

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 Лабытнанги 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 Лабытнанги 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. Космонавтов, 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 разности на территории памятника представлены урбистратифицированными

почвоподобными образованиями (урбиквазиземы), подбурами, турбоземами, урбоагроземами и торфяными почвами с включениями археологических находок и антропогенных артефактов, датированных 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 (фиксируются 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, YANAO.

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).

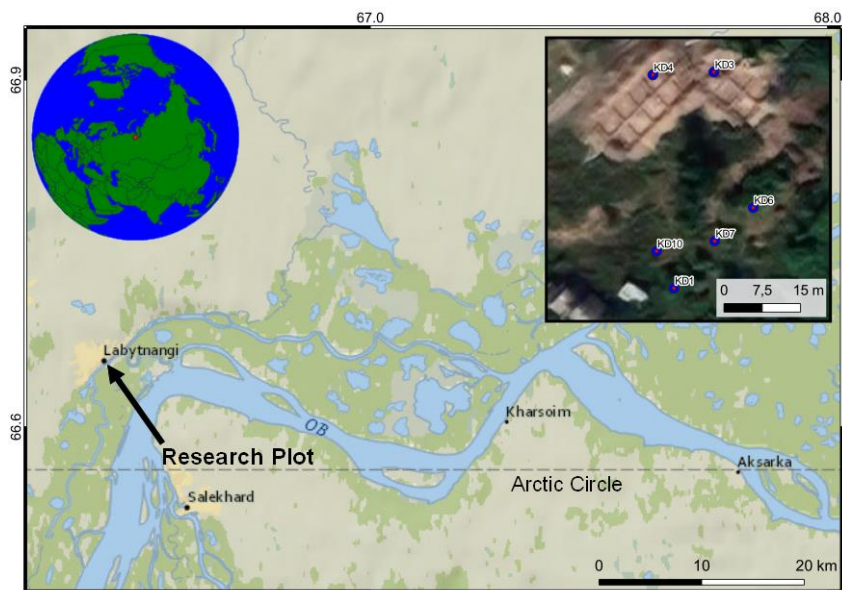


Рис. 1. Карта-схема расположения объектов исследования.
Fig. 1. Location of the research objects.

Растительный покров представлен бореальными злаково-разнотравными видами: *Chamaenérion angustifolium*, *Deschampsia cespitosa*, *Elytrigia répens*, *Poaceae*. Древесный и кустарниковый ярус преимущественно представлен такими видами как *Lárix sibírica* 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 pH 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:

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

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 KD1, залегает верхняя граница многолетне-мерзлых пород.

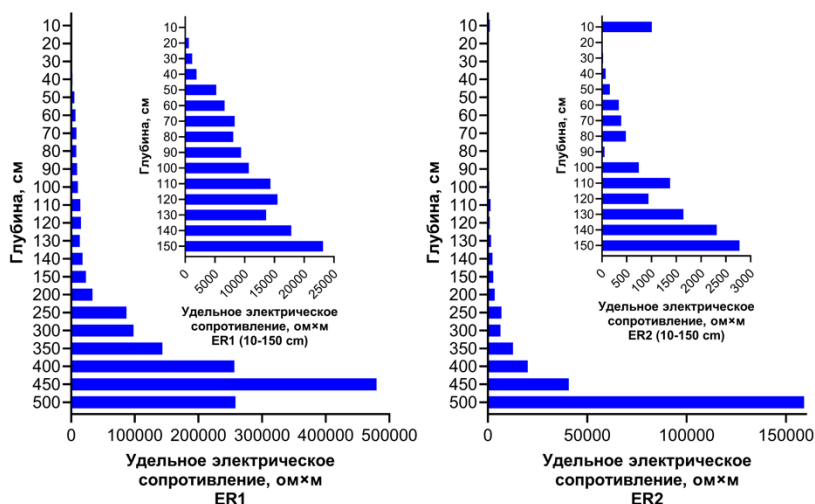


Рис. 3. Величина удельного электрического сопротивления ($\text{ом}\times\text{м}$) в профиле почв памятника “Лабытнанги 1 (Комяцкая деревня)”.

Fig. 3. Electrical resistivity value ($\text{ohm}\times\text{m}$) 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 $\text{Ом}\times\text{м}$, 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 $\text{Ом}\times\text{м}$ на глубине 20 см и плавно повышается до 480 $\text{Ом}\times\text{м}$ на глубине 80 см. На глубине 90 см обнаружен локальный минимум в 51 $\text{Ом}\times\text{м}$. Ниже 130 см сопротивление постепенно увеличивается до 160 000 $\text{Ом}\times\text{м}$ 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
	AYur (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 размытыми углистыми включениями, 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
	AYur (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, пластинчатоккомоватый, 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, крупно комковатый. 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: урбиквазием 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-подбур 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 BHF 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
	AYur (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.
	BHf,ur,@ (31–57)	4.7	4.6	12.38 ± 0.6	Иллювиально-гумусово-железистый горизонт, каштаново-коричневый, увлажненный, рыхлый, бесструктурный, множество антропогенных артефактов.
	BCur,@ (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 глеевый 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.
	AYpa,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 постагрогенный 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 (AYur 0–20(27) см) почвы разреза KD4 и в предположительно постагрогенном горизонте почвы (AYpa,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 привносом 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.

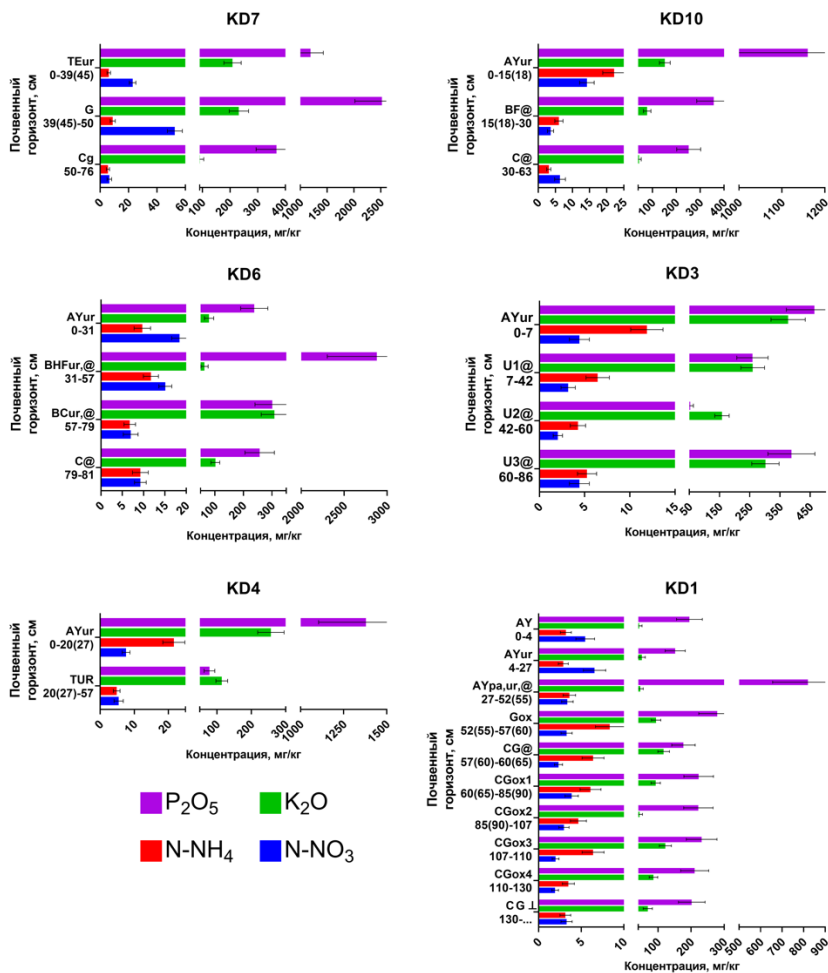


Рис. 4. Содержание основных элементов питания в почвах археологического памятника “Лабытнанги I”.

Fig. 4. Content of main nutrients in soils of the archaeological site “Labytnangi 1”.

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	AYur	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	AYur	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	AYur	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	AYur	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	AY1	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
	AY2ur	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
	AYpa,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.

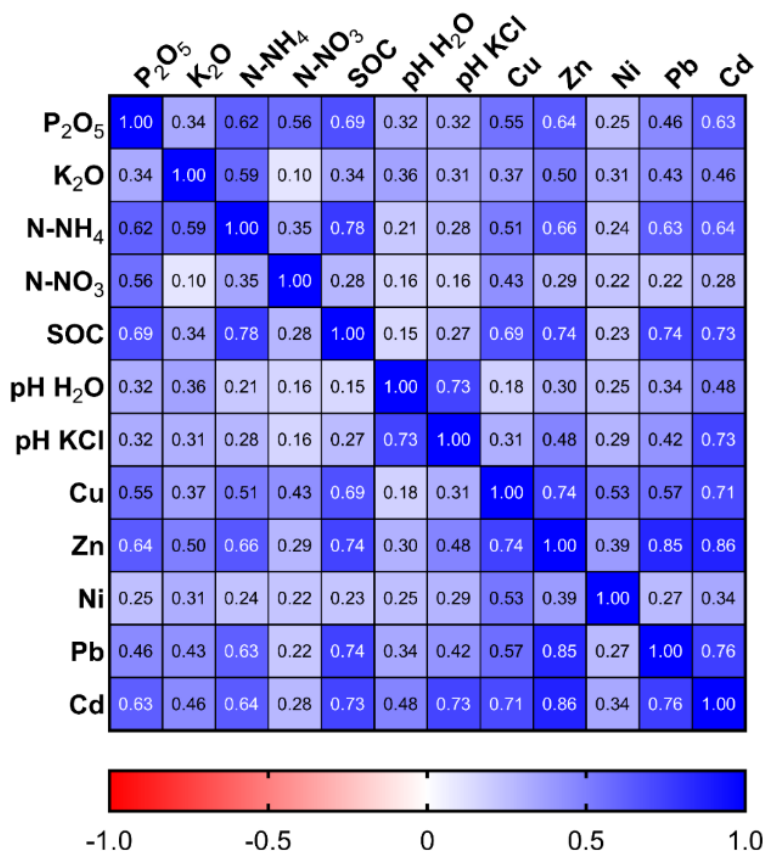


Рис. 5. Корреляционная матрица полученных данных (r – коэффициент корреляции Спирмена).

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 основ-

ных 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_{ur} 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.А., 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.: KMK Scientific Press Ltd., 1996. 360 с.
22. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
23. *Сомме 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.* Горноknязевский клад: Приложение к сборнику “Археология Арктики”. Калининград: ООО “Издательский Дом “РОСТ-ДООАФК”, 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 сокольниковым (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., ШUTOва 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., Kostecki 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., Pogrebennyye 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 (Sorption processes in soils. Issues of study and the current state of the problem), *Sorbtsionnye 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 arkhelogicheskom komplekse “Zeleni 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-srednevekov'e (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 vozvysheennost') (Paleosol studies of barrows in the Ilovlya River valley (Volga Upland)), *Pochvovedenie*, 2008, No. 2, pp. 133–145.
10. Dobrovolskii G.V., Makeev A.O., Paleontologiya i paleopochvovedenie (Paleontology and Paleosol Science), *Doklady po ekologicheskomu pochvovedeniyu*, 2009, Vol. 1, No. 11, pp. 95–125.
11. Kardash O.V., Gaidakova Z.G., Bukhta Nakhodka-2: pervye rezul'taty arkhelogicheskogo 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., Sokolkov 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 land-

scape 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 bronzы 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 arkheologicheskaya 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-glevoi 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 (Arctics 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., Kompleksnyye interdistsiplinarnye issledovaniya mnogoslonoogo poseleniya Yamgort I v Zapadnosibirskom Pripolyar'e (Comprehensive interdisciplinary studies of the Yamgort I multilayer settlement in the West Siberian Littoral), *Rossiiskaya arkheologiya*, 2022, No. 2, pp. 47–59.
27. Fedorova N.V., Gusev A.V., Podosenova Y.A., Korochkova O.N., *Gornoknyazevskii klad: Prilozhenie k sborniku "Arkheologiya 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 antropomorfная skul'ptura so svyatilishcha Ust'-Polui (Bone anthropomorphic sculpture from the Ust'-Polui sanctuary), *Arkheologiya, 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)), *Arkheologiya Arktiki*, 2014, pp. 162–174.
31. Fittskh'yu 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 arkheologicheskikh pamyatnikov Permskogo raiona: ego znachenie i svoistva (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 CINAO, 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., Gąsiorzek 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., Shamilishvilly 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).