by the formula (Ponomareva, Plotnikova, 1967):

$$1\omega = (C_{3орг} - C_{1орг}/C_{3орг}) \times 100\%; 2\omega = (C_{3орг} - C_{2орг}/C_{3орг}) \times 100\%.$$

наоборот, титрометрическое определение даст более низкие результаты, чем метод сухого сжигания, так как часть углерода в гумусе уже является окисленной за счет избытка кислорода O_2 ”.

Следует отметить, что помимо степени окисленности ПОВ на надежность определения содержания $C_{орг}$ по методам Тюрина и Уолкли–Блэка могут оказывать влияние и такие факторы, как температура и время мокрого озоления, наличие в почве хлоридов и закисных соединений железа и др. ([Ваксман, 1937](#); [Никитин, 1999](#); [Орлов и др., 1996](#); [Титова, Когут, 1991](#); [Тюрин, 1937](#)). В начале прошлого века разработка альтернативы методам Кнопа–Сабанина и Густавсона и широкое распространение “приблизительного” ([Schollenberger, 1927](#)) метода определения $C_{орг}$ по окисляемости было вызвано необходимостью обработки “огромного количества собираемых при полевых исследованиях материалов, в целях общей и агрономической характеристики почв” ([Тюрин, 1931](#)).

Развитие аналитического приборостроения во второй половине XX века привело к разработке автоматических анализаторов определения содержания $C_{орг}$, базирующихся на принципе сухого сжигания, не уступающих и даже превосходящих по производительности косвенные методы анализа по Тюрину и Уолкли–Блэку. Так, в 1970 г. Табатабаи и Бремнер ([Tabatabai, Bremner, 1970](#)) предложили использовать автоматический анализатор Leco, сконструированный для определения содержания углерода в сталях и сплавах, для анализа почв на общее содержание углерода. Производительность метода составила до 150 анализов в день. Однако, зарубежные анализаторы (Leco, Shimadzu, Perkin-Elmer и др.) характеризовались высокой стоимостью, что существенно ограничивало возможности их широкого внедрения в почвенные и агрохимические исследования.

В начале 80-х годов прошлого века в Почвенном институте им. В.В. Докучаева был испытан экспресс-анализатор АН-7529 (Гомель), также изначально предназначенный для определения углерода в сталях и сплавах, с целью установления содержания общего углерода в почвах ([Кочетов и др., 1985](#)). В дальнейшем была разработана и аттестована методика определения содержа-

ния общего, органического и неорганического углерода в почвах на базе этого автоматического анализатора с использованием государственных стандартных образцов почвенных масс ([Аналитическое обеспечение..., 1993](#)). Стоимость анализатора АН-7529 была в 5–10 раз меньше стоимости зарубежных аналогов, а цена одного анализа на нем – не менее чем в 10 раз ниже, по сравнению с зарубежными приборами.

Здесь следует еще раз отметить, что при использовании вышеуказанными авторами режима сжигания почвенных проб (температура выше 1 000 °С) определяется общее содержание углерода. В случае некарбонатных почв и почв, не получающих карбонаты с мелиорантами и удобрениями, этот параметр будет равен содержанию органического углерода. При определении количества органического углерода в карбонатных почвах необходимо осуществление специальных приемов, позволяющих учесть содержание углерода карбонатов.

В Новой Зеландии ([Blakemore et al., 1977](#)) был применен разностный метод определения неорганического углерода в карбонатных почвах на базе автоматического анализатора Leco. В одной навеске почвы при температуре выше 1 000 °С определяют общий углерод. Другую навеску почвы обрабатывают соляной кислотой для освобождения от карбонатов. Образец высушивают при температуре 100 °С в течение 30 мин для удаления паров соляной кислоты, а затем определяют содержание органического углерода методом сухого сжигания на автоматическом анализаторе Leco. По разности величин находят содержание неорганического углерода. Критически оценивая этот способ, который часто рекомендуют использовать и в современных приборах, отметим: во-первых, снижение надежности определения содержания $C_{орг}$ за счет изменения массы навески при обработке ее кислотой; во-вторых, резкое падение производительности анализатора.

В ВИУА ([Срапенянци и др., 1979](#)) и в Почвенном институте им. В.В. Докучаева ([Рентгенофлуоресцентный энергодисперсионный метод..., 1982](#)) для разработки методики экспрессного определения содержания общего углерода и углерода органической части некарбонатных почв был использован автоматический анализатор DC-12 фирмы Leco (США). Как показали исследования,

при определении углерода в органической части карбонатных почв возникают затруднения, связанные с выбором температуры. Была предложена температура 650–700 °С, однако в этом случае не происходит, по-видимому, полного окисления органического вещества почвы. Кроме того, при значительном содержании карбонатов они могут даже при сравнительно низких температурах сжигания почвенного образца вносить заметный вклад в количество определяемого углерода. Существенно искажают результаты анализа и присутствующие в почве карбонаты магния и другие неорганические соединения, способные образовывать CO_2 в том же интервале температур, что и органическое вещество почвы.

В Почвенном институте им В.В. Докучаева на базе автоматического анализатора АН-7529 была предложена методика определения содержания общего, органического и неорганического углерода в карбонатных почвах ([Аналитическое обеспечение..., 1993](#)). В одной навеске почвы при ее сжигании (температура выше 1 000 °С) определяют общий углерод. Другую навеску почвы помещают в специально сконструированную приставку к прибору и обрабатывают раствором HClO_4 . Выделяющийся CO_2 карбонатов почв напрямую, минуя печь, поступает в поглотительный раствор, и его определяют с помощью метода кулонометрического титрования. По разности между количеством общего и неорганического углерода вычисляют органический углерод почвы. Производительность раздельного определения содержания неорганического и органического углерода в карбонатных почвах на анализаторе АН-7529 составила до 50 образцов в рабочую смену.

Особо следует остановиться на сравнительной оценке метрологических характеристик определений содержания углерода прямым способом сухого сжигания на автоматических анализаторах и косвенным методом по окисляемости Тюрина. Необходимо дать некоторые пояснения применяемым метрологическим характеристикам. Воспроизводимость и правильность являются основными показателями качества аналитической информации. Воспроизводимость относится к флуктуациям серии измерений случайной величины относительно центра распределения серии, правильность – к расхождению между результатом измерения и истинным значением измеряемой величины. Проблема правильно-

сти информации связана с другими проблемами, как, например, состоятельность информации: способности аналитических процедур адекватно отражать действительность. Надежным способом выявления и обеспечения правильности является создание стандартных образцов, аттестованных в межлабораторном эксперименте по составу и свойствам, и широкое использование их в аналитической практике в качестве калибровочных и контрольных ([Большаков, 1992](#); [Большаков и др., 1995](#); [Метрологическое обеспечение..., 1988](#)).

По авторитетному мнению Д.С. Орлова с соавторами ([1996](#)): *“Все предложенные модификации метода Тюрина дают хорошую воспроизводимость результатов, ... но не обеспечивают достаточную (примечание авторов) **правильность результатов**”*. Это заключение следует из анализа данных таблицы 2. Более того, правильность метода сухого сжигания даже в межлабораторном эксперименте превосходит таковую метода Тюрина во внутрилабораторном (табл. 2 и 3).

Вывод Д.С. Орлова с соавторами ([1996](#)) о правильности метода Тюрина хорошо согласуется с таковым Nilson, Sommers ([1996](#)), которые считают, что метод Уолкли–Блэка является приблизительным или полуколичественным для оценки содержания $C_{орг}$.

В последнее время в международных и отечественных проектах поставлена цель уточнения оценок запасов органического углерода в почвах ([Чернова, Голозубов, 2018](#); [Soil Organic carbon mapping..., 2017](#)). В связи с вышеизложенным совершенно не ясна цель работ Глобальной сети почвенных лабораторий Glosolan, а в нашей стране – коллектива Института биологии Коми НЦ УрО РАН как Национальной референтной лаборатории Российской Федерации ([Шамрикова и др., 2022](#); [Shamrikova et al., 2022](#)) по созданию новой модификации метода Тюрина.

Справедливости ради стоит отметить, что эта модификация несколько улучшает метрологические характеристики определения окисляемости ПОВ, но это не имеет никакого отношения к повышению точности определения содержания ПОУ.

Таблица 2. Результаты определения содержания C_{org} методом Тюринга в различных модификациях во внутривлабораторном эксперименте ([Орлов и др., 1996](#))
Table 2. Results of determination of C_{org} content by Tyurin's method in different modifications in intralaboratory experiment ([Orlov et al., 1996](#))

Метод	Чернозем выщелоченный, гор. А ₁		Дерново- подзолистая почва, гор. А ₁	
	n	M ± tm	n	M ± tm
Сухое сжигание (анализатор АН-7529)	4	5.43 ± 0.01	4	2.36 ± 0.00
Метод Тюринга без катализатора	4	4.17 ± 0.30	4	1.75 ± 0.06
Метод Тюринга с катализатором	4	4.93 ± 0.10	4	2.14 ± 0.06
Метод Тюринга в модификации Никитина, 20 мин, 150 °С	4	3.78 ± 0.03	4	1.63 ± 0.01
Метод Тюринга в модификации Никитина, 30 мин, 160 °С	4	4.23 ± 0.08	4	1.86 ± 0.03
Метод Тюринга в модификации Никитина с катализатором, 30 мин, 160 °С	4	4.69 ± 0.02	4	1.99 ± 0.05
Метод Тюринга в модификации Антоновой, Скалабана, Сучилкиной	4	3.71 ± 0.15	4	1.55 ± 0.02

Таблица 3. Результаты аттестации стандартных образцов СП1 и СП2 на содержание органического углерода способом сухого сжигания в различных организациях ([Аналитическое обеспечение..., 1993](#))

Table 3. Results of certification of standard samples СП1 and СП2 in terms of C_{org} content by dry combustion method in different organizations ([Analytical support..., 1993](#))

Тип анализатора	Организация	Статистические параметры			
		M	S	m	S
<i>СП-1 Курский чернозем</i>					
АН-7529	Почвенный институт им. В.В. Докучаева	3.54	0.05	0.02	1.3
	Геологический факультет МГУ	3.69	0.05	0.02	1.3
	ИГЕМ*	3.59	0.03	0.01	0.9
ВИУА-Хереус	ПИСХ** Каунас	3.72	0.04	0.02	1.1
	ПИСХ** Харьков	3.99	0.06	0.03	1.6
	ПИСХ** Саратов	3.80	0.04	0.02	1.1
	ВИУА***	3.64	0.05	0.02	1.5
Леко	Почвенный институт им. В.В. Докучаева	3.47	0.10	0.04	2.9
	ВИУА***	3.53	0.02	0.01	0.6
<i>СП-2 Московская дерново-подзолистая почва</i>					
АН-7529	Почвенный институт им. В.В. Докучаева	0.49	0.01	0.003	1.5
	Геологический факультет МГУ	0.60	0.01	0.004	1.8
	ИГЕМ*	0.59	0.01	0.01	2.4
ВИУА-Хереус	ПИСХ** Каунас	0.55	0.02	0.01	3.3
	ПИСХ** Харьков	0.61	0.01	0.01	2.1
	ПИСХ** Саратов	0.71	0.02	0.01	3.0
	ВИУА***	0.45	0.05	0.02	11.4
Леко	Почвенный институт им. В.В. Докучаева	0.63	0.03	0.01	5.4
	ВИУА***	0.39	0.02	0.01	5.6

Примечание. *Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, **Проектно-изыскательская станция химизации, ***Всероссийский институт удобрений и агрохимии им. Д.Н. Прянишникова.

Хорошо известно, что ранее было предложено множество модификаций метода Тюрина, но ни одна из них не получила доминирующего распространения как в почвенных исследованиях СССР, стран Восточной Европы, так и в таковых в современной России.

Предлагаемая указанными выше авторами цель обобщения накопленных данных по содержанию ПОУ, определяемых по окисляемости методами Тюрина и Уолкли–Блэка, в почвах России и Мира в современных условиях устарела и не приведет к повышению точности оценок запасов ПОУ на глобальном и региональном уровне. Следует также отметить, что сделанные ранее оценки запасов ПОУ, основанные на базах данных по содержанию ПОУ, определенного по методу Тюрина, в почвах России сильно отличались у разных авторов. Одной из причин этого, по мнению (Когут и др., 2021), является результат анализа данных, полученных различными вариантами метода Тюрина.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, обоснованность преимущества прямого метода сухого сжигания на автоматических анализаторах, по сравнению с косвенным методом Тюрина по окисляемости, для определения содержания ПОУ, как с теоретических, так и с метрологических позиций не вызывает сомнений. Рекомендовано при мониторинге содержания и запасов органического углерода в почвах использовать метод сухого сжигания на автоматических анализаторах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аналитическое обеспечение мониторинга гумусового состояния почв: Методические указания / Б.М. Когут (сост.). М.: РАСХН, 1993. 74 с.
2. *Большаков В.А.* Надежность анализа почв: проблемы и решения. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 1992. 144 с.
3. *Большаков В.А., Когут Б.М., Фрид А.С.* Переаттестация государственных стандартных образцов почвенных масс // Почвоведение. 1995. № 3. С. 308–313.
4. *Ваксман С.А.* Гумус. Происхождение, химический состав и значение его в природе. М.: Огиз-Сельхозгиз, 1937. 471 с.

5. *Ищереков В.И.* Определение гумуса в почве титрованием хамелеоном // Журнал опытной агрономии. 1904. Т. 5. С. 55.
6. *Козут Б.М., Фрид А.С.* Сравнительная оценка методов определения содержания гумуса в почвах // Почвоведение. 1993. № 9. С. 119–123.
7. *Козут Б.М., Семенов В.М., Артемьева З.С., Данченко Н.Н.* Дегумусирование и почвенная секвестрация углерода // Агрохимия. 2021. № 5. С. 3–13.
8. *Кочетов А.И., Шевченко А.В., Астапенко Е.В., Марченко Т.И.* Определение углерода в почвах на базе экспресс-анализатора АН-7529 // Тез. докл. VII делегат. съезда ВОП. Ташкент, 1985. Ч. 2. С. 122.
9. Метрологическое обеспечение аналитических работ в почвоведении. Методические рекомендации / Сост. *В.А. Большаков, А.С. Фрид, С.Е. Сорокин*. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 1988. 112 с.
10. *Милановский Е.Ю.* Гумусовые вещества почв как природные гидрофобно-гидрофильные соединения. Москва: ГЕОС, 2009. 188 с.
11. *Никитин Б.А.* Метод определения гумуса почвы // Агрохимия. 1999. № 5. С. 91.
12. *Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И.* Органическое вещество почв Российской Федерации. М.: Наука, 1996. 256 с.
13. *Пономарева В.В., Плотникова Т.А.* Некоторые данные о степени внутримолекулярной окисленности гумуса разных типов почв (к вопросу о переводном коэффициенте с углерода на гумус) // Почвоведение. 1967. № 7. С. 85–95.
14. Рентгенофлуоресцентный энергодисперсионный метод анализа почв в целях контроля качества их загрязненности / Состав. *Большаков В.А., Сорокин С.Е., Свищев Л.Е.* М.: Почв. ин-т им.В.В.Докучаева, 1982. 48 с.
15. *Срапеняц С.А., Бродский Е.С., Клягин К.Н., Шевцова Л.К.* Экспрессное определение углерода в почвах методом сжигания // Агрохимия. 1979. № 7. С. 132–137.
16. Теория и практика химического анализа почв / Под ред. *Л.А. Воробьевой*). М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
17. *Титова Н.А., Козут Б.М.* Трансформация органического вещества при сельскохозяйственном использовании почв // Итоги науки и техники (серия почвоведение и агрохимия). Т. 8. М.: Изд-во ВИНТИ, 1991. 156 с.
18. *Тюрин И.В.* Новое видоизменение объемного метода определения гумуса с помощью хромовой кислоты // Почвоведение. 1931. № 5–6. С. 36–47.
19. *Тюрин И.В.* К вопросу о методике изучения органического вещества почвы в биохимическом отношении // Тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 1934. № 10(4). С. 27–37.

20. *Тюрин И.В.* Материалы по сравнительному изучению методов определения органического углерода в почвах. Методы определения общего органического углерода и уголекислоты карбонатов // Проблемы современного почвоведения. 1936. №. 2. С. 121.
21. *Тюрин И.В.* Органическое вещество почв и его роль в почвообразовании и плодородии. Учение о почвенном гумусе. М.-Л.: Сельхозгиз, 1937. 287 с.
22. *Чернова О.В., Голозубов О.М.* Всемирная карта запасов органического углерода в 30 см слое почвы для территории России (проект ФАО ООН GSOC17) // Современное состояние черноземов. Мат-лы II Международ. научн. конф. 2018. Т. 1. С. 49–56.
23. *Шамрикова Е.В., Ванчикова Е.В., Кондратёнок Б.М., Лантева Е.М., Кострова С.Н.* Проблемы и ограничения дихроматометрического метода измерения содержания почвенного органического вещества (обзор) // Почвоведение. 2022. № 7. С. 787–794.
24. *Apesteguía M., Plante A. F., Virtoc I.* Methods assessment for organic and inorganic carbon quantification in calcareous soils of the Mediterranean region // *Geoderma Regional*. 2018. Vol. 12. P. 39–48.
25. *Blakemore L.C., Searle P.L., Daly B.K.* Methods for chemical analysis of soils // *New Zealand Soil Bureau. Scientific Report 10. Dep. of Sci. and Industrial Res. New Zealand*, 1977. 112 p.
26. *Ciavatta C., Vittori L. Antisari, P. Sequi.* Determination of organic carbon in soils and fertilizers // *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 1989. Vol. 20. Iss. 7–8, P. 759–773.
27. *Jankauskas B., Jankauskiene G., Slepeliene A., Booth C.* International Comparison of Analytical Methods of Determining the Soil Organic Matter Content of Lithuanian Eutric Albeluvisols // *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 2006. Vol. 37. P. 707–720.
28. *Knop W.* Ueber die Bedeutung des Humus // *Landw. Vers. Sta.* 1872. Vol. 15. P. 13–21.
29. *Nelson D.W., Sommers L.E.* Total carbon, organic carbon, and organic matter // Sparks D.L. et al. (Eds). *Methods of Soil Analysis. Part 3. Madison: SSSA Book Series*, 1996. P. 961–1010.
30. *Sato J.H., Figueiredo C.C., Marchão R.L., Madari B.E., Benedito L.E.C., Busato J.G., Souza D.M.* Methods of soil organic carbon determination in Brazilian savannah soils // *Sci. Agric.* 2014. Vol. 71. No. 4. P. 302–308.
31. *Soil Organic carbon mapping. GSOC Map. cookbook manual / Eds. Y. Yugini, R. Baritz, R.R. Vargas.* Rome, 2017.
32. *Shamrikova E.V., Kondratenok B.M., Tumanova E.A., Vanchikova E.V., Lapteva E.M., Zonova T.V., Lu-Lyan-Min E.I., Davydova A.P., Libohova Z.,*

- Suvannang N.* Transferability between soil organic matter measurement methods for database harmonization // *Geoderma*. 2022. Vol. 412. 115547.
33. *Schollenberger C.J.* A rapid approximate method for determining soil organic matter // *Soil Science*. 1927. No. 1. XXIV.
34. *Tabatabai M.A., Bremner J.M.* Use of the Leco automatic 70-second carbon analyzer for total carbon analyses of soils // *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 1970. Vol. 34. No. 4. P. 608–610.

REFERENCES

1. Kogut B.M. (Compiler), *Analiticheskoe obespechenie monitoringa gumusovogo sostoyaniya pochv* (Analytical support for monitoring of humus condition of soils), Moscow: RASKhN, 1993, 74 p.
2. Bol'shakov V.A., *Nadezhnost' analiza pochv: problemy i resheniya* (Reliability of soil analysis: Problems and Solutions), Moscow: Pochvennyi in-t im. V.V. Dokuchaeva, 1992, 144 p.
3. Bol'shakov V.A., Kogut B.M., Frid A.S., *Pereattestatsiya gosudarstvennykh standartnykh obraztsov pochvennykh mass* (Re-certification of state standard samples of soils), *Pochvovedenie*, 1995, No. 3, pp. 308–313.
4. Vaksman S.A., *Gumus. Proiskhozhdenie, khimicheskii sostav i znachenie ego v prirode* (Humus. Origin, chemical composition and its significance in nature.), Moscow: Ogiz-Sel'khozgiz, 1937, 471 p.
5. Ishcherekov V.I., *Opredelenie gumusa v pochve titrovaniem khameleonom* (Determination of humus in the soil by titration chameleon), *Zhurnal opytnoi agronomii*, 1904, Vol. .5, pp. 55.
6. Kogut B.M., Frid A.S., *Sravnitel'naya otsenka metodov opredeleniya sodержaniya gumusa v pochvakh* (Comparative evaluation of methods of determination of humus content in soils), *Pochvovedenie*, 1993, No. 9, pp. 119–123.
7. Kogut B.M., Semenov V.M., Artem'eva Z.S., Danchenko N.N., *Degumusirovanie i pochvennaya sekvestratsiya ugleroda* (Dehumification and soil carbon sequestration), *Agrokimiya*, 2021, No. 5, pp. 3–13.
8. Kochetov A.I., Shevchenko A.V., Astapenko E.V., Marchenko T.I., *Opredelenie ugleroda v pochvakh na baze ekspress-analizatora AN-7529* (Determination of carbon in the soil based on express analyzer AN-7529), *Proc. of the VII delegate congress of VOP*, Tashkent, 1985, Part 2, p. 122.
9. Bol'shakov V.A., Frid A.S., Sorokin S.E. (Compilers), *Metrologicheskoe obespechenie analiticheskikh rabot v pochvovedenii. Metodicheskie rekomendatsii* (Metrological Support of Analytical Works in Soil Science. Methodical recommendations), Moscow: Pochvennyi in-t im. V.V. Dokuchaeva, 1988, 112 p.

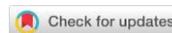
10. Milanovskiy E.Yu., *Gumusovye veshchestva pochv kak prirodnye gidrofobno-gidrofil'nye soedineniya* (Humus substances of soils as natural hydrophobic-hydrophilic compounds), Moscow: GEOS, 2009, 188 p.
11. Nikitin B.A., *Metod opredeleniya gumusa pochvy* (Method of determination of soil humus), *Agrokimiya*, 1999, No. 5, p. 91.
12. Orlov D.S., Biryukova O.N., Sukhanova N.I., *Organicheskoe veshchestvo pochv Rossiiskoi Federatsii* (Organic matter of soils of the Russian Federation), Moscow: Nauka, 1996, 256 p.
13. Ponomareva V.V., Plotnikova T.A., *Nekotorye dannye o stepeni vnutrimolekulyarnoi okislennosti gumusa raznykh tipov pochv (k voprosu o perevodnom koeffitsiente s ugleroda na gumus)* (Some data on the degree of intramolecular oxidation of humus of different types of soils (to the question of the transfer coefficient from carbon to humus)), *Pochvovedenie*, 1967, No. 7, pp. 85–95.
14. Bol'shakov V.A., Sorokin S.E., Svishchev L.E. (Compilers), *Rentgenofluorestantsnyi energodispersionnyi metod analiza pochv v tselyakh kontrolya kachestva ikh zagryaznennosti: Metod. Rekomendatsii* (X-ray fluorescent energy dispersive method of analysis of soils to control the quality of their contamination: Guidelines), Moscow: Pochv. in-t im. V.V. Dokuchaeva, 1982, 48 p.
15. Srapenyants S.A., Brodskii E.S., Klyagin K.N., Shevtsova L.K., *Ekspressnoe opredelenie ugleroda v pochvakh metodom sozhzheniya* (Express determination of carbon in soils by burning method), *Agrokimiya*, 1979, No. 7, pp. 132–137.
16. Vorob'eva L.A. (Ed.), *Teoriya i praktika khimicheskogo analiza pochv* (Theory and practice of chemical analysis of soils), Moscow: GEOS, 2006, 400 p.
17. Titova N.A., Kogut B.M., *Transformatsiya organicheskogo veshchestva pri sel'skokhozyaistvennom ispol'zovanii pochv* (Transformation of organic matter during agricultural use of soils), In: *Itogi nauki i tekhniki (seriya pochvovedenie i agrokimiya)* (Results of science and technology (series of Soil Science and Agrochemistry)), Vol. 8, Moscow: Izd-vo VINITI, 1991, 156 p.
18. Tyurin I.V., *Novoe vidoizmenenie ob'emnogo metoda opredeleniya gumusa s pomoshch'yu khromovoi kisloty* (New modification of volumetric method of determination of humus with chromic acid), *Pochvovedenie*, 1931, No. 5–6, pp. 36–47.
19. Tyurin I.V., *K voprosu o metodike izucheniya organicheskogo veshchestva pochvy v biokhimicheskom otnoshenii* (To a question about methods of study of organic matter of soil in biochemical sense), *Tr. Pochv. in-ta im. V.V. Dokuchaeva*, 1934, Vol. 10(4), pp. 27–37.

20. Tyurin I.V., *Materialy po sravnitel'nomu izucheniyu metodov opredeleniya organicheskogo ugleroda v pochvakh. Metody opredeleniya obshchego organicheskogo ugleroda i uglekisloty karbonatov* (Materials on the comparative study of methods for determining organic carbon in soils. Methods of determining the total organic carbon and carbonate carbonates), In: *Probl. sov. Pochvovedeniya* (Problems of modern soil science), 1936, Collection of articles No. 2, p. 121.
21. Tyurin I.V., *Organicheskoe veshchestvo pochv i ego rol' v pochvoobrazovanii i plodorodii. Uchenie o pochvennom gumuse* (Organic matter of soils and its role in soil formation and fertility. Doctrine of Soil Humus), Moscow–Leningrad: Sel'khozgiz, 1937, 287 p.
22. Chernova O.V., Golozubov O.M., *Vsemirnaya karta zapasov organicheskogo ugleroda v 30 sm sloe pochvy dlya territorii Rossii (proekt FAO OON GSOC17)* (World map of organic carbon stocks in 30 centimeters soil layer for the territory of Russia (UN FAO GSOC17 project)), In: *Sovremennoe sostoyanie chernozemov. Mat-ly II Mezhdunarod. nauchn. konf.* (Modern state of black earth, Proc. of II International scientific conference), Rostov on Don–Taganrog, 2018, Vol. 1, pp. 49–56.
23. Shamrikova E.V., Vanchikova E.V., Kondratenok B.M. et al., *Problems and limitations of the dichromatometric method for measuring soil organic matter content: A Review*, *Eurasian Soil Sc.*, 2022, No. 55, pp. 861–867, DOI: [10.1134/S1064229322070092](https://doi.org/10.1134/S1064229322070092).
24. Apesteguia M., Plante A.F., Virtoc I., *Methods assessment for organic and inorganic carbon quantification in calcareous soils of the Mediterranean region*, *Geoderma Regional*, 2018, Vol. 12, pp. 39–48.
25. Blakemore L.C., Searle P.L., Daly B.K., *Methods for chemical analysis of soils*, New Zealand Soil Bureau, Scientific Report 10, Dep. of Sci. and Industrial Res. New Zealand, 1977, 112 p.
26. Ciavatta C., Vittori L. Antisari, Sequi P., *Determination of organic carbon in soils and fertilizers*, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1989, Vol. 20, Iss. 7–8, pp. 759–773.
27. Jankauskas B., Jankauskiene G., Slepeliene A., Booth C., *International comparison of analytical methods of determining the soil organic matter content of Lithuanian Eutric Albeluvisols*, *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 2006, Vol. 37, pp. 707–720.
28. Knop W., *Ueber die Bedeutung des Humus*, *Landw.Vers. Sta.*, 1872, Vol. 15, pp. 13–21.
29. Nelson, D.W., Sommers, L.E., *Total carbon, organic carbon, and organic matter*, In: Sparks D.L. et al. (Eds.), *Methods of Soil Analysis*, Part 3, SSSA Book Series, Madison, 1996, pp. 961–1010.

30. Sato J.H., Figueiredo C.C., Marchão R.L., Madari B.E., Benedito L.E.C., Busato J.G., Souza D.M., Methods of soil organic carbon determination in Brazilian savannah soils, *Sci. Agric.*, 2014, Vol. 71, No. 4, pp. 302–308.
31. Yugini Y., Baritz R., Vargas R.R. (Eds.), *Soil Organic carbon mapping*, GSOC Map. cookbook manual, Rome, 2017.
32. Shamrikova E.V., Kondratenok B.M., Tumanova E.A., Vanchikova E.V., Lapteva E.M., Zonova T.V., Lu-Lyan-Min E.I., Davydova A.P., Libohova Z., Suvannang N., Transferability between soil organic matter measurement methods for database harmonization, *Geoderma*, 2022, Vol. 412, 115547.
33. Schollenberger C.J., A rapid approximate method for determining soil organic matter, *Soil Science*, 1927, No. 1, XXIV.
34. Tabatabai M.A., Bremner J.M., Use of the Leco automatic 70-second carbon analyzer for total carbon analyses of soils, *Soil Sci.Soc. Amer. Proc.*, 1970, Vol. 34, No. 4, pp. 608–610.

УДК 638.47

DOI: 10.19047/0136-1694-2023-114-29-65



Ссылки для цитирования:

Аветян С.А., Савицкая Н.В., Савин И.Ю., Шишконокова Е.А. Картографическая интерпретация химического и радиационного загрязнения почв России // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2023. Вып. 114. С. 29-65. DOI: 10.19047/0136-1694-2023-114-29-65

Cite this article as:

Avetyan S.A., Savitskaya N.V., Savin I.Yu., Shishkonakova E.A., Cartographic interpretation of chemical and radiation contamination of Russian soils, Dokuchaev Soil Bulletin, 2023, V. 114, pp. 29-65, DOI: 10.19047/0136-1694-2023-114-29-65

Картографическая интерпретация химического и радиационного загрязнения почв России

© 2023 г. С. А. Аветян^{1,2*}, Н. В. Савицкая^{1**}, И. Ю. Савин^{1,3***},
Е. А. Шишконокова^{1****}

¹ФИЦ “Почвенный институт им. В.В. Докучаева”, Россия,
119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,

* <https://orcid.org/0000-0002-3435-9092>, e-mail: avetyan-serg@mail.ru,

** <https://orcid.org/0000-0002-3218-6941>, e-mail: savitskaya_nv@esoil.ru,

*** <https://orcid.org/0000-0002-8739-5441>, e-mail: savin_iyu@esoil.ru,

**** <https://orcid.org/0000-0003-4396-2712>,

e-mail: shishkonakova_ea@esoil.ru.

²МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия,
119991, Москва, Ленинские горы, 1.

³Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Россия,
117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6.

Поступила в редакцию 31.01.2023, после доработки 19.02.2023,
принята к публикации 22.03.2023

Резюме: В конце XX в. под руководством В.С. Столбового была разработана геоинформационная база данных о деградации почв России на основе почвенной карты России масштаба 1 : 5 млн. В рамках развития данной проблематики и в ходе получения новой информации о деградации почв предпринята попытка уточнения и дополнения этой

базы данных на основе почвенной карты РФ 1 : 2.5 млн масштаба. Учитывалась деградация почв от воздействия разных видов загрязнений, включая промышленные выбросы, утечку нефтепродуктов, избыточное внесение пестицидов, воздействие автотранспорта и радиационное загрязнение. Каждый почвенный контур почвенной карты, подвергшийся воздействию загрязнителя, был охарактеризован степенью и площадью загрязнения в соответствии с разработанными шкалами. Результаты анализа использовались для построения картограмм, иллюстрирующих пространственное распространение химической и радиационной деградации почв страны. Согласно полученным данным, в зоне загрязнения от промышленных предприятий и при нефтезагрязнении сильной степенью характеризуется 20% почвенно-географических выделов карты, а слабой и средней – соответственно 30 и 50%. Сельскохозяйственное загрязнение вследствие избыточного применения средств защиты растений в России не превышает 10% площади контуров и характеризуется слабой степенью. Радиоактивному загрязнению подвержено в сильной степени около 10% почвенных контуров базовой почвенной карты, в то время как в средней и в слабой степени загрязнены 40 и 50% выделов соответственно. Загрязнение от автотранспорта выражено слабо и имеет в целом низкий уровень. Относительной загрязненностью при этом отличаются мегаполисы и автостроды с интенсивным движением.

Ключевые слова: деградация почв, мелкомасштабная почвенная карта, градации, тяжелые металлы, пестициды, радионуклиды, геоинформационная база данных, картограммы.

Cartographic interpretation of chemical and radiation contamination of Russian soils

© 2023 S. A. Avetyan^{1,2*}, N. V. Savitskaya^{1**}, I. Yu. Savin^{1,3***},
E. A. Shishkonakova^{1****}

¹*Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”,
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,*

^{*}<https://orcid.org/0000-0002-3435-9092>, e-mail: avetyan-serg@mail.ru,

^{**}<https://orcid.org/0000-0002-3218-6941>, e-mail: savitskaya_nv@esoil.ru,

^{***}<https://orcid.org/0000-0002-8739-5441>, e-mail: savin_iyu@esoil.ru,

^{****}<https://orcid.org/0000-0003-4396-2712>,

e-mail: shishkonakova_ea@esoil.ru.

²*Lomonosov Moscow State University,
1 Leninskie Gori, Moscow 119234, Russian Federation.*

³*Institute of Environmental Engineering of RUDN University,
8/2 Miklukho-Maklaya Str., Moscow 117198, Russian Federation.*

Received 31.01.2023, Revised 19.02.2023, Accepted 22.03.2023

Abstract: At the end of the 20th century, a geoinformation database on soil degradation in Russia, relied on the soil map of Russia at a scale of 1 : 5 million, was developed under the leadership of V.S. Stolbovoy. As part of the development of this problem and in the course of obtaining new information on soil degradation, an attempt was made to refine and supplement this database, that relies on the soil map of the Russian Federation 1 : 2.5 million scale. Soil degradation resulted from the impact of various types of pollution was taken into account, including industrial emissions, leakage of oil products, excessive application of pesticides, the impact of vehicles and radiation pollution. Each soil polygon of the soil map exposed to the pollution was characterized by the degree and area of pollution in accordance with the developed scales. The results of the analysis were used to construct cartograms illustrating the spatial distribution of chemical and radiation degradation of the country soils. According to the data obtained, in the zone of pollution derived from industrial enterprises and oil pollution, 20% of the soil-geographic polygons of the map are characterized by a strong degree of pollution, and 30% and 50% – by weak and medium, respectively. Agricultural pollution due to excessive use of plant protection products in Russia does not exceed 10% of the area of polygons and is characterized by a low degree. About 10% of the soil polygons of the basic soil map are heavily contaminated with radioactive contamination, while 40% and 50% of the polygons are moderately and weakly contaminated, respectively. Pollution from vehicles is weak and generally has low level. At the same time, megacities and highways with heavy traffic are distinguished by relatively high level of pollution.

Keywords: soil degradation, small-scale soil map, gradations, heavy metals, pesticides, radionuclides, geoinformation database, cartograms.

ВВЕДЕНИЕ

Деятельность человека в последние десятилетия все в большей мере приводит к преобразованию земной поверхности. Несмотря на стремления к созданию комфортной и благоприятной окружающей среды, антропогенная активность неизбежно сопро-

вождается комплексом негативных процессов, осложняющих развитие производства и предопределяющих необходимость оценки, мониторинга, разработки мер по предупреждению и борьбе с деградационными явлениями в природе. В ряду объектов окружающей среды, подвергающихся наиболее сильному и масштабному воздействию, несомненно, почвы и почвенный покров играют первостепенную роль. Деградация почв на протяжении 19–21 вв. приобрела существенный размах, охватив в мире значительные территории земель, интенсивно используемых в сельском хозяйстве и относящихся к категории плодородных угодий, от состояния и ресурсного потенциала которых напрямую зависит урожайность и обеспеченность общественных нужд продовольствием на планете. Согласно существующим оценкам, деградацией почв, заключающейся в изменениях свойств в сторону снижения плодородия и формирования совокупности признаков, ограничивающих возможность сельскохозяйственного производства на Земле, в той или иной степени охвачено более половины используемых земель ([Апарин, 2006](#); [Добровольский, 2008](#)).

В Российской Федерации, где аграрная составляющая производственной активности традиционно играет значительную роль в экономике, а площади пахотных угодий достигают 130 млн га, проблема борьбы с деградационными процессами на обрабатываемых землях характеризуется повышенной актуальностью. Учитывая уникальные размеры нашей страны, беспрецедентную протяженность пашни, простирающейся на тысячи километров с севера на юг и с запада на восток, и охватывающей различные географические и фациально-биоклиматические пояса, виды деградации почв отличаются здесь существенным разнообразием и специфическим сочетанием, обусловленным высокой неоднородностью экологических условий функционирования агроландшафтов ([Столбовой и др., 1999](#)). При этом, как и в мире в целом, для сельскохозяйственных угодий России наибольшую опасность представляет водная и ветровая эрозия ([Иванов и др., 2020](#)), сопряженная со снижением содержания гумуса, разрушением почвенной структуры, потерей биофильных элементов ([Карта почвенно-экологического районирования..., 2019](#)). В гумидных и субгумидных северных и северо-западных регионах страны преобладающая

водная эрозия нередко сочетается с переувлажнением и опасностью заболачивания ([Разумов и др., 2018](#)). В субаридных и аридных областях, в свою очередь, на фоне дефляции значительную роль играют осолонцевание и засоление почв ([Savin et al., 2021](#)), что в совокупности с дефицитом влаги нередко приводит к опустыниванию и, возможно, даже к бедлендизации территорий, используемых в сельском хозяйстве ([Панкова, Горохова, 2020](#)).

В настоящее время исследователями все больше внимания уделяется оценке экономического ущерба от совокупности негативных тенденций, проявляющихся в почвенном покрове сельскохозяйственных угодий, с целью его минимизации в будущем и оптимизации условий землепользования на основе прогрессивных почвосберегающих технологий и внедрения экологически благоприятных мелиоративных способов нейтрализации деградации почв ([Цветнов и др., 2021](#)). В этих условиях необходимость всестороннего анализа и пространственной интерпретации деградационных параметров почвенного покрова с учетом потребностей в ее обновлении как фундамента для оценочных исследований приобретает первостепенную значимость.

Существующие картографические основы обзорного масштаба, на которых представлен почвенный покров, позволяют по контурно характеризовать специфику и степень деградации почвенных выделов на больших площадях, насыщая контурную основу современной информацией о видах, направлениях и уровнях развития негативных явлений в почвах.

Несомненно, по территориальному охвату эксплуатация сельскохозяйственных угодий не сопоставима с ущербом, наносимым почвенному покрову другими видами человеческой деятельности. Тем не менее существенную роль в оценке деградации почв могут играть индустриализация, развитие инфраструктуры, строительство жилья и промышленных объектов, расширение коммуникационных сетей и целый ряд других сфер, возрастающее территориальное влияние антропогенного фактора.

Химическое загрязнение является одним из первостепенных видов деградации, которому подвержены почва и почвенный покров, преимущественно в густонаселенных районах земного шара, а также в местах концентрации производственных мощностей с

существенным уровнем загрязнения.

Фактически, по масштабу и степени негативного воздействия на окружающую среду в целом и на почвенный покров в частности, химическое загрязнение находится на втором месте после эрозионных процессов, особенно на территориях промышленно развитых стран и в зонах локализации крупных предприятий металлургической и химической промышленности, добывающих отраслей. С точки зрения агрономических наук и характеристики земледельческого развития, существенную роль в накоплении загрязняющих почвенный покров агроландшафтов токсичных для окружающей среды химических соединений играют различного рода средства защиты растений от сорняков, бактериальных инфекций и насекомых-вредителей. Кроме того, негативный эффект, приводящий в тех или иных случаях к избыточному содержанию биофильных элементов, может давать превышение нормативов внесения как органических, так и минеральных удобрений.

Традиционно одной из ведущих причин, приводящих к выпадению загрязняющих веществ на почвенный покров, считается автотранспорт, для которого характерным является наличие ряда тяжелых металлов, содержащихся в выхлопных газах топливных и масляных систем автомобилей, в составе материалов шин, несмотря на то, что в последние десятилетия в условиях совершенствования автомобильных характеристик и развития нефтеперерабатывающей промышленности удалось снизить уровень выбросов тяжелых металлов в окружающую среду.

Еще одним видом химического загрязнения почв является попадание в них нефти и нефтепродуктов вследствие прорывов нефтепроводов и утечек в местах перекачки, а также в зонах нефтедобычи.

Кроме того, для России, как для страны, где широко используется атомная энергетика, особенно актуальным представляется контроль за радиационной безопасностью, включающий картографическое отображение радиационного загрязнения почвенного покрова в результате разного рода аварийных ситуаций.

Все перечисленные виды загрязнения представляют собой значительную проблему, препятствующую оптимизации экологического состояния почв и почвенного покрова как в мире в целом,

так и в РФ, учитывая высокий уровень промышленного развития, рост добычи природных ресурсов и транспортировки полезных ископаемых, ежегодно увеличивающуюся дорожную сеть во всех регионах России, масштабное развитие с/х производства.

В ходе совершенствования представлений об особенностях почвенного покрова в мировом масштабе с учетом влияния антропогенного фактора концептуальные воззрения, господствовавшие в первой половине XX в., впоследствии уступили место оценке специфики почвенных свойств в зависимости от характера их использования ([Hartemink et al., 2013](#)). Существенную актуальность со временем приобрела систематизация и нормирование почвенных показателей, связанных с деградационными процессами в ходе сельскохозяйственной эксплуатации почв ([Макаров и др., 2014](#)). В условиях расширения информационной базы характеристик почв определенную роль в оценочных критериях деградации стали играть параметры, напрямую не связанные с агропромышленными комплексами, а являющиеся следствием развития индустрии, включая все возрастающее разнообразие отраслей промышленного производства ([Krasilnikov et al., 2016](#)).

С учетом обширных территорий России и существенной интенсивности хозяйственного использования почвенного покрова на современном этапе значительную актуальность приобретает оценка деградационных процессов в почвах, сопровождающих сельскохозяйственное производство, с одной стороны, и развитие индустрии – с другой. Расширение информационной базы по различным видам деградации на рубеже XX–XXI вв. позволило коллективу исследователей Почвенного института систематизировать и ранжировать параметры этих негативных явлений, включив их в контурную основу почвенной карты России, составленной В.С. Столбовым с соавторами в масштабе 1 : 5 млн ([Столбовой, Шерemet, 1995a](#); [Столбовой, Шерemet, 1995b](#)), систематический список для которой был взят из Программы Почвенной карты СССР масштаба 1 : 2.5 млн ([Программа почвенной..., 1972](#)). Дальнейшее развитие почвенных исследований дало возможность обновления базы данных на их новом этапе с использованием контурной основы Почвенной карты РФ более крупного масштаба (1 : 2.5 млн).

Целью исследований было обновление и уточнение геоинформационной базы данных химического и радиационного загрязнения почв России по типам загрязнения, включая промышленное, нефтехимическое, сельскохозяйственное, автотранспортное и радиоактивное, и их картографическая интерпретация.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В качестве основы для анализа использовалась геометрическая часть Единого государственного реестра почвенных ресурсов России ([Единый государственный..., 2014](#)).

Информация о загрязнении почв, полученная из архивных и фондовых карт, а также на основе анализа научных публикаций последних лет, национальных докладов Росгидромета и Минсельхоза России, аналитических обзоров, национальных и региональных атласов ([Ежегодник, 2019](#); [Ежегодник, 2020](#); [Ежегодник, 2022](#); [Атлас, 2009](#); [Атлас, 2013](#); [Экологический атлас России, 2017](#)), в обобщенном виде привязывалась в виде атрибутов к почвенно-географическим выделам ЕГРПР.

Информация о сети автомобильных дорог (учитывались лишь дороги с асфальтовым покрытием) была получена из интернет-ресурса

OpenStreetMap

(<https://www.openstreetmap.org/#map=2/69.6/-74.9>). Было

принято, что основное загрязнение от каждой автодороги распространяется в буферной зоне на расстоянии менее 100 м от полотна дороги.

В рамках проводимой диагностики деградационных изменений почвенных характеристик на базе ПК РФ 2.5 млн была предложена поконтурная система оценки загрязнения почв, включающая в себя наименование типа загрязнения, четырехступенчатую оценку степени загрязнения по отношению к ПДК (ОДК) загрязняющих веществ, где сильной степени соответствует концентрация поллютантов, превышающая ПДК в 10 и более раз, средней степени – в 2–10 раз, слабой – менее, чем в 2 раза, а отсутствие загрязнения, в свою очередь, характеризуется “нулевой” степенью.

Помимо этого, учитывались площади загрязнения в каждом контуре по соответствующей шкале (табл. 1).

Таблица 1. Процент загрязненной территории от площади почвенного контура ЕГРПР

Table 1. Percentage of contaminated territory from the area of the soil polygon of the Unified State Register of Natural Resources

№ п/п	% от площади контура
1	нет загрязнения
2	<1
3	1–5
4	5–10
5	10–25
6	25–50
7	50–75
8	75–90
9	>90

Была проведена оценка пространственного распределения следующих видов химических поллютантов, среди которых:

1. промышленное загрязнение тяжелыми металлами (свинец, медь, цинк, кадмий, сера, никель и другие) вследствие выбросов металлургических комбинатов, плавильных заводов, предприятий горно-обогатительной отрасли;

2. загрязнение нефтью и нефтепродуктами при добыче и транспортировке сырья;

3. загрязнение средствами защиты растений от распространения сорняков и вредителей с/х продукции;

4. радиоактивное заражение;

5. загрязнение от автодорог.

При оценке загрязненности почв по уровню выбросов вредных веществ использовались сведения исключительно из открытых источников, и кроме того, научная информация, содержащаяся в публикациях.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

1. Промышленное загрязнение почв тяжелыми металлами

Исходя из полученных результатов, предложено характеризовать ширину зон химического загрязнения вблизи комбинатов в соответствии с различиями в уровнях выбросов и токсичностью компонентов загрязнения по имеющимся литературным данным. Таким образом, территория вокруг комбинатов условно делилась на три сектора со слабым, средним и сильным уровнями загрязнения при варьировании ширины полос от 5 до 50 км. Согласно существующим представлениям, общее загрязнение в окрестностях предприятий охватывает территорию, не превышающую в диаметре 100 км ([Горбов и др., 2015](#); [Джувеликян и др., 2009](#)).

Наиболее значимые, с точки зрения загрязнения, предприятия ранжированы нами на три категории: 0–5 км – с сильным загрязнением; 5–30 км – со средним загрязнением; 30–50 км – со слабым загрязнением. Для них на ПК РФ с наложенным изображением поверхности Земли (Google Earth) в обозначенных выше пределах фиксировались участки, включающие почвенные контуры разного содержания, для которых определялись степени загрязненности. Менее экологически опасные предприятия-загрязнители, в свою очередь, характеризовались 30–20-километровыми зонами загрязнения.

При этом каждый почвенный контур, попавший в зону загрязнения, характеризовался нами в процентном отношении сочетанием территории с различными уровнями содержания химических поллютантов. Закономерно наличие максимально загрязненного почвенного покрова в пределах километрового пространства вблизи комбинатов, где почва характеризуется экстремально высокой концентрацией тяжелых металлов на значительную глубину почвенного профиля в зависимости от продолжительности работы предприятия и интенсивности выбросов в различные временные периоды. Почвенный покров здесь характеризуется высоким уровнем деградации и минимальной возможностью быстрого восстановления исходных параметров до фонового уровня. Непосредственно прилегающие к предприятию трансформированные

ландшафты, как правило, даже в условиях его закрытия нуждаются в комплексной рекультивации в первую очередь ([Водяницкий и др., 2011](#); [Водяницкий и др., 2011](#)).

В отличие от глубокопораженных загрязняющими компонентами прикомбинатных территорий, почвенный покров периферической зоны загрязнения в значительной мере обладает способностью к постепенному самоочищению в условиях снижения интенсивности действия загрязнителя вследствие оптимизации функционирования предприятия.

Существенную роль при самоочищении почв играют свойства почв, среди которых кислотность почв и емкость катионного обмена имеют первостепенное значение, предопределяющее поведение химических элементов-загрязнителей в почвенной среде. Так в кислых и слабокислых почвах подзолистого ряда подвижность тяжелых металлов характеризуется относительно высокой степенью, что, в свою очередь, как правило, приводит к усилению их миграции с нисходящим током влаги и последующему поступлению в нижележащие горизонты вплоть до попадания в грунтовые воды. Ускорению этого процесса в значительной мере способствует облегченность верхних горизонтов почв по гранулометрическому составу. Фактически пахотные горизонты в течение относительно непродолжительного времени освобождаются от избытка ионов загрязнителей, негативно влияющих на свойства агроагломерации. Однако в ходе миграционного процесса возрастает площадь загрязнения геохимического ландшафта ([Водяницкий и др., 2011](#); [Обухов, 1990](#)).

В нейтральных и слабощелочных почвах лесостепных и степных ландшафтов, обладающих значительной емкостью катионного обмена, в свою очередь, тяжелые металлы удерживаются в поглощенном состоянии, преимущественно в пахотных горизонтах почв, теряя при этом подвижность и образуя зону повышенной аккумуляции, корреспондирующую с гумусово-аккумулятивной частью профиля. Загрязнение пахотных угодий в этом случае сохраняется в течение длительного времени, ограничивая возможности возделывания культур с учетом экологической безопасности. В то же время площадь распространения загрязнителей характеризуется выраженной локализацией в окружающей среде ([Горбов и](#)

[др., 2015](#); [Борисочкина, Воляницкий, 2007](#)).

Таким образом, сильно и средне загрязненные тяжелыми металлами почвы вблизи промышленных предприятий не различаются по степени устойчивости, несмотря на разнообразие свойств и даже принадлежность к разным таксономическим группам, в силу экстремальной концентрации загрязнителей, многократно превышающей ПДК (ОДК) ([Джувеликян и др., 2009](#)).

Говоря о составе поллютантов, следует обратить внимание на наиболее токсичные из них, среди которых кадмий и свинец, а также на часто встречающиеся в экологически неблагоприятных условиях – медь, никель, цинк и ртуть. Предприятия черной и цветной металлургии, металлообработки являются преимущественными источниками поступления в атмосферу никеля и цинка. Свинцово- и медеплавильные предприятия загрязняют окружающую среду, соответственно, свинцом и медью. Согласно имеющимся оценочным критериям, приводимым в ежегодных отчетах по загрязнению почв РФ токсикантами промышленного происхождения (ТПП), фоновые значения массовых долей характеризуются как благополучные. Наблюдения, проводимые в районах источника выброса, включающих промышленные предприятия, комбинаты, индустриальные агломерации, дают картину ежегодных выбросов во временном срезе. В целом по полученным данным в последние десятилетия происходит снижение уровня загрязнения тяжелыми металлами территорий вокруг промышленных предприятий. Тем не менее опасная и крайне опасная экологическая ситуация по никелю складывается и продолжает оставаться в районах Норильского никеля (Красноярский край), Кольской горно-металлургической компании (г. Мончегорск), Новолипецкого металлургического комбината (г. Липецк), Северстали (г. Череповец), Нижнетагильского металлургического комбината (Свердловская обл.), Магнитогорского металлургического комбината (г. Магнитогорск, Челябинской обл.), Рубцовского литейного комбината (г. Рубцовск, Алтайский край), производственного объединения Режникель (г. Реж, Свердловской области) и ряда других (рис. 1).



Рис. 1. Картограмма загрязнения почв РФ тяжелыми металлами от промышленных предприятий (цветом показана степень загрязнения: strong – сильное, moderate – среднее, low – низкое, а также сочетания разных степеней загрязнения почв).

Fig. 1. Cartogram of soil pollution in the Russian Federation with heavy metals resulted from industrial enterprises (color shows the degree of pollution: strong, moderate, low, as well as combinations of different degrees of soil pollution).

В свою очередь, максимально загрязняющий эффект по свинцу и меди отмечается для Среднеуральского медеплавильного завода (г. Ревда Свердловской области), Красноуральского медеплавильного комбината (г. Красноуральск Свердловской области), свинцово-плавильного завода Рудная Пристань (Дальнегорский р-н Приморского края), Кировоградского медеплавильного комбината (г. Кировоград Свердловской области), предприятия Урал-электромедь (Верхняя Пышма Свердловской области), Медногор-

ского медно-серного комбината (Медногорск Оренбургской области), Башкирского медно-серного комбината (г. Сибай, Башкортостан), Садонского свинцово-цинкового комбината (п. Садон, Сев. Осетия, закрыт в 2009 г.), Западно-Сибирского металлургического комбината (г. Новокузнецк Кемеровской области); и по цинку – Беловского цинкового комбината (г. Белово Кемеровской области).

Существенные превышения по содержанию в почве кадмия фиксируются в окрестностях г. Ревды (до 10 ОДК) и г. Реж (до 49 ОДК).

Согласно имеющимся литературным данным из источников Минприроды и научной периодики ([Ежегодник, 2019](#); [Ежегодник, 2022](#)) можно разделить существующие источники загрязнения тяжелыми металлами на четыре категории в соответствии с уровнем выбросов и диаметром загрязняемых площадей. К особо опасным объектам-загрязнителям нами отнесены промышленные предприятия с диаметром поражения до 30–50 км, количество которых варьирует в пределах 5–10 ([Ежегодник, 2022](#)). Категории опасных, по нашим оценкам, соответствуют промышленные предприятия с зоной загрязнения 10–30 км, число которых достигает 20–25. Умеренно опасных источников загрязнения, с нашей точки зрения, имеющих зону поражения 5–10 км, на территории РФ насчитывается около 50. В свою очередь, локальными источниками химического загрязнения являются предприятия, загрязняющие почвенную среду на расстоянии менее 5 км. Такого рода загрязнителей насчитывается около 100.

При этом, как показали наши исследования, до 70% промышленных предприятий, металлургических и горнообогатительных комбинатов находятся в зоне господства кислых сиаллитных почв, что увеличивает негативное воздействие тяжелых металлов на почвенный покров. Контурная наполняемость почв загрязняющим компонентом всех уровней загрязнения достигает 80–100% в сильнозагрязненных ландшафтах, снижаясь до 30–50 в средне- и слабозагрязненных. В то же время 30% предприятий-загрязнителей расположены в суббореальном поясе, являясь причиной падения ресурсного потенциала вследствие обогащения тяжелыми металлами нейтральных суглинистых почв. При прочих равных

условиях для песчаных почв в зоне загрязнения наблюдается выраженное площадное растекание и распространение тяжелых металлов с током влаги в ходе снеготаяния и дождевых осадков на значительных территориях. Суглинисто-глинистые почвы, в отличие от почв легкого гранулометрического состава, характеризуются накоплением тяжелых металлов в поверхностных горизонтах и пространственной локализацией загрязняющих компонентов.

Поконтурное обследование загрязненных промышленными предприятиями почв показало, что в зону поражения особо опасных предприятий попадает от 5 до 30 почвенно-географических контуров ЕГРПР, опасных – 3–15 контуров, и умеренно опасных – от 2 до 10 контуров. Результат анализа загрязнения почвенных выделов свидетельствует о целесообразности выделения трех градаций загрязненности тяжелыми металлами, согласно которым при загрязнении больше 70% контур считается полностью загрязненным (вариант А), в диапазоне от 30 до 70% – частично загрязненным (вариант Б), и менее 30% – фрагментарно загрязненным (вариант В). Проведенные исследования показали, что наполняемость контура информацией о химическом загрязнении связана с объемом выбросов предприятий, при которых особо опасные и опасные загрязнители вызывают высокую наполняемость контуров и преобладание вариантов А и Б. В свою очередь, умеренно опасные загрязнители представлены в почвенном покрове контурными вариантами типа В. Кроме того, распространение в контуре загрязнителей непосредственно связано с размерами самих контуров в тундровой, таежно-лесной, лесостепной и степной зонах. В частности, таежная зона отличается мелкоконтурностью, более высокой заполняемостью контуров загрязняющими компонентами и повышенным количеством загрязненных почвенных разностей. Полностью загрязненные почвы требуют рекультивации, частично загрязненные целесообразно забрасывать, либо проводить выборочную рекультивацию, а на фрагментарно загрязненных следует ограничить землепользование и проводить залужение.

Несмотря на то, что за последние 30 лет выбросы тяжелых металлов сократились на 20%, а количество загрязняющих источников снизилось на 10% ([Ежегодник, 2022](#)), современная ситуация требует постоянного мониторинга и совершенствования произ-

водственных циклов в сталелитейной и горнообогатительной промышленности.

Прогрессивная, с нашей точки зрения, система оценки химического загрязнения по ОДК тем не менее требует дальнейшего уточнения, связанного со спецификой почв агроландшафтов лесной зоны, мелиорированных, со сниженной кислотностью, а также с особенностями супесчано-песчаных кислых почв с дифференцированным по гранулометрическому составу профилем. В этой связи почвы подзолистого ряда с водоупорным горизонтом могут характеризоваться максимальной зоной сублатеральной и латеральной миграции загрязняющих веществ по сравнению с подзолами, характеризующимися преобладанием вертикальных миграционных процессов. Таким образом, миграционная способность тяжелых металлов, убывающая в ряду: подзолистые почвы – подзолы – агроподзолистые – серые-лесные – черноземы, – предопределяет расширение числа градаций уровней ОДК для загрязненных почвенных таксонов. В случае совершенствования системы оценки загрязнения картографическая интерпретация будет отличаться большей информативностью и точностью. Характеризуя в целом экологическую ситуацию, связанную с загрязнением почв тяжелыми металлами, подчеркнем, что она контролируема, в целом не вызывает опасений и зависит от особенностей функционирования и перспектив развития металлургической отрасли.

2. Нефтезагрязнение почв

Несмотря на масштабную добычу углеводородов, высокую протяженность и значительную разветвленность трубопроводной сети, в целом ситуация с загрязнением почв нефтью и нефтепродуктами оценивается как удовлетворительная. За исключением нескольких аварийных случаев, приведших к разовым разливам транспортируемых углеводородов, системы нефтедобычи и нефтеперекачки характеризуются отлаженностью и высоким уровнем безопасности.

На территории России точно выделяются лишь четыре значительно загрязненных участка внутри и вблизи крупных городов – промышленных центров (рис. 2). При этом наиболее загряз-

ненными городами является Казань и Омск, для которых уровни концентрации попавших в окружающую среду углеводов, превышают ПДК соответственно в 9 и 8,5 раз. Высокой загрязненностью характеризуются центры добывающей и обрабатывающей промышленности в Уральском регионе – Медногорск и Ижевск, в городской черте и окрестностях которых концентрации углеводов в почве составляют от 4 до 5 ПДК.

Существующие и разрабатываемые в настоящее время методики очистки почвы от избытка углеводов позволяют стабилизировать ситуацию и способствуют локализации негативного эффекта от поступивших во внешнюю среду токсичных органических компонентов ([Германова и др., 2019](#); [Трофимов и др., 2000](#); [Логинов, 2000](#)).



Рис. 2. Картограмма загрязнения почв РФ нефтью и нефтепродуктами при добыче и транспортировке сырья (показан процент загрязненных почв в почвенно-картографическом выделе).

Fig. 2. Cartogram of soil pollution in the Russian Federation by oil and oil products during the extraction and transportation of raw materials (the percentage of contaminated soils in the soil polygon is shown).

При анализе загрязненностью нефтью и нефтепродуктами на карте были выделены границы городских территорий с максимальной концентрацией поллютантов, вошедшие в состав почвен-

ных контуров. В соответствии с площадью территории каждого контура, оказавшейся в зоне загрязнения, учитывался процент ареала поражения внутри контура. Степень загрязнения при этом характеризовалась нами как средняя для всех выделенных объектов рассмотрения.

По данным наблюдений, полученным в 2021 г. ([Ежегодник, 2022](#)), ситуация с загрязнением характеризуется динамическим равновесием, сочетающим увеличение и уменьшение содержания загрязняющих компонентов, среди которых особой токсичностью отличаются битумные вещества, крайне тяжело выводимые из ландшафта и обладающие высокой фитотоксичностью в отношении почв, что приводит к гибели фитоценозов и частичному разрушению природной среды. Оценку уровня загрязнения осложняет отсутствие единого норматива по содержанию нефтепродуктов. Предлагаемая шкала носит рекомендательный характер (табл. 2).

Таблица 2. Содержание нефтепродуктов мг/кг
Table 2. Content of oil products mg/kg

№ п/п	Содержание нефтепродуктов	Уровень загрязнения
1	<100	фоновый
2	100–500	повышенный
3	500–1 000	умеренно загрязненный
4	1 000–2 000	умеренно опасный
5	2 000–5 000	опасный
6	>5 000	очень опасный

Умеренно опасный, опасный, очень опасный уровни загрязнения фиксируются преимущественно вокруг нефтепромыслов, нефтехранилищ и НПЗ (нефтеперерабатывающих заводов), а также в районах аварий на относительно небольших площадях, что позволяет в короткие сроки ликвидировать последствия разливов. Такого рода загрязнения не поддаются картографической оценке в

используемом масштабе в силу ограниченности территорий и высокой скорости ликвидации аварий ([Ежегодник, 2019](#)).

3. Загрязнение почв пестицидами

На основании информационного блока, изложенного в публикациях Минприроды ([Ежегодник, 2020](#)), была составлена карта загрязнения, иллюстрирующая распределение избыточного количества пестицидов в почвах (рис. 3).

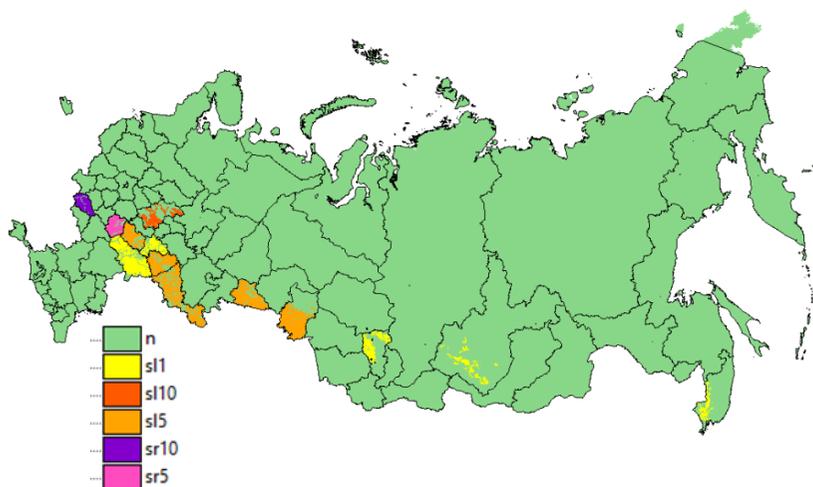


Рис. 3. Картограмма загрязнения почв РФ средствами защиты растений: n – нет загрязнения, sl1 – слабое загрязнение менее 1% площади, sl5 – слабое загрязнение 1–5% площади, sl10 – слабое загрязнение 5–10% площади, sr5 – среднее загрязнение менее 5% площади, sr10 – среднее загрязнение 5–10% площади.

Fig. 3. Cartogram of soil pollution in the Russian Federation with plant protection products: n – no pollution, sl1 – weak pollution of less than 1% of the area, sl5 – weak pollution of 1–5% of the area, sl10 – weak pollution of 5–10% of the area, sr5 – moderate pollution of less than 5% of the area, sr10 – moderate pollution 5–10% of the area.

При составлении карты загрязнения почв учитывалась их вовлеченность в распашку ([Савин и др., 2018](#)), а также способность почв разного грансостава аккумулировать загрязнители данного типа.

Согласно имеющимся данным, уровень загрязнения пестицидами почв агроландшафтов не превышает 1–5%. Как известно, пестициды, являющиеся ядами, наряду с позитивным эффектом для культурной растительности, снижают биоразнообразие, вызывают сокращение биоопылителей, разрушают среду обитания местной фауны. В этой связи мониторинг их применения является актуальной проблемой. Ситуацию осложняет разнообразие препаратов (652 ед. пестицидов, используемых на территории России), а также наличие большого количества контрафакта вследствие ослабления госконтроля и госнадзора с 2011 г. Кроме того, многочисленные фермерские хозяйства и частные земельные фермы фактически неподотчетны органам контроля. Несмотря на то, что современные препараты отличаются высокой эффективностью и быстрой разлагаемостью в почвенной среде, их интенсивное применение в ряде случаев вызывает накопление остаточного количества в пахотных горизонтах почв.

По данным отчетов Минприроды за 2018 г., к числу среднезагрязненных (2–10 ПДК в почвах) субъектов Федерации относятся Курская и Тамбовская области с загрязненными площадями 5–10% и 1–5% соответственно.

Слабой степенью загрязнения (1–2 ПДК) характеризуются пахотные почвы Нижегородской (5–10% площади), Оренбургской, Пензенской, Самарской, Курганской, Омской областей (1–5% площади), а также Саратовской, Ульяновской, Иркутской, Кемеровской областей и Приморского края (<1% площади). Фактически основная доля загрязненных пахотных угодий приходится на наиболее продуктивные сельскохозяйственные угодья, с доминированием в почвенном покрове черноземов и серых лесных почв.

По литературным данным, основным компонентом-загрязнителем до сих пор является дихлорфенилтрихлорэтан, запрещенный в РФ и СССР еще 40 лет назад. На его долю приходится 41% ([Афанасьев, 2003](#); [Шевкоплас-Гурьева, Сивкова, 2020](#)).

По нашим оценкам, в целом уровень загрязнения и его распространение в агропочвах РФ можно охарактеризовать как относительно благоприятный, не требующий специального мониторинга. Однако в целях минимизации ущерба необходимо ужесточение учета и контроля использования пестицидов на уровне Минсельхоза в целях оптимизации их внесения. Тревожным сигналом стала массовая гибель пчел в 2019 г. Погибло 80 тысяч пчелосемей ([Ежегодник, 2020](#)). Альтернативой использования пестицидов может служить органическое земледелие, перспективы которого в последнее время возрастают в связи с прогрессом в семеноводстве и стремлением к получению чистой растениеводческой продукции, обеспечивающей высокое качество питания населения.

4. Радиоактивное загрязнение почв

Радиационная обстановка и загрязнение почв на территории Российской Федерации на протяжении более 36 лет преимущественно связаны с образованием так называемого Чернобыльского следа, в зону влияния которого попали в основном территории запада и юго-запада европейской части страны (рис. 4).

Наиболее загрязненной при этом оказалась Брянская область, почвенный покров которой в значительной мере пострадал от выбросов цезия и стронция. Существенную долю радиации получили также территории Орловской, Липецкой, Тульской, Калужской и Рязанской областей. Кроме того, северо-западные регионы страны в той или иной степени оказались затронутыми радиоактивным облаком, что обусловило попадание в почвы Ленинградской области радиоактивных элементов ([Атлас, 2009](#)).

Другим источником заражения явилась авария, произошедшая на комбинате “Маяк”, приведшая в конце 50-х годов 20 в. к загрязнению радиоактивными компонентами прилегающих к предприятию территорий Челябинской области. Значительная часть радиоактивных веществ при этом поступила в водно-речную сеть, распространившись на значительную территорию, подвергшегося загрязнению региона ([Атлас, 2013](#)).

Как известно, период полураспада стронция-90 и цезия-137 составляет в среднем около 30 лет. Поскольку с момента Чернобыльской аварии прошло больше времени, степень загрязнения почвенного покрова радиоактивными элементами снизилась более чем в два раза ([Экологический атлас, 2017](#)). Таким образом зоны загрязнения сместились на одну градацию в сторону его уменьшения.



Рис. 4. Картограмма радиоактивного заражения почв РФ (цветом показана степень загрязнения: strong – сильное, moderate – среднее, low – низкое, point – точечное, а также сочетания разных степеней загрязнения почв).

Fig. 4. Cartogram of radioactive contamination of soils in the Russian Federation (color indicates the degree of contamination: strong, moderate, low, point, as well as combinations of different degrees of soil contamination).

Для оценки радиационного загрязнения использовалась система критериев, аналогичная примененной в ходе диагностики химического загрязнения почв тяжелыми металлами в результате

выбросов промышленных предприятий, предусматривавшая наличие трех степеней загрязнения: сильное – больше ПДК в 10 и более раз; среднее – больше ПДК в 2–10 раз; слабое – меньше 2 раз. Кроме того, для каждого контура вычислялся процент загрязнения по 9-ступенчатой шкале. Вся имеющаяся информация вносилась в базу данных для каждого почвенного выдела, охарактеризованного системой показателей деградации. Методика составления базы данных и ее картографическая интерпретация предусматривали при этом наложение площадной оценки показателей загрязненности на почвенную картографическую основу с последующим подсчетом степени и масштабов загрязнения. Нами использовалась шкала степени радиационного загрязнения в Ku/km^2 , в соответствии с которой слабозагрязненные почвы имеют диапазон от 1 до 5; среднезагрязненные – от 5 до 15; сильнозагрязненные – от 15 до 40 и более.

Полученные данные показали, что в целом за прошедшие годы значительная часть слабозагрязненной территории утратила признаки загрязненности, а среднезагрязненные ландшафты, в свою очередь, трансформировались в слабозагрязненные. Что касается местностей, подвергшихся сильному загрязнению, несмотря на значительное снижение уровня радиационной опасности, почвенный покров остается для них в той же категории по загрязнению. В частности, значительные площади почв Брянской области, а также отдельные почвенные ареалы Орловской, Калужской и Рязанской областей, остаются в категории сильнозагрязненных. В свою очередь, значительно сократились масштабы загрязнения почв в лесостепных ландшафтах Тамбовской, Пензенской, Ульяновской областей и других периферических зонах Чернобыльского следа (Ленинградская, Псковская области). По существующим критериям, дальнейшая денуклеаризация займет не менее 30–50 лет.

Наиболее загрязненные территории приходится на почвы сельскохозяйственных регионов, относящиеся к черноземам и лугово-черноземным разностям, характеризующимся высокой поглощательной способностью, в связи с чем пахотные горизонты аккумулируют значительные количества радиоактивных загрязнителей продолжительное время. Эта проблема связана с забрасыва-

нием на длительный период и выводом из сельскохозяйственного использования плодородных угодий. В то же время северо-западные области, в почвенном покрове которых доминируют кислые и часто встречаются легкие почвы, в ходе поэтапной денуклеаризации претерпевают более выраженные изменения за счет высокой подвижности радионуклидов в кислой среде, усиливающейся с током влаги в профилях водопроницаемых почв. В итоге и стронций, и цезий, вымываясь из почвенных профилей, попадают в грунтовые воды и могут загрязнять на больших площадях гидросеть.

В зоне Южно-Уральского региона постепенный распад радионуклидов также способствовал выраженному сокращению площадей слабозагрязненных почв (до 20–30% в каждом контуре). Естественный процесс очищения почв тормозится здесь относительно невысокой дренированностью и загрязнением большого количества водоисточников.

Общая картина радиационного загрязнения в целом соответствует идущим процессам денуклеаризации, связанным с особенностями поведения стронция и цезия в почвенной среде. В итоге за прошедшее время около 20% ранее загрязненной территории очистилось, а 30–40% среднезагрязненных ландшафтов перешло в категорию слабозагрязненных.

5. Загрязнение почв в результате воздействия автодорог

Современная ситуация, касающаяся загрязнения автотранспортом территории РФ, характеризуется, с одной стороны, расширением густоты дорожной сети, приводящим к увеличению выбросов тяжелых металлов и бенз(а)пирена, а с другой стороны, повышением качества автомобильного топлива, в результате чего токсичность загрязняющих компонентов, поступающих в окружающую среду, снижается (табл. 5). В итоге среди загрязнителей свинец уходит на второй план, а цинк становится основным загрязняющим компонентом, поступающим в почву при прогорании моторного масла и износе шин ([Иванов, 2003](#)).

Как известно, загрязнение вблизи автомагистралей в среднем фиксируется в зоне до 150 м шириной с обеих сторон дорож-

ного полотна. В ходе работы нами предложено выделять одну степень градации по интенсивности загрязнения – выше 2 ПДК (табл. 1). За основу взята карта автодорог с асфальтовым покрытием с интернет-ресурса Open Street Map, густота которой определяла распространение загрязняющего компонента в контуре. В результате была составлена картограмма масштабов загрязнения почвенных контуров на всю территорию страны. Как показали результаты исследования, максимальной загрязненностью характеризуется почвенный покров в мегаполисе Москва (Московская область), а также в зоне интенсивного дорожного трафика по линии Краснодар – Махачкала (рис. 5).

Таблица 5. Процент загрязняющего компонента (тяжелые металлы) в почвенном контуре

Table 5. Percentage of contaminant (heavy metals) in the soil polygon

Загрязнение	Градации
Отсутствует	0
Очень слабое	0–1
Слабое	1–5
Среднее	5–10
Выше среднего	10–15

Кроме того, значительной загрязненностью отличается почвенный покров центра европейской части страны, включая крупные промышленные и административные центры в густонаселенных регионах черноземной зоны и южного Нечерноземья. В свою очередь, средний уровень загрязнения отмечается на большей части южной и юго-западной территории России. Отсутствие автотранспортной сети в ряде северных регионов Сибири, Дальнего Востока, в горных системах Алтая, Саян, Забайкалья предопределяет низкий уровень загрязнения почв. В целом масштабы распространения загрязняющих компонентов, связанные с влиянием автотранспорта, можно оценить как умеренные, не вызывающие

опасения, с точки зрения экологического вреда, за исключением транспортных систем внутри мегаполисов ([Кошелева, Никифорова, 2011](#)).

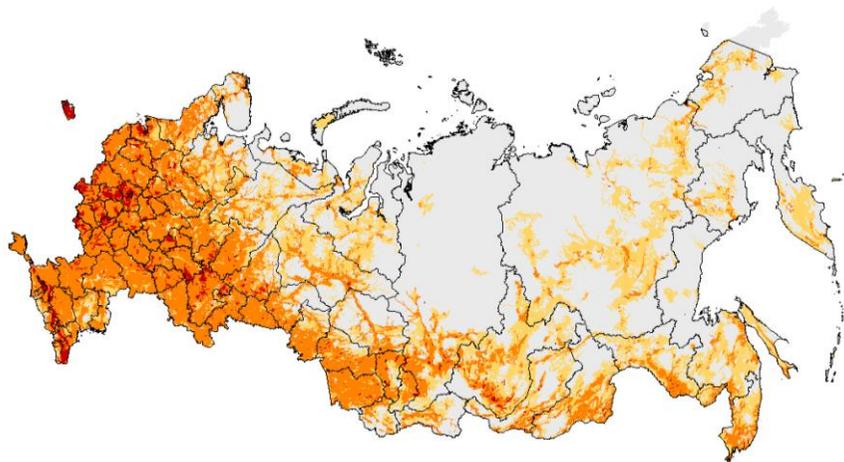


Рис. 5. Картограмма загрязнения почв РФ выбросами автотранспорта: цветом показан процент загрязненных почв вдоль автодорог в почвенном контуре.

Fig. 5. Cartogram of soil pollution in the Russian Federation by vehicle emissions: the percentage of polluted soils along the roads in the soil polygon is shown in color.

ВЫВОДЫ

1. Площади загрязнения промышленных предприятий, варьирующие в зависимости от объемов выбросов в диапазоне 3–50 км обуславливают среднюю заполненность почвенного контура загрязняющими веществами в зоне выпадения тяжелых металлов в среднем около 40–50%. При этом на долю контуров с сильной степенью загрязненности приходится около 20%. В средней и слабой степени химическому загрязнению подвержены 30 и 50% площадей контуров соответственно. По нашим экспертным оценкам, в случае наполнения контура токсикантами высокой степени загрязнения более 50% он утрачивает способность к восстановле-

нию. Аналогичная ситуация возникает в случаях более 75% поражения почв химическими поллютантами средней степени загрязнения. В свою очередь, почвенный контур со слабой степенью загрязнения обладает выраженной способностью к поэтапному полному самоочищению от поллютантов, согласно нашей оценке.

2. Нефтезагрязнение, приводящее к образованию зоны с повышенной концентрацией нефтепродуктов в почве, диагностированное нами на основании предложенных оценочных шкал, характеризуется теми же критическими параметрами, что и загрязнение промышленными источниками.

3. Загрязнение средствами защиты растений сельскохозяйственных угодий, не превышающее 10% площади контуров, составляет в среднем около 1%. При этом степень загрязнения пестицидами характеризуется как слабая.

4. Радиоактивному загрязнению в пределах территорий, попавших в зону поражения вследствие выбросов, в высокой степени подвержено около 10% почвенных контуров, в средней – в пределах 40% и, соответственно, в слабой – порядка 50%. В связи с особенностями трансформации радиоактивных загрязнителей, имеющих 30-летний цикл полураспада, около 20% слабозагрязненных контуров за прошедший период очистились. Пространственное распределение при этом приобрело сегментированный характер за счет закономерного падения концентрации поллютантов.

5. Анализ влияния автотранспорта на почвенную среду, базировавшийся на критерии степени загрязненности контура, с учетом выраженной локализации распределения цинка и свинца в почвах вдоль дорожного полотна (для развитой сети дорог с асфальтовым покрытием), позволил ранжировать поконтурные уровни заполнения загрязнителями на 5 категорий. По нашим оценкам, максимальной относительной загрязненностью характеризуется менее 5% контуров, до 15% контуров имеют высокий уровень относительной загрязненности, и, в свою очередь, средний и слабый относительные уровни загрязнения отмечаются для 50 и 30% контуров соответственно.

В целом в данном масштабе общий уровень загрязнения почв можно оценить как низкий. В то же время в крупных сели-

тебных агломерациях, административных и промышленных центрах РФ трафик, осложняемый дорожной ситуацией, приводит к экстремальному накоплению загрязняющих веществ в почвах.

б. Согласно полученным данным, исследованные виды химического и радиационного загрязнения можно разделить на три основные категории: точечные, локальные и широко распространенные. К первой категории относятся нефтезагрязнение и автотранспортное загрязнение. Ко второй – соответственно, промышленное и сельскохозяйственное. В третью категорию, в свою очередь, входит радиационное загрязнение. В первую категорию включаются мегаполисы, автомагистрали, промышленные агломерации, во вторую – центры индустрии и добывающей промышленности, а также интенсивно используемые сельскохозяйственные территории, представленные преимущественно лесостепными и степными агроландшафтами. Что касается радиационного загрязнения, его значительное пространственное распространение связано с техногенными авариями и особенностями перемещения воздушных масс во время катастрофических выбросов.

В современных условиях на земном шаре распределение тяжелых металлов в почвах вблизи промышленных предприятий можно представить в двух вариантах, для первого из которых отмечается выраженная приуроченность ареалов загрязнения к размещенным промышленным агломерациям и густонаселенным районам, наблюдаемая в основном в странах третьего мира ([Ahmed et al., 2023](#); [Han et al., 2021](#); [Parizanganeh et al., 2010](#); [Pathak et al., 2015](#); [Peng et al., 2022](#); [Taati et al., 2020](#); [Vega et al., 2022](#); [Verma et al., 2010](#)). А для второго характерно пространственное разделение районов индустриального загрязнения почв и территорий с высокой плотностью населения (европейские и другие развитые страны) ([Magiera et al., 2007](#); [Abbaszade et al., 2022](#); [Martin, 2023](#)). В Российской Федерации, по нашим оценкам, встречаются оба варианта в разных частях страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Апарин Б.Ф.* Проблемы оценки деградации почв мира // Вестник СПбГУ. 2006. Сер. 3. Вып. 1. С. 70–80.

2. Атлас Восточно-Уральского и Карачаевского радиоактивных следов, включая прогноз до 2047 года / Под ред. Ю.А. Израэля. М.: ИГКЭ Росгидромета и РАН, Фонд “Инфосфера”, НИА-Природа, 2013. 140 с.
3. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АС на пострадавших территориях России и Белорусии. М.–Минск: фонд “Инфосфера”, НИА Природа, 2009. 140 с.
4. *Афанасьев В.Н.* Анализ состояния и пути снижения экологической нагрузки сельскохозяйственного производства на природную среду // Сб. научных трудов СЗНИИМЭСХ. 2003. № 75. С. 4–13.
5. *Борисочкина Т.И., Водяницкий Ю.Н.* Загрязнение агроландшафтов России тяжелыми металлами: источники, масштабы, прогнозы // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2007. № 60. С. 82–89.
6. *Водяницкий Ю.Н., Горячкин С.В., Савичев А.Т.* Распределение редкоземельных (Y, La, Ce) и других тяжелых металлов в профиле почв подзолистого ряда // Почвоведение. 2011. № 4. С. 546–555.
7. *Водяницкий Ю.Н., Плеханова И.О., Прокопович Е.В., Савичев А.Т.* Загрязнение почв выбросами предприятий цветной металлургии. Почвоведение. 2011. № 2. С. 240–249.
8. *Германова С.Е., Самброс Н.Б., Петухов Н.В., Рыжова Т.А.* Методы очищения почв от нефтепродуктов // Международный сельскохозяйственный журнал. 2019. № 4. С. 63–65.
9. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. СанПин 1.2.3685-21. 2021. С. 504.
10. *Горбов С.Н., Безуглова О.С., Алексикова А.С., Тагивердиев С.С., Дубинина М.Н., Шерстнев А.К.* Содержание и распределение тяжелых металлов и мышьяка в почвах Ростова-на-дону // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 4. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=21428>.
11. *Джувеликян Х.А., Щеглов Д.И., Горбунова Н.С.* Загрязнение почв тяжелыми металлами. Способы контроля и нормирования загрязненных почв // Учебно-методическое пособие для ВУЗов. Воронеж: издательско-полиграфический центр ВГУ, 2009. 22 с.
12. *Добровольский Г.В.* Деградация почв – угроза экологического кризиса // Век глобализации. 2008. № 2. С. 54–65.
13. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2014. 760 с.
14. Ежегодник. Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения (ТПП) в 2018 году. Обнинск: ФГБУ “НПО “Тайфун”, 2019. 118 с.

15. Ежегодник. Состояние загрязнения пестицидами объектов природной среды Российской Федерации в 2019 году. Обнинск: ФГБУ “НПО “Тайфун”, 2020. 89 с.
16. Ежегодник. Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 2021 году. Обнинск: ФГБУ “НПО “Тайфун”, 2022. 131 с.
17. *Иванов А.Л., Савин И.Ю., Столбовой В.С., Аветян С.А., Шишконокова Е.А., Капитанов А.Н.* Карта агрогенной эродированности почв России // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2020. Т. 493. № 2. С. 99–102.
18. *Иванов В.Т.* Актуальные вопросы оценки загрязнения почвенного покрова вблизи автомагистралей // Тр. Всеросс. науч. практ. семинара “Экологизация автомобильного транспорта”. СПб, 2003. С. 83–88.
19. Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации 1 : 8 000 000. 2019.
20. *Кошелева Н.Е., Никифорова Е.М.* Многолетняя динамика и факторы накопления бенз(а)пирена в городских почвах (на примере ВАО Москвы) // Вестник Моск. Ун-та. Серия 17: Почвоведение. 2011. № 2. С. 25–34.
21. *Логинов О.Н.* Биотехнологические методы очистки окружающей среды от техногенных загрязнений. Уфа: Реактив, 2000. 100 с.
22. *Макаров О.А., Яковлев А.С., Красильников П.В., Бондаренко Е.В.* Экологическое нормирование качества почв как основа для оценки их деградации // Проблемы агрохимии и экологии, 2014. № 4. С. 40–44.
23. *Новачадов В.В., Рулев А.С., Юферева В.Г., Иванова Е.А.* Дистанционные исследования и картографирование состояния антропогенно-трансформированных территорий Юга России // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 1 (53). С. 151–158.
24. *Обухов А.И.* Экологические последствия загрязнения почв тяжелыми металлами и мероприятия по их устранению // Поведение поллютантов в почвах и ландшафтах. Пушкино, 1990. С. 52–59.
25. *Панкова Е.И., Горохова И.Н.* Анализ сведений о площади засоленных почв России на конец XX и начало XXI веков // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 103. С. 5–33. DOI: [10.19047/0136-1694-2020-103-5-33](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-103-5-33).
26. Программа почвенной карты СССР масштаба 1 : 2 500 000. М.: Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 1972. 158 с.
27. *Разумов В.В., Иванов А.Л., Савин И.Ю., Шаповалов Д.А., Разумова Н.В., Беккиев М.Ю., Шагин С.И., Молчанов Э.Н., Козлов Д.Н.* Переувлажнение и подтопление земель в регионах России. М.: ООО “Феория”, 2018. 280 с.

28. *Савин И.Ю., Столбовой В.С., Аветян С.А., Шишконокова Е.А.* Карта распаханности почв России // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2018. Вып. 94. С. 38–56. DOI: [10.19047/0136-1694-2018-94-38-56](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-94-38-56).
29. *Столбовой В.С., Савин И.Ю., Шеремет Б.В., Сизов В.В., Овечкин С.В.* Геоинформационная система деградации почв России // Почвоведение. 1999. № 5. С. 646–651.
30. *Столбовой В.С., Шеремет Б.В.* Новая Почвенная карта ФАО на территорию России // Почвоведение. 1995а. № 2. С. 149–158.
31. *Столбовой В.С., Шеремет Б.В.* Почвенная карта России масштаба 1 : 8 млн в системе Почвенной Таксономии США // Почвоведение. 1995б. № 12. С. 1453–1459.
32. *Трофимов С.Я., Амосова Я.М., Орлов Д.С.* Влияние нефти на почвенный покров и проблема создания нормативной базы по влиянию нефтезагрязнений на почвы // Почвоведение. 2000. № 2. С. 30–33.
33. *Цветнов Е.В., Макаров О.А., Строков А.С., Цветнова О.Б.* Роль почв в оценке деградации земель (обзор) // Почвоведение. 2021. № 3. С. 363–371.
34. *Шевкопляс-Гурьева Н.А., Сивкова Г.А.* Применение гербицидов и их влияние на окружающую среду и здоровье человека // Инновационная наука. 2020. № 12. С. 15–16.
35. Экологический атлас России. М.: ООО “Феория”, 2017. 509 с.
36. *Abbaszade G., Tseredorj D., Salazar-Yanez N., Zachary D., Völgyesi P., Toth E., Szabo Cs.* Lead and stable lead isotopes as traces of soil pollution and human health risk assessment in former industrial cities in Hungary // Applied Geochemistry. 2022. Vol. 145. 105397.
37. *Ahmed R.S., Abuarah M.E., Ibrahim M.M., Baioumy M., Mokhtar A.* Assessment of environmental and toxicity impacts and potential health hazards of heavy metals pollution of agricultural drainage adjacent to industrial zones in Egypt // Chemosphere. 2023. Vol. 318. 137872.
38. *Han Q., Lin Y., Feng X., Mao P., Sun A., Wang M., Wang M.* Pollution effect assessment of industrial activities on potentially toxic metal distribution in windowsill dust and surface soil in central China // Science of the Total Environment. 2021. Vol. 759. 144023.
39. *Hartemink A.E., Krasilnikov P., Bockheim J.G.* Soil maps of the world // Geoderma. Vol. 207–208. 2013. P. 256–267.
40. *Krasilnikov P., Makarov O., Alyabina I., Nachtergaele F.* Assessing soil degradation in northern Eurasia // Geoderma Regional. 2016. Vol. 7. Iss. 1. P. 1–10.

41. Magiera T., Strzyszcz Z., Rachwal M. Mapping particulate pollution loads using soil magnetometry in urban forests in the Upper Silesia Industrial Region, Poland // *Forest Ecology and Management*. 2007. Vol. 248. P. 36–42.
42. Martin A., Lim C., Kah M., Ruttenbury M.S., Rogers K.M., Sharp E.L., Turnbull R.E. Soil pollution driven by duration of urbanisation and dwelling quality in urban areas: An example from Auckland, New Zealand // *Applied Geochemistry*. 2023. Vol. 148. 105518.
43. Parizanganeh A., Hajisoltani P., Zamani A. Assessment of heavy metal pollution in surficial soils surrounding zinc industrial complex in Zanjan – Iran // *Procedia Environmental Sciences*. 2010. P. 162–166.
44. Pathak A.K., Kumar R., Kumar P., Yadav S. Sources apportionment and spatial-temporal changes in metal pollution in surface and subsurface soils and sub-surface soils of a mixed type industrial area in India // *Journal of Geochemical Exploration*. 2015. Vol. 159. P. 169–177.
45. Peng J., Zhang S., Han Y., Bate B., Ke H., Chen Y. Soil heavy metal pollution of industrial legacies in China and health risk assessment // *Science of the Total Environment*. 2022. Vol. 816. 151632.
46. Savin I., Avetyan S., Shishkonakova E. Secondary salinization of soils in Russia // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Ser. “2020 International Symposium on Water, Ecology and Environment”. 2021. 012024.
47. Taati A., Salehi H., Mohammadi J., Mohajer R., Diez S. Pollution assessment and spatial distribution of trace elements in soils of Arak industrial area, Iran: Implications for human health // *Environmental Research*. 2020. Vol. 187. 109577.
48. Vega A.S. Arce G., Rivera J.I., Acevedo S.E., Reyes-Paecke S., Bonilla C.A., Pasten P. A comparative study of soil metal concentrations in Chilean urban parks using four pollution indexes // *Applied Geochemistry*. 2022. Vol. 141. 105230.
49. Verma F., Singh Sh., Dhaliwal S.S., Kumar V., Kumar R., Singh J., Parkash Ch. Appraisal of pollution of potentially toxic elements in different soils collected around the industrial area // *Heliyon*. 2021. Vol. 7. art. e 08122.

REFERENCES

1. Aparin B.F., Problemy otsenki degradatsii pochv mira (Problems of assessing soil degradation in the world), *Vestnik SPbGU*, Ser. 3, 2006, No. 1, pp. 70–80.
2. Izrael Yu.A. (Ed.), *Atlas Vostochno-Ural'skogo i Karachaevskogo radioaktivnykh sledov, vklyuchaya prognoz do 2047 goda* (Atlas of the East Ural and Karachay radioactive traces, including forecast up to 2047), Moscow:

- IGKE Rosgidrometa i RAN, Fond “Infosfera”, NIA-Priroda, 2013, 140 p.
3. *Atlas sovremennykh i prognoznykh aspektov posledstviy avarii na Chernobyl'skoi AS na postradavshikh territoriyakh Rossii i Belarusii* (Atlas of current and forecast aspects of the consequences of the accident at the Chernobyl nuclear power plant in the affected territories of Russia and Belarus), Moscow–Minsk: fond “Infosfera”, NIA Priroda, 2009, 140 p.
 4. Afanas'ev V.N., Analiz sostoyaniya i puti snizheniya ekologicheskoi nagruzki sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva na prirodnyuyu sredu (Analysis of the state and ways to reduce the environmental burden of agricultural production on the natural environment), In: *Sbornik nauchnykh trudov SZNIIMESKh* (Collection of scientific papers of SZNIIMESKh), 2003, Vol. 75, pp. 4–13.
 5. Borisochkina T.I., Vodyanitskii Yu.N., Zagryaznenie agrolandshaftov Rossii tyazhelymi metallami: istochniki, masshtaby, prognozy (Pollution of Russian agricultural landscapes with heavy metals: sources, scale, forecasts), *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2008, Vol. 60, pp. 82–89.
 6. Vodyanitskii Yu.N., Goryachkin S.V., Savichev A.T., Raspredelenie redkozemel'nykh (Y, La, Ce) i drugikh tyazhelykh metallov v profile pochv podzolistogo ryada (Distribution of rare earth (Y, La, Ce) and other heavy metals in the soil profile of the podzolic series), *Pochvovedenie*, 2011, No. 4, pp. 546–555.
 7. Vodyanitskii Yu.N., Plekhanova I.O., Prokopovich E.V., Savichev A.T., Zagryaznenie pochv vybrosami predpriyatii tsvetnoi metallurgii (Soil pollution by emissions from non-ferrous metallurgy enterprises), *Pochvovedenie*, 2011, No. 2, pp. 240–249.
 8. Germanova S.E., Sambros N.B., Petukhov N.V., Ryzhova T.A., Metody ochishcheniya pochv ot nefteproduktov (Methods for cleaning soils from oil products), *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal*, 2019, No. 4, pp. 63–65.
 9. Hygienic standards and requirements to ensure safety and (or) harmlessness for humans of environmental factors, SanPin 1.2.3685-21, 2021, p. 504.
 10. Gorbov S.N., Bezuglova O.S., Aleksikova A.S., Tagiverdiev S.S., Dubinina M.N., Sherstnev A.K., Soderzhanie i raspredelenie tyazhelykh metallov i mysh'yaka v pochvakh Rostova-na-Donu (The content and distribution of heavy metals and arsenic in the soils of Rostov-on-Don), *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2015, No. 4, URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=21428>.
 11. Dzhuevlikyan Kh.A., Shcheglov D.I., Gorbunova N.S., *Zagryaznenie pochv tyazhelymi metallami. Sposoby kontrolya i normirovaniya zagryaznennykh pochv* (Soil pollution with heavy metals. Ways to control and standardize contaminated soils), Voronezh: Izdatel'sko-poligraficheskii tsentr

VGU, 2009, 22 p.

12. Dobrovolskii G.V., Degradatsiya pochv – ugroza ekologicheskogo krizisa (Soil degradation is a threat of ecological crisis), *Vek globalizatsii*, 2008, No. 2, pp. 54–65.

13. *Edinyi gosudarstvennyi reestr pochvennykh resursov Rossii. Versiya 1.0*, (Unified State Register of Soil Resources of Russia. Version 1.0), Moscow: Pochvennyi in-t im. V.V. Dokuchaeva, 2014, 760 p.

14. *Ezhegodnik. Zagryaznenie pochv Rossiiskoi Federatsii toksikantami promyshlennogo proiskhozhdeniya (TPP) v 2018 godu* (Yearbook. Pollution of soils of the Russian Federation by toxicants of pro-industrial origin in 2018), Obninsk: FGBU NPO “Taifun”, 2019, 118 p.

15. *Ezhegodnik. Sostoyanie zagryazneniya pestitsidami ob"ektov prirodnoi sredy Rossiiskoi Federatsii v 2019 godu* (The state of pollution by pesticides of environmental objects of the Russian Federation in 2019), Obninsk: FGBU NPO “Taifun”, 2019, 89 p.

16. *Ezhegodnik. Zagryaznenie pochv Rossiiskoi Federatsii toksikantami promyshlennogo proiskhozhdeniya v 2021 godu* (Soil pollution of the Russian Federation with industrial toxicants in 2021), Obninsk: FGBU NPO “Taifun”, 2022, 131 p.

17. Ivanov A.L., Savin I.Yu., Stolbovoi V.S., Avetyan S.A., Shishkonakova E.A., Kashtanov A.N., Karta agrogennoi erodirovannosti pochv Rossii (Map of agrogenic soil erosion in Russia), *Doklady Rossiiskoi akademii nauk. Nauki o Zemle*, 2020, Vol. 493, No. 2, pp. 99–102.

18. Ivanov V.T., Aktual'nye voprosy otsenki zagryazneniya pochvennogo pokrova vblizi avtomagistrali (Topical issues of assessing soil pollution near highways), In: *Ekologizatsiya avtomobil'nogo transporta* (Ecologization of road transport), Proc. All-Russia scientific and practical seminar, St. Petersburg, 2003, pp. 83–88.

19. *Karta pochvenno-ekologicheskogo raionirovaniya Rossiiskoi Federatsii 1 : 8 000 000* (Map of soil-ecological zoning of the Russian Federation 1 : 8 000 000), 2019.

20. Kosheleva N.E., Nikiforova E.M., Multiyear dynamics and factors of accumulation of benzo(a)pyrene in urban soils (by the example of the Eastern Administrative Okrug, Moscow), *Moscow University Soil Science Bulletin*, 2011, Vol. 66, No. 2, pp. 65–74.

21. Loginov O.N., *Biotekhnologicheskie metody ochistki okruzhayushchei sredy ot tekhnogennykh zagryaznenii* (Biotechnological methods for cleaning the environment from technogenic pollution), Ufa: Reaktiv, 2000, 100 p.

22. Makarov O.A., Yakovlev A.S., Krasil'nikov P.V., Bondarenko E.V., *Ekologicheskoe normirovanie kachestva pochv kak osnova dlya otsenki ikh degradatsii* (Ecological regulation of soil quality as a basis for assessing their

degradation), *Problemy agrokhimii i ekologii*, 2014, No. 4, pp. 40–44.

23. Novochadov V.V., Rulev A.S., Yuferev V.G., Ivanova E.A., Distantionnye issledovaniya i kartografirovaniye sostoyaniya antropogennotransformirovannykh territorii Yuga Rossii (Remote Investigations and Mapping of the State of Anthropogenically Transformed Territories of the South of Russia) // *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2019, No. 1 (53), pp. 151–158.

24. Obukhov A.I., Ekologicheskie posledstviya zagryazneniya pochv tyazhelyimi metallami i meropriyatiya po ikh ustraneniyu (Ecological Consequences of Soil Pollution with Heavy Metals and Measures to Eliminate Them), In: *Povedenie pollyutantov v pochvakh i landshaftakh* (Behavior of pollutants in soils and landscapes), Pushchino, 1990, pp. 52–59.

25. Pankova E.I., Gorokhova I.N., Analysis of information about the alkaline soil areas in Russia at the end of the XX and beginning of the XXI centuries // *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2020, Vol. 103, pp. 5–33, DOI: [10.19047/0136-1694-2020-103-5-33](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-103-5-33).

26. *Programma pochvennoi karty SSSR masshtaba 1 : 2 500 000* (The program of the soil map of the USSR, scale 1 : 2,500,000), Moscow: Pochv. in-t im. V.V. Dokuchaeva, 1972, 158 p.

27. Razumov V.V., Ivanov A.L., Savin I.Yu., Shapovalov D.A., Razumova N.V., Bekkiev M.Yu., Shagin S.I., Molchanov E.N., Kozlov D.N., *Pereuvlazhnenie i podtoplenie zemel' v regionakh Rossii* (Waterlogging and flooding of lands in the regions of Russia), Moscow: OOO “Feoriya”, 2018, 280 p.

28. Savin I.Yu., Stolbovoi V.S., Avetyan S.A., Shishkonakova E.A. Karta raspakhannosti pochv Rossii (Map of plowed soils in Russia), *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2018, Vol. 94, pp. 38–56, DOI: [10.19047/0136-1694-2018-94-38-56](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-94-38-56).

29. Stolbovoi V.S., Savin I.Yu., Sheremet B.V., Sizov V.V., Ovechkin S.V., Geoinformatsionnaya sistema degradatsii pochv Rossii (Geoinformation system of soil degradation in Russia), *Pochvovedenie*, 1999, No. 5, pp. 646–651.

30. Stolbovoi V.S., Sheremet B.V., Novaya Pochvennaya karta FAO na territoriyu Rossii (New FAO Soil Map for Russia), *Pochvovedenie*, 1995, No. 2, pp. 149–158.

31. Stolbovoi V.S., Sheremet B.V., Pochvennaya karta Rossii masshtaba 1 : 8 mln v sisteme Pochvennoi Taksonomii SShA (Soil map of Russia at a scale of 1 : 8 million in the system of the US Soil Taxonomy), *Pochvovedenie*, 1995, No. 12, pp. 1453–1459.

32. Trofimov S.Ya., Amosova Ya.M., Orlov D.S., Vliyanie nefiti na pochvennyi pokrov i problema sozdaniya normativnoi bazy po vliyaniyu neftezagryaznenii na pochvy, *Pochvovedenie*, 2000, No. 2, pp. 30–33.
33. Tsvetnov E.V., Makarov O.A., Stokov A.S., Tsvetnova O.B., Rol' pochv v otsenke degradatsii zemel' (obzor) (The role of soils in assessing land degradation (review)), *Pochvovedenie*, 2021, No. 3, pp. 363–371.
34. Shevkoplyas-Gur'eva N.A., Sivkova G.A., Primenenie gerbitsidov i ikh vliyanie na okruzhayushchuyu sredu i zdorov'e cheloveka (Herbicide use and its impact on the environment and human health), *Innovatsionnaya nauka*, 2020, No. 12, pp. 15–16.
35. *Ekologicheskii atlas Rossii* (Ecological Atlas of Russia), Moscow: OOO “Feoriya”, 2017, 509 p.
36. Abbaszade G., Tseredorj D., Salazar-Yanez N., Zachary D., Völgyesi P., Toth E., Szabo Cs., Lead and stable lead isotopes as traces of soil pollution and human health risk assessment in former industrial cities in Hungary, *Applied Geochemistry*, 2022, Vol. 145, 105397.
37. Ahmed R.S., Abuarah M.E., Ibrahim M.M., Baioumy M., Mokhtar A., Assessment of environmental and toxicity impacts and potential health hazards of heavy metals pollution of agricultural drainage adjacent to industrial zones in Egypt, *Chemosphere*, 2023, Vol. 318, 137872.
38. Han Q., Lin Y., Feng X., Mao P., Sun A., Wang M., Wang M., Pollution effect assessment of industrial activities on potentially toxic metal distribution in windowsill dust and surface soil in central China, *Science of the Total Environment*, 2021, Vol. 759, 144023.
39. Hartemink A.E., Krasilnikov P., Bockheim J.G., Soil maps of the world, *Geoderma*, 2013, Vol. 207–208, pp. 256–267.
40. Krasilnikov P., Makarov O., Alyabina I., Nachtergaele F., Assessing soil degradation in northern Eurasia, *Geoderma Regional*, 2016, Vol. 7, No. 1, pp. 1–10.
41. Magiera T., Strzyszcz Z., Rachwal M., Mapping particulate pollution loads using soil magnetometry in urban forests in the Upper Silesia Industrial Region, Poland, *Forest Ecology and Management*, 2007, Vol. 248, pp. 36–42.
42. Martin A., Lim C., Kah M., Ruttenbury M.S., Rogers K.M., Sharp E.L., Turnbull R.E., Soil pollution driven by duration of urbanisation and dwelling quality in urban areas: An example from Auckland, New Zealand, *Applied Geochemistry*, 2023, Vol. 148, 105518.
43. Parizanganeh A., Hajisoltani P., Zamani A., Assessment of heavy metal pollution in surficial soils surrounding zinc industrial complex in Zanjan – Iran, *Procedia Environmental Sciences*, 2010, pp. 162–166.
44. Pathak A.K., Kumar R., Kumar P., Yadav S., Sources apportionment and spatial-temporal changes in metal pollution in surface and subsurface soils and

sub-surface soils of a mixed type industrial area in India, *Journal of Geochemical Exploration*, 2015, Vol. 159, pp. 169–177.

45. Peng J., Zhang S., Han Y., Bate B., Ke H., Chen Y., Soil heavy metal pollution of industrial legacies in China and health risk assessment, *Science of the Total Environment*, 2022, Vol. 816, 151632.

46. Savin I., Avetyan S., Shishkonakova E., Secondary salinization of soils in Russia, In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, “2020 International Symposium on Water, Ecology and Environment”, 2021, p. 012024.

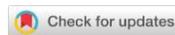
47. Taati A., Salehi H., Mohammadi J., Mohajer R., Diez S., Pollution assessment and spatial distribution of trace elements in soils of Arak industrial area, Iran: Implications for human health, *Environmental Research*, 2020, Vol. 187, 109577.

48. Vega A.S. Arce G., Rivera J.I., Acevedo S.E., Reyes-Paecke S., Bonilla C.A., Pasten P., A comparative study of soil metal concentrations in Chilean urban parks using four pollution indexes, *Applied Geochemistry*, 2022, Vol. 141, 105230.

49. Verma F., Singh Sh., Dhaliwal S.S., Kumar V., Kumar R., Singh J., Parkash Ch., Appraisal of pollution of potentially toxic elements in different soils collected around the industrial area, *Heliyon*, 2021, Vol. 7, e 08122.

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2023-114-66-108



Ссылки для цитирования:

Низамутдинов Т.И., Сулейманов А.Р., Моргун Е.Н., Гусев А.В., Тупахина О.С., Гусев Ал.В., Плеханов А.В., Тупахин Д.С., Абакумов Е.В. Почвы заполярного археологического памятника “Поселение Лабьтнанги 1 (Комяцкая деревня)”: морфологический анализ и химическая характеристика // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2023. Вып. 114. С. 66-108. DOI: 10.19047/0136-1694-2023-114-66-108

Cite this article as:

Nizamutdinov T.I., Suleymanov A.R., Morgun E.N., Gusev An.V., Tupakhina O.S., Gusev Al.V., Plekhanov A.V., Tupakhin D.S., Abakumov E.V., Soils of the polar archaeological site “Settlement Labytnangi 1 (Komy village)”: morphological analysis and chemical composition, Dokuchaev Soil Bulletin, 2023, V. 114, pp. 66-108, DOI: 10.19047/0136-1694-2023-114-66-108

Благодарность:

Исследование проводилось при поддержке НЦМУ “Агротехнологии будущего” договор № 075-15-2022-322 от 22.04.2022. Авторы также выражают благодарность Департаменту внешних связей Ямало-Ненецкого АО и Научному центру изучения Арктики за помощь в проведении и организации полевых работ.

Acknowledgments:

The study was supported by the World-class research center “Agrotechnologies of the Future”, agreement No. 075-15-2022-322 from 22.04.2022. The authors are also grateful to the Department of External Relations of Yamal-Nenets AO and to the Arctic Research Center for assistance in conducting and organizing fieldwork.

Почвы заполярного археологического памятника “Поселение Лабьтнанги 1 (Комяцкая деревня)”: морфологический анализ и химическая характеристика

© 2023 г. Т. И. Низамутдинов^{1*}, А. Р. Сулейманов^{1,2,3**},
Е. Н. Моргун^{4***}, Ан. В. Гусев^{4****}, О. С. Тупахина^{4*****},

А. В. Гусев^{4*****}, А. В. Плеханов^{4*****},
Д. С. Тупахин^{4*****}, Е. В. Абакумов^{1*****}

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Россия,
199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9,
*<https://orcid.org/0000-0003-2600-5494>, e-mail: timur_nizam@mail.ru,
**<https://orcid.org/0000-0001-7974-4931>, e-mail: filpip@yandex.ru,
*****<https://orcid.org/0000-0002-5248-9018>, e-mail: e_abakumov@mail.ru.

²Уфимский институт Биологии УФИЦ РАН, Россия,
450054, Уфа, Проспект октября, д. 69.

³Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Россия, 450064, Уфа, ул. Космонастов, д. 1.

⁴ГАУ ЯНАО “Научный центр изучения Арктики”, Россия,
629008, Тюменская область, Ямало-Ненецкий автономный округ,
Салехард, ул. Республики, д. 20, офис 203,
***<https://orcid.org/0000-0002-4178-4417>, e-mail: morgun148@gmail.com,
****<https://orcid.org/0000-0003-1812-4741>, e-mail: gusev_av2004@mail.ru,
*****<https://orcid.org/0000-0001-7634-0595>,
e-mail: olga-tupakhina@yandex.ru,
*****<https://orcid.org/0000-0003-1157-7983>, e-mail: Gusev962@mail.ru,
*****<https://orcid.org/0000-0001-7334-6684>,
e-mail: andre_plehanov@mail.ru,
*****<https://orcid.org/0000-0001-9024-6298>,
e-mail: dantupahin@gmail.com.

Поступила в редакцию 03.11.2022, после доработки 20.01.2023,
принята к публикации 21.03.2023

Резюме: Почвы археологических памятников являются крайне интересными объектами для междисциплинарных исследований в различных областях почвоведения, экологии, археологии, антропологии и других наук. На сегодняшний день почвы археологических памятников Арктических регионов изучены недостаточно, хотя памятников древности за полярным кругом обнаружено довольно много. Данная работа посвящена изучению морфологии и химических свойств почв археологического памятника “Поселение Лабытнанги 1”, который расположен за северным полярным кругом, близ городов Лабытнанги и Салехард (ЯНАО). Освоение этих территорий (по данным археологических исследований) началось в энеолите (кон. IV – III тыс. до н. э.) и продолжается в настоящее время. Почвенные различия на территории памятника представлены урбистратифицированными

почвоподобными образованиями (урбиквазиземы), подбурами, турбоземами, урбоагроземами и торфяными почвами с включениями археологических находок и антропогенных артефактов, датируемых XX в. Большинство из изученных почв были ранее подвержены процессам криогенной турбации, по данным проведенного электрофизического зондирования нижняя граница деятельного слоя залегает на глубине 120–130 см. Было выявлено, что значительные изменения произошли в кислотно-основных свойствах изученных почв. Также антропогенная активность повлекла за собой привнос биофильных элементов и органического вещества в почвенный профиль, в частности фосфора, который концентрируется в урбистратифицированных почвенных горизонтах (фиксировались концентрации фосфора выше 2 800 мг/кг). Концентрации тяжелых металлов в почвах были на уровне условного фона (окрестности городов Салехард и Лабытнанги) или ниже него, но были обнаружены некоторые превышения концентраций меди (до 87.5 мг/кг), цинка (до 303.3 мг/кг), свинца (до 76.1 мг/кг) и кадмия (до 2.1 мг/кг) в урбистратифицированных почвенных горизонтах. По результатам работы можно сделать выводы о том, что почвы археологического памятника сформированы под сильным влиянием современной и прошлой антропогенной активности, которые определили их морфологическое строение и химическую характеристику в настоящее время.

Ключевые слова: постантропогенное почвообразование, мерзлотные почвы, элементы питания, тяжелые металлы, Арктика, ЯНАО.

Soils of the polar archaeological site “Settlement Labytnangi 1(Komy village)”: morphological analysis and chemical composition

© 2023 T. I. Nizamutdinov^{1*}, A. R. Suleymanov^{1,2,3**},
E. N. Morgun^{4***}, An. V. Gusev^{4****}, O. S. Tupakhina^{4*****},
Al. V. Gusev^{4*****}, A. V. Plekhanov^{4*****},
D. S. Tupakhin^{4*****}, E. V. Abakumov^{1*****}

¹St. Petersburg State University,
7–9 Universitetskaya Embankment, St. Petersburg 199034,
Russian Federation,

*<https://orcid.org/0000-0003-2600-5494>, e-mail: timur_nizam@mail.ru,

**<https://orcid.org/0000-0001-7974-4931>, e-mail: filpip@yandex.ru,

*****<https://orcid.org/0000-0002-5248-9018>, e-mail: e_abakumov@mail.ru.

²*Ufa State Petroleum Technological University,
1 Kosmonavton Str., Ufa 450064, Russian Federation.*

³*Ufa Institute of Biology UFRS RAS,
69 Pr. Oktyabrya, Ufa 450054, Russian Federation.*

⁴*Arctic Research Center of the Yamal-Nenets Autonomous District,
office 203, 20 Republic Str., Salekhard 629008,
Tyumen Region, Yamalo-Nenets Autonomous District, Russian Federation,
***<https://orcid.org/0000-0002-4178-4417>, e-mail: morgun148@gmail.com,
***<https://orcid.org/0000-0003-1812-4741>, e-mail: gusev_av2004@mail.ru,
*****<https://orcid.org/0000-0001-7634-0595>,
e-mail: olga-tupakhina@yandex.ru,
*****<https://orcid.org/0000-0003-1157-7983>, e-mail: Gusev962@mail.ru,
*****<https://orcid.org/0000-0001-7334-6684>,
e-mail: andre_plehanov@mail.ru,
*****<https://orcid.org/0000-0001-9024-6298>,
e-mail: dantupahin@gmail.com.*

Received 03.11.2022, Revised 20.01.2023, Accepted 21.03.2023

Abstract: Soils of archaeological sites are highly interesting objects for multidisciplinary research in various fields of soil science, ecology, archaeology, anthropology and other sciences. Currently, the soils of archaeological sites in the Arctic regions have not been studied sufficiently, although many ancient monuments beyond the polar circle have been found. This work is devoted to the study of morphological and chemical properties of soils of the archaeological site “Settlement Labytnangi 1”, which is located beyond the northern polar circle, near the cities of Labytnangi and Salekhard (Yamal-Nenets Autonomous Okrug). Development of these territories (according to archaeological research) began in the Eneolithic (Late IV – III millennia BC) and continues to the present day. Soil types on the territory of the monument are represented by soil-like bodies (urbikvazizems), podzols, turbozems, urbo-agrozems and peat soils with inclusions of archaeological and anthropogenic artifacts dating back to the XX century. Most of the studied soils were previously subjected to the processes of cryoturbation, although at present the lower boundary of the active layer of permafrost lies at a depth of 120–130 cm, according to the conducted electrophysical sounding. Significant changes occurred in the acid-base properties of the studied soils. In addition, anthropogenic activity entailed the introduction of biophilic elements and organic matter into the soil profile, in particular phosphorus, which is concentrated in the urbanized soil horizons (phosphorus concentrations above 2 800 mg/kg were recorded). The concentrations of heavy metals in the soils

are at/below the conventional background (vicinity of Salekhard and Labytnangi). However, some excess concentrations of copper (up to 87.5 mg/kg), zinc (up to 303.3 mg/kg), lead (up to 76.1 mg/kg), and cadmium (up to 2.1 mg/kg) in the urbanized soil horizons have been detected. According to the results of the work, we can conclude that the soils of the archaeological site were formed under the strong influence of modern and past anthropogenic activity, which determined their morphological structure and chemical characteristics at present.

Keywords: postanthropogenic soil formation, cryosols, nutrients, heavy metals, Arctic, YANA O.

ВВЕДЕНИЕ

Почвенный покров археологических памятников давно стал объектом междисциплинарных исследований археологов, почвоведов, экологов, палеоклиматологов и специалистов многих других смежных областей. Почва, благодаря ее информационной функции, способна открыть для исследователя прошлые изменения, ранее произошедшие в биосфере, понять хронологию и направленность различных процессов: от климатических изменений до степени антропогенной нагрузки ([Добровольский, Макеев, 2009](#); [Козловский, Горячкин, 1996](#); [Таргульян, Бронникова, 2019](#)). Уникальные эдафотопы, формирующиеся на памятниках древности, позволяют проследить динамику изменения климатических условий, выявить процессы хронологических изменений и формирования современного почвенного покрова, понять особенности взаимодействия древнего человека и окружающей среды ([Демкин и др., 2008](#); [Бронникова и др., 2017](#); [Хохлова и др., 2018](#); [Suleymanov et al., 2020](#)).

Исследования почвенного покрова археологических памятников преимущественно сосредоточены в Европейской части России ([Кунгурцев и др., 2021](#); [Апарин и др., 2011](#); [Шестаков и Шутова, 2018](#); [Makeev et al., 2020](#); [Suleymanov et al., 2020](#)). Сведения же о почвах археологических памятников Арктических регионов единичны, хотя количество археологических исследований довольно велико ([Федорова, 2014, 2016](#); [Головнев, 1998](#); [Фитцхью, 2000](#); [Мурыгин, 2016](#); [Гусев и др., 2016](#); [Алексеев и др., 2017](#); [Кардаш, Соколов, 2015](#)). В Ямало-Ненецком автономном округе

было открыто множество археологических памятников, таких как “Древнее святилище Усть-Полуй” ([Федорова, 2011](#); [Пантелеев, Косицев, 2010](#)), “Стоянка Юр-Яха III” ([Плеханов, 2016](#)), “Могильник Бухта Находка-2” ([Кардаш, Гайдакова, 2017](#)), стоянка “Тазовская IV” и “Тазовская литейная мастерская” ([Гусев, Плеханов, 2017](#)), археологический комплекс “Зеленый Яр” ([Гусев, 2016](#)), поселок Горноknязевск ([Федорова и др., 2016](#)) и многих других. Однако комплексные исследования, включающие изучение особенностей строения и физико-химических свойств почв памятников древности Ямала, проводились в единичных случаях. Один из таких объектов – это многослойное поселение “Ямгорт-I”. Здесь осуществлялись комплексные междисциплинарные исследования, которые включали в себя подробные характеристики почв и грунтов памятника и анализ археологических артефактов ([Тупахина, др., 2022](#); [Колесников и др., 2020](#)).

Наше исследование сосредоточено вокруг археологического памятника “Поселение Лабытнанги 1 (Комяцкая деревня)”. Археологические раскопки велись здесь в 2018 и 2021 гг. По находкам фрагментов керамики на памятнике установлено два этапа заселения: в энеолите (кон. IV – III тыс. до н. э.) и в эпоху средневековья – середина – вторая половина I тыс. н. э. Кроме того, по письменным данным зафиксирован факт проживания на этом месте рыбаков в конце XIX в. Итальянский путешественник С. Соммье в своей поездке 1880 г. посетил юрты Лабытнанги, указав на наличие здесь одного деревянного дома, где проживала зырянская семья, и трех остяцких чумов, неподалеку от которых в лесу располагалось остяцкое святилище. Здесь на ветвях священных лиственниц (а топоним “Лабытнанги” дословно переводится с языка ханты как “Семь лиственниц”) висели черепа принесенных в жертву северных оленей, их рога и шкуры, медные кольца, старые охотничьи ловушки и т. д., а также “две сабли, обмотанные золотой тканью и привязанные прямо к стволу дерева” ([Соммье, 2012](#)). В 1920 г. на территории поселения был образован Лабытнангский сельсовет. Вскоре здесь сформировалось производственное товарищество, объединившее рыбаков и оленеводов, а в 1932 г. был организован колхоз “Красная звезда”. Для работников колхоза здесь на береговой площадке был выстроен целый посе-

лок, именуемый в просторечье Комяцкая деревня. В 1940–50-е гг. поселок состоял из приблизительно 50 строений и кроме частной застройки включал в себя пекарню, несколько магазинов, склады для обработки и сушки рыбы, клуб, баню, здания колхозной конторы и начальной школы. Запустение Комяцкой деревни начинается с 1970-х гг. и связано со строительством современного г. Лабытнанги уже на удалении от реки.

Целью исследования является комплексное изучение почв археологического памятника, которое включает в себя: 1 – электрофизическое зондирование участка; 2 – морфологическое описание почв и их классификацию; 3 – химический анализ почв; 4 – экотоксикологическую оценку качества почв.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Основные характеристики объекта исследования

Археологический памятник “Лабытнанги 1” расположен на территории Ямало-Ненецкого автономного округа (рис. 1), за Северным полярным кругом (66.651511 с. ш., 66.415989 в. д.) на границе южной тундры и лесотундры в зоне прерывистого распространения многолетнемерзлых пород. Почвообразующие породы представлены аллювиальными отложениями. Площадка исследования находится в черте города Лабытнанги, на мысообразном выступе надпойменной террасы протоки Выл-Посл (левая протока в низовьях реки Оби). Климат города Лабытнанги умеренно холодный со значительным количеством осадков. Среднегодовая температура -6.1 °С, средняя температура июля $+14.8$ °С, января -13.9 °С. По классификации Köppen-Geiger территория относится к зоне Dfc (Continental – No dry season – Cold summer) ([Peel et al., 2007](#)).

Площадка археологического памятника занимает 195×160 м, археологические исследования ведутся на площади более 3 га. Пространство памятника “Лабытнанги 1” ограничено с юго-востока краем террасы протоки Выл-Посл, с северо-востока – берегом ручья Пысяншор. С юго-запада и северо-запада от археологических раскопов располагаются транспортные коммуникации и городская застройка. Также в пределах территории памятника расположено несколько частных жилых домов (рис. 2).

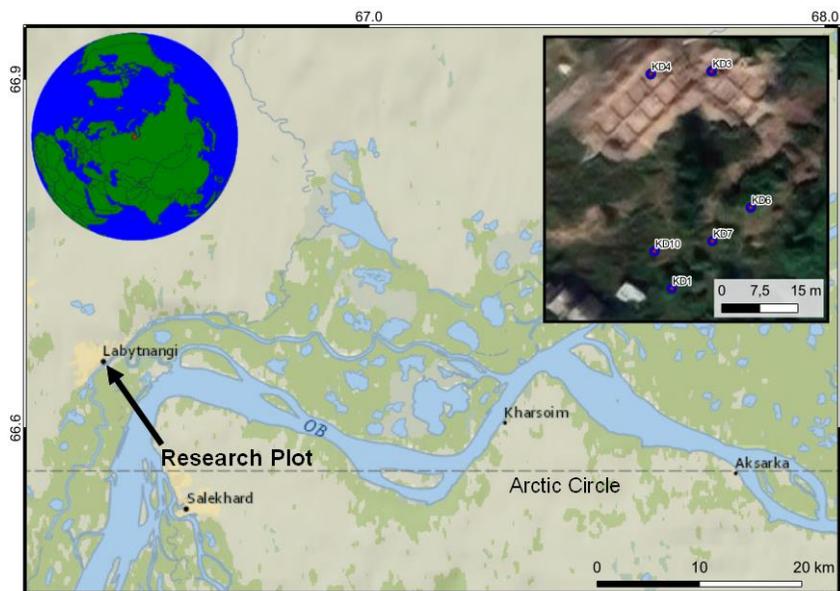


Рис. 1. Карта-схема расположения объектов исследования.
Fig. 1. Location of the research objects.

Растительный покров представлен бореальными злаково-разнотравными видами: *Chamaenérion angustifolium*, *Deschampsia cespitosa*, *Elytrigia répens*, *Poaceae*. Древесный и кустарниковый ярус преимущественно представлен такими видами как *Lárix sibirica* и различными подвидами рода *Sálix*.

В процессе исследования было заложено 4 почвенных разреза (KD1, KD6, KD7, KD10), также почвенные пробы отбирались непосредственно из стенок археологических раскопов (KD3 и KD4) (рис. 2). Суммарно было отобрано 26 образцов почвы. Почвенные профили описывались согласно Классификации почв России (2008).

Были проведены работы по электрофизическому зондированию, их места проведения отмечены на рисунке 2 (ER1 и ER2). Измерение удельного электрического сопротивления осуществлялось с помощью прибора LandMapper® ERM-02, измерения до

150 см проводились через каждые 10 см, от 150 см до 500 см – каждые 50 см.

Полевые обследования осуществлялись с 16 по 21 августа 2021 г.



Рис. 2. Аэрофотоснимок расположения почвенных разрезов и археологических раскопов (KD1 – KD10), а также места проведения электрофизического зондирования (ER1, ER2).

Fig. 2. Photo of the location of soil sections and archaeological sites (KD1 – KD10), as well as the location of electrophysical measurements (ER1, ER2).

Лабораторные исследования почв

Образцы почв отбирались из каждого генетического почвенного горизонта, после отбора проб образцы высушивались при температуре 24 °С, далее после сушки образцы просеивались через сито с диаметром ячеек 1 мм, удалялись корни, антропогенные артефакты.

Измерение значений рН производилось потенциометрическим методом в соотношении массы почвы к объему 1 : 2.5 для воды, 1 : 5 для 1 н. раствора KCl ([FAO, 2021](#)). Определение содер-

жания почвенного органического углерода осуществлялось по методу Тюрина в трехкратной аналитической повторности ([FAO, 2021](#)). Содержание доступных для растений форм фосфора (P_2O_5) определялось колориметрическим методом, концентрации доступного калия (K_2O) определялись на пламенном фотометре. Фосфор и калий экстрагировались из почвы 0.2 н. раствором HCl по методу Кирсанова (ГОСТ Р, 54650-2011). Определение минеральных форм азота производилось колориметрически, экстракция производилась 0.01 н. раствором $CaCl_2$ ([ISO 14255:1998](#)). Концентрации тяжелых металлов (валовая форма) определялись методом атомно-абсорбционной спектроскопии (GFAAS and FAAS) (EPA, 1996).

Для качественной оценки экотоксикологического состояния почв применялось несколько индексов. Geoaccumulation Index (I_{geo}) – позволяет оценить загрязнение почвы тяжелыми металлами на основе их содержания в почвенных горизонтах привязкой к заданному фоновому значению концентрации. Single Pollution Index (PI) – индекс, который может быть использован для определения того, какой тяжелый металл представляет наибольшую угрозу для почвенной среды. Pollution Load Index (PLI) – индекс позволяет простым способом доказать ухудшение состояния почвы в результате накопления тяжелых металлов ([Varol, 2011](#); [Nowrouzi, Pourkhabbaz, 2014](#); [Kowalska et al., 2018](#)). Расчетные формулы и оценочные шкалы приведены ниже.

Geoaccumulation Index:

$$I_{geo} = \log_2 \left[\frac{C_n}{1.5 GB} \right],$$

где: C_n – концентрация единичного тяжелого металла; GB – геохимический фон.

Качество почвы в соответствии со значениями индекса: $I_{geo} \leq 0$ – незагрязненные; 0–1 – незагрязненные до умеренно загрязненных; 1–2 – умеренно загрязненные; 2–3 – умеренно и сильно загрязненные; 3–4 – сильно загрязненные; 4–5 – сильно и чрезвычайно сильно загрязненные; 5–6 – чрезвычайно сильно загрязненные.

Pollution Load Index:

$$PLI = \sqrt[n]{PI_1 \times PI_2 \times PI_3 \times \dots \times PI_n},$$

где: n – количество анализируемых тяжелых металлов;
 PI – рассчитанные значения единичного индекса загрязнения.

Категории загрязнения по индексу PLI : <1 – отсутствие загрязнения; 1 – фоновый уровень загрязнения; >1 – ухудшение качества почвы.

Single Pollution Index:

$$PI = \frac{C_n}{GB},$$

где: C_n – концентрация тяжелого металла; GB – геохимический фон.

В качестве геохимического фона (GB) использовались условно фоновые концентрации тяжелых металлов в природных почвах окрестностей городов Лабытнанги и Салехард, которые были получены из литературных данных ([Moskovchenko et al., 2019](#); [Alekseev et al., 2017](#); [Ji et al., 2019](#); [Tomashunos, Abakumov, 2014](#); [Nizamutdinov et al., 2021a, 2021b](#)).

Картографирование, визуализация и статистическая обработка данных осуществлялась с помощью программного обеспечения QGIS 3.16 и GraphPad Prism 9.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На участке проведения исследований было отмечено множество признаков антропогенной активности. В почвенных разрезах и археологических раскопах обнаружены остатки деревянных свай (фундаменты старых домов), остатки разрушенных или снесенных кирпичных построек, обугленные куски бревен (следы прошлых пожаров).

Электрофизическое зондирование

По данным электрофизического зондирования (рис. 3), удельное электрическое сопротивление на участке ER1 достигает 480 000 Ом×м на глубине 450 см, ниже 450 см сопротивление резко снижается до 260 000 Ом×м. Можно отметить также локальный пик на глубине 130 см, где, по данным, полученным в процессе

заложения разреза КД1, залегает верхняя граница многолетне-мерзлых пород.

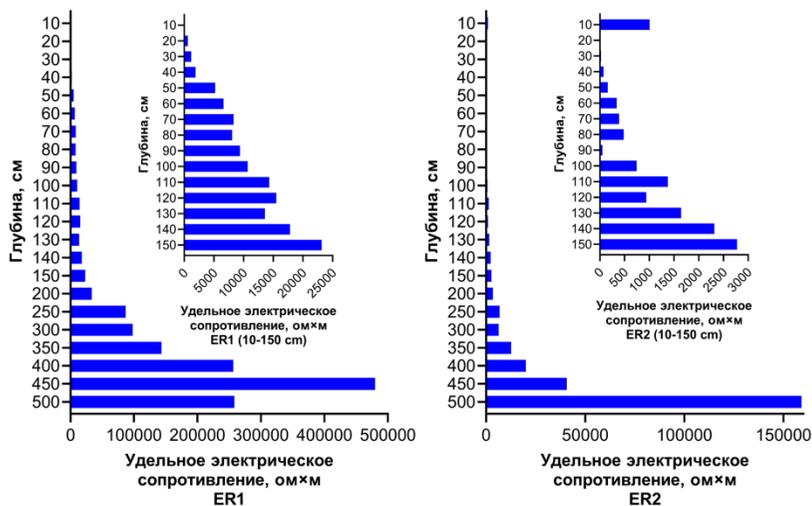


Рис. 3. Величина удельного электрического сопротивления (ом×м) в профиле почв памятника “Лабытнанги 1 (Комяцкая деревня)”.

Fig. 3. Electrical resistivity value (ohm×m) in the soil profile of the monument “Labytnangi 1 (Komy village)”.

На участке ER2 до глубины 150 см было отмечено несколько максимумов сопротивления. Первый у дневной поверхности (0–10 см) – 1 007 Ом×м, что может быть связано с переуплотнением грунта, поскольку зондирование проводилось на тропе между двумя археологическими раскопами. Ниже 10 см сопротивление резко падает до значений 1.4 Ом×м на глубине 20 см и плавно повышается до 480 Ом×м на глубине 80 см. На глубине 90 см обнаружен локальный минимум в 51 Ом×м. Ниже 130 см сопротивление постепенно увеличивается до 160 000 Ом×м на глубине 500 см. Поскольку на величину удельного электрического сопротивления влияет множество свойств почвы (влажность, плотность, гранулометрический состав, порозность и т. д.) ([Поздняков, 2008](#);

[Поздняков и др., 1996](#); [Zhou et al., 2015](#)), то можно предположить, что резкое падение сопротивления на глубине 20 см связано с рыхлой структурой и большим количеством включений различного генезиса. Данное предположение находит подтверждение при морфологическом анализе разрезов KD3 и KD4 (табл. 1 и 2).

Судя по полученным данным, плотный слой вечномёрзлых пород на участке исследований залегает на глубине 200–250 см, поскольку в обоих случаях на данной глубине происходит резкое увеличение значений удельного электрического сопротивления. Граница сезонно-талого (деятельного) слоя здесь, вероятнее всего, находится на глубине 120–130 см, поскольку как на участке ER1, так и на участке ER2 наблюдаются локальные минимумы сопротивления, связанные с накоплением талой воды непосредственно над слоем мерзлых (многолетнемерзлых) пород, которые выступают первым водоупором. По ранее опубликованным данным, в окрестностях города Салехарда граница сезонно-талого слоя находится на глубине 100–200 см. Ниже границы сезонно-талого слоя удельное электрическое сопротивление резко повышается из-за увеличения количества песчаной фракции, снижения температуры и уменьшения количества гравитационной воды ([Alekseev et al., 2017](#); [Alekseev, Abakumov, 2018](#)).

Морфология и химическая характеристика

Поверхностные почвенные горизонты в большинстве случаев представляют собой органоминеральные, часто урбистратифицированные, серогумусовые слои с признаками протекающего дернового процесса. Как можно увидеть в таблицах 1, 2, 3, 4 и 6, мощность поверхностных горизонтов может достигать 31 см, часто в органоминеральных горизонтах обнаруживаются различные включения (битый кирпич, осколки стекла, полиэтиленовые фрагменты).

Под слоем дерна (разрезы KD4 и KD 3) залегает турбированный слой с большим количеством строительного мусора, пенопласта, облицовочной плитки, оплавленного стекла и других предметов, датируемых XX веком. Однако в этом же слое были обнаружены многочисленные фрагменты энеолитической и средневековой керамики.

Первый разрез (KD4, табл. 1) был заложен на стенке археологического раскопа. Органоминеральный, серогумусовый горизонт мощностью до 27 см, граница неровная (присутствуют морозобойные клинья), переход к следующему горизонту ясный. Под органоминеральным горизонтом залегает криотурбированный срединный горизонт (TUR@). По всей стенке археологического раскопа, длиной около 5 м, были отмечены морозобойные клинья (глубиной до 40 см и шириной 3–7 см), по которым наблюдаются затеки темноокрашенного материала вглубь профиля. По всему профилю отмечается присутствие антропогенных артефактов. Содержание органического углерода в органоминеральном горизонте выше 7%, в турбированном горизонте – менее 1%. Величина pH у поверхности (AYur) близка к нейтральным или слабокислым значениям (pH_{H_2O} – 6.3), ниже по профилю – опускается до 4.8.

Следующий разрез (табл. 2) также был заложен на стенке археологического раскопа, ниже по склону. Очевидно, что ранее здесь находилась постройка, которая позже была разрушена, профиль почвы практически полностью состоит из материала антропогенного генезиса, который перекрыт серогумусовым урбистратифицированным органоминеральным горизонтом (AYur) мощностью 7–10 см. Органоминеральный горизонт характеризуется содержанием органического углерода более 2%. Под серогумусовым залегает серия горизонтов, практически полностью сложенных антропогенными отложениями (битый кирпич, остатки деревянных досок, древесный уголь и т. д.). Отложения имеют признаки криогенной турбации – пучения и завихрения. На глубине 42–60 см (горизонт U2) обнаружена линза с включениями извести (гранулы диаметром до 2 см), предположительно, это остатки фундамента, линза имеет легкосуглинистую текстуру. Почву или почвоподобное образование можно классифицировать как криотурбированную на педолитоседиментах археологических памятников.

Таблица 1. Морфология и химические свойства почвы разреза KD4
Table 1. Morphology and chemical properties of soil in section KD4

Фото профиля	Горизонт, см	pH H ₂ O	pH KCl	C _{орг} ± SD, %	Описание горизонта
	AY _{ur} (0–20(27))	6.3	5.6	7.74 ± 0.41	Темно-серо-черный органоминеральный горизонт, содержит детрит, корни растений. Свежий, уплотненный, комковатый. Обнаружено большое количество антропогенных артефактов (уголь, пластик, стекло), неокатанные камни (щебень), линзы и затеки. Граница неровная или клиновидная (морозобойные клинья).
	TUR@ (20(27)– 57)	4.8	3.4	0.63 ± 0.02	Горизонт криогенно-турбированный желто-светло-коричневый с обильными размывами углистых включений, свежий, уплотненный, линзы. Морозобойные клинья с темным провалившимся материалом в них, редко встречаются корни, щебень, стекло, комковато-глыбистый.

Почва: криотурбированная урбистратифицированная почва

Таблица 2. Морфология и химические свойства почвы разреза KD3
Table 2. Morphology and chemical properties of soil in section KD3

Фото профиля	Горизонт, см	pH H ₂ O	pH KCl	C _{орг} ± SD, %	Описание горизонта
	A _{Yur} (0–7)	6.4	6.3	2.18 ± 0.01	Органоминеральный горизонт серого цвета с черными пятнами, корнеобитаемый. Сухой, уплотненный, бесструктурный. Встречается битый кирпич, детрит.
	U1@ (7–42)	6.8	6.5	0.83 ± 0.04	Антропогенно преобразованный турбированный горизонт светло-коричневого цвета со светло-серым оттенком. Плотный, пластинчато-комковатый, легкий суглинок. Включает битый кирпич, уголь, кости, остатки ткани.
	U2@ (42–60)	5.9	5.2	0.23 ± 0.05	Светло-серый горизонт с коричневым оттенком, свежий, уплотненный, легкий суглинок, крупнокомковатый. Визуально отмечается линза с признаками криогенного пучения (криогенно-измененная по форме), содержит включения извести диаметром до 2 см.
	U3@ (60–86)	6.5	6.3	0.28 ± 0.01	Коричнево-серый горизонт с черными включениями пепла, кирпичей, битого стекла. Плотный, свежий, комковатый; песок с включениями дресвы.

Почва: урбиквазизем криотурбированный

Разрезы KD6 и KD10 были заложены ниже по склону речной террасы. В почвенных профилях наблюдаются признаки альфегумусового процесса, отмечены развитые иллювиально-гумусово-железистые и иллювиально-железистые горизонты. Почвенный профиль дерново-подбуря урбистратифицированного криотурбированного иллювиально-гумусово-железистого (табл. 3) имеет мощный (31 см) органоминеральный урбистратифицированный горизонт AY, горизонт с признаками криогенной турбации, граница между горизонтами волнистая, горизонт VHF также имеет признаки криотурбации. Здесь обнаружено максимальное содержание органического углерода – более 12%, а также минимальные, близкие к сильноокислым значения pH. Ниже по профилю в горизонте BC также обнаружены антропогенные артефакты. Горизонт увлажнен, имеются редоксиморфные пятна, по видимому, сформированные под действием верховодки. Почвообразующей породой являются аллювиальные песчаные речные отложения с примесью окатанной гальки.

Разрез KD10 находится выше по склону относительно разреза KD6. Почва разреза KD10 также имеет признаки альфегумусового процесса, однако здесь не наблюдается вынос гумуса в иллювиальный горизонт. В нижней части горизонта BF отмечены редоксиморфные пятна, но горизонты BF и C на момент проведения археологических раскопок слегка влажные, возможно, верховодка поднимается на уровень разреза KD10 лишь в периоды половодья, что обуславливает наличие признаков редоксиморфизма. Горизонт C сложен песчаными, плохо сортированными, аллювиальными отложениями. Максимум содержания органического углерода отмечен в органоминеральном горизонте AY_{ug}, значения pH в поверхностном и срединном горизонте близки к нейтральным, ниже по профилю происходит увеличение кислотности.

Разрезы KD7 и KD1 были заложены ниже по склону. При проведении археологических исследований были обнаружены крупные (частично сгнившие) бревна (диаметром более 20 см), ориентированные как вертикально, так и горизонтально. Вероятно, это части фундамента и стен деревянных сооружений XX в., которые были разрушены и погребены под слоем оторфованного дерна.

Таблица 3. Морфология и химические свойства почвы разреза KD6
Table 3. Morphology and chemical properties of soil in section KD6

Фото профиля	Горизонт, см	pH H ₂ O	pH KCl	C _{орг} ± SD, %	Описание горизонта
	A _{Yur} (0–31)	5.8	5.6	1.53 ± 0.4	Коричневый с включениями серо-желтого песка, сухой, рыхлый, бесструктурный, корни слаборазложившейся травянистой растительности, антропогенные артефакты (битый кирпич, стекло, листы металла, полиэтилен), сажа.
	B _{Hf,ur,@} (31–57)	4.7	4.6	12.38 ± 0.6	Иллювиально-гумусово-железистый горизонт, каштаново-коричневый, увлажненный, рыхлый, бесструктурный, множество антропогенных артефактов.
	B _{Cur,@} (57–79)	5.1	3.8	0.57 ± 0.02	Коричнево-серо-охристый песчаный, с признаками редоксиморфизма, увлажнен, бесструктурный. Содержит антропогенные артефакты, древесный уголь, сажу, гальку.
	C _@ (79–81)	5.3	3.6	0.17 ± 0.03	Серо-ржавый ожелезненный песок с галькой, увлажнен.

Почва: дерново-подбур урбистратифицированный криотурбированный иллювиально-гумусово-железистый

Таблица 4. Морфология и химические свойства почвы разреза KD10
Table 4. Morphology and chemical properties of soil in section KD10

Фото профиля	Горизонт, см	pH H ₂ O	pH KCl	C _{орг} ± SD, %	Описание горизонта
	A _{Yur} (0–15(18))	6.6	4.7	2.44 ± 0.21	Серо-темно-коричневый горизонт, сухой, уплотнен, бесструктурный, с включениями антропогенных артефактов (битых осколков кирпича, полуразложившихся остатков деревянных досок), корни травянистых растений.
	BF@ (15(18)– 30)	6.6	4.8	0.83 ± 0.08	Иллювиально-железистый горизонт. Желто-рыже-коричневый горизонт с серовато-желтыми прослоями песка, увлажнен, уплотнен, редоксиморфные пятна, супесь, комковато-пластинчатый.
	C@ (30–63)	5.1	4.6	0.08 ± 0.01	Серый песок, сухой, бесструктурный, насыщен галькой и дресвой, рыхлый, сыпучий.

Почва: дерново-подбур урбитратифицированный криотурбированный иллювиально-железистый

Разрез KD7 расположен в локальном понижении рельефа с повышенным увлажнением. На поверхности сформировался торфяной горизонт, состоящий из оторфованных остатков травостоя различной степени разложения. В органогенном горизонте отмечено множество антропогенных артефактов, под ним залегает глевый горизонт.

Разрез KD1 расположен ближе всего к береговой линии протоки Выл-Посл. Почвообразующие породы представлены оглееными аллювиальными отложениями различной степени сортированности, имеются признаки криогенной турбации в срединной части профиля, верхняя кромка многолетнемерзлых пород залегает на глубине 130 см. В органоминеральном горизонте большое количество антропогенных артефактов, переходы между горизонтами неровные, часто волнистые, или же горизонты имеют косое залегание. На глубине 27 см залегает погребенный, предположительно постагрогенный, горизонт с включениями древесного угля и антропогенных артефактов.

Описания разрезов и некоторые химические характеристики приведены в таблицах 5 и 6.

Содержание подвижных форм фосфора широко варьируется как в пределах почвенных профилей, так и между почвами (рис. 4). Максимальные концентрации фосфора были обнаружены в почвенных горизонтах, насыщенных различными артефактами. Фосфор – очень чувствительный элемент и его повышенные концентрации могут служить индикатором антропогенной активности. Источниками его поступления являются отходы жизнедеятельности человека, захоронения, продукты животноводства и сельского хозяйства ([Holliday, Gartner, 2007](#); [Sullivan, Kealhofer, 2004](#); [Suleymanov et al., 2020](#)).

Ранее в почвенно-археологических исследованиях многослойного поселения Ямгорт 1, расположенном в Шурышкарском районе ЯНАО (Западносибирское Приполярье), были обнаружены высокие концентрации фосфора в культурных слоях (до 920 мг/кг) ([Колесников и др., 2020](#); [Тупахина и др., 2022](#)). В нашем исследовании были зафиксированы гораздо более высокие концентрации подвижных фосфатов.

Таблица 5. Морфология и химические свойства почвы разреза KD7
Table 5. Morphology and chemical properties of soil in section KD7

Фото профиля	Горизонт, см	pH H ₂ O	pH KCl	C _{орг} ± SD, %	Описание горизонта
	TEur (0–39 (45))	5.9	5.1	-	Торфяной горизонт черно-коричневого цвета, корнеобитаемый, рыхлый, бесструктурный, содержит антропогенные артефакты (битый кирпич, куски деревянных досок, битое стекло, кости).
	G (39 (45)–50)	5.8	5.7	8.56 ± 0.27	Серо-черный, с коричневыми пятнами, мокрый, рыхлый, плитчатой структуры.
	Cg (50–76)	6.7	-	0.58 ± 0.06	Охристо-коричневый горизонт, глина с прослойками торфа, липкий, оглеенный, сочится влага с 63 см.

Почва: торфяно-глеезем урбистратифицированный

Таблица 6. Морфология и химические свойства почвы разреза KD1
Table 6. Morphology and chemical properties of soil in section KD1

Фото профиля	Горизонт, см	pH H ₂ O	pH KCl	C _{орг} ± SD, %	Описание горизонта
	AY1 (0–4)	5.5	5.4	0.17 ± 0.03	Серо-гумусовый горизонт, свежий, рыхлый, мелкокомковатый, пронизан корнями травяной и кустарниковой растительности, содержит детрит; Переход резкий по обилию корней, граница волнистая.
	AYur (4–27)	5.6	5.5	0.16 ± 0.02	Горизонт светло-серого цвета, включает незначительное количество корней. По всей толще включения угля. Окатанная галька. Рыхлый, мелкокомковатый, супесь с включениями дресвы и гальки. Множество антропогенных артефактов.
	AYra,ur,@ (27–52(55))	5.5	5.2	3.14 ± 0.09	Стратифицированный горизонт темно-серого цвета с коричневыми пятнами и включениями древесного угля. Свежий, плотный, крупнокомковатый, турбирован. Множество антропогенных артефактов.
	Gox (52 (55)–57 (60))	5.2	5.1	1.54 ± 0.17	Светло-коричнево-серый горизонт с оливковым оттенком и оливково-ржавыми редоксиморфными пятнами. Влажный, плотный, включения окатанной гальки.
	CG@ (57 (60)–60 (65))	5.4	4.8	2.12 ± 0.20	Турбированный черно-серый горизонт с включениями детрита и угля. Влажный, плотный с редоксиморфными пятнами.

Фото профиля	Горизонт, см	pH H ₂ O	pH KCl	C _{орг} ± SD, %	Описание горизонта
	CGox1 (60(65)–85(90))	5.4	4.3	0.54 ± 0.04	Коричнево-рыжий, влажный, плотный, крупные камни, комковатый, супесь.
	CGox2 (85(90)–107)	5.1	4.2	0.29 ± 0.02	Серо-желто-коричневый горизонт, мокрый, плотный, бесструктурный, крупный песок.
	CGox3 (107–110)	5.3	4.2	1.49 ± 0.05	Черно-серый горизонт с признаками оглеения, влажный, плотный, бесструктурный.
	CGox4 (110–130)	5.4	4.2	0.37 ± 0.05	Горизонт серо-коричневого цвета с оливковым оттенком, мокрый, с глубины 120 см сочится влага; отмечаются включения окатанных камней, бесструктурный, липкий, тяжелый суглинок.
	CGl (130– ...)	5.5	5.4	0.37 ± 0.01	Многолетнемерзлые породы темно-серого цвета.

Почва: урбо-агрозем постагроенный надмерзлотно оглеенный урбистратифицированный

В иллювиально-гумусово-железистом горизонте почвы разреза KD6 содержание превышает 2 800 мг/кг. Здесь было обнаружено множество современных антропогенных включений и фрагменты древней керамики. В серогумусовом органоминеральном горизонте (A_{Yur} 0–20(27) см) почвы разреза KD4 и в предположительно постагрогенном горизонте почвы (A_{Ypa,ur,@} 27–52(55) см) также были найдены максимальные концентрации фосфора (выше 800 мг/кг). Такие значения существенно превышают фоновый уровень содержания подвижных фосфатов: для типичных почв этого региона они находятся на уровне 100–200 мг/кг в поверхностных горизонтах ([Nizamutdinov et al., 2021a](#); [Nizamutdinov et al., 2021b](#)). Такие аномальные концентрации фосфора в почвах археологического памятника “Лабытнанги 1” могут быть связаны с привнесом органики в XX в. и с остаточным накоплением следов жизнедеятельности более древних поселений.

Для подвижных форм калия не отмечено аномальных пиков концентраций в изученных почвах. Подвижные формы калия поступают в почву преимущественно в результате выветривания калийсодержащих минералов (за исключением случаев применения калийных удобрений в сельском хозяйстве) ([Якименко, 2018](#)).

По полученным данным вариативность концентраций калия преимущественно находится в диапазоне 100–300 мг/кг, что соответствует значениям концентраций этих соединений в фоновых почвах региона ([Nizamutdinov et al., 2021a](#); [Nizamutdinov et al., 2021b](#); [Abakumov et al., 2020](#)). Нитратные и аммонийные формы азота концентрируются в поверхностных горизонтах, что весьма типично для почв Ямало-Ненецкого автономного округа. Однако стоит отметить, что в более влажных почвах разрезов KD7, KD6 и KD1 (до 27 см) концентрации аммонийного азота выше, чем нитратного.

Содержание тяжелых металлов в почвах археологического памятника “Лабытнанги 1” представлено в таблице 7. Было проведено сравнение качества почв с применением двух типов нормативов: 1 – по актуальным предельно допустимым (ПДК) и ориентировочно допустимым (ОДК) концентрациям; 2 – с применением индекса геоаккумуляции I_{geo} , который рассчитывается по условно фоновым для района исследований концентрациям тяжелых металлов.

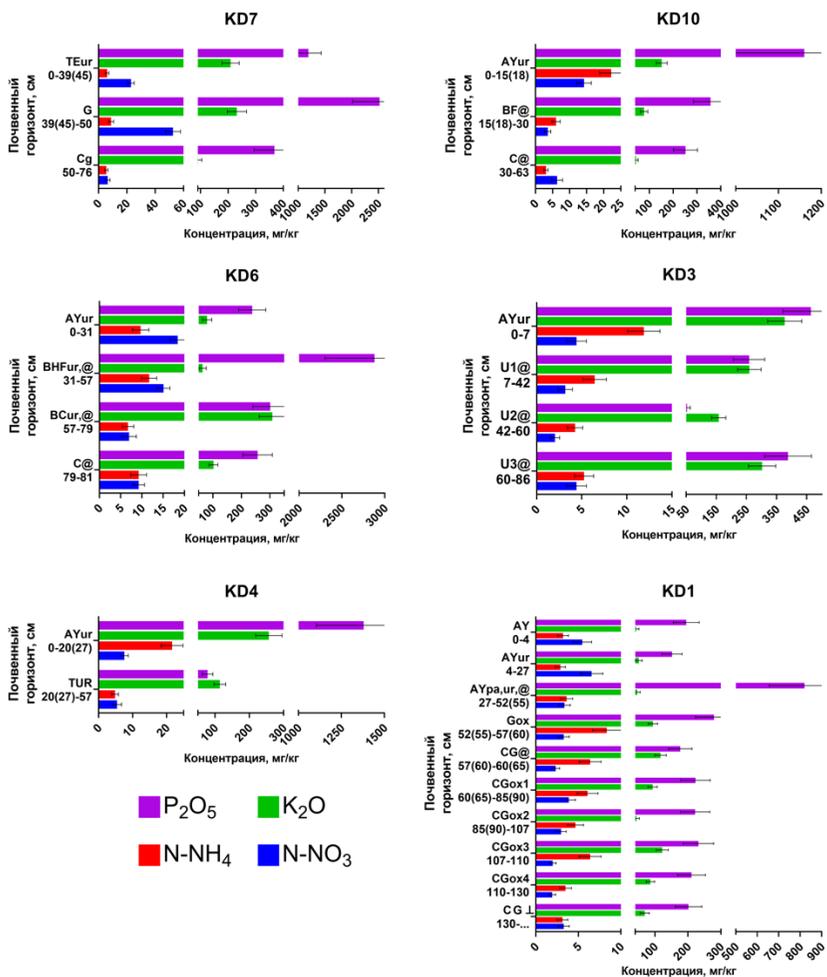


Рис. 4. Содержание основных элементов питания в почвах археологического памятника “Лабитнанги I”.

Fig. 4. Content of main nutrients in soils of the archaeological site “Labytnangi I”.

Также была проведена оценка суммарного загрязнения на основе индекса PLI. Было обнаружено несколько случаев превышения ОДК: меди – в поверхностном органогенном торфяном горизонте TE_{org} почвы разреза KD7 (87.5 мг/кг); шесть случаев превышения ОДК цинка – преимущественно в урбистратифицированных горизонтах почв всех заложенных разрезов (максимальная зафиксированная концентрация 267.7 мг/кг в иллювиально-гумусово-железистом горизонте BH_{Fur} разреза KD6); превышений ОДК никеля обнаружено не было; один случай превышения ОДК свинца – в серогумусовом органоминеральном горизонте AY_{org} почвы разреза KD6; двукратное превышение ОДК кадмия было зафиксировано в поверхностном горизонте урбиквазизема (разрез KD3). Можно отметить, что большинство превышений нормативных значений концентраций тяжелых металлов было обнаружено в почвенных горизонтах с обильными включениями антропогенных артефактов, которые, несомненно, являются источниками поступления этих поллютантов в почвы археологического памятника.

Для фоновых почв Ямало-Ненецкого автономного округа не характерны повышенные концентрации тяжелых металлов, зачастую они многократно ниже установленных нормативов ([Moskovchenko et al., 2019](#); [Nizamutdinov et al., 2021](#); [Alekseev et al., 2017](#); [Ji et al., 2019](#); [Tomashunos, Abakumov, 2014](#)). Условно фоновые концентрации, рассчитанные по литературным данным, приведены в таблице 7.

Рассчитанные значения индекса геоаккумуляции (I_{geo}) свидетельствуют о локальных снижениях качества почвы и повышенном уровне загрязнения в отдельных почвенных горизонтах. Особое опасение вызывают единичные случаи загрязнения кадмием, поскольку значения загрязнения могут доходить до экстремального уровня (I_{geo} – 4.1, горизонт AY_{org}, разрез KD3). Здесь фоновые концентрации кадмия превышены в 26 раз, а значения ОДК – более чем в 2 раза. Высокий уровень загрязнения (I_{geo} – от 2 до 3) также обнаружен в горизонте U2 урбиквазизема криотурбированного (разрез KD3), в серогумусовом органоминеральном горизонте AY_{org} почвы разреза KD4 и в глеевом горизонте G разреза KD7. Также было обнаружено пять случаев загрязнения цинком среднего уровня и три случая среднего загрязнения свинцом (I_{geo} – от 1 до 2), точные значения индекса I_{geo} приведены в таблице 7 (числа под чертой).

Таблица 7. Концентрации тяжелых металлов и значения индексов качества почвы

Table 7. Concentrations of heavy metals and values of soil quality indices

Разрез	Горизонт	Мощность, см	Cu	Zn	Ni	Pb	Cd	PLI
KD7	TEur	0-39(45)	$\frac{87.48}{0.9}$	$\frac{35.5}{-1.1}$	$\frac{23.6}{-1.0}$	$\frac{7.13}{-1.5}$	$\frac{0.071}{-0.8}$	0.1
	G	39(45)-50	$\frac{44.11}{0.0}$	$\frac{303.3}{2.0}$	$\frac{16.4}{-1.6}$	$\frac{30.4}{0.6}$	$\frac{0.848}{2.8}$	21.0
	Cg	50-76	$\frac{11.6}{-2.0}$	$\frac{21.5}{-1.9}$	$\frac{17}{-1.5}$	$\frac{5.02}{-2.0}$	$\frac{0.02}{-2.6}$	0.0
KD6	A Yur	0-31	$\frac{17.21}{-1.4}$	$\frac{102.4}{0.4}$	$\frac{21.6}{-1.2}$	$\frac{76.1}{1.9}$	$\frac{0.098}{-0.3}$	1.1
	BHFur, @	31-57	$\frac{33.72}{-0.4}$	$\frac{267.7}{1.8}$	$\frac{14.9}{-1.7}$	$\frac{22.2}{0.1}$	$\frac{0.389}{1.7}$	4.3
	BCur,@	57-79	$\frac{14.68}{-1.6}$	$\frac{35.4}{-1.1}$	$\frac{24}{-1.0}$	$\frac{5.21}{-1.9}$	$\frac{< 0.005}{nd}$	0.0
	C@	79-81	$\frac{6.35}{-2.8}$	$\frac{18.1}{-2.1}$	$\frac{14.7}{-1.7}$	$\frac{1.36}{-3.9}$	$\frac{< 0.005}{nd}$	0.0
KD10	A Yur	0-15(18)	$\frac{23.81}{-0.9}$	$\frac{116.7}{0.6}$	$\frac{19.9}{-1.3}$	$\frac{21.7}{0.1}$	$\frac{0.146}{0.3}$	0.6
	BF@	15(18)-30	$\frac{12.04}{-1.9}$	$\frac{34.8}{-1.2}$	$\frac{16.3}{-1.6}$	$\frac{6.56}{-1.6}$	$\frac{0.008}{-3.9}$	0.0
	C@	30-63	$\frac{5.92}{-2.9}$	$\frac{13.6}{-2.5}$	$\frac{13}{-1.9}$	$\frac{0.99}{-4.3}$	$\frac{< 0.005}{nd}$	0.0
KD4	A Yur	0-20(27)	$\frac{30.36}{-0.6}$	$\frac{272.8}{1.8}$	$\frac{22.4}{-1.1}$	$\frac{27.2}{0.4}$	$\frac{0.741}{2.6}$	13.9
	TUR	20(27)-57	$\frac{12.22}{-1.9}$	$\frac{33.4}{-1.2}$	$\frac{17}{-1.5}$	$\frac{6.96}{-1.5}$	$\frac{< 0.005}{nd}$	0.0
KD3	A Yur	0-7	$\frac{29.36}{-0.6}$	$\frac{216.9}{1.5}$	$\frac{23.4}{-1.0}$	$\frac{47.9}{-1.3}$	$\frac{2.084}{4.1}$	55.1
	U1@	7-42	$\frac{12.17}{-1.9}$	$\frac{69.9}{-0.2}$	$\frac{22.4}{-1.1}$	$\frac{6.36}{-1.7}$	$\frac{0.717}{2.6}$	0.3
	U2@	42-60	$\frac{6.4}{-2.8}$	$\frac{44.5}{-0.8}$	$\frac{13.1}{-1.9}$	$\frac{64.2}{1.7}$	$\frac{0.034}{-1.8}$	0.0

Продолжение таблицы 7
Table 7 continued

Разрез	Гори- зонт	Мощ- ность, см	Cu	Zn	Ni	Pb	Cd	PLI
KD3	U3@	60-86	$\frac{10.76}{-2.1}$	$\frac{40.2}{-0.9}$	$\frac{18.3}{-1.4}$	$\frac{4.18}{-2.3}$	$\frac{0.032}{-1.9}$	0.0
KD1	AУ1	0-4	$\frac{5.28}{-3.1}$	$\frac{13.4}{-2.5}$	$\frac{26.7}{-0.9}$	$\frac{1.65}{-3.6}$	$\frac{< 0.005}{nd}$	0.0
	AУ2ur	4-27	$\frac{35.14}{-0.4}$	$\frac{26.5}{-1.5}$	$\frac{19.1}{-1.3}$	$\frac{1.36}{-3.9}$	$\frac{0.024}{-2.3}$	0.0
	AУpa,ur, @	27- 52(55)	$\frac{19.83}{-1.2}$	$\frac{260.8}{1.7}$	$\frac{20.4}{-1.2}$	$\frac{57.6}{1.5}$	$\frac{0.375}{1.6}$	8.4
	Gox	52(55)- 57(60)	$\frac{8.26}{-2.5}$	$\frac{26.9}{-1.5}$	$\frac{14.4}{-1.7}$	$\frac{4.53}{-2.1}$	$\frac{0.023}{-2.4}$	0.0
	CG@	57(60)- 60(65)	$\frac{8.95}{-2.3}$	$\frac{17.8}{-2.1}$	$\frac{12.4}{-2.0}$	$\frac{4.44}{-2.2}$	$\frac{0.02}{-2.6}$	0.0
	CGox1	60(65)- 85(90)	$\frac{6.76}{-2.8}$	$\frac{24.2}{-1.7}$	$\frac{14.9}{-1.7}$	$\frac{3.7}{-2.4}$	$\frac{< 0.005}{nd}$	0.0
	CGox2	85(90)- 107	$\frac{7.33}{-2.6}$	$\frac{20.5}{-1.9}$	$\frac{14.2}{-1.8}$	$\frac{2.68}{-2.9}$	$\frac{< 0.005}{nd}$	0.0
	CGox3	107-110	$\frac{33.91}{-0.4}$	$\frac{45.7}{-0.8}$	$\frac{36.4}{-0.4}$	$\frac{5.73}{-1.8}$	$\frac{0.048}{-1.3}$	0.1
	CGox4	110-130	$\frac{9.4}{-2.3}$	$\frac{28.6}{-1.4}$	$\frac{16.9}{-1.5}$	$\frac{3.56}{-2.5}$	$\frac{< 0.005}{nd}$	0.0
	CG1	130-...	$\frac{8.5}{-2.4}$	$\frac{21.4}{-1.9}$	$\frac{18}{-1.4}$	$\frac{2.73}{-2.9}$	$\frac{< 0.005}{nd}$	0.0
ПДК/ОДК*			66	110	40	65	1	-
Фон**			30.32	51.73	32.16	13.38	0.08	-

Примечание. Над чертой – концентрация металла, мг/кг. Под чертой – значение индекса I_{geo} . PLI – значение Pollution Load Index. *По СанПиН 1.2.3685-21. **Фоновые значения рассчитаны по работам [Moskovchenko et al., 2019](#); [Alekseev et al., 2017](#); [Ji et al., 2019](#); [Tomashunos, Abakumov, 2014](#). *nd* – нет данных.

Для химического состава почв археологического памятника “Лабытнанги 1” характерна значительная вариабельность (табл. 8), которая обусловлена как неоднородностью вертикального распределения внутри почвенных профилей, так и пространственной пестротой почвенного покрова с различной степенью антропогенного воздействия.

Корреляционный анализ показывает взаимную динамику в содержании соединений, ассоциированных со сторонним привнесом органического вещества в почвенный покров (рис. 5). Так содержание органического углерода тесно связано с содержанием доступного фосфора и аммонийного азота ($r = 0.69$ и 0.78).

Также замечена связь ($r > 0.65$) между содержанием органического углерода и концентрациями некоторых тяжелых металлов (Cu, Zn, Pb, Cd), которую можно объяснить высокой сорбционной способностью органического вещества почв ([Горбунова и др., 2021](#); [Лодыгин, 2019](#); [Strawn et al., 2000](#); [Fan et al., 2015](#)).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам комплексного исследования почв археологического памятника “Лабытнанги 1 (Комяцкая деревня)” можно сделать следующие выводы:

1) Электрофизическое зондирование показало, что мощность деятельного слоя составляет 120–130 см. Резкий рост удельного электрического сопротивления происходит на глубине 200–250 см, что может свидетельствовать о том, что плотный слой многолетнемерзлых пород залегает начиная с этой глубины. На месте археологических раскопов были зафиксированы резкие перепады значений сопротивления до глубины 100 см, что связано с высокой степенью нарушенности почвы и наличием в профиле различных инородных включений (строительного мусора, остатков фундаментов, колотого кирпича и т. д.);

2) Почвенные разности представлены урбистратифицированными криотурбированными почвами, дерново-подбурами, урбоагроземами и урбиквазиземами. Поверхностные органоминеральные горизонты содержат большое количество антропогенных артефактов, датируемых XX в.

Таблица 8. Основные статистические характеристики (n = 26)

Table 8. Main statistical characteristics (n = 26)

	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NH ₄	N-NO ₃	Cu	Zn	Ni	Pb	Cd	C _{орг} ,	pH H ₂ O	pH KCl
	мг/кг									%		
MIN	53.0	43.0	2.9	1.9	5.3	13.4	12.4	1.0	<0.005	0.1	4.7	3.4
MAX	2880.0	377.0	22.2	52.7	87.5	303.3	36.4	76.1	2.1	12.4	6.8	6.5
MEAN	571.5	138.2	7.2	8.4	19.3	81.3	18.9	16.2	0.2	2.0	5.7	4.9
SD	717.8	95.5	4.9	10.5	17.8	95.1	5.3	21.6	0.5	3.0	0.6	0.8
CV, %	126	69	68	125	92	117	28	133	209	150	11	17

Примечание. SD – стандартное отклонение, CV – коэффициент вариации.

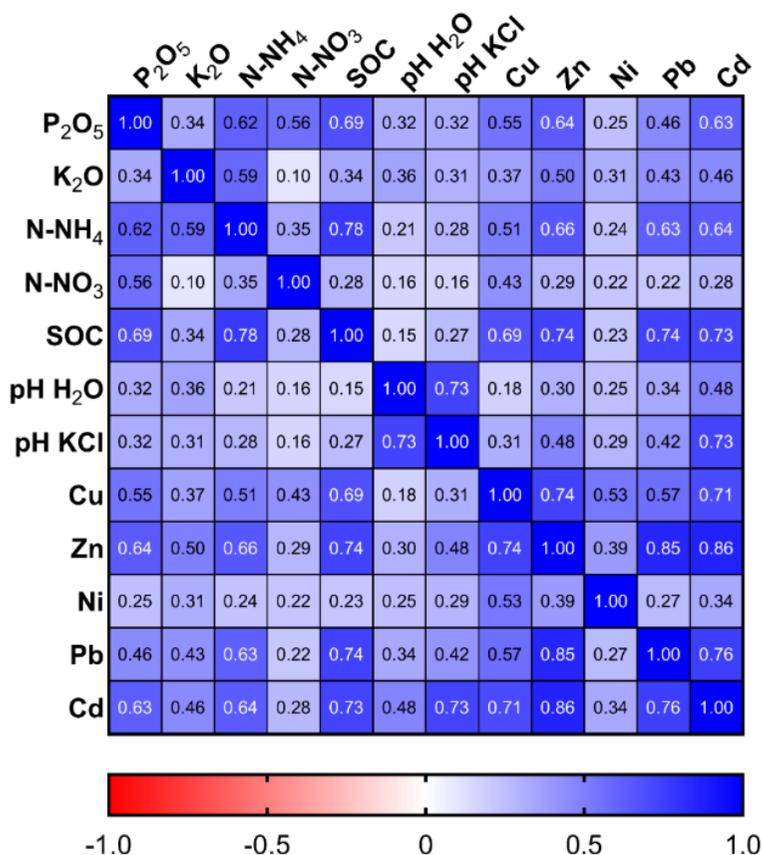


Рис. 5. Корреляционная матрица полученных данных (r – коэффициент корреляции Спирмена).

Fig. 5. Correlation matrix of the obtained data (r – Spearman correlation coefficient).

В том же слое было обнаружено множество фрагментов энеолитической и средневековой керамики. Также в почвенных профилях были обнаружены остатки деревянных и кирпичных фундаментов построек XX в.;

3) Химический анализ почв позволил выявить неравномерность распределения концентраций органического углерода и

основных элементов питания по почвенным профилям. Максимумы содержания подвижного фосфора (до 2 800 мг/кг) и органического углерода (до 12.5%) были обнаружены в перекрытых постагрогенных и/или урбистратифицированных почвенных горизонтах, насыщенных различными артефактами. Содержание доступного калия и минеральных форм азота соответствует концентрациям в условно фоновых почвах, эти соединения концентрируются преимущественно в поверхностных органоминеральных горизонтах;

4) Экотоксикологическая оценка качества почв показала, что в большинстве случаев концентрации тяжелых металлов в генетических почвенных горизонтах не превышали фоновый уровень в почвах окрестностей городов Лабытнанги и Салехард. Однако было выявлено, что в отдельных случаях присутствуют локальные максимумы концентраций в насыщенных антропогенными артефактами урбистратифицированных горизонтах. Максимальные превышения были обнаружены для кадмия в серогумусовом урбистратифицированном горизонте АУ_г урбиквазизема криотурбированного (разрез КД3). Значение индекса $I_{geo} = 4.1$, что соответствует высокому уровню загрязнения.

Таким образом, наше исследование показало, что почвы археологического памятника “Поселение Лабытнанги 1 (Комяцкая деревня)” разнообразны и сформировались под влиянием современного и древнего антропогенного воздействия, которое оказало значительное влияние на экотоксикологическое состояние и строение почвенных профилей на территории древнего поселения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев А.Н., Бравина Р.И., Дьяконов В.М., Строгова Е.А.* Оценка археологической изученности северных и арктических районов Якутии // Вторая Якутская комплексная экспедиция: начало пути. Якутск: Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, 2017. С. 3–9.
2. *Апарин Б.Ф., Аникович М.В., Попов В.В.* Погребенные почвы археологического памятника древнепалеолитической стоянки человека “Костенки-Г” // Biological Communications. 2011. № 3. С. 101–113.
3. *Бронникова М.А., Конопляникова Ю.В., Агатова А.Р., Зазовская Э.П., Лебедева М.П., Турова И.В., Непон Р.К., Шоркунов И.Г., Черкинский А.Е.*

- Кутаны криоаридных почв и другие летописи ландшафтно-климатических изменений в котловине озера Ак-Холь (Тува) // Почвоведение. 2017. № 2. С. 158–175. DOI: [10.7868/S0032180X17020010](https://doi.org/10.7868/S0032180X17020010).
4. Головинёв А.В. Древний Ямал в контексте мифологии и археологии // Этнографическое обозрение. 1998. № 2. С. 101–115.
5. Горбунова Н.С., Громовик А.И., Черепухина И.В., Терентьева Ю.Ю. Сорбционные процессы в почвах. Вопросы изучения и современное состояние проблемы // Сорбционные и хроматографические процессы. 2021. Т. 21. № 2. С. 265–275. DOI: [10.17308/sorpchrom.2021.21/3360](https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2021.21/3360).
6. Гусев А.В. Исследования на археологическом комплексе “Зеленый Яр” в 2016 г. // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2016. № 3. С. 13–17.
7. Гусев А.В., Плеханов А.В. Археологическое обследование в районе оз. Парисенто (п-ов Гыданский) // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2016. № 3. С. 22–24.
8. Гусев А.В., Плеханов А.В., Федорова Н.В. Оленеводство на севере Западной Сибири: ранний железный век-средневековье // Археология Арктики. 2016. С. 228–239.
9. Демкин В.А., Каширская Н.Н., Демкина Т.С., Хомутова Т.Э., Ельцов М.В. Палеопочвенные исследования курганов в долине р. Иловля (Приволжская возвышенность) // Почвоведение. 2008. № 2. С. 133–145.
10. Добровольский Г.В., Макеев А.О. Палеонтология и палеопочвоведение // Доклады по экологическому почвоведению. 2009. Т. 1. № 11. С. 95–125.
11. Кардаш О.В., Гайдакова З.Г. Бухта Находка-2: первые результаты археологического изучения грунтового могильника VI–XIII вв. на полуострове Ямал // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. 2017. Т. 23. С. 331–335.
12. Кардаш О.В., Соколов А.В. Ритуальный комплекс Холято-1 на полуострове Ямал // Археология, этнография и антропология Евразии. 2015. Т. 43. № 1. С. 81–91.
13. Козловский Ф.И., Горячкин С.В. Почва как зеркало ландшафта и концепция информационной структуры почвенного покрова // Почвоведение. 1996. № 3. С. 288–297.
14. Колесников Р.А., Тупахина О.С., Плеханова Л.Н. Геоэкологические исследования культурных слоев поселения эпохи бронзы в подзоне северной тайги Западной Сибири // Геоархеология и археологическая минералогия. 2020. Т. 7. С. 33–36.
15. Кунгурцев А.Я., Сулейманов Р.Р., Овсянников В.В., Савельев Н.С., Абакумов Е.В., Асылбаев И.Г. Гумусное состояние почв археологических

памятников эпохи раннего железного века (республика Башкортостан) // Аридные экосистемы. 2021. Т. 27. № 4 (89). С. 59–69.

16. *Лодыгин Е.Д.* Сорбция ионов Cu^{2+} и Zn^{2+} гуминовыми кислотами тундровой торфяно-глеевой почвы // Почвоведение. 2019. № 7. С. 817–826.

17. *Мурыгин А.М.* Арктический регион крайнего северо-востока европейской части России в эпоху средневековья // Археология Арктики. 2016. С. 183–203.

18. *Пантелеев А.В., Косинцев П.А.* Орлан-белохвост (*Haliaeetus albicilla*) из археологического памятника Усть-Полуй // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2010. Т. 2. № 13. С. 214–218.

19. *Плеханов А.В.* Новые исследования археологического памятника Юр-Яха III // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2016. № 3. С. 18–21.

20. *Поздняков А.И.* Электрические параметры почв и почвообразование // Почвоведение. 2008. № 10. С. 1188–1197.

21. *Поздняков А.И., Позднякова Л.А., Позднякова А.Д.* Стационарные электрические поля в почвах. М.: КМК Scientific Press Ltd., 1996. 360 с.

22. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.

23. *Сомье С.* Лето в Сибири среди остяков, самоедов, зырян, татар, киргизов и башкир / Пер. с ит. А.А. Переваловой; Под ред. Я.А. Яковлева. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2012. 640 с.

24. *Сулейманов Р.Р., Овсянников В.В., Колонских А.Г., Абакумов Е.В., Кунгурцев А.Я., Сулейманов А.Р.* Почвенно-археологическое исследование средневекового Вотикеевского комплекса в северной лесостепной зоне Южного Предуралья // Почвоведение. 2020. № 3. С. 279–290. DOI: [10.31857/S0032180X20030089](https://doi.org/10.31857/S0032180X20030089).

25. *Таргульян В.О., Бронникова М.А.* Память почв: теоретические основы концепции, современное состояние и перспективы развития // Почвоведение. 2019. № 3. С. 259–275. DOI: [10.1134/S0032180X19030110](https://doi.org/10.1134/S0032180X19030110).

26. *Тупахина О., Тупахин Д., Колесников Р., Плеханова Л.* Комплексные междисциплинарные исследования многослойного поселения Ямгорт I в Западносибирском Приполярье // Российская археология. 2022. № 2. С. 47–59.

27. *Федорова Н.В., Гусев А.В., Подосенова Ю.А., Корочкова О.Н.* Горнокавказский клад: Приложение к сборнику “Археология Арктики”. Калининград: ООО “Издательский Дом “РОСТ-ДОАФК”, 2016. 80 с.

28. *Федорова Н.В.* История археологического изучения Ямальской Арктики в XX–XXI вв. // Уральский исторический вестник. 2016. № 4. С. 44–52.

29. *Федорова Н.В.* Костяная антропоморфная скульптура со святилища Усть-Полуй // Археология, этнография и антропология Евразии. 2011. № 1. С. 77–81.
30. *Федорова Н.В.* Справа от солнца, слева от месяца: бляхи с сокольниковичем (Предуралье и Западная Сибирь, эпоха средневековья) // Археология Арктики. 2014. С. 162–174.
31. *Фитцхью В.В.* В поисках Грааля: циркумполярная теория и реалии ямальской археологии // Древности Ямала. 2000. С. 25–53.
32. *Хохлова О.С., Моргунова Н.Л., Хохлов А.А., Гольева А.А.* Изменения климата и растительности за последние 7 000 лет в степном Предуралье // Почвоведение. 2018. № 5. С. 538–550. DOI: [10.7868/S0032180X18050039](https://doi.org/10.7868/S0032180X18050039).
33. *Шестаков И.Е., Шутова Е.А.* Почвенный покров некоторых археологических памятников Пермского района: его значение и свойства // Антропогенная трансформация природной среды. 2018. № 4. С. 119–123.
34. *Якименко В.Н.* Формы калия в почве и методы их определения // Почвы и окружающая среда. 2018. Т. 1. № 1. С. 25–31. DOI: [10.31251/pos.v1i1.5](https://doi.org/10.31251/pos.v1i1.5).
35. *Abakumov E., Morgun E., Pechkin A., Polyakov V.* Abandoned agricultural soils from the central part of the Yamal region of Russia: Morphology, diversity, and chemical properties // Open Agriculture. 2020. Vol. 5.1. P. 94–106.
36. *Alekseev I., Kosteckí J., Abakumov E.* Vertical electrical resistivity sounding (VERS) of tundra and forest tundra soils of Yamal region // International Agrophysics. 2017. Vol. 31. P. 1–8. DOI: [10.1515/intag-2016-0037](https://doi.org/10.1515/intag-2016-0037).
37. *Alekseev I., Abakumov E.* Permafrost-affected former agricultural soils of the Salekhard city (Central part of Yamal region) // Czech Polar Reports. 2018. Vol. 8. No. 1. P. 119–131. DOI: [10.5817/CPR2018-1-9](https://doi.org/10.5817/CPR2018-1-9).
38. *Alekseev I.I., Dinkelaker N.V., Oripova A.A., Semyina G.A., Morozov A.A., Abakumov E.V.* Assessment of ecotoxicological state of soils of the Polar Ural and southern Yamal // Gigiena i Sanitariya. 2017. Vol. 10. P. 941–945.
39. *Fan T.T., Wang Y.J., Li C.B., Zhou D.M., Friedman S.P.* Effects of soil organic matter on sorption of metal ions on soil clay particles // Soil Science Society of America Journal. 2015. Vol. 79(3). P. 794–802. DOI: [10.2136/sssaj2014.06.0245](https://doi.org/10.2136/sssaj2014.06.0245).
40. FAO. Standard operating procedure for soil organic carbon: Tyurin spectrophotometric method. Rome. 2021.
41. FAO. Standard operating procedure for soil pH determination. Rome. 2021.

42. GOST 54650-2011. Soils. Determination of mobile phosphorus and potassium compounds by Kirsanov method modified by CINAQ, Moscow, Standardinform, 2019.
43. *Holliday V.T., Gartner W.G.* Methods of soil P analysis in archaeology // *J. Archaeol. Sci.* 2007. Vol. 34. P. 301–333. DOI: [10.1016/j.jas.2006.05.004](https://doi.org/10.1016/j.jas.2006.05.004).
44. ISO 14255:1998. Soil quality. Determination of nitrate nitrogen, ammonium nitrogen and total soluble nitrogen in air-dry soils using calcium chloride solution as extractant. Geneva, Switzerland, 1998.
45. IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
46. *Ji X., Abakumov E., Antcibor I., Tomashunas V., Knoblauch C., Zubzycki S., Pfeiffer E.M.* Influence of anthropogenic activities on metals in arctic permafrost: a characterization of benchmark soils on the Yamal and Gydan peninsulas in Russia // *Archives of environmental contamination and toxicology.* 2019. Vol. 76(4). P. 540–553. DOI: [10.1007/s00244-019-00607-y](https://doi.org/10.1007/s00244-019-00607-y).
47. *Kowalska J.B., Mazurek R., Gąsiorek M., Zaleski T.* Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination – A review // *Environ. Geochem. Health.* 2018. Vol. 40. P. 2395–2420. DOI: [10.1007/s10653-018-0106-z](https://doi.org/10.1007/s10653-018-0106-z).
48. *Zhou M., Wang J., Cai L., Fan Y., Zheng Z.* Laboratory Investigations on Factors Affecting Soil Electrical Resistivity and the Measurement, In: *IEEE Transactions on Industry Applications.* 2015. Vol. 51(6). P. 5358–5365. DOI: [10.1109/TIA.2015.2465931](https://doi.org/10.1109/TIA.2015.2465931).
49. *Makeev A., Rusakov A., Kurbanova F., Khokhlova O., Kust P., Lebedeva M., Malinovskiy E., Egle M., Denisova E., Aseyeva E., Rusakova E., Mihailov E.* Soils archaeological monuments of the bronze age – a key to the Holocene landscape dynamics in the broadleaf forest area of the Russian Plain // *Quaternary international.* 2020. P. 1–15. DOI: [10.1016/j.quaint.2020.09.015](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.09.015).
50. *Moskovchenko D., Shamilishvily G., Abakumov E.* Soil Biogeochemical Features of Nadym-Purovskiy Province (Western Siberia), Russia // *Ecologia Balkanica.* 2019. Vol. 11. 2.
51. *Nizamutdinov T., Abakumov E., Morgun E.* Morphological features, productivity and pollution state of abandoned agricultural soils in the Russian Arctic (Yamal Region) // *One Ecosystem.* 2021. No. 6. e68408. DOI: [10.3897/oneeco.6.e68408](https://doi.org/10.3897/oneeco.6.e68408).
52. *Nizamutdinov T., Abakumov E., Morgun E., Loktev R., Kolesnikov R.* Agrochemical and Pollution Status of Urbanized Agricultural Soils in the Central Part of Yamal Region // *Energies.* 2021. Vol. 14. 4080. DOI: [10.3390/en14144080](https://doi.org/10.3390/en14144080).

53. *Nowrouzi M., Pourkhabbaz A.* Application of geoaccumulation index and enrichment factor for assessing metal contamination in the sediments of Hara Biosphere Reserve, Iran // *Chemical Speciation & Bioavailability*. 2014. Vol. 26–2. P. 99–105. DOI: [10.3184/095422914X13951584546986](https://doi.org/10.3184/095422914X13951584546986).
54. *Peel M.C., Finlayson B.L., McMahon T.A.* Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification // *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2007. Vol. 11. P. 1633–1644. DOI: [10.5194/hess-11-1633-2007](https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007).
55. *Strawn D.G., Sparks D.L.* Effects of soil organic matter on the kinetics and mechanisms of Pb (II) sorption and desorption in soil // *Soil Science Society of America Journal*. 2000. Vol. 64(1). P. 144–156. DOI: [10.2136/sssaj2000.641144x](https://doi.org/10.2136/sssaj2000.641144x).
56. *Suleymanov R.R., Ovsyannikov V.V., Kolonskih A.G., Abakumov E.V., Kungurtsev A.Y., Suleymanov A.R.* Soil-archaeological study of the Votikeevo medieval archeological site in the northern forest-steppe zone of the southern Cis-Ural region // *Eurasian Soil Science*. 2020. Vol. 53(3). P. 283–293. DOI: [10.1134/S1064229320030084](https://doi.org/10.1134/S1064229320030084).
57. *Sullivan K.A., Kealhofer L.* Identifying activity areas in archaeological soils from a colonial Virginia house lot using phytolith analysis and soil chemistry // *J. Archaeol. Sci.* 2004. Vol. 31. P. 1659–1673. DOI: [10.1016/j.jas.2004.04.007](https://doi.org/10.1016/j.jas.2004.04.007).
58. *Tomashunos. V.M., Abakumov E.V.* The content of heavy metals in soils of the Yamal peninsula and the Bely Island // *Gigiena i sanitaria*. 2014. Vol. 93(6). P. 26–31.
59. U.S. EPA. “Method 3050B: Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils”. Revision 2. Washington, DC. 1996.
60. *Varol M.* Assessment of heavy metal contamination in sediments of the Tigris River (Turkey) using pollution indices and multivariate statistical techniques // *Journal of Hazardous Materials*. 2011. Vol. 195. P. 355–364. DOI: [10.1016/j.jhazmat.2011.08.051](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.08.051).

REFERENCES

1. Alexeev A.N., Bravina R.I., Deaconov V.M., Strogova E.A., Otsenka arkheologicheskoi izuchennosti severnykh i arkticheskikh raionov Yakutii (Evaluation of the archaeological study of the northern and arctic regions of Yakutia), *Vtoraya Yakutskaya kompleksnaya ekspeditsiya: nachalo puti*, 2017, pp. 3–9.
2. Aparin B.F., Anikovich M.V., Popov V.V., Pogrebennye pochvy arkheologicheskogo pamyatnika drevnepaleoliticheskoi stoyanki cheloveka “Kostenki-I”, *Biological Communications*, 2011, No. 3, pp. 101–113.

3. Bronnikova M.A., Konoplyanikova Yu.V., Agatova A.R., Zazovskaya E.P., Lebedeva M.P., Turova I.V., Nepop R.K., Shorkunov I.G., Cherkinskii A.E., Kutany krioaridnykh pochv i drugie letopisi landshaftno-klimaticheskikh izmenenii v kotlovine ozera Ak-Khol' (Tuva) (Kutans of cryoarid soils and other chronicles of landscape-climatic changes in the Ak-Khol lake basin (Tuva)), *Pochvovedenie*, 2017, No. 2, pp. 158–175, DOI: [10.7868/S0032180X17020010](https://doi.org/10.7868/S0032180X17020010).
4. Golovnev A.V., Drevnii Yamal v kontekste mifologii i arkheologii (Ancient Yamal in the context of mythology and archaeology), *Etnograficheskoe obozrenie*, 1998, No. 2, pp. 101–115.
5. Gorbunova N.S., Gromovik A.I., Cherepukhina I.V., Terentyeva Yu.Yu., Sorbtionnye protsessy v pochvakh. Voprosy izucheniya i sovremennoe sostoyanie problem (Sorptions processes in soils. Issues of study and the current state of the problem), *Sorbtionnye i khromatograficheskie protsessy*, 2021 Vol. 21, No. 2, pp. 265–275, DOI: [10.17308/sorpchrom.2021.21/3360](https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2021.21/3360).
6. Gusev A.V., Issledovaniya na arkheologicheskom komplekse “Zelenyi Yar” v 2016 g (Research at the “Green Yar” archaeological site in 2016), *Nauchnyi vestnik Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga*, 2016, No. 3, pp. 13–17.
7. Gusev A.V., Plekhanov A.V., Arkheologicheskoe obsledovanie v raione oz. Parisento (p-ov Gydanskii) (Archaeological survey in the area of Lake Parisento (Gydansky Peninsula)). *Nauchnyi vestnik Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga*, 2016, No. 3, pp. 22–24.
8. Gusev A.V., Plekhanov A.V., Fedorova N.V., Olenevodstvo na severe Zapadnoi Sibiri: rannii zheleznyi vek-srednevekove (Reindeer herding in the North of Western Siberia: Early Iron Age-Medieval), *Arkheologiya Arktiki*, 2016, pp. 228–239.
9. Demkin V.A., Kashirskaya N.N., Demkina T.S., Khomutova T.E., Eltsov M.V., Paleopochvennye issledovaniya kurganov v doline r. Ilovlya (Privolzhskaya vozvyshehnost') (Paleosoil studies of barrows in the Ilovlya River valley (Volga Upland)), *Pochvovedenie*, 2008, No. 2, pp. 133–145.
10. Dobrovol'skii G.V., Makeev A.O., Paleontologiya i paleopochvovedenie (Paleontology and Paleosoil Science), *Doklady po ekologicheskomu pochvovedeniyu*, 2009, Vol. 1, No. 11, pp. 95–125.
11. Kardash O.V., Gaidakova Z.G., Bukhta Nakhodka-2: pervye rezultaty arkheologicheskogo izucheniya gruntovogo mogil'nika VI–XIII vekov na poluostrove Yamal (Nakhodka-2 Bay: first results of archaeological study of the VI–XIII centuries soil burial ground on the Yamal Peninsula), *Problemy arkheologii, etnografii, antropologii Sibiri i sopredel'nykh territorii*, 2017, Vol. 23, pp. 331–335.

12. Kardash O.V., Sokolov A.V., Ritual'nyi kompleks Kholyato-1 na poluostrove Yamal (Holyato-1 Ritual Complex on the Yamal Peninsula), *Arkheologiya, etnografiya i antropologiya Evrazii*, 2015, Vol. 43, No. 1, pp. 81–91.

13. Kozlovskii F.I., Goryachkin S.V., Pochva kak zerkalo landshafta i kontseptsiya informatsionnoi struktury pochvennogo pokrova (Soil as a mirror of the landscape and the concept of information structure of soil cover), *Pochvovedenie*, 1996, No. 3, pp. 288–297.

14. Kolesnikov R.A., Tupakhina O.S., Plekhanova L.N., Geoekologicheskie issledovaniya kul'turnykh sloev poseleniya epokhi bronzy v podzone severnoi taigi Zapadnoi Sibiri (Geoecological Studies of Cultural Layers of the Bronze Age Settlement in the Northern Taiga Subzone of Western Siberia), *Geoarkheologiya i arkhelogicheskaya mineralogiya*, 2020, Vol. 7, pp. 33–36.

15. Kungurtsev A.Y., Suleimanov R.R., Ovsyannikov V.V., Saveliev N.S., Abakumov E.V., Asylbaev I.G., Gumusnoe sostoyanie pochv arkheologicheskikh pamyatnikov epokhi rannego zheleznogo veka (respublika Bashkortostan) (Humus condition of soils of archaeological monuments of the Early Iron Age (Republic of Bashkortostan)), *Aridnye ekosistemy*, 2021, Vol. 27, No. 4 (89), pp. 59–69.

16. Lodygin E.D., Sorbtsiya ionov Cu^{2+} i Zn^{2+} guminovymi kislotami tundrovoi torfyano-gleevoi pochvy (Sorption of Cu^{2+} and Zn^{2+} ions by humic acids of tundra peat-gley soil), *Pochvovedenie*, 2019, No. 7, pp. 817–826.

17. Murygin A.M., Arkticheskii region krainego severo-vostoka evropeiskoi chasti Rossii v epokhu srednevekov'ya (The Arctic region of the far north-east of European Russia in the Middle Ages), In: *Arkheologiya Arktiki* (Arctic archaeology), 2016, pp. 183–203.

18. Panteleev A.V., Kosintsev P.A., Orlan-belokhvost (*Haliaeetus albicilla*) iz arkheologicheskogo pamyatnika Ust'-Polui (White-tailed Eagle (*Haliaeetus albicilla*) from the Ust'-Polui archaeological site), *Vestnik arkheologii, antropologii i etnografii*, 2010, Vol. 2, No. 13, pp. 214–218.

19. Plekhanov A.V., Novye issledovaniya arkheologicheskogo pamyatnika Yur-Yakha III (New research on the Yur-Yakha III archaeological site), *Nauchnyi vestnik Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga*, 2016, No. 3, pp. 18–21.

20. Pozdnyakov A.I., Elektricheskie parametry pochv i pochvoobrazovanie (Electrical parameters of soils and soil formation), *Pochvovedenie*, 2008, No. 10, pp. 1188–1197.

21. Pozdnyakov A.I., Pozdnyakova L.A., Pozdnyakova A.D., *Statsionarnye elektricheskie polya v pochvakh* (Stationary electric fields in soils), Moscow: KMK Scientific Press Ltd., 1996, 360 p.

22. *Polevoi opredelitel' pochv Rossii* (Field soil guide of Russia), Moscow: Pochv. in-t im. V.V. Dokuchaeva, 2008, 182 p.
23. Somm'e S., *Leto v Sibiri sredi ostyakov, samoedov, zyryan, tatar, kirgizov i bashkir* (Summer in Siberia among the Ostyaks, Samoyeds, Zyryans, Tatars, Kirghiz, and Bashkirs), Tomsk: Izd-vo Tom. un-ta, 2012, 640 p.
24. Suleymanov R.R., Ovsyannikov V.V., Kolonskikh A.G., Abakumov E.V., Kungurtsev A.Y., Suleymanov A.R., *Pochvenno-arkheologicheskoe issledovanie srednevekovogo Votikeevskogo kompleksa v severnoi lesostepnoi zone Yuzhnogo Predural'ya* (Soil and archaeological study of the medieval Votikay complex in the northern forest-steppe zone of the Southern Urals), *Pochvovedenie*, 2020, No. 3, pp. 279–290, DOI: [10.31857/S0032180X20030089](https://doi.org/10.31857/S0032180X20030089).
25. Targul'yan V.O., Bronnikova M.A., *Pamyat' pochv: teoreticheskie osnovy kontseptsii, sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya* (Soil Memory: Theoretical Foundations of the Concept, Current State and Prospects for Development), *Pochvovedenie*, 2019, No. 3, pp. 259–275, DOI: [10.1134/S0032180X19030110](https://doi.org/10.1134/S0032180X19030110).
26. Tupakhina O., Tupakhin D., Kolesnikov R., Plekhanova L., *Kompleksnye interdistsiplinarnye issledovaniya mnogoslainogo poseleniya Yamgort I v Zapadnosibirskom Pripolyar'e* (Comprehensive interdisciplinary studies of the Yamgort I multilayer settlement in the West Siberian Littoral), *Rossiiskaya arkhologiya*, 2022, No. 2, pp. 47–59.
27. Fedorova N.V., Gusev A.V., Podosenova Y.A., Korochkova O.N., *Gornoknyazevskii klad: Prilozhenie k sborniku "Arkhologiya Arktiki"* (Gornoknyazev Treasure: Supplement to "Archaeology of the Arctic"), 2016.
28. Fedorova N.V., *Istoriya arkheologicheskogo izucheniya Yamal'skoi Arktiki v XX–XXI vv.* (History of the archaeological study of the Yamal Arctic in the XX–XXI centuries), *Ural'skii istoricheskii vestnik*, 2016, No. 4, pp. 44–52.
29. Fedorova N.V., *Kostyanaya antropomorfnyaya skul'ptura so svyatilishcha Ust'-Polui* (Bone anthropomorphic sculpture from the Ust'-Polui sanctuary), *Arkhologiya, etnografiya i antropologiya Evrazii*, 2011, No. 1, pp. 77–81.
30. Fedorova N.V., *Sprava ot solntsa, sleva ot mesyatsa: blyakhi s sokol'nichim* (Predural'e i Zapadnaya Sibir', epokha srednevekov'ya) (To the right of the sun, to the left of the month: plaques with a falconer (Pre-Urals and Western Siberia, medieval period)), *Arkhologiya Arktiki*, 2014, pp. 162–174.
31. Fittskh'y V.V., *V poiskakh Graalya: tsirkumpolyarnaya teoriya i realii yamal'skoi arkheologii* (In Search of the Grail: Circumpolar Theory and Realities of Yamal Archaeology), *Drevnosti Yamala*, 2000, pp. 25–53.

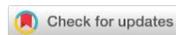
32. Khokhlova O.S., Morgunova N.L., Khokhlov A.A., Golieva A.A., *Izmeneniya klimata i rastitel'nosti za poslednie 7000 let v stepnom Predural'e* (Climate and vegetation changes over the past 7000 years in the Cis-Ural steppe), *Pochvovedenie*, 2018, No. 5, pp. 538–550, DOI: [10.7868/S0032180X18050039](https://doi.org/10.7868/S0032180X18050039).
33. Shestakov I.E., Shutova E.A., *Pochvennyi pokrov nekotorykh arkhologicheskikh pamyatnikov Permskogo raiona: ego znachenie i svoystva* (Soil cover of some archaeological monuments of Perm district: its significance and properties), *Antropogennaya transformatsiya prirodnoi sredy*, 2018, No. 4, pp. 119–123.
34. Yakimenko V.N., *Formy kaliya v pochve i metody ikh opredeleniya* (Potassium forms in soil and methods of determination), *Pochvy i okruzhayushchaya sreda*, 2018, Vol. 1, No. 1, pp. 25–31, DOI: [10.31251/pos.v1i1.5](https://doi.org/10.31251/pos.v1i1.5).
35. Abakumov E., Morgun E., Pechkin A., Polyakov V., *Abandoned agricultural soils from the central part of the Yamal region of Russia: Morphology, diversity, and chemical properties*, *Open Agriculture*, 2020, Vol. 5, No. 1, pp. 94–106.
36. Alekseev I., Kostecki J., Abakumov E., *Vertical electrical resistivity sounding (VERS) of tundra and forest tundra soils of Yamal region*, *International Agrophysics*, 2017, Vol. 31, pp. 1–8, DOI: [10.1515/intag-2016-0037](https://doi.org/10.1515/intag-2016-0037).
37. Alekseev I., Abakumov E., *Permafrost-affected former agricultural soils of the Salekhard city (Central part of Yamal region)*, *Czech Polar Reports*, 2018, Vol. 8, No. 1, pp. 119–131, DOI: [10.5817/CPR2018-1-9](https://doi.org/10.5817/CPR2018-1-9).
38. Alekseev I.I., Dinkelaker N.V., Oripova A.A., Semyina G.A., Morozov A.A., Abakumov E.V., *Assessment of ecotoxicological state of soils of the Polar Ural and southern Yamal*, *Gigiena i Sanitariya*, 2017, Vol. 10, pp. 941–945.
39. Fan T.T., Wang Y.J., Li C.B., Zhou D.M., Friedman S.P., *Effects of soil organic matter on sorption of metal ions on soil clay particles*, *Soil Science Society of America Journal*, 2015, Vol. 79 (3), pp. 794–802, DOI: [10.2136/sssaj2014.06.0245](https://doi.org/10.2136/sssaj2014.06.0245).
40. FAO, *Standard operating procedure for soil organic carbon: Tyurin spectrophotometric method*. Rome, 2021.
41. FAO, *Standard operating procedure for soil pH determination*. Rome, 2021.
42. GOST 54650-2011, *Soils. Determination of mobile phosphorus and potassium compounds by Kirsanov method modified by CINAQ*, Moscow, Standardinform, 2019.

43. Holliday V.T., Gartner W.G., Methods of soil P analysis in archaeology, *J. Archaeol. Sci.*, 2007, Vol. 34, pp. 301–333, DOI: [10.1016/j.jas.2006.05.004](https://doi.org/10.1016/j.jas.2006.05.004).
44. ISO 14255:1998, Soil quality. Determination of nitrate nitrogen, ammonium nitrogen and total soluble nitrogen in air-dry soils using calcium chloride solution as extractant, Geneva, 1998.
45. IUSS Working Group WRB, World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome, 2015.
46. Ji X., Abakumov E., Antcibor I., Tomashunas V., Knoblauch C., Zubzycki S., Pfeiffer E.M., Influence of anthropogenic activities on metals in arctic permafrost: a characterization of benchmark soils on the Yamal and Gydan peninsulas in Russia, *Archives of environmental contamination and toxicology*, 2019, Vol. 76 (4), pp. 540–553, DOI: [10.1007/s00244-019-00607-y](https://doi.org/10.1007/s00244-019-00607-y).
47. Kowalska J.B., Mazurek R., Gašiorek M., Zaleski T., Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination – A review, *Environ. Geochem. Health.*, 2018, Vol. 40., pp. 2395–2420, DOI: [10.1007/s10653-018-0106-z](https://doi.org/10.1007/s10653-018-0106-z).
48. Zhou M., Wang J., Cai L., Fan Y., Zheng Z., Laboratory Investigations on Factors Affecting Soil Electrical Resistivity and the Measurement, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2015, Vol. 51 (6), pp. 5358–5365, DOI: [10.1109/TIA.2015.2465931](https://doi.org/10.1109/TIA.2015.2465931).
49. Makeev A., Rusakov A., Kurbanova F., Khokhlova O., Kust P., Lebedeva M., Malinovskiy E., Egle M., Denisova E., Aseyeva E., Rusakova E., Mihailov E., Soils archaeological monuments of the bronze age – a key to the Holocene landscape dynamics in the broadleaf forest area of the Russian Plain, *Quaternary international*, 2020, pp. 1–15, DOI: [10.1016/j.quaint.2020.09.015](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.09.015).
50. Moskovchenko D., Shamilishvily G., Abakumov E., Soil Biogeochemical Features of Nadym-Purovskiy Province (Western Siberia), Russia, *Ecologia Balkanica*, 2019, Vol. 11, 2.
51. Nizamutdinov T., Abakumov E., Morgun E., Morphological features, productivity and pollution state of abandoned agricultural soils in the Russian Arctic (Yamal Region), *One Ecosystem*, 2021, No. 6, e68408, DOI: [10.3897/oneeco.6.e68408](https://doi.org/10.3897/oneeco.6.e68408).
52. Nizamutdinov T., Abakumov E., Morgun E., Loktev R., Kolesnikov R., Agrochemical and Pollution Status of Urbanized Agricultural Soils in the Central Part of Yamal Region, *Energies*, 2021, Vol. 14, 4080, DOI: [10.3390/en14144080](https://doi.org/10.3390/en14144080).
53. Nowrouzi M., Pourkhabbaz A., Application of geoaccumulation index and enrichment factor for assessing metal contamination in the sediments of Hara

- Biosphere Reserve, Iran, *Chemical Speciation & Bioavailability*, 2014, Vol. 26 (2), pp. 99–105, DOI: [10.3184/095422914X13951584546986](https://doi.org/10.3184/095422914X13951584546986).
54. Peel M.C., Finlayson B.L., McMahon T.A., Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 2007, Vol. 11, pp. 1633–1644, DOI: [10.5194/hess-11-1633-2007](https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007).
55. Strawn D.G., Sparks D.L., Effects of soil organic matter on the kinetics and mechanisms of Pb (II) sorption and desorption in soil, *Soil Science Society of America Journal*, 2000, Vol. 64 (1), pp. 144–156, DOI: [10.2136/sssaj2000.641144x](https://doi.org/10.2136/sssaj2000.641144x).
56. Suleymanov R.R., Ovsyannikov V.V., Kolonskih A.G., Abakumov E.V., Kungurtsev A.Y., Suleymanov A.R., Soil-archaeological study of the Votikeevo medieval archeological site in the northern forest-steppe zone of the southern Cis-Ural region, *Eurasian Soil Science*, 2020, Vol. 53 (3), pp. 283–293, DOI: [10.1134/S1064229320030084](https://doi.org/10.1134/S1064229320030084).
57. Sullivan K.A., Kealhofer L. Identifying activity areas in archaeological soils from a colonial Virginia house lot using phytolith analysis and soil chemistry, *J. Archaeol. Sci.*, 2004, Vol. 31, pp. 1659–1673, DOI: [10.1016/j.jas.2004.04.007](https://doi.org/10.1016/j.jas.2004.04.007).
58. Tomashunos V.M., Abakumov E.V., The content of heavy metals in soils of the Yamal peninsula and the Bely Island, *Gigiena i sanitaria*, 2014, Vol. 93 (6), pp. 26–31.
59. U.S. EPA., Method 3050B: Acid digestion of sediments, sludges, and soils, Revision 2, Washington, DC, 1996.
60. Varol M., Assessment of heavy metal contamination in sediments of the Tigris River (Turkey) using pollution indices and multivariate statistical techniques, *Journal of Hazardous Materials*, 2011, Vol. 195, pp. 355–364, DOI: [10.1016/j.jhazmat.2011.08.051](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.08.051).

УДК 632.111.7:632*232.33

DOI: 10.19047/0136-1694-2023-114-109-134



Ссылки для цитирования:

Гордиенко О.А., Балкушкин Р.Н. Пространственная неоднородность свойств почв рекреационных территорий г. Волгограда // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2023. Вып. 114. С. 109-134. DOI: 10.19047/0136-1694-2023-114-109-134

Cite this article as:

Gordienko O.A., Balkushkin R.N., Spatial heterogeneity of soil properties of recreational areas of Volgograd, Dokuchaev Soil Bulletin, 2023, V. 114, pp. 109-134, DOI: 10.19047/0136-1694-2023-114-109-134

Благодарность:

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН № FNFE-2022-0012.

Acknowledgments:

The studies were carried out within the framework of State assignment of Federal Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration, and Protective Afforestation, Russian Academy of Sciences, No. FNFE-2022-0012.

Пространственная неоднородность свойств почв рекреационных территорий г. Волгограда

© 2023 г. О. А. Гордиенко*, Р. Н. Балкушкин

*ФГБНУ Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН (ФНЦ агроэкологии РАН), Россия, 400062, Волгоград, пр-т Университетский, д. 97, *<https://orcid.org/0000-0001-5381-9114>, e-mail: oleg.gordienko.95@bk.ru.*

Поступила в редакцию 01.01.2023, после доработки 01.02.2023, принята к публикации 22.03.2023

Резюме: Построены почвенные карты и карты пространственной изменчивости свойств (распределение pH, общее солесодержание, содержание органического углерода, карбонатов кальция, плотность) почв некоторых зеленых рекреационных зон Волгограда. В исследуемых рекреационных территориях среди антропогенных почв выделяются

различные урбостратоземы (Urbic Technosols (Transportic)), экраноземы (Ekranic Technosols (Transportic)), а также квазиземы (Phaeozems (Tehnic)), среди агрогенных – агроземы аккумулятивно-карбонатные (Cambisols (Aric, Protocalcic)). Естественные почвы представлены светлые и темногумусовыми почвами, каштановыми, солонцами, а также стратоземами и псаммоземами. По данным изохронного картографирования установлено, что кислотнo-щелочные свойства почв зеленых зон варьируют от слабощелочных до щелочных в зависимости от почвенного горизонта и антропогенной нагрузки. При картографировании не выявлено засоления верхних 0–30 см. Значения органического углерода сильно варьируют (1–10%) и обусловлены наличием или отсутствием мелиоративных насыпных горизонтов, а также характером использования территории. Содержание карбонатов кальция в верхних 30 см невелико и варьирует от 0.7 до 5%. Установлено, что плотность напрямую зависит от уровня антропогенной нагрузки, увеличиваясь в тропиновых сетях и на газонах. Пространственная оценка свойств городских почв имеет важное значение для выявления зон с превышением или, наоборот, с низким значением тех или иных химических и физических показателей при планировании работ по озеленению и благоустройству городской территории.

Ключевые слова: картографирование почв, Technosols, урбостратоземы, квазиземы, крингинг.

Spatial heterogeneity of soil properties of recreational areas of Volgograd

© 2023 O. A. Gordienko*, R. N. Balkushkin

*Federal Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration, and Protective Afforestation, Russian Academy of Sciences,
97 Prospect Universitetsky, Volgograd 400062, Russian Federation.*

**<https://orcid.org/0000-0001-5381-9114>,*

e-mail: oleg.gordienko.95@bk.ru.

Received 01.01.2023, Revised 01.02.2023, Accepted 22.03.2023

Abstract: The article presents the developed soil maps and maps of spatial variability of soil properties (pH, total salt and carbonate content, organic carbon, density) in some recreational areas of Volgograd. The anthropogenic soils in the studied recreational areas include various urbostratozems (Urbic Technosols (Transportic)), Ekranic Technosols (Transportic), as well as quasi-

zems (Phaeozems (Tehnic)), among the agrogenic ones – accumulation-carbonate agrozems (Cambisols (Aric, Protocalcic). Natural soils are represented by light and dark humus soils, chestnut soils, solonetz, as well as stratozems and psammozems. According to the data of isolinear mapping, it was found that acid-alkaline properties of soils of green zones vary from slightly alkaline to alkaline depending on the soil horizon and anthropogenic load. The mapping did not reveal salinization of the upper 0–30 cm layer. Values of organic carbon vary greatly (1–10%) and are conditioned by the presence or absence of meliorative artificial layers, as well as by the character of territory use. The content of calcium carbonates in the upper 30 cm is small and varies from 0.7 to 5%. It is established that the physical properties (density) directly depend on the level of anthropogenic load, increasing in footpaths and lawns. Spatial assessment of the properties of urban soils is important for identifying areas with an excess or on the contrary – low content of certain chemical and physical indicators for the planning of landscaping and gardening of urban areas.

Keywords: mapping, Technosols, urbostratozems, quasizems, kriging.

ВВЕДЕНИЕ

Городские почвы характеризуются вертикальной и пространственной неоднородностью. Уровень антропогенного воздействия в городах варьирует от “очень высокого” в промышленных и жилых районах до “очень низкого” в рекреационных ([Околелова и др., 2021](#)).

В Волгограде и в других городах России и мира картографирование свойств антропогенных почв носит несистемный характер и ограничивается определенной областью исследования, например, содержанием тяжелых металлов (ТМ), как в случае с городами Орск ([Саблина, Турлибекова, 2013](#)), Надым ([Попов и др., 2016](#)), Казань ([Тагиров, Александрова, 2018](#)), Синьцзян ([Wang et al., 2016](#)), Брно ([Hladky et al., 2019](#)), Волгоград ([Околелова и др., 2021](#); [Tikhonova et al., 2020](#)), Москва ([Власов и др., 2017](#); [Касимов и др., 2016](#)). Картографирование свойств почв в различных функциональных зонах (селитебных, рекреационных и др.) апробировано в Пекине ([Mao et al., 2014](#); [Zhao et al., 2013](#)), Ростове ([Безуглова и др., 2018](#)), Гонконге ([Jim, 1998](#)), Фениксе ([Davies, Hall, 2010](#)), Балтиморе ([Pouyat et al., 2008](#); [Pouyat et al., 2007](#)). Широко распространено мнение, что различия в хозяйственной дея-

тельности человека способствуют различиям почвенных свойств ([Davies, Hall, 2010](#); [Pouyat et al., 2007](#)). Например, почвы в транспортных, промышленных и жилых районах, как правило, характеризуются более высокой реакцией среды и плотностью ([Чупина, 2020](#); [Pouyat et al., 2007](#); [Yang et al., 2014](#); [Zhao et al., 2013](#)). Почвы в парковых зонах ([Charzynski et al., 2018](#); [Zhao et al., 2013](#); [Zhu et al., 2006](#)) характеризуются более высоким содержанием органического углерода, в то время как почвы промышленных и транспортных зон часто загрязнены тяжелыми металлами ([Hamzeh et al., 2011](#); [Jenerette et al., 2006](#); [Lu, Bai, 2010](#)).

Точная и подробная пространственная информация о свойствах городских почв необходима для мониторинга, моделирования и точного управления этими почвами. Пространственная почвенная информация может помочь в реализации управленческих решений для поддержания и улучшения состояния плодородия почв, а также в повышении эффективности городского озеленения в степных и сухостепных зонах.

Целью работы являлось картографирование пространственной неоднородности почвенного покрова и его химических и физических свойств в рекреационных зонах г. Волгограда.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Волгоград – один из крупнейших (826 км²) промышленных городов Российской Федерации. Город имеет разнообразные функциональные зоны, включая селитебную, транспортную, дачную, сельскохозяйственную, рекреационную, специальную (кладбища, спортивные сооружения), промышленную, а также зону индивидуальной жилой застройки. Согласно генеральному плану г. Волгограда, рекреационный фонд составляет 310 км², или 37.5% от всей площади города, однако из них на с/х территории приходится 174 км². В состав этой зоны входят также и земли сельскохозяйственного назначения, что, по нашему мнению, ошибочно, поскольку они напрямую не предназначены для выполнения рекреационных функций. Площадь же озелененных рекреационных территорий в пределах города составляет всего 3 км² (0.97% от площади всей зоны и 0.4% от всего города). С учетом низкой обеспеченности древесно-кустарниковыми насаждениями в горо-

дах сухостепной зоны ([Ivantsova et al., 2019](#); [Kulik et al., 2022](#)) вопросы, связанные с изучением почв рекреационных территорий, приобретают особое значение.

Объектом исследования являются почвы трех различных рекреационных территорий: сквер им. Саши Филиппова (Ворошиловский район), парк “Дружба” (Кировский район), а также дендрарий “ВНИАЛМИ” (Советский район).

Выбранные участки отличаются разной степенью антропогенных изменений и нагрузки. Так, сквер им. Саши Филиппова в настоящее время является популярным рекреационным объектом. Парк “Дружба” за последние 30 лет потерял свою востребованность и в настоящее время не используется. Дендрарий “ВНИАЛМИ” до 2006 г. имел статус памятника природы регионального значения. На сегодняшний день осуществляет роль научного кластера ФНЦ агроэкологии РАН. Территория участков по геоморфологическим условиям относится к первой террасе правобережной части долины р. Волга ([Gordienko et al., 2022](#)).

Полевые исследования проводили в июне–июле 2022 г. В ходе работ на территории опытных объектов было заложено 20 разрезов (для составления почвенных карт), а также 50 прикопок, из которых были отобраны образцы на глубину 0–30 см через каждые 10 см для составления объединенной пробы (150 образцов). Отбор образцов проводился по регулярной сетке, которая покрывает всю территорию и затрагивает все внутренние функциональные зоны каждого из участков исследования: сквер им. Саши Филиппова – 9 точек, дендрарий “ВНИАЛМИ” – 17, парк “Дружба” – 24 ([Сизов, 2009](#)). Кригинг как геостатистический метод сеточной интерполяции является наиболее оптимальным для решения поставленных задач. Алгоритм учитывает интервалы между данными и присущую им достоверность для корректировки весов интерполяции, что позволяет наиболее точно описать изучаемые явления и свойства природных объектов ([Minasny, McBratney, 2016](#)).

Во всех почвенных образцах были определены кислотно-щелочные свойства, общее солесодержание, содержание ограниченного углерода, CaCO₃. Все эти анализы были выполнены с использованием руководства по химическому анализу почв ([Аринушкина, 1970](#); [van Reeuwijk, 2022](#)). Отдельно определялась

плотность почв методом режущего кольца ([Шеин, 2005](#)). Составление картосхем выполнялось с применением программ QGIS и Surfer. Идентификация почвенных типов и подтипов производилась на основе полевого определителя почв России 2008 г., международной классификацией WRB-2022, антропогенные почвы – по авторской классификации группы российских авторов ([Полевой определитель почв России, 2008](#); [Прокофьева и др., 2014](#); [IUSS, 2022](#)).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Неоднородность почвенного покрова исследуемых территорий. В ходе картографирования неоднородности почвенного покрова сквера им. Саши Филиппова были установлены следующие комбинации (рис. 1, табл. 1).

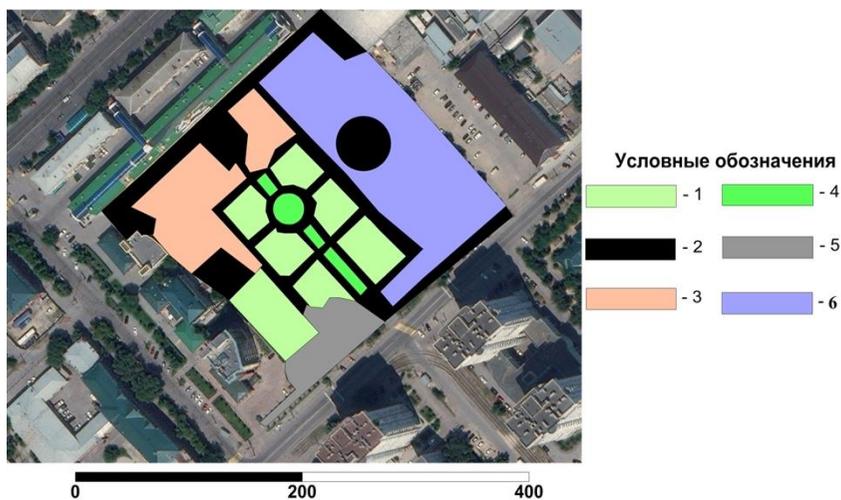


Рис. 1. Картосхема почвенного покрова сквера им. Саши Филиппова.
Fig. 1. Schematic map of the soil cover in Sasha Filippov Square.

В восточной рекреационно наиболее освоенной части сквера распространение получили урбостратоземы техногенные с погребенными глинисто-иллювирированными почвами. Непочвенные

образования – экраноземы – приурочены к пешеходным дорожкам, а также выделяются под постройками. Северная и северо-западная части сквера, в которых полив не производится, и травянистая и газонная растительность почти отсутствует, описаны урбостратоземы типичные с сохранившимися аккумулятивно-карбонатными горизонтами. Центральная и юго-западная часть сквера с систематическим поливом характеризуется наличием реплантоземов, а также урбостратоземов компостно-гумусовых. Для этих почв и техногенных поверхностных образований (ТПО) характерно наличие реплантированных горизонтов URrat и RAT. Южная часть сквера характеризуется наличием очень мощных (до 2 м) типичных урбостратоземов. Такой состав почвенного покрова обусловлен тем, что ранее на этом месте располагался купеческий дом, а затем в советское время рынок.

Таблица 1. Почвенный покров сквера им. Саши Филиппова
Table 1. Soil cover of Sasha Filippov Square

№ в легенде	Почвенные типы и подтипы	Площадь, га
1	Урбостратоземы компостно-гумусовые на погребенных каштановых и глинисто-иллювирированных почвах (Urbic Technosols (Loamic, Mollic))	0.32
2	Экраноземы (Ekranic Technosols (Eutric, Loamic, Transportic))	0.37
3	Урбостратоземы типичные на погребенных аккумулятивно-карбонатных почвах (Urbic Technosols (Loamic, Calcic))	0.33
4	Реплантоземы глееватые на погребенных глинисто-иллювиальных почвах (Cambic Gleyic Phaeozems (Bathycalcic, Loamic))	0.05
5	Урбостратоземы типичные Urbic Technosols (Arenic, Calcic, Hyperartefactic)	0.31
6	Урбостратозем техногенные на погребенных глинисто-иллювирированных почвах (Urbic Technosols (Loamic, Mollic))	0.8

Дендрарий “ВНИАЛМИ”. Почвенный покров дендрария, несмотря на бывший статус ООПТ, существенным образом трансформирован (рис. 2, табл. 2).



Рис. 2. Картосхема почвенного покрова дендрария “ВНИАЛМИ”.
Fig. 2. Schematic map of the soil cover in VNIALMI arboretum.

Поскольку ранее данная территория была густо изрезана мелкими балками и оврагами, были проведены различные сельскохозяйственные обработки, а именно выравнивание рельефа территории, засыпка балок и оврагов, а также глубокая плантажная вспашка для посадки древесных и кустарниковых насаждений. Также в ходе заложения и монтажа оросительных систем периферийные части дендропарка были сильно трансформированы. В настоящее время почвенный покров периферийных зон представ-

лен типичными и техногенными урбостратоземами. На южной границе дендропарка распространение получили псаммоземы техногенные, а также стратоземы светлогумусовые урбистратифицированные. Урбистратифицированный подтип выделен на основании наличия в светлогумусовом стратифицированном горизонте (RJ) маломощного (5 см) признака *ur* с включениями бытового и строительного мусора. Морфологический профиль псаммозема техногенного характеризуется наличием сверху (50 см) техногенного материала, привнесенного в результате отсыпки с близлежащих территорий. Большая часть дендропарка представлена бывшими каштановыми почвами. В результате сельскохозяйственных обработок они трансформировались в агроземы аккумулятивно-карбонатные глинисто-иллювирированные турбированные. В северной части дендрария на небольшой территории фиксируются неизменные или слабоизмененные каштановые типичные почвы.

Таблица 2. Почвенный покров дендрария “ВНИАЛМИ”
Table 2. Soil cover of the “VNIALMI” arboretum

№ в легенде	Почвенные типы и подтипы	Площадь, га
1	Агроземы аккумулятивно-карбонатные глинисто-иллювирированные турбированные (Eutric Endogleyic Cambisols (Loamic, Aric, Protocalcic))	15.1
2	Урбостратоземы типичные / техногенные (Urbic Technosols (Loamic, Calcaric, Hyperartefactic, Transportic))	2.6
3	Псаммоземы техногенные (Eutric Calcaric Gleyic Arenosols (Raptic, Prototechnic, Transportic)) / Стратоземы светлогумусовые урбистратифицированные (Calcaric Colluvic Regosols (Arenic, Prototechnic))	0.9
4	Каштановые типичные (Calcic Kastanozems (Loamic))	3

Парк “Дружба”. Ранее было установлено, что почвенный покров несет на себе отпечаток структуры и характера землеполь-

зования и представляет собой разнообразие комбинаций природных и антропогенных почв ([Gordienko et al., 2022](#)). Парк, ранее активно использовавшийся местными жителями, представляет собой территорию, где сочетаются почвы с измененными и неизменными профилями (рис. 3, табл. 3).

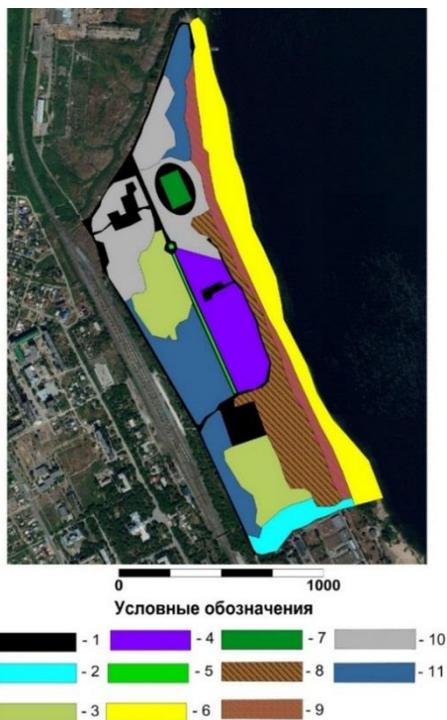


Рис. 3. Картограмма почвенного покрова парка “Дружба”.
Fig. 3. Schematic map of the soil cover in Druzhba Park.

Под дорожно-тропиночной сетью вскрыты различные антропогенные почвы и ТПО, такие как экраноземы, в которых часто обнаруживаются погребенные гумусовые горизонты светло- и темногомусовых почв. Междорожные (аллейные) зоны представлены реплантоземами.

Таблица 3. Почвенный покров парка “Дружба”
Table 3. Soil cover of Druzhba Park

№ в легенде	Почвенные типы и подтипы	Площадь, га
1	Экраноземы (Ekranic Technosols (Arenic, Transportic))	5.3
2	Светлогумусовая техногенная на погребенной светлогумусовой почве (Colluvic Regosols Prototechnic, Transportic over Eutric Arenosols)	1.75
3	Квазиглеевая урбистратифицированная (Stagnic Someric Phaeozems (Loamic, Technic))	6.9
4	Урбиквазиземы и урбостратоземы техногенные (Urbic Technosols Transportic)	5.5
5	Квазизем техногенный на погребенной квазиглееватой глинисто-иллювирированной почве (Someric Phaeozems (Loamic, Prototechnic, Raptic, Transportic))	0.35
6	Аллювиальные светлогумусовые почвы (Calcaric Fluvisols (Arenic))	7
7	Урбиквазиземы техногенные на погребенной темногумусовой квазиглееватой слитизированной почве (Urbic Technosols (Calcaric, Raptic over Vertic Stagnic Phaeozems (Loamic))	0.7
8	Каштановая урбистратифицированная солонцеватая Eutric Cambisols (Loamic, Protocalcic, Sodic, Technic))	9.6
9	Солонцы светлые типичные (Protocalcic Solonetz Columnic, Cutanic))	4.5
10	Урбостратозем техногенный пирогенный на погребенной темногумусовой квазиглееватой слитизированной почве (Urbic Technosols (Calcaric, Raptic, Pyric, Transportic over Vertic Stagnic Phaeozems (Loamic))	6.5
11	Темногумусовая квазиглееватая слитизированная урбистратифицированная (Vertic Stagnic Phaeozems (Loamic, Prototechnic))	6.9

В южной части парка, по данным прошлых космических снимков, отмечено большое количество оврагов, при засыпке ко-

торых сформировались светлогумусовые техногенные почвы с погребенными светлогумусовыми почвами. Рельеф северо- и юго-западной части парка характеризуется как выровненный, что свидетельствует о целенаправленной срезке верхних почвенных горизонтов в результате планировки местности. На таких участках вскрыты профили квазиглеевых урбистратифицированных почв (ur-Qca), лишенных природных гумусовых горизонтов. Под древесной растительностью выделены темногумусовые квазиглееватые слитизированные урбистратифицированные (признак ur) почвы. Центральная и северная части парка, ввиду наличия в прошлом объектов строительства, а также максимального сосредоточения рекреационно-развлекательных объектов, наиболее трансформированы. Здесь сформировались различные урбиквазиземы и урбостратоземы техногенные, а также урбостратоземы техногенные пирогенные, поскольку последние 10 лет на территории 8.3 га (15% от всей площади парка) происходят частые летние пожары. Восточная обрывистая часть парка представлена естественными аллювиальными светлогумусовыми почвами. На территории парка находятся 2 футбольных поля. Первое было специальным образом сконструировано. В нем сформировались урбиквазиземы техногенные с погребенными темногумусовыми квазиглееватыми слитизированными почвами. Для второго поля отмечены отсутствие естественного гумусового горизонта и его замена на рекультивационный слой (RAT), который без ухода и полива трансформировался в горизонт UR. Под ним сохранился диагностический горизонт каштановых почв ВМКsn. Между каштановыми и аллювиальными почвами тонкой вертикальной полосой на карте выделены солонцы светлые. Для них характерно локальное замусоривание поверхностных горизонтов SEL.

Картографирование свойств почв, исследуемых территории. Химические, физические свойства почв сквера им. Саши Филиппова отличаются пестротой (рис. 4). Кисотно-щелочные свойства верхних 30 см варьируют от 7.55 до 8.15 единиц pH. Наиболее щелочные значения выявлены для южной и восточной части сквера, это обусловлено прежде всего повышенной антропогенной нагрузкой, а также отсутствием травянистой и древесной

растительности. Северная и северо-западная части сквера имеют слабощелочную реакцию за счет опада хвойных насаждений, которые способствуют подкислению почвы. Центральные (поливные) части сквера имеют pH от 7.75 до 7.95, что может быть вызвано химическим составом приносимых мелиоративных подсыпок (новых горизонтов RAT), поскольку нижележащие горизонты имеют более низкую реакцию среды.

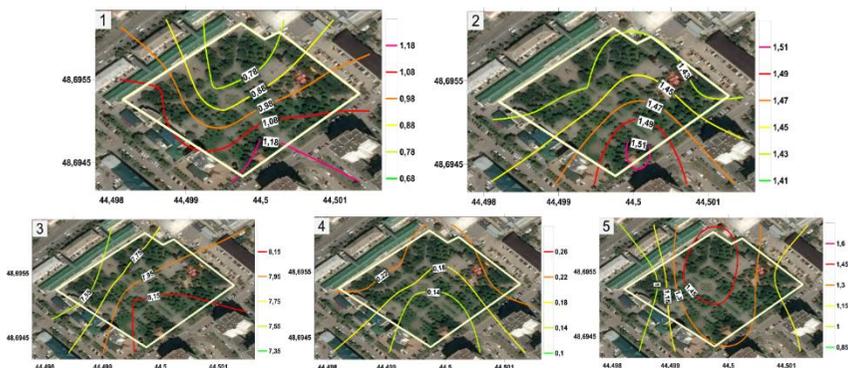


Рис. 4. Картографирование химических и физических свойств сквера им. Саша Филиппова. 1 – CaCO_3 , %; 2 – плотность почв, г/см^3 ; 3 – $\text{pH}_{(\text{водный})}$; 4 – общее солесодержание, %; 5 – $\text{C}_{\text{орг}}$, %.

Fig. 4. Mapping of chemical and physical properties in Sasha Filippov Square. 1 – CaCO_3 , %; 2 – soil density, g/cm^3 ; 3 – pH; 4 – salt content, %; 5 – organic carbon, %.

В целом все поверхностные горизонты и слои имеют низкие значения содержания солей. Максимальные значения зафиксированы в урбостратоземах типичных и техногенных, в которых отмечаются погребенные карбонатные горизонты бывших каштановых почв. В результате подтягивания почвенных растворов происходит незначительное увеличение общего солесодержания до 0.2%. Для остальных почвенных типов значения варьируют от 0.14 до 0.18%. В поливных зонах увеличение солесодержания может быть вызвано качеством воды, используемой для полива. Наиболее высокие (до 1.6%) значения углерода отмечены в верхних 0–30 см слоя RAT квазиземов. Далее при удалении от розари-

ев постепенно происходит уменьшение углерода, достигая минимальных значений на периферии сквера. В целом можно выстроить ряд почвенных типов и групп ТПО по уменьшению в них органического углерода: квазиземы → урбостратоземы компостно-гумусовые → урбостратоземы техногенные → урбостратоземы типичные. Содержание карбонатов кальция в верхних 30 см для всех почвенных типов и групп ТПО невелико и варьирует от 0.7 до 1.2%. Наибольшие значения CaCO_3 отмечаются в урбостратоземах с сохранившимися карбонатными горизонтами, верхние части которых при организации сквера могли быть нарушены и вовлечены (перемешаны) в урбиковые горизонты.

Величины плотности характеризуют почвы как сильно уплотненные. Ее значения в верхних 0–30 см варьируют от 1.4 до 1.5 г/см³. Наиболее уплотненными оказались горизонты URrat и RAT центральных и западных (поливных / газонных) частей. Это обусловлено высокой рекреационной нагрузкой на них, а также, возможно, собственной высокой плотностью дернины. Южная часть сквера также уплотнена ввиду того, что, как было отмечено ранее, на ней были постройки. Те части сквера, на которых отсутствует газон, не пользуются популярностью среди посетителей, и антропогенное воздействие на них почти отсутствует.

Верхние 0–30 см почв дендрария “ВНИАЛМИ” представлены следующими горизонтами: AJ, P, а также UR. Химические, физические свойства почв дендрария, в отличие от сквера им. Саши Филиппова, более однородны (рис. 5). Реакция среды верхних 0–30 см во всех горизонтах слабощелочная от 7.8 до 8.4. Наибольшие значения щелочности отмечены в горизонтах UR периферийных зон за счет включения в них антропогенных карбонатсодержащих артефактов (обломки кирпича, щебень, строительный мусор). Для естественных и агрогенных горизонтов каштановых почв и агроземов в целом реакция среды мало отличается и составляет 8.1 и 8.3 соответственно. Наименьшие значения выявлены для псаммоземов и стратоземов – 7.8, это обусловлено их расположением в понижениях рельефа (балки и микропонижения), за счет чего они получают наибольшее увлажнение и выщелачивание солей и карбонатов. Общее солесодержание в урбиковых горизон-

тах составляет 0.18%, в агрогоризонтах – 0.13–0.16%, светлогумусовых – до 0.12%.

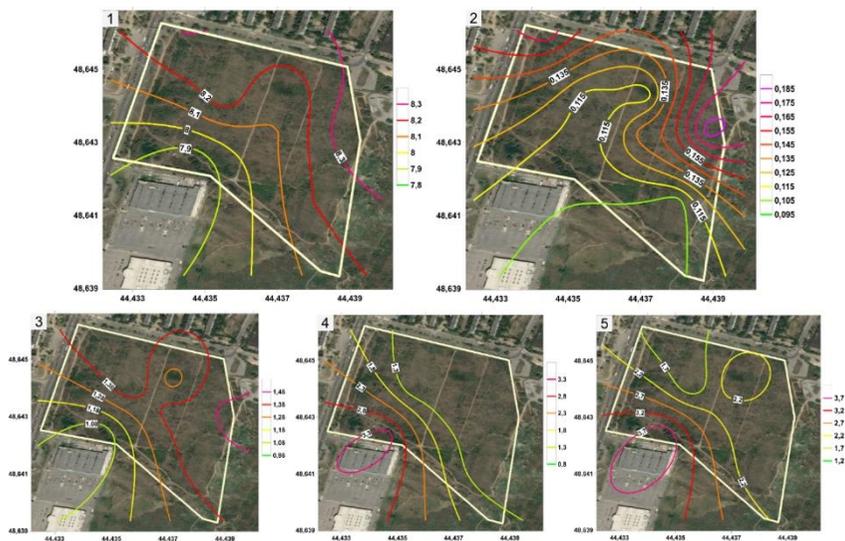


Рис. 5. Картографирование химических и физических свойств дендрария “ВНИАЛМИ”. 1 – CaCO_3 , %; 2 – плотность почв, г/см^3 ; 3 – $\text{pH}_{(\text{водный})}$; 4 – общее солесодержание, %; 5 – $\text{C}_{\text{орг}}$, %.

Fig. 5. Mapping of chemical and physical properties of VNIALMI arboretum. 1 – CaCO_3 , %; 2 – soil density, g/cm^3 ; 3 – pH ; 4 – salt content, %; 5 – organic carbon, %.

В протогумусовых горизонтах (W) балок общее солесодержание не превышает 0.09%. Что касается содержания органического углерода, то на основе составленной картосхемы выявлено, что светлогумусовые и агрогумусовые горизонты имеют небольшие значения $\text{C}_{\text{орг}}$ – от 0.8 до 1.3%. Наибольшие значения фиксируются в гумусовых горизонтах почв балок (до 3.5%), а также в уриковых горизонтах (1.8–2.8%). Это обусловлено тем, что при техногенном воздействии на почвы, а именно при загрязнении битумно-асфальтовыми смесями, битуминозными веществами, са-

жей, нефтепродуктами, органическими взвешенными частицами, наблюдается увеличение содержания органического углерода ([Касимов и др., 2016](#)). Содержание карбонатов кальция в верхних 30 см также невелико и достигает максимума (4%) в урбиковых горизонтах южной и северной частей дендропарка. Естественные и агрогумусовые горизонты содержат от 1.8 до 2.2% карбонатов. Содержание карбонатов в пахотных и естественных горизонтах отражает зональные условия и соответствует общему содержанию CaCO_3 в естественных светлогумусовых горизонтах сухостепной зоны. Плотность поверхностных горизонтов напрямую зависит от их использования, как в настоящий момент, так и в прошлом. Периферийные зоны дендрария, пользующиеся популярностью у городского населения, изрезаны тропиной сетью, где фиксируются повышенные значения плотности (до 1.5 г/см^3). Южная и центральная часть дендропарка ввиду отсутствия рекреационной нагрузки характеризуется слабым (до 1.2 г/см^3) или почти полным отсутствием уплотнения (1.08 г/см^3). Для агрогоризонтов отмечается плотность от 1.28 до 1.38 г/см^3 , что обусловлено прошлой сельскохозяйственной деятельностью.

Верхние 0–30 см почв парка “Дружба” предоставлены горизонтами UR, RAT, SEL, AJ и AU. Химические, физические свойства почв парка характеризуются сильной пространственной неоднородностью (рис. 6). Величина pH варьирует от 7 до 8.2. Исходя из представленной картосхемы отчетливо выделяются две зоны с наибольшими значениями pH. Слабо- и среднещелочная реакция среды отмечена в северной и южной частях парка. Обусловлено это тем, что в указанных частях парка в настоящее время бывшие парковые сооружения разрушены, и на поверхности почвы в больших количествах содержатся антропогенные карбонатсодержащие включения щебня, кирпича, бетона. Для остальных зон парка реакция среды нейтральная или близкая к слабощелочной (7–7.25). На основе картосхемы выявлены две зоны с повышенными значениями солесодержания – северная и южная. Значения солесодержания в них варьируют от 0.3 до 0.4%. Высокие значения обусловлены тем, что современные урбиковые горизонты, вероятнее всего, образовались в результате трансформации естественных горизонтов, в которых морфологически фиксировались

гипсовые новообразования в виде пятен, вертикальных полос, а также крупных гипсан. Значения общего солесодержания на фоне гипсовых новообразований и включений (известково-гипсовых) могут быть ложно высокими. Для поверхностных горизонтов остальных частей парка характерны небольшие значения солей (до 0.2%). Показатели содержания органического углерода в парке очень высокие, превышающие аналогичные в других изученных рекреационных территориях в несколько раз.

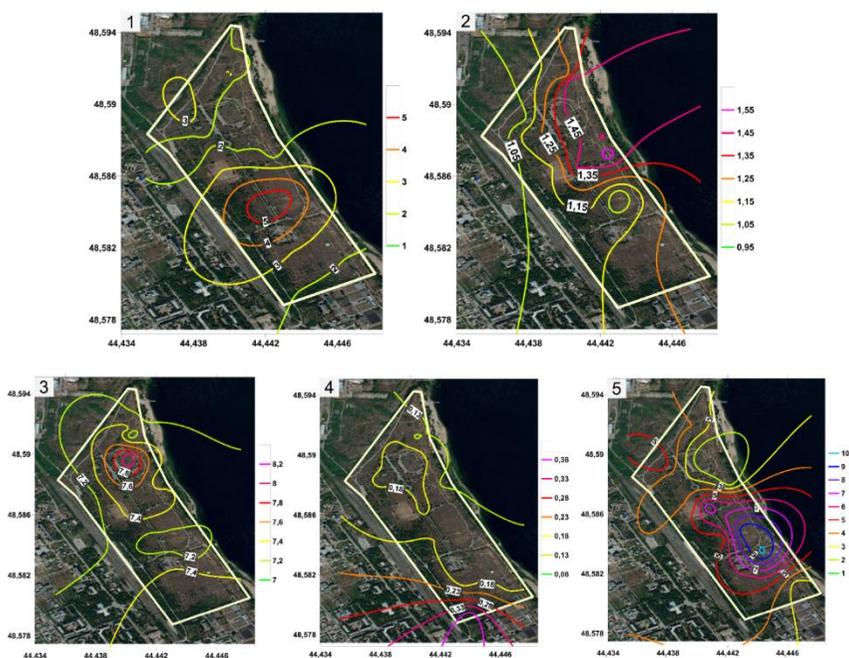


Рис. 6. Картографирование химических и физических свойств парка “Дружба”. Примечание: 1 – CaCO_3 , %; 2 – плотность почв, g/cm^3 ; 3 – $\text{pH}_{(\text{водный})}$; 4 – общее солесодержание, %; 5 – $\text{C}_{\text{орг}}$, %.

Fig. 6. Mapping of chemical and physical properties Druzhba Park. Note: 1 – CaCO_3 , %; 2 – soil density, g/cm^3 ; 3 – $\text{pH}_{(\text{водный})}$; 4 – salt content, %; 5 – organic carbon, %.

В наиболее урбанизированных (северных и южных) частях парка значения содержания углерода минимальны – от 1 до 3%. В юго-восточной части, где встречаются естественные гумусовые горизонты AJ, AU, показатели углерода в среднем от 3 до 5%. В рекультивационных горизонтах RAT квазиземов отмечены значения содержания углерода от 5 до 10%. Содержание карбоната кальция в большинстве поверхностных горизонтов невелико и составляет менее 2%. На местах бывших строительных сооружений, дорог и разрушенных площадок, и стадионов вследствие содержания большого количества антропогенных включений происходит окарбоначивание верхних урбиковых и техногенных горизонтов до 5–6%. Несмотря на существовавшую ранее высокую рекреационную активность, верхние горизонты почв характеризуется слабым уплотнением (до 1.3 г/см³), а местами и отсутствием уплотнения (0.9–1.1 г/см³). Наибольшие значения плотности фиксируются в техногенных горизонтах ТСН под дорогами и зданиями (1.3–1.4 г/см³), а также в урбиковых горизонтах футбольных полей и беговых дорожек. Также повышенные значения плотности могут быть объяснены частыми пожарами, при которых происходит ухудшение структуры и дальнейшее увеличение плотности. Наименьшая плотность отмечена в естественных и квазиестественных (AJur/AUur) горизонтах.

Проводя параллель между исследованиями других авторов в других городах можно сделать вывод, что, во-первых, урбанизация сопровождается привносом строительного щебня, кирпича и других строительных материалов, в результате чего может произойти структурная деградация почв и последующее уплотнение, а также подщелачивание и окарбоначивание городских почв ([Jim, 1998](#)), что делает их менее пригодными для выращивания древесно-кустарниковой и травянистой растительности.

Во-вторых, пространственная неоднородность почвенного покрова в городе является результатом техногенных преобразований и мелиорации (создание озелененных рекреационных территорий), следовательно, их свойства могут быть различны в зависимости от режима использования территории ([Прокофьева, Герасимова, 2018](#)).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При анализе полученных картографических материалов были сделаны следующие основные выводы:

1. Кислотно-щелочные свойства верхних 0–30 см во всех исследуемых рекреационных территориях варьируют от слабощелочных до щелочных (7–8.4 pH).

2. Во всех исследуемых ключевых участках не выявлено высоких показателей общего солесодержания.

3. В целом можно выстроить ряд почвенных типов и групп ТПО по уменьшению в них органического углерода: квазиземы → урбостратоземы компостно-гумусовые → урбостратоземы техногенные → урбостратоземы типичные → техноземы. Естественные горизонты АJ имеют типичные для данной зоны значения содержания углерода. Гумусо-аккумулятивные горизонты АU в парке “Дружба” характеризуются как сильно гумусированные.

4. Содержание карбонатов кальция в мелкоземе верхних 30 см для всех почвенных типов и групп ТПО невелико и варьирует от 0.7 до 5%. Как и с органическим углеродом можно выстроить ряд по увеличению содержания карбоната кальция: техногенные горизонты (ТСН) → урбиковые горизонты (UR) → урбиковые компостно-гумусовые (URrat) → естественные светло- и темногумусовые горизонты (AJ, AU) → рекультивационные горизонты (RAT).

5. Плотность поверхностных горизонтов напрямую зависит от их использования, как в настоящий момент, так и ранее. Периферийные и центральные зоны, пользующиеся популярностью у городского населения, изрезаны тропиночными сетями, в которых фиксируются повышенные значения плотности (до 1.6 г/см³).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу. М: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
2. *Безулова О.С., Тагивердиев С.С., Горбов С.Н.* Физические характеристики городских почв Ростовской агломерации // Почвоведение. 2018. № 9. С. 1153–1159. DOI: [10.1134/S1064229318090028](https://doi.org/10.1134/S1064229318090028).

3. *Власов Д.В., Касимов Н.С., Кошелева Н.Е.* Картографирование ландшафтно-геохимической структуры урбанизированной территории (на примере Москвы) // *ИнтерКарто/ИнтерГИС*. 2017. Т. 23. № 1. С. 242–255. DOI: [10.24057/2414-9179-2017-1-23-242-255](https://doi.org/10.24057/2414-9179-2017-1-23-242-255).
4. *Касимов Н.С., Власов Д.В., Кошелева Н.Е., Никифорова Е.М.* Геохимия ландшафтов Восточной Москвы. М.: АПР, 2016. 276 с.
5. *Околелова А.А., Егорова Г.С., Нефедьева Е.Э.* Почвы урболандшафтов. Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2021. 72 с.
6. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
7. *Попов А.С., Луганский Н.В., Луганский Н.С., Ненашев Н.С.* Состояние и динамика свойств глеево-подзолистых почв в условиях антропогенеза (на примере парка им. Е.Ф. Козлова в городе Надым, Ямало-Ненецкий автономный округ) // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. № 3 (137). 2016. С. 63–67.
8. *Прокофьева Т.В., Герасимова М.И.* Городские почвы: диагностика и классификационное определение по материалам научной конференции SUITMA-9 по Москве // *Почвоведение*. 2018. № 9. С. 1057–1070. DOI: [10.1134/S1064229318090090](https://doi.org/10.1134/S1064229318090090).
9. *Прокофьева Т.В., Герасимова М.И., Безуглова О.С., Бахматова К.А., Гольева А.А., Горбов С.Н., Жарикова Е.А., Матинян Н.Н., Наквасина Е.Н., Сивцева Н.И.* Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России // *Почвоведение*. 2014. № 10. С. 1155–1164. DOI: [10.1134/S1064229314100093](https://doi.org/10.1134/S1064229314100093).
10. *Саблина О.А., Турлибекова Д.М.* Урбаноземы рекреационных зон города Орска. // *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2013. № 6 (155). С. 78–80.
11. *Сизов А.П.* Мониторинг и охрана городских земель: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям укрупненных направлений 120 000 “Геодезия и землеустройство”. М.: МИИГАиК, 2009. 264 с.
12. *Тагиров Р.М., Александрова А.Б.* Оценка состояния почв парков центральной части г. Казани // *Российский журнал прикладной экологии*. 2018. № 4 (16). С. 42–46.
13. *Шеин Е.В.* Курс физики почв. М.: Изд-во МГУ, 2005. 432 с.
14. *Чупина В.Т.* Антропогенные почвы ботанических садов (обзор) // *Почвоведение*. 2020. № 4. С. 495–506. DOI: [10.1134/S1064229320040043](https://doi.org/10.1134/S1064229320040043).
15. *Davies R., Hall S.J.* Direct and indirect effects of urbanization on soil and plant nutrients in desert ecosystems of the Phoenix metropolitan area, Arizona

(USA) // *Urban Ecosyst.* 2010. № 13. P. 295–317. DOI: [10.1007/s11252-010-0120-0](https://doi.org/10.1007/s11252-010-0120-0).

16. *Gordienko O., Balkushkin R., Kholodenko A., Ivantsova E.* Influence of ecological and anthropogenic factors on soil transformation in recreational areas of Volgograd (Russia) // *Catena.* 2022. Vol. 208. P. 105773. DOI: [10.1016/j.catena.2021.105773](https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105773).

17. *Hamzeh M.A., Aftabi A., Mirzaee M.* Assessing geochemical influence of traffic and other vehicle-related activities on heavy metal contamination in urban soils of Kerman city, using a GIS-based approach // *Environ Geochem Health.* 2011. № 33. P. 577–594. DOI: [10.1007/s10653-010-9372-0](https://doi.org/10.1007/s10653-010-9372-0).

18. *Hladky J., Radziemska M., Klim M., Koudelkov Z., Bal L., Va M.* Assessment of phytotoxicity, environmental and health risks of historical urban park soils // *Chemosphere.* 2018. Vol. 220. P. 678–686. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2018.12.188](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.188).

19. *Charzynski P., Bednarek R., Hudanska P., Switoniak M.* Issues related to classification of garden soils from the urban area of Torun. Poland // *Soil Sci. Plant Nutr.* 2018. No. 64. P. 132–137. DOI: [10.1080/00380768.2018.1429833](https://doi.org/10.1080/00380768.2018.1429833).

20. IUSS Working Group WRB. 2022. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria.

21. *Ivantsova E.A., Ovsyankin R.V., Matveeva A., Onistratenko N.* Environmental Evaluation of the System of Protective Forest Plantations in Urban Landscapes Volgograd Agglomeration Using Gis-Technologies // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 2019. No. 224. P. 012036. DOI: [10.1088/1755-1315/224/1/012036](https://doi.org/10.1088/1755-1315/224/1/012036).

22. *Jenerette G.D., Wu J., Grimm N.B., Hope D.* Points, patches, and regions: scaling soil biogeochemical patterns in an urbanized arid ecosystem // *Glob Chang Biol.* 2006. No. 12. P. 1532–1544. DOI: [10.1111/j.1365-2486.2006.01182.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01182.x).

23. *Jim C.Y.* Urban soil characteristics and limitations for landscape planting in Hong Kong // *Landscape and Urban Planning.* 1998. No. 40. P. 235–249. DOI: [10.1016/S0169-2046\(97\)00117-5](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(97)00117-5).

24. *Lu S.G., Bai S.Q.* Contamination and potential mobility assessment of heavy metals in urban soils of Hangzhou, China: relationship with different land uses // *Environmental Earth Sciences.* 2010. No. 60. P. 1481–1490. DOI: [10.1007/s12665-009-0283-2](https://doi.org/10.1007/s12665-009-0283-2).

25. *Kulik A.K., Balkushkin R.N., Vlasenko M.V., Zaitsev A.A., Khnyckin A.S.* Current state of landscaping objects in Volzhsky // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science:* 6. 2022. P. 042064. DOI: [10.1088/1755-1315/981/4/042064](https://doi.org/10.1088/1755-1315/981/4/042064).

26. *Mao Q., Huang G., Buyantuev A.* Spatial heterogeneity of urban soils: the case of the Beijing metropolitan region, China // *Ecol Process*. 2014. No. 3. P. 1–11. DOI: [10.1186/s13717-014-0023-8](https://doi.org/10.1186/s13717-014-0023-8).
27. *Minasny B., McBratney A.B.* Digital soil mapping: A brief history and some lessons // *Geoderma*. 2016. No. 264. P. 301–311. DOI: [10.1016/j.geoderma.2015.07.017](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.07.017).
28. *Pouyat R., Yesilonis I., Szlavecz K., Csuzdi C., Hornung E., Korsós Z., Russell-Anelli J., Giorgio V.* Response of forest soil properties to urbanization gradients in three metropolitan areas // *Landsc. Ecol*. 2008. No. 23. P. 1187–1203. DOI: [10.1007/s10980-008-9288-6](https://doi.org/10.1007/s10980-008-9288-6).
29. *Pouyat R., Yesilonis I., Russell-Anelli J., Neerchal N.* Soil chemical and physical properties that differentiate urban land-use and cover types // *Soil Sci Soc Am J*. 2007. No. 71. P. 1010–1019. DOI: [10.2136/sssaj2006.0164](https://doi.org/10.2136/sssaj2006.0164).
30. *Tikhonova A., Polovinkina Yu., Gordienko O., Manaenkov I.* Features of Monitoring Heavy Metals in Soil Cover of Urban Environment // *Proc. of the IV Int. Sci. and Prac. Conf. "Anthropogenic Transformation of Geospace: Nature, Economy, Society"*. 2020. P. 286–291. DOI: [10.2991/aer.k.200202.058](https://doi.org/10.2991/aer.k.200202.058).
31. *van Reeuwijk L.P.* Procedures for soil analysis. ISRIC-FAO. 2002. ISRIC Technical Paper No. 9. 6th edition. 119 p.
32. *Wang W., Lai Y., Ma Y., Liu Z., Wang S., Hong C.* Heavy metal contamination of urban topsoil in a petrochemical industrial city in Xinjiang, China // *J. Arid Land*. 2016. No. 8. P. 871–880. DOI: [10.1007/s40333-016-0057-0](https://doi.org/10.1007/s40333-016-0057-0).
33. *Yang L., Li Y., Peng K., Wu S.* Nutrients and heavy metals in urban soils under different green space types in Anji, China // *Catena*. 2014. No. 115. P. 39–46. DOI: [10.1016/j.catena.2013.11.008](https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.11.008).
34. *Zhao D., Li F., Yang Q., Wang R., Song Y., Tao Y.* The influence of different types of urban land use on soil microbial biomass and functional diversity in Beijing, China // *Soil Use Manag*. 2013. No. 29. P. 230–239. DOI: [10.1111/sum.12034](https://doi.org/10.1111/sum.12034).
35. *Zhu W.-X., Hope D., Gries C., Grimm N.B.* Soil characteristics and the accumulation of inorganic nitrogen in an arid urban ecosystem // *Ecosystems*. 2006. 9. P. 711–724. DOI: [10.1007/s10021-006-0078-1](https://doi.org/10.1007/s10021-006-0078-1).

REFERENCES

1. Arinushkina E.V., *Rukovodstvo po himicheskomu analizu pochv* (A manual on chemical analysis of soils), Moscow: Moscow State University, 1961, 491 p.

2. Bezuglova O.S., Tagiverdiev S.S., Gorbov S.N., Fizicheskie harakteristiki gorodskih pochv Rostovskoj aglomeracii (Physical properties of urban soils in Rostov agglomeration), *Pochvovedenie*, 2018, No. 9, pp. 1153–1159, DOI: [10.1134/S1064229318090028](https://doi.org/10.1134/S1064229318090028).
3. Vlasov D.V., Kasimov N.S., Kosheleva N.E., Kartografirovaniye landshaftno-geohimicheskoy struktury urbanizirovannoy territorii (na primere Moskvy) (Mapping of landscape and geochemical structure of urban territory (Moscow case study)), *InterKarto/InterGIS*, No. 1, pp. 242–255, DOI: [10.24057/2414-9179-2017-1-23-242-255](https://doi.org/10.24057/2414-9179-2017-1-23-242-255).
4. Kasimov N.S., Vlasov D.V., Kosheleva N.E., Nikiforova E.M., Geochemistry of landscapes in Eastern Moscow (Geohimiya landshaftov Vostochnoy Moskvy), Moscow: APR, 2016, 279 p.
5. Okolelova A.A., Egorova G.S., Nefed'eva E.E., *Pochvy urbolandshaftov* (Soils of urban landscapes), Volgograd: Volgogradskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2021, 72 p.
6. *Polevoy opredelitel pochv Rossii* (Field determinant of soils of Russia), Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 2008, 182 p.
7. Popov A.S., Luganskij N.V., Luganskij N.S., Nenashev N.S., Sostoyanie i dinamika svojstv gleevo-podzolistyh pochv v usloviyah antropogeneza (na primere parka im. E.F. Kozlova v gorode Nadym, Yamalo-Neneckij avtonomnyj okrug) (State and dynamics of the properties of gley-podzol soils under anthropogenesis (by the example of E.F. Kozlov Park in Nadym, Yamalo-Nenets Autonomous District)), *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, No. 3 (137), 2016, pp. 63–67.
8. Prokofeva T.V., Gerasimova M.I., Urban Soils: Diagnostics and Taxonomic Position according to Materials of Scientific Excursion in Moscow at the Suitma-9 Workshop, *Eurasian Soil Sc.*, 2018, Vol. 51, pp. 995–1007, DOI: [10.1134/S1064229318090090](https://doi.org/10.1134/S1064229318090090).
9. Prokof'eva T.V., Gerasimova M.I., Bezuglova O.S., Bahmatova K.A., Gol'eva A.A., Gorbov S.N., Zharikova E.A., Matinyan N.N., Nakvasina E.N., Sivceva N.I., Inclusion of soils and soil-like bodies of urban territories into the Russian soil classification system, *Eurasian Soil Sc.*, 2014, Vol. 47, pp. 959–967, DOI: [10.1134/S1064229314100093](https://doi.org/10.1134/S1064229314100093).
10. Sablina O.A., Turlibekova D.M., Urbanozemnyye rekreacionnyh zon goroda Orska (Urbanozem recreational zones of Orsk), *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2013, No. 6 (155), pp. 78–80.
11. Sizov A.P., *Monitoring i ohrana gorodskih zemel'* (Monitoring and protection of urban land), Moscow: MIIGAiK, 2009, 264 p.
12. Tagirov R.M., Aleksandrova A.B., Ocenka sostoyaniya pochv parkov central'noj chasti g. Kazani (Assessment of soil conditions in parks of the

central part of Kazan), *Rossijskij zhurnal prikladnoj ekologii*, 2018, No. 4 (16), pp. 42–46.

13. Shein E.V., *Kurs fiziki pochv* (Course of physics of soils), Moscow: Izd-vo MGU, 2005, 432 p.

14. Chupina V.I., Anthropogenic Soils of Botanical Gardens: A Review, *Eurasian Soil Sc.*, 2020, Vol. 53, pp. 523–533, DOI: [10.1134/S1064229320040043](https://doi.org/10.1134/S1064229320040043).

15. Davies R., Hall S.J., Direct and indirect effects of urbanization on soil and plant nutrients in desert ecosystems of the Phoenix metropolitan area, Arizona (USA), *Urban Ecosyst.*, 2010, No. 13, pp. 295–317, DOI: [10.1007/s11252-010-0120-0](https://doi.org/10.1007/s11252-010-0120-0).

16. Gordienko O., Balkushkin R., Kholodenko A., Ivantsova E., Influence of ecological and anthropogenic factors on soil transformation in recreational areas of Volgograd (Russia), *Catena*, 2022, Vol. 208, pp. 105773, DOI: [10.1016/j.catena.2021.105773](https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105773).

17. Hamzeh M.A., Aftabi A., Mirzaee M., Assessing geochemical influence of traffic and other vehicle-related activities on heavy metal contamination in urban soils of Kerman city, using a GIS-based approach, *Environ Geochem Health*, 2011, No. 33, pp. 577–594, DOI: [10.1007/s10653-010-9372-0](https://doi.org/10.1007/s10653-010-9372-0).

18. Hladky J., Radziemska M., Klim M., Koudelkov Z., Bal L., Va M., Assessment of phytotoxicity, environmental and health risks of historical urban park soils, *Chemosphere*, 2018, Vol. 220, pp. 678–686, DOI: [10.1016/j.chemosphere.2018.12.188](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.188).

19. Charzynski P., Bednarek R., Hudanska P., Switoniak M., Issues related to classification of garden soils from the urban area of Torun. Poland, *Soil Sci. Plant Nutr*, 2018, No. 64, pp. 132–137, DOI: [10.1080/00380768.2018.1429833](https://doi.org/10.1080/00380768.2018.1429833).

20. IUSS Working Group WRB. 2022. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria.

21. Ivantsova E.A., Ovsyankin R.V., Matveeva A., Onistratenko N., Environmental Evaluation of the System of Protective Forest Plantations in Urban Landscapes Volgograd Agglomeration Using Gis-Technologies, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, No. 224, pp. 012036, DOI: [10.1088/1755-1315/224/1/012036](https://doi.org/10.1088/1755-1315/224/1/012036).

22. Jenerette G.D., Wu J., Grimm N.B., Hope D., Points, patches, and regions: scaling soil biogeochemical patterns in an urbanized arid ecosystem, *Glob Chang Biol*, 2006, No. 12, pp. 1532–1544, DOI: [10.1111/j.1365-2486.2006.01182.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01182.x).

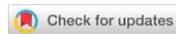
23. Jim C.Y., Urban soil characteristics and limitations for landscape planting in Hong Kong, *Landscape and Urban Planning*, 1998, No. 40, pp. 235–249, DOI: [10.1016/S0169-2046\(97\)00117-5](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(97)00117-5).
24. Lu S.G., Bai S.Q., Contamination and potential mobility assessment of heavy metals in urban soils of Hangzhou, China: relationship with different land uses, *Environmental Earth Sciences*, 2010, No. 60, pp. 1481–1490, DOI: [10.1007/s12665-009-0283-2](https://doi.org/10.1007/s12665-009-0283-2).
25. Kulik A.K., Balkushkin R.N., Vlasenko M.V., Zaitsev A.A., Khnyckin A.S., Current state of landscaping objects in Volzhsky, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*: 6, 2022, 042064, DOI: [10.1088/1755-1315/981/4/042064](https://doi.org/10.1088/1755-1315/981/4/042064).
26. Mao Q., Huang G., Buyantuev A., Spatial heterogeneity of urban soils: the case of the Beijing metropolitan region, China, *Ecol. Process*, 2014, No. 3, pp. 1–11. DOI: [10.1186/s13717-014-0023-8](https://doi.org/10.1186/s13717-014-0023-8).
27. Minasny B., McBratney A.B., Digital soil mapping: A brief history and some lessons, *Geoderma*, 2016, No. 264, pp. 301–311, DOI: [10.1016/J.GEODERMA.2015.07.017](https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2015.07.017).
28. Pouyat R., Yesilonis I., Szlavecz K., Csuzdi C., Hornung E., Korsós Z., Russell-Anelli J., Giorgio V., Response of forest soil properties to urbanization gradients in three metropolitan areas, *Landsc Ecol*, 2008, No. 23, pp. 1187–1203, DOI: [10.1007/s10980-008-9288-6](https://doi.org/10.1007/s10980-008-9288-6).
29. Pouyat R., Yesilonis I., Russell-Anelli J., Neerchal N., Soil chemical and physical properties that differentiate urban land-use and cover types, *Soil Sci Soc Am J.*, 2007, No. 71, pp. 1010–1019. DOI: [10.2136/sssaj2006.0164](https://doi.org/10.2136/sssaj2006.0164).
30. Tikhonova A., Polovinkina Yu., Gordienko O., Manaenkov I., Features of Monitoring Heavy Metals in Soil Cover of Urban Environment, *Proc. of the IV International Sci. and Prac. Conf. "Anthropogenic Transformation of Geospace: Nature, Economy, Society"*, 2020, pp. 286–291, DOI: [10.2991/aer.k.200202.058](https://doi.org/10.2991/aer.k.200202.058).
31. van Reeuwijk L.P., *Procedures for soil analysis*. ISRIC-FAO. ISRIC Technical Paper No. 9, 6th edition, 2002, 119 p.
32. Wang W., Lai Y., Ma Y., Liu Z., Wang S., Hong C., Heavy metal contamination of urban topsoil in a petrochemical industrial city in Xinjiang, China, *J. Arid Land*, 2016, No. 8, pp. 871–880, DOI: [10.1007/s40333-016-0057-0](https://doi.org/10.1007/s40333-016-0057-0).
33. Yang L., Li Y., Peng K., Wu S., Nutrients and heavy metals in urban soils under different green space types in Anji, China, *Catena*, 2014, No. 115, pp. 39–46, DOI: [10.1016/j.catena.2013.11.008](https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.11.008).
34. Zhao D., Li F., Yang Q., Wang R., Song Y., Tao Y., The influence of different types of urban land use on soil microbial biomass and functional

diversity in Beijing, China, *Soil Use Manag.*, 2013, No. 29, pp. 230–239, DOI: [10.1111/sum.12034](https://doi.org/10.1111/sum.12034).

35. Zhu W.-X., Hope D., Gries C., Grimm N.B., Soil characteristics and the accumulation of inorganic nitrogen in an arid urban ecosystem, *Ecosystems*, 2006, Vol. 9, pp. 711–724, DOI: [10.1007/s10021-006-0078-1](https://doi.org/10.1007/s10021-006-0078-1).

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2023-114-135-148



Ссылки для цитирования:

Иванов А.Л., Орлова Л.В. Константин Дмитриевич Глинка (23.06.1867 – 02.11.1927) – первый академик-почвовед, организатор, первый директор Почвенного института им. В.В. Докучаева и первый ректор Воронежского сельскохозяйственного института имени императора Петра I, профессор, действительный член АН СССР // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2023. Вып. 114. С. 135-148. DOI: 10.19047/0136-1694-2023-114-135-148

Cite this article as:

Ivanov A.L., Orlova L.V., Konstantin Dmitrievich Glinka (23.06.1867 – 02.11.1927) – the first academician-soil scientist, organizer and first Director of V.V. Dokuchaev Soil Science Institute and the first Rector of Voronezh Agricultural Institute named after Emperor Peter I, Professor, full member of the USSR Academy of Sciences, Dokuchaev Soil Bulletin, 2023, V. 114, pp. 135-148, DOI: 10.19047/0136-1694-2023-114-135-148

**Константин Дмитриевич Глинка
(23.06.1867 – 02.11.1927) – первый академик-
почвовед, организатор, первый директор
Почвенного института им. В.В. Докучаева и
первый ректор Воронежского
сельскохозяйственного института имени
императора Петра I, профессор,
действительный член АН СССР**

© 2023 г. А. Л. Иванов^{1*}, Л. В. Орлова^{2**}

¹ФИЦ “Почвенный институт им. В.В. Докучаева”, Россия,
119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,

* e-mail: ivanov_al@esoil.ru.

²“Национальное движение берегающего земледелия”, Россия,
443099, Самара, ул. Куйбышева, 88,

** <https://orcid.org/0000-0002-6941-8523>, e-mail: orlova.rmrl@gmail.com.

Поступила в редакцию 20.03.2023, после доработки 22.03.2023,
принята к публикации 22.03.2023

Резюме: Константин Дмитриевич Глинка внес крупный вклад в развитие таких направлений в науке о почве, как генезис, география, картография и минералогия почв. Ему принадлежит составление первых мировых почвенных карт (1908, 1915, 1927), первой почвенной карты Азиатской части России (1927 г., совместно с Л.И. Прасоловым), классические исследования процессов выветривания и преобразования первичных минералов во вторичные, первые исследования погребенных и реликтовых почв, заложившие основы палеопочвоведения. Фундаментальный, энциклопедического характера, учебник К.Д. Глинки “Почвоведение” выдержал шесть изданий (1908–1936) и явился основным руководством для многих поколений почвоведов. Идеи К.Д. Глинки в области генезиса разных типов почв, в том числе серых лесных, подзолистых, красноземов, буроземов не потеряли научного значения и в наше время. Выдающийся научный, научно-организационный и педагогический вклад его в развитие генетического почвоведения снискал К.Д. Глинке заслуженную славу ученого с мировой известностью.

Ключевые слова: биография К.Д. Глинки, почвоведение, минералогия, генезис почв, почвенная картография, первая почвенная карта Азиатской части России.

**Konstantin Dmitrievich Glinka
(23.06.1867 – 02.11.1927) – the first academician-
soil scientist, organizer and first Director of
V.V. Dokuchaev Soil Science Institute and
the first Rector of Voronezh Agricultural Institute
named after Emperor Peter I, Professor, full
member of the USSR Academy of Sciences**

© 2023 A. L. Ivanov^{1*}, L. V. Orlova^{2**}

¹*Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”,
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,
e-mail: ivanov_al@esoil.ru.

²*National Movement for Conservation Agriculture,
88 Kuibyshev Str., Samara, 443099, Russian Federation,
**<https://orcid.org/0000-0002-6941-8523>, e-mail: orlova.rmrl@gmail.com.*

Received 20.03.2023, Revised 22.03.2023, Accepted 22.03.2023

Abstract: Konstantin Dmitrievich Glinka made a major contribution to the development of such areas of soil science as genesis, geography, cartography and mineralogy of soils. He made the first world soil maps (1908, 1915, 1927), the first soil map of the Asian part of Russia (1927, jointly with L.I. Prasolov), classic studies of weathering processes and transformation of primary minerals into secondary, first studies of buried and relic soils, which laid the foundation for paleosoil science. Fundamental, encyclopedic textbook, written by K.D. Glinka “Soil science” went through six editions (1908–1936) and became a basic guide for many generations of soil scientists. The ideas of K.D. Glinka in the genesis of different types of soils, including gray forest soils, podzols, red earths, burozems (brown soils) have not lost their scientific value until the present day. His outstanding scientific, organizational and pedagogical contribution to the development of genetic soil science has earned K.D. Glinka a well-deserved fame as a scientist of world class.

Keywords: K.D. Glinka biography, soil science, soil mineralogy, soil genesis, soil cartography, first soil map of Asian part of Russia.

Аграрий из знатного дворянского рода

Константин Глинка принадлежал к известному русскому дворянскому роду Глинок. Ветви “древа” этого рода оказались плодovitыми, дав России много замечательных имен. Представители этой фамилии были губернаторами, занимали крупные государственные должности (были сенаторами, членами правительства), участвовали во всех войнах, которые вела Россия с XVII в. (именно в эти годы род Глинок “осел” в Смоленском крае). К роду Глинок принадлежал и выдающийся русский композитор М.И. Глинка. Однако Константин Дмитриевич посвятил себя почвенной науке и добился в ней мирового признания ([Большая советская энциклопедия, 1971](#); [Плаксин, Стекольников, 2017](#)).

Родившийся 5 июля (по новому стилю) 1867 г. в Смоленской губернии в семье помещика, увлеченного сельским хозяйством и общественной деятельностью, Константин Глинка после окончания местной гимназии продолжил образование на естественном отделении физико-математического факультета Санкт-Петербургского университета ([Большая советская энциклопедия, 1971](#)).

родской, Симбирской и в ряде других губерний (<https://ant53.ru/article/144/>; <https://www.peoplelife.ru/72951>).

В 1903 г. такая работа была произведена для Новгородского губернского земства (<https://ant53.ru/article/144/>).

Авторитет К.Д. Глинки в области земельно-оценочных работ был безусловен: в здешних краях хорошо помнили его успешную, плодотворную работу по исследованию новгородских почв в начале 1890-х гг. По итогам исследований тех лет в Новгороде были изданы отчеты Глинки: “Записка о почвенных исследованиях как элементе земельно-оценочных работ” (1899 г.), “Геологическое строение и почва Валдайского уезда” (<https://ant53.ru/article/144/>) и “Почвенно-геологический очерк Валдайского уезда” (1900–1901 гг., оба совместно с С.Л. Федоровским). Тогда же Глинка, будучи крупнейшим специалистом в области минералогии почв и исследования процессов выветривания, попутно занимался и вопросами геоморфологии и четвертичными отложениями. В работе 1902 г. “Послетретичные образования и почвы Псковской, Новгородской и Смоленской губерний”, описывая и выделяя полосы моренного рельефа, К.Д. Глинка первым из геоморфологов пытался объяснить их образование результатом подвижек ледника (<https://ant53.ru/article/144/>).

С 1908 г. К.Д. Глинка заведовал почвенными исследованиями в Азиатской России (Сибирь, Казахстан, Дальний Восток), к которым привлек лучших почвоведов. По поручению Главного переселенческого управления он производил оценку почв с точки зрения потенциальных возможностей для грядущего сельскохозяйственного освоения. В результате этих исследований ученым была составлена первая почвенная карта Азиатской части России и решена важная практическая задача: открыты значительные земельные фонды для переселения крестьян, пострадавших во время тяжелого аграрного кризиса – неурожая и голода 1890-х гг (<https://ant53.ru/article/144/>).

Исследователь и руководитель. Первая “Карта почвенных зон России”

Уже в эти годы Константин Дмитриевич заявил о себе не

только как глубокий исследователь научных проблем агрономии, но и как талантливый руководитель. Он организовывал разнообразные полевые экскурсии для студентов, вел лабораторные занятия, читал лекции, создавая постепенно свой оригинальный курс почвоведения, расширял географию экспедиций по исследованию почв разных губерний России – сначала европейской части, а затем и азиатской ([Плаксин, Стекольников, 2017](#)).

С 1906 г. по 1914 г. под руководством К.Д. Глинки было организовано более 100 экспедиций. Ученый не только обобщил громадное количество материалов, доставлявшихся из полевых экспедиций, но и сам участвовал в них. В частности, он внес огромный вклад в изучение почвенного покрова западной части Амурской области, в обследовании которой он участвовал в 1908 г. Материалы экспедиций и обобщение научных сведений позволили К.Д. Глинке составить первую “Карту почвенных зон России”, а также “Карту почв мира” ([Плаксин, Стекольников, 2017](#)).

В эти же годы на основе разработанного им лекционного курса Константин Дмитриевич издал свой знаменитый учебник “Почвоведение”. Вернувшись в 1911 г. в Петербург из научных поездок в Германию, Австро-Венгрию, Италию, Швейцарию, К.Д. Глинка стал председателем организованного при его активном участии Докучаевского почвенного комитета; читал лекции в университете и на Бестужевских высших курсах; переиздал свой учебник “Почвоведение” и получил за него от Русского географического общества золотую медаль; провел научную обработку материалов, полученных во время многочисленных экспедиций, и издал их в виде серии монографических обобщений ([Виленский, 1958](#); [Плаксин, Стекольников, 2017](#)).

“Быть по сему” воплотил в жизнь: создание Воронежского сельскохозяйственного института

Высокий научный авторитет К.Д. Глинки, его известность в зарубежных агрономических академических кругах, несомненный организаторский талант преопределили выбор Правительства – ему поручили создание Воронежского сельскохозяйственного ин-

ститута, призванного стать центром новой агрокультуры в Центральном Черноземье.

Государственной Думой был подготовлен законопроект, прошедший все этапы согласований и гласивший: “Учредить в городе Воронеже сельскохозяйственный институт имени императора Петра I, с отнесением сего института к числу высших учебных заведений...” Переданный на Высочайшее одобрение закон вступил в силу, когда император Николай II 9 июня 1912 г. начертал на нем: “Быть по сему”.

Первое, что удивляет, – это кратчайшие сроки с момента выхода Закона об учреждении Воронежского СХИ и до начала его деятельности как учебного, научно-исследовательского центра. Воронежский СХИ имени императора Петра I был законодательно учрежден 9 июня 1912 г., а 14 сентября 1913 г. в нем уже прозвонел звонок на первые лекции, началась исследовательская работа ([Плаксин, Стекольников, 2017](#)).

В то же время перед Константином Дмитриевичем во весь рост встала еще одна проблема: необходимо было построить уникальный комплекс зданий института, вобравший в себя опыт постройки аграрных вузов нескольких западноевропейских государств.

Организаторский талант К.Д. Глинки проявился и в том, что, находясь на посту директора института, он возглавил строительную комиссию, став ее председателем. Журналы заседаний Комиссии свидетельствуют, что ему приходилось вникать в самые мелкие детали строительства. При этом строительная комиссия обычно заседала после окончания рабочего дня в ВУЗе и заканчивала обсуждение вопросов ближе к полуночи ([Плаксин, Стекольников, 2017](#)).

Однако при всем этом было важно не только координировать строительство института, но и обеспечивать учебный процесс лабораторным оборудованием и т. п. И здесь перед К.Д. Глинкой встал вопрос импортозамещения – ведь большинство научных приборов закупали в Германии, а с ней, как известно, в 1914 г. началась война. Но и эти вопросы успешно решались профессором Глинкой. При сокращении ассигнований на строительство института ему пришлось даже организовать сбор пожертвований

на завершение его строительства. В значительной степени прежде всего усилиями К.Д. Глинки в тяжелейшее время Первой мировой и Гражданской войн Воронежский СХИ был построен и сохранен ([Плаксин, Стекольников, 2017](#)).

Как истинный ученый К.Д. Глинка не мог оставить исследовательскую работу. Он объединил вокруг себя небольшой, но сплоченный коллектив ученых-аграриев, истинных подвижников российской науки и отечественного сельскохозяйственного производства. Константин Дмитриевич смог быстро установить научные связи с ранее созданными здесь опытно-исследовательскими учреждениями, в той или иной степени связанными и с “земледельческим производством”. Авторитет имени К.Д. Глинки в научном мире и тот авторитет, который он быстро приобрел в воронежском крае, позволили объединить усилия научных организаций вокруг крупных исследовательских проектов. Наиболее значимым из них, в реализацию которого профессор Глинка не просто внес большой личный вклад, а был его основным организатором, явилось комплексное обследование природного потенциала губернии: ее почв, растительности, недр и т. д. ([Плаксин, Стекольников, 2017](#)).

Тематика этих научных изысканий быстро расширилась, включив в себя изучение лесного потенциала губернии, а также (в рамках геоботанических исследований) сорно-полевой растительности; затем изучение общего рельефа местности дополнилось специальными работами по исправлению топографической трехверстной карты Воронежской губернии. С 1916 г. началось специальное исследование лугов, а также гидрологическое обследование уездов. Почвенными исследованиями в Воронежской губернии руководил лично К.Д. Глинка. Фактически к 1917 г. была составлена трехверстная почвенная карта губернии с точной характеристикой всех встречающихся типов почв с указанием их генезиса и подстилающих пород ([Плаксин, Стекольников, 2017](#)).

Такое комплексное исследование Воронежской губернии по своим масштабам, широте тематики и привлечению научных сил не имело в то время аналогов в России.

Гражданская война. Крым

События 1917 г., а затем Гражданская война вынудили значительную группу воронежской профессуры, а вместе с ними и К.Д. Глинку, перебраться в Крым, который контролировался “белым” правительством Юга России (бароном Врангелем). Переезд в Крым был связан отчасти с тем, что заведующим государственными имуществами Крыма и управляющим земледелием в Правительстве Юга России был родственник К.Д. Глинки – Г.В. Глинка, а главой правительства барона Врангеля был А.В. Кривошеин, бывший руководитель Министерства сельского хозяйства царского правительства. С ними К.Д. Глинка долгое время сотрудничал в период проведения почвенных исследований в ходе Столыпинской аграрной реформы ([Плаксин, Стекольников, 2017](#)).

Организационный и научный талант К.Д. Глинки нашел приложение и здесь: ученый участвовал в создании первого ВУЗа Крыма, преподавал в нем, участвовал в подготовке “Закона о земле” и его реализации в Крыму; продолжил почвенные исследования; наметил ряд научных проектов для Центрального Черноземья ([Плаксин, Стекольников, 2017](#)).

Окончание Гражданской войны создало новые условия для научной деятельности, и К.Д. Глинка возвращается в Воронеж, снова став директором ВСХИ. Вместе с ним в Воронеж вернулись практически все преподаватели, покинувшие институт в годы Гражданской войны.

Ректор Ленинградского сельскохозяйственного института

Организационный талант и научный авторитет К.Д. Глинки был оценен и Советским правительством: в 1922 г. он был назначен ректором создаваемого Петроградского (впоследствии Ленинградского) сельскохозяйственного института. Занимаясь организационной работой как ректор, Константин Дмитриевич заведовал кафедрой почвоведения, продолжал исследовательскую работу. В 1923 г., оставаясь его ректором, профессор Глинка одновременно возглавляет почвенный отдел Государственного института опытной агрономии, принимает участие в работах почвенно-

геологической комиссии Геологического комитета, в почвенном отделе Комиссии по изучению естественных производительных сил (КЕПС) при Академии наук, избирается директором Государственного сельскохозяйственного музея (<http://www.smolensklib.ru/sites/default/files/old%20str/kray2/regions/bibliog/glinkakd.htm>). И везде не только руководит, но и сам лично работает в лабораториях и в поле как исследователь.

Несмотря на большую загруженность административной и научно-исследовательской работой, Константин Дмитриевич всегда много внимания уделял преподаванию. Его увлекательные лекции нередко сопровождалась дружными аплодисментами – так было в Новоалександрийском институте, Санкт-Петербургском университете, на Высших женских курсах, в основанных им сельскохозяйственных ВУЗах – Воронежском и Ленинградском. Знаменитый учебник Глинки “Почвоведение”, выдержавший 6 изданий, родился из разработанного им лекционного курса (<https://ant53.ru/article/144/>).

К.Д. Глинка очень любил принимать студентов у себя дома – в теплой семейной обстановке старался скрасить, рассеять одиночество студентов, особенно иногородних, направить их на правильный путь. Всех, знавших Константина Дмитриевича, поражали его исключительная жизнерадостность, энергия и усердие, “от которых кипит работа и люди возносятся на высоты даже вопреки тяжким жизненным условиям”, а еще поразительная, необычайная для такого большого ученого простота общения, широкая доступность и приветливость, как вспоминал один из его учеников, академик Б.Б. Полынов: “... уже после непродолжительной беседы каждый чувствовал себя если не другом, то, во всяком случае, старым знакомым Константина Дмитриевича... В обстановке уютной квартиры, и в отношениях между членами его большой семьи (из семи человек), и в отношении к гостям – ничего вычурного, эффектного и показного. Уют, покой, простота и теплое гостеприимство...” (<https://ant53.ru/article/144/>).

В этот период К.Д. Глинка продолжал уделять большое внимание международным связям с учеными-почвоведомы многих стран, пропаганде русского почвоведения за рубежом.

***Триумф российского почвоведения. Академик-почвовед,
директор Почвенного института им. В.В. Докучаева***

Научный авторитет К.Д. Глинки как одного из основоположников отечественного почвоведения, его известность и признание в международном агрономическом сообществе были чрезвычайно высоки.

Тридцать лет практических почвенных исследований, научно-исследовательской работы в области почвообразования, зональности почвенного покрова, классификации почв, создание оригинальных научных школ (почвенной минералогии, палеопочвоведения, географии почв) (https://websprav.admin-smolensk.ru/web2013/lic1_1/geologia.html), обширная педагогическая деятельность, воспитание целой плеяды высококлассных ученых-аграриев – этот блистательный путь в науке увенчался в 1927 г. избранием К.Д. Глинки действительным членом АН СССР, и он стал первым отечественным академиком-почвоведом. В том же году он возглавил Почвенный институт АН СССР имени своего учителя Василия Васильевича Докучаева. Летом 1927 г. академик Глинка как руководитель советской делегации и ее главный докладчик принимает участие в работе I Международного конгресса почвоведов в Вашингтоне (США) (<https://bibliotekar.ru/2-7-76-istoriya-pochvovedeniya/50.htm>). На конгрессе, собравшем со всего мира ведущие умы в области аграрной науки, Глинка выступил с блестящей характеристикой докучаевских идей и их роли в развитии почвоведения (<https://ant53.ru/article/144/>).

Первый Международный конгресс почвоведов стал подлинным триумфом русского почвоведения: доклады наших ученых на конгрессе были самыми интересными, ярко и убедительно демонстрировали идейное торжество и приоритет русского почвоведения. По словам американского делегата Джоффе, это было “нашествие генетической школы почвоведения, успешная массовая атака славной делегации Советского Союза, держащей ключ к этой новой школе почвоведения. Русские господствовали на конгрессе и намечали новые пути для почвоведения всего мира” (<https://ant53.ru/article/144/>).

Признание ведущей роли советского почвоведения выразилось в избрании К.Д. Глинки президентом Конгресса и Международного общества почвоведов (<https://ant53.ru/article/144/>). В журнале “Nature” писали: “Все присутствовавшие на конгрессе в Вашингтоне были преисполнены к Константину Дмитриевичу высокого уважения за его глубокое знание предмета и блестящие научные работы и, хотя провели с ним короткое время, полюбили его за редкую деликатность и светлое настроение духа”. На развернутой в рамках Конгресса выставке, на особом столе была помещена книга К.Д. Глинки “Почвоведение” с надписью: “Русская книга, оказавшая влияние на развитие американского почвоведения”.

Неудивительно, что следующим местом Всемирного конгресса почвоведов была выбрана Россия, СССР. Он состоялся в 1930 г. в Ленинграде, к сожалению, уже без Константина Дмитриевича Глинки. Тот триумфальный 1927 г. оказался для него последним: по возвращении из Америки он серьезно заболел и скончался той же осенью (<https://ant53.ru/article/144/>).

Таковы основные штрихи деятельности первого академика-почвоведа, крупнейшего ученого и блестящего публициста Константина Дмитриевича Глинки. Значение творческого пути, который прошел Константин Дмитриевич – от ассистента до общепризнанного руководителя многих крупнейших научно-исследовательских и учебных институтов и президента Международного конгресса почвоведов – трудно переоценить.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Виленский Д.Г.* История почвоведения в России. М.: “Советская наука”, 1958. 238 с.
2. Глинка Константин Дмитриевич // Большая советская энциклопедия. Т. 6. ГАЗЛИФТ–ГОГОЛЕВО / *гл. ред А.М. Прохоров*. М.: Советская энциклопедия, 1971. С. 592.
3. Глинка Константин Дмитриевич // История русского почвоведения. URL: <https://bibliotekar.ru/2-7-76-istoriya-pochvovedeniya/50.htm>.
4. Глинка, Константин Дмитриевич // Биографии известных людей. Геологи. URL: <https://www.peoplelife.ru/72951>.
5. Глинка Константин Дмитриевич. Выдающийся русский ученый почвовед-минералог // Электронная библиотека “Муравейник”. URL: <https://ant53.ru/article/144/>.

6. Глинка Константин Дмитриевич // Смоленская областная универсальная научная библиотека имени А.Т. Твардовского. URL: <http://www.smolensklib.ru/sites/default/files/old%20str/kray2/regions/bibliog/glinkakd.htm>.
7. Глинка К.Д. // Они открывали Землю! URL: <http://i.geo-site.ru/node/197>.
8. Глинка Константин Дмитриевич (1867-1927) // Ученые Смоленщины. URL: https://websprav.admin-smolensk.ru/web2013/lic1_1/geologia.html.
9. *Дмитриев В.* Выдающийся ученик В.В. Докучаева (К.Д. Глинка) // Край наш Смоленский. Смоленск: Книжное издательство, 1954. С. 302–307.
10. *Плаксин В., Стекольников К.* Он “Быть по сему” воплотил в жизнь // газета Коммуна. 2017. № 32 (26676). URL: http://communa.ru/nauka_i_obrazovanie/on_byt_po_semu_voplotil_v_zhizn/.

REFERENCES

1. Vilenskii D.G., *Istoriya pochvovedeniya v Rossii* (History of soil science in Russia), Moscow: “Sovetskaya nauka”, 1958, 238 p.
2. Prokhorov A.M. (Ed.), Glinka Konstantin Dmitrievich, In: *Bol'shaya sovetskaya entsiklopediya* (Great Soviet Encyclopedia), Vol. 6, GAZLIFT–GOGOLEVO, Moscow: Sovetskaya entsiklopediya, 1971, p. 592.
3. Glinka Konstantin Dmitrievich, *Istoriya russkogo pochvovedeniya* (History of Russian soil science), URL: <https://bibliotekar.ru/2-7-76-istoriya-pochvovedeniya/50.htm>.
4. Glinka, Konstantin Dmitrievich, *Biografii izvestnykh lyudei. Geologi* (Biographies of famous people. Geologists), URL: <https://www.peoplelife.ru/72951>.
5. Glinka Konstantin Dmitrievich, *Vydayushchiysya russkii uchenyi pochvoved-mineralog* (An outstanding Russian soil scientist-mineralogist), Electronic library “Muraveinik”, URL: <https://ant53.ru/article/144/>.
6. Glinka Konstantin Dmitrievich, *Smolenskaya oblastnaya universal'naya nauchnaya biblioteka imeni A.T. Tvardovskogo* (Smolensk Regional Universal Scientific Library named after A.T. Tvardovsky), URL: <http://www.smolensklib.ru/sites/default/files/old%20str/kray2/regions/bibliog/glinkakd.htm>.
7. Glinka K.D., *Oni otkryvali Zemlyu!* (They discovered the Earth!), URL: <http://i.geo-site.ru/node/197>.

8. Glinka Konstantin Dmitrievich (1867–1927), *Uchenye Smolenshchiny* (Scientists of the Smolensk region), URL: https://websprav.admin-smolensk.ru/web2013/lic1_1/geologia.html.
9. Dmitriev V., Vydayushchiisya uchenik V.V. Dokuchaeva (K.D. Glinka) (An outstanding student of V.V. Dokuchaeva (K.D. Glinka, *Krai nash Smolenskii* (Our Smolensk land), Smolensk: Knizhnoe izdatel'stvo, 1954, pp. 302–307.
10. Plaksin V., Stekol'nikov K., On “Byt' po semu” voplotil v zhizn' (He brought to life “To be according to this”), *newspaper Kommuna*, 2017, No. 32 (26676), URL: http://kommuna.ru/nauka_i_obrazovanie/on_byt_po_semu_voplotil_v_zhizn/.

Научное издание

Бюллетень Почвенного института
имени В.В. Докучаева

Выпуск 114

Главный редактор *А.Л. Иванов*

Заместитель главного редактора *И.Ю. Савин*

Редактор, компьютерная верстка *А.Ю. Романовская*

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Почвенный институт имени В.В. Докучаева
119017, Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2
<https://bulletin.esoil.ru>
e-mail: bulletin@esoil.ru

Сдано в набор 25.04.2023 г.
Подписано в печать 25.04.2023 г.
Формат 60×84/16. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 8,7 Тираж 75 экз. Заказ №

Цена договорная.

Отпечатано с готового макета по заказу
Почвенного института имени В.В. Докучаева
ИП Ерховой И.М. (ОГРНИП 319774600080241)
Тел. (495) 799-48-85
e-mail: apr-rpa@list.ru