

УДК 631.44

DOI: 10.19047/0136-1694-2025-125-214-243



Ссылки для цитирования:

Артемяева З.С., Когут Б.М., Цомаева Е.В., Засухина Е.С., Ярославцева Н.В., Никитин Д.А. Содержание и состав органического вещества почв архипелага Новая Земля // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2025. Вып. 125. С. 214-243. DOI: 10.19047/0136-1694-2025-125-214-243

Cite this article as:

Artemyeva Z.S., Kogut B.M., Tsomaeva E.V., Zasukhina E.S., Yaroslavtseva N.V., Nikitin D.A., Content and composition of organic matter in soils of the Novaya Zemlya archipelago, Dokuchaev Soil Bulletin, 2025, V. 125, pp. 214-243, DOI: 10.19047/0136-1694-2025-125-214-243

Содержание и состав органического вещества почв архипелага Новая Земля

© 2025 г. З. С. Артемяева^{1*}, Б. М. Когут^{1**}, Е. В. Цомаева^{1***},
Е. С. Засухина^{2****}, Н. В. Ярославцева^{1*****}, Д. А. Никитин^{1*****}

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

*<https://orcid.org/0000-0001-9781-9351>, e-mail: artemyevazs@mail.ru,

**<https://orcid.org/0000-0002-0565-2812>,

***<https://orcid.org/0000-0001-8934-8705>,

****<https://orcid.org/0000-0002-5805-4285>,

*****<https://orcid.org/0000-0002-8533-6536>.

²Федеральный исследовательский центр
“Информатика и управление” РАН, Россия,
119333, Москва, ул. Вавилова, 44, корп. 2,

****<https://orcid.org/0000-0001-5101-8751>.

Поступила в редакцию 19.09.2024, после доработки 24.03.2025,
принята к публикации 16.09.2025

Резюме: Впервые с помощью метода грануло-денсиметрического фракционирования с ультразвуковой диспергацией исследован компонентный состав органического вещества пелоземов сильноскелетных остаточно-карбонатных (Skeletal Leptosols (Loamic)), карбопелоземов (Calcaric Leptosols (Protic)), петроземов (Skeletal Leptosols (Protic)) и криоземов (Oxyaquic Cryosols (Loamic)) северной

части архипелага Новая Земля. Показано, что вне зависимости от глубины залегания горизонтов во всех исследованных почвах углерод (С) в дискретном органическом веществе (свободное – ЛФ_{СВ} и агрегированное – ЛФ_{АГР}) на 94–96% (в среднем) представлен органическим С (С_{орг}), в илстой фракции и остатке вклад С_{орг} снижается до 87 и 54% от С_{общ} фракции. Уровень накопления С_{орг} в различных фракциях во многом определяет микробиологическую активность почв. Коэффициент корреляции (R^2 , $p < 0.05$) между С_{орг} конкретных фракций (% в почве) и содержанием микробной биомассы снижается в следующем ряду: ЛФ_{АГР} (0.59) > мА (0.53) > ЛФ_{СВ} (0.50) > ил (0.36) > остаток (0.26), отражая важную роль структурных единиц почвы, в частности, неустойчивых в ультразвуковом поле микроагрегатов (мА), в обеспечении благоприятных экологических условий для функционирования микробиоты.

Ключевые слова: Арктика; экстремальные экосистемы; перигляциальная зона ледника; органическое вещество; грануло-денсиметрическое фракционирование; биомасса микроорганизмов.

Content and composition of organic matter in soils of the Novaya Zemlya archipelago

© 2025 Z. S. Artemyeva^{1*}, B. M. Kogut^{1**}, E. V. Tsomaeva^{1***},
E. S. Zasukhina^{2****}, N. V. Yaroslavtseva^{1*****}, D. A. Nikitin^{1*****}

¹Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”,
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,
*<https://orcid.org/0000-0001-9781-9351>, e-mail: artemyevazs@mail.ru,

**<https://orcid.org/0000-0002-0565-2812>,
***<https://orcid.org/0000-0001-8934-8705>,
****<https://orcid.org/0000-0002-5805-4285>,
*****<https://orcid.org/0000-0002-8533-6536>.

²Federal Research Center “Computer Science and Control “RAS,
2 Bld. 44 Vavilova Str., Moscow 119333, Russian Federation,
****<https://orcid.org/0000-0001-5101-8751>.

Received 19.09.2024, Revised 24.03.2025, Accepted 16.09.2025

Abstract: For the first time, the composition of organic matter (OM) in strongly skeletal residual carbonate pelozems (Skeletal Leptosols (Loamic)), carbopetrozems (Calcaric Leptosols (Protic)), petrozems (Skeletal Leptosols (Protic)) and cryozems (Oxyaquic) in the northern part of the Novaya Zemlya archipelago was studied using granulometric fractionation. It has been shown

that, regardless of the depth of the horizons in all studied objects, carbon in particulate OM (free – LF_{fr} and occluded – LF_{occ}) is 94–96% (on average) represented by organic C (C_{org}), in the clay fraction and the residue, the share of C_{org} decreases to 87 and 54% of the C_{total} in fraction. The level of C_{org} accumulation in various fractions largely determines the microbiological activity in the studied soils. The correlation coefficient (R^2 , $P < 0.05$) between C_{org} of specific fractions (% in soil) and the content of microbial biomass decreases in the following order: LF_{occ} (0.59) > mA (0.53) > LF_{fr} (0.50) > clay (0.36) > residue (0.26), reflecting the important role of soil structural units, in particular, microaggregates within aggregates (mA) that are unstable in the ultrasonic field, in providing comfortable environmental conditions for the microbiota.

Keywords: Arctic; extreme ecosystems; periglacial glacier zone; organic matter; granulo-density fractionation; biomass of microorganisms.

ВВЕДЕНИЕ

Архипелаг Новая Земля остается слабоизученным в силу наличия на его территории полигона для испытаний ядерного оружия (с 1954 г. до 90-х гг. XX в.) и, как следствие, крайне ограниченного к нему доступа. Но с 2009 г., благодаря появлению национального парка “Русская Арктика”, самой северной и наибольшей по площади особо охраняемой территории России, появилась возможность исследовать эти в прошлом “белые пятна” на территории архипелага. Комплексное изучение Арктики и Антарктики в настоящее время приобретает все большее значение, так как с конца XX в. температура воздуха за полярным кругом выросла в среднем на 2 °C (Post et al., 2019), что повлияло на арктические ландшафты, которые стали активно покрываться тундровой растительностью.

На формирование рельефа архипелага большое влияние оказали оледенения как прошлые, так и современное. Эти события придали ландшафту черты высокогорий. В рельефе архипелага присутствуют как горные массивы, так и равнинная местность. Абсолютные высоты в некоторых точках превышают 1 000 м. На островах Северный и Южный наблюдается высокогорный рельеф. Более подробное описание физико-географических характеристик архипелага Новая Земля приведено в работе (Семенков, 2020).

Начало современного этапа исследования почв Арктики было положено в конце прошлого столетия (Горячкин и др., 1998) и вновь продолжено с 2017 г. благодаря развитию национального парка “Русская Арктика” и проекта “Арктический плавучий университет” (Крупская и др., 2017; Мирошников и др., 2017). Результатом этих исследований стали пионерные данные по геологии и геохимии этой уникальной территории. Широкое покрытие местности скалами и каменистыми россыпями, накопление мелкозема на поверхности снежников и ледников (Крупская и др., 2017), наряду с чрезвычайно суровыми климатическими условиями во многом обуславливают слабую развитость почвообразовательных процессов.

В связи с современными климатическими вызовами, связанными с проблемой парникового эффекта, обусловленными в значительной степени углеродсодержащими газами, арктический регион приобретает стратегически важное с научной точки зрения значение. Поэтому на данный момент в России усиленное внимание сосредоточено на изучении природы органического вещества (ОВ) в почвах этого уникального региона. В условиях чрезвычайно сурового климата, распространения сплошной многолетней мерзлоты, низкой суммы положительных температур интенсивность минерализации и гумификации ОВ арктических почв крайне слаба. Поэтому исследование ОВ этих своеобразных почв требует специальных методов и подходов (Артемьева и др., 2016). Для специфических условий педогенеза на Крайнем Севере и, в частности, гумусообразования, помимо традиционных методов изучения содержания, состава и природы гумуса почв (Кононова, 1963; Орлов, 1974; Тюрин, 1937), большое значение имеет развивающееся в последнее время направление исследования ОВ на основе физического фракционирования почв, с особым акцентом на изучение детрита, представляющего исходный материал для формирования почвенного гумуса (Артемьева, Федотов, 2013).

В настоящее время в качестве перспективного способа разделения химически и биологически наиболее гомогенных органоминеральных компонентов представляет метод гранулоденсиметрического фракционирования с выделением группы легких фракций с плотностью $< 1.8 \text{ г/см}^3$ – “свободное” и “агрегиро-

ванное” ОВ, и ОВ илистой фракции и остатка. Эффективность использования такого варианта обусловлена прежде всего тем, что он обеспечивает отделение основной массы ОВ от тонкодисперсных минеральных компонентов почв, что существенно, в частности, для выявления роли последних в аккумуляции и формировании устойчивого пула С. Данный экспериментальный способ открывает возможности для использования функционально значимых пулов ОВ в качестве инструмента уточнения генетических особенностей почв и экологических условий (гидрологических и термических параметров) их формирования. Следует отметить, что этот подход был уже ранее с успехом использован при изучении почв Крайнего Севера, в том числе погребенной торфяной почвы (озеро Белое) (Артемьева и др., 2016).

Цель работы – изучить содержание ОВ и его компонентный состав, в определенной степени взаимосвязанный с функционированием микробоценоза почв о. Северный архипелага Новая Земля.

Объекты и методы

Объекты исследования расположены на о. Северный архипелага Новая Земля. В качестве почвообразующих пород преобладают дериваты карбонатных глинистых сланцев и алевролитов, а также известняков – сильнощелочные, преимущественно карбонатные суглинки и глины (Семенов, 2020).

Климат – морской арктический, среднегодовые температуры составляют -8 и -10 °С (Русская Гавань и Мыс Желания), средние температуры июля – $+4.2$ и $+1.8$ °С (Мосеев, 2017). Количество осадков – 320–340 мм/год (Грищенко, 2009). Отбор образцов проводился во второй половине июля 2018 г. в ходе экспедиции по проекту “Арктический плавучий университет”. Согласно Классификации почв (Классификация ..., 1977), учитывая региональные особенности Арктики (Ананко и др., 2020), и международной классификации (WRB, 2022), изученные почвы отнесены к пелоземам сильноскелетным остаточно-карбонатным (Skeletal Leptosols (Loamic)), карбопетроземам (Calcaric Leptosols (Protic)), петроземам (Skeletal Leptosols (Protic)) и криоземам (Oxyaquic Cryosols (Loamic)). Более подробная информация о местонахождении, о некоторых химических и физических свойствах этих почв представлена ранее (Никитин и др., 2021a, b).

Были исследованы почвы на следующих объектах:

- Мыс Желания:** Криозем остаточно-карбонатный сильно скелетный (р. 1)
N 76°93'21", E 68°46'90";
Петрозем криотурбированный остаточно-карбонатный сильно скелетный (р. 2)
N 76°95'52", E 68°49'02".
- Ледяная Гавань:** Карбопетрозем очень сильно скелетный (р. 3)
N 76°17'54", E 68°09'11";
Пелозем гумусовый криотурбированный остаточно-карбонатный сильно скелетный (р. 4)
N 76°17'51", E 68°09'14";
Пелозем гумусовый перегнойный остаточ-но-карбонатный сильно скелетный (р. 5)
N 76°17'44", E 68°08'55".
- Русская Гавань:** Криозем глееватый скелетный (р. 6)
N 76°11'288", E 62°40'196";
Петрозем (р. 7)
N 76°10'937", E 62°42'98";
Карбопетрозем гумусовый мерзлотный сильно скелетный (р. 8)
N76°10'912", E 62°43'825";
Пелозем остаточно-карбонатный сильно скелетный (р. 9)
N 76°10'789", E 62°45'389".
- Бухта
Благополучия:** Пелозем гумусовый остаточно-карбонатный средне скелетный (р. 10)
N 75°37'25", E 63°48'51";
Криозем грубогумусовый остаточно-карбонатный (р. 11)
N 75°37'41", E 63°47'46".

В настоящей работе использован метод гранулоденсиметрического фракционирования почв с ультразвуковой диспергацией, полная схема которого была представлена ранее (Artemyeva et al., 2021). Схема фракционирования выглядит следующим образом. С помощью бромформ-этанольной смеси (БЭС) выделяли свободное ОВ (ЛФ_{СВ} – легкие фракции плотностью $< 1.8 \text{ г/см}^3$). Далее для разрушения агрегатов использовали ультразвуковой диспергатор зондового типа ЛУЗД-0.5К-02-00000 ПС (Криамид, Россия). Озвучивание (71 Дж/мл) образца почвы (10 г + 50 мл деионизированной воды) осуществляли в течение 1 мин. с последующим центрифугированием. Процедуру повторяли 15 раз. После удаления илистых частиц с помощью БЭС выделяли агрегированное ОВ (ЛФ_{АГР} – легкие фракции плотностью $< 1.8 \text{ г/см}^3$). Повторность трехкратная.

Таким образом, примененный метод позволяет выделить четыре пула ОВ: неагрегированное (свободное) ОВ (ЛФ_{СВ}), агрегированное ОВ (ЛФ_{АГР}), ОВ ила (Ил) и остатка (Ост).

Кроме того, используя данную схему фракционирования, почву можно разделить на две группы микроагрегатов, различающихся по степени устойчивости к диспергирующему действию ультразвука. Крупные (50–250 мкм) микроагрегаты, неустойчивые в ультразвуковом (УЗ) поле (МА), состоят из органических остатков разной степени минерализации-гумификации (ЛФ_{АГР}) и глинистых частиц (Ил). Связь между компонентами слабая, поэтому они легко высвобождаются под влиянием кавитации. Мелкие (1–50 мкм) микроагрегаты, устойчивые в УЗ поле, представлены во фракции остатка (Ост).

Содержание углерода (общего (C_{общ}) и неорганического (C_{неорг})), как и общего азота (N) в пробах почв и гранулоденсиметрических фракциях определяли методом каталитического сжигания на анализаторе TOC Analyzer (Shimadzu, Japan). При этом содержание C_{орг} в анализируемых пробах определяли по разности между C_{общ} и C_{неорг} (определяли в одной пробе до и после разрушения карбонатов 10%-ной HCl). Все измерения были выполнены в двукратной повторности.

Статистическую обработку результатов выполняли с использованием пакета Microsoft Excel 2010. Выбранный уровень

значимости был $p < 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Закономерности аккумуляции массы основных органо-минеральных фракций

Свободное ОВ (ЛФ_{СВ}, плотность < 1.8 г/см³)

Количество ЛФ в почвах исследованных объектов значительно варьирует (рис. 1). Если в органогенном горизонте (СJ-22) криозема р. 1 объекта **Мыс Желания** масса ЛФ закономерно выше (более чем наполовину состоит из свободного ОВ (ЛФ_{СВ})), по сравнению с таковым нижележащего горизонта (СJ-23), где ЛФ_{СВ} практически отсутствует – (< 1%), то в р. 2 (петроземе криотурбированном остаточно-карбонатном сильно скелетном) четко прослеживаются признаки погребения горизонта (СJ-25), обогащенного свободным ОВ (ЛФ_{СВ}), что, по-видимому, является следствием криотурбационных процессов (например, подстилка (надземная или корневая) опускается вниз и перемешивается с более глубокими слоями), широко распространенных на территории архипелага (рис. 1). Кроме того, свободное ОВ также может быть включено в более глубокие слои из-за повторного отложения богатого органикой аллювиального материала или длительного отложения ОВ в торфах. После погребения ОВ неблагоприятные климатические условия (низкие температуры и промерзание почвы) будут препятствовать его разложению (Gerzabek et al., 2004; Bockheim et al., 2006),

На объекте **Ледяная Гавань** по содержанию свободного ОВ (ЛФ_{СВ}) явно выделяется пелозем р. 5: его верхний горизонт (LG-15) более чем на 25% представлен именно свободным ОВ. Образцы почв, отобранные из двух других разрезов этого объекта, характеризуются значительно меньшим содержанием ЛФ_{СВ} – почти в 3 раза (гор. LG-12 – пелозем), а в гор. LG-11 (карбопетрозем р. 3) свободное ОВ практически отсутствует (< 0.1%). Распределение ЛФ_{СВ} по профилю имеет хорошо выраженный аккумулятивный характер – его количество резко уменьшается с глубиной, не достигая 0.1%.

Для почв объекта **Бухта Благополучия** (пелозем р. 10 и криозем р. 11) отмечены существенные различия в содержании ЛФ_{СВ}: в пелоземе количество ЛФ_{СВ} составляет $< 0.1\%$, тогда как в криоземе оба вскрытых горизонта (ВВ-9 и ВВ-10) характеризуются значительно большим количеством ЛФ_{СВ} (более чем на порядок). При этом в криоземе наблюдаются признаки погребения: нижний горизонт (ВВ-10) содержит в 2.5 раза больше свободного ОВ (ЛФ_{СВ}) по сравнению с таковым в верхнем горизонте (ВВ-9) (рис. 1).

На объекте **Русская Гавань** лишь в криоземе (р. 6) обнаружено небольшое количество ЛФ_{СВ} (2–3%) (гор. RG-1, RG-2), в то время как в петроземе (р. 7), карбопетроземе (р. 8) и пелоземе (р. 9) свободное ОВ практически отсутствует ($< 0.1\%$) (рис. 1).

Агрегированное ОВ (ЛФ_{АГР}, плотность $< 1.8 \text{ г/см}^3$)

Мыс Желания. По уровню накопления агрегированного ОВ (ЛФ_{АГР}) верхние горизонты криозема (р. 1) и петрозема (р. 2) различаются несущественно: его содержание составляет $\sim 0.2\%$. Исключение отмечено лишь в гор. CJ-25, где оно составляет $< 0.1\%$ (рис. 1). Распределение агрегированного ОВ в почвенных профилях обоих разрезов носит аккумулятивный характер.

Следует отметить, что общее содержание дискретного ОВ (ЛФ_{СВ}, ЛФ_{АГР}) по всему профилю криозема на порядок выше по сравнению с таковым в петроземе. При этом компонентный состав дискретного ОВ в почвах данного объекта различен: в гор. CJ-22 и CJ-25 (криозема и петрозема соответственно) абсолютно преобладает свободное ОВ (почти 100% массы $\Sigma_{\text{ЛФ}}$), а в гор. CJ-23 и CJ-24 (криозема и петрозема соответственно) дискретное ОВ представлено в большей степени агрегированным ОВ: 82 и 79% массы $\Sigma_{\text{ЛФ}}$ (криозема и петрозема соответственно).

Ледяная Гавань. Из трех почв на данном объекте лишь в карбопетроземе (р. 3) количество ЛФ_{АГР} незначительно – едва достигает 0.2% (рис. 1). Верхние горизонты пелоземов остальных двух разрезов (4 и 5) характеризуются значительно большим содержанием ЛФ_{АГР} – оно в них практически одинаковое ($\sim 4\%$).

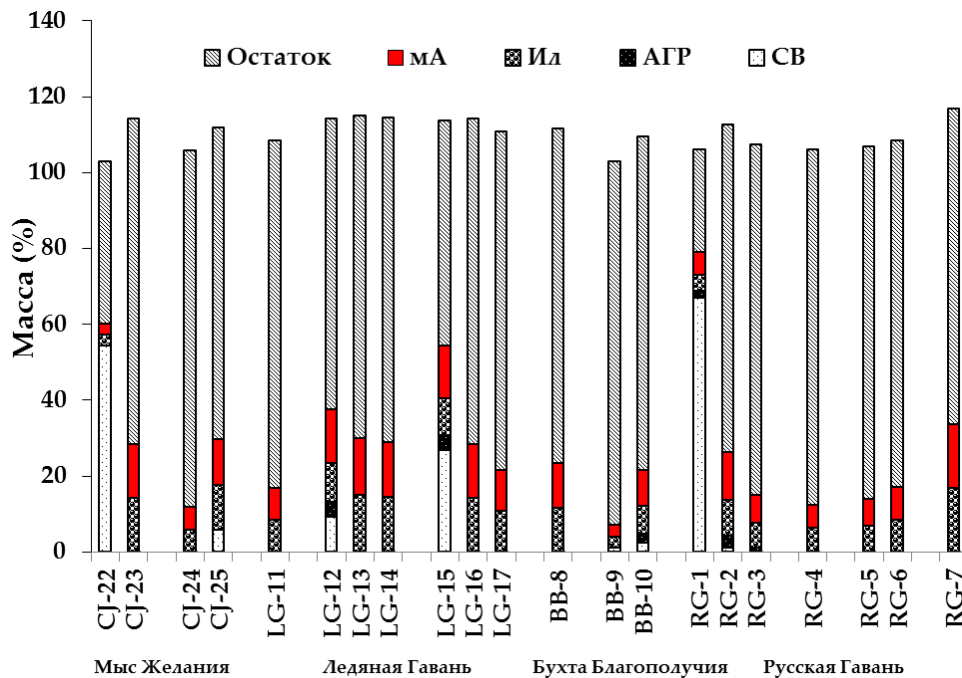


Рис. 1. Компонентный состав исследованных объектов.

Fig. 1. Component composition of the studied objects.

Однако характер распределения $ЛФ_{АГР}$ по профилю в этих разрезах кардинально разный: если в почве р. 5 он аккумулятивный, то в р. 4 очевидны признаки погребения, скорее всего, как следствие криотурбационных процессов.

Компонентный состав дискретного ОВ в верхних горизонтах пелоземов рр. 4 и 5 одинаков – на 70–87% (на массу $\Sigma_{ЛФ}$) оно состоит из $ЛФ_{СВ}$, а в нижних – преимущественно из $ЛФ_{АГР}$. Исключение отмечено лишь для гор. LG-17, где дискретное ОВ состоит примерно поровну из этих двух фракций (рис. 1).

Русская Гавань. Почвы данного объекта различаются как по количеству $ЛФ_{АГР}$, так и по характеру его распределения по профилю. В верхнем горизонте (RG-1) криозема р. 6 количество $ЛФ_{АГР}$ в 1.6 раза меньше по сравнению с таковым в нижележащем горизонте (RG-2), и далее оно снижается вниз по профилю: в гор. RG-3 количество $ЛФ_{АГР}$ более чем в 3.5 раза ниже по сравнению с таковым в гор. RG-2 (рис. 1). Тем не менее, распределение дискретного ОВ ($ЛФ_{СВ}$ и $ЛФ_{АГР}$) в почвенном профиле криозема носит аккумулятивный характер. При этом в верхнем горизонте (RG-1) оно практически полностью представлено $ЛФ_{СВ}$ (97% на массу $\Sigma_{ЛФ}$), а в нижележащих горизонтах (RG-2 и RG-3) – преимущественно $ЛФ_{АГР}$ (74–80% массы $\Sigma_{ЛФ}$).

Для карбопетрозема р. 8 отмечено увеличение общего количества дискретного ОВ ($\Sigma_{ЛФ}$) в нижележащем горизонте RG-6 по сравнению с таковым гор. RG-5; однако содержание $ЛФ_{СВ}$ в последнем больше (почти в 1.4 раза) по сравнению с таковым в гор. RG-6 (рис. 1). Содержание $ЛФ_{АГР}$ в гор. RG-6 выше по сравнению с таковым в вышележащем гор. RG-5 (в 1.9 раза), что свидетельствует в пользу погребения гор. RG-6, по-видимому, в результате криотурбационных процессов. Соответственно, состав дискретного ОВ в р. 10 представлен преимущественно агрегированным ОВ ($ЛФ_{АГР}$): 71–87% от $\Sigma_{ЛФ}$.

Бухта Благополучия. Для $ЛФ_{АГР}$ почв данного объекта наблюдаются тенденции, аналогичные отмеченным ранее для $ЛФ_{СВ}$: в профиле криозема (р. 11) четко прослеживается погребенный гор. ВВ-10 с повышенным, по сравнению с таковым вышележащего гор. ВВ-9, содержанием $ЛФ_{АГР}$ (более чем в 20 раз) (рис. 1).

Дискретное ОВ в пелоземе (р. 10) почти на 90% представлено ЛФ_{АГР}, в отличие от криозема, где верхний горизонт (ВВ-9) практически полностью состоит из ЛФ_{СВ} (более 90% массы $\Sigma_{\text{ЛФ}}$), тогда как состав дискретного ОВ в нижележащем гор. ВВ-10 примерно поровну представлен ЛФ_{СВ} и ЛФ_{АГР} (рис. 1).

Илистая фракция (< 1 мкм)

Содержание илистой фракции во всех объектах в среднем составляет 9.3% с минимальным количеством в органогенных горизонтах (СJ-22 и RG-1): 2.7 и 4.2% соответственно. Повышенные количества илистой фракции, как правило, отмечены в нижних горизонтах всех объектов, за исключением пелоземов (рр. 4, 5), а также криозема (р. 6), где зафиксировано незначительное снижение содержания ила вниз по профилю (гор. LG-14, LG-17, RG-3 соответственно) (рис. 1). Максимально тяжелым гранулометрическим составом выделяется пелозем р. 9 с содержанием илистой фракции > 16% (16.8%) (рис. 1).

Микроагрегаты внутри агрегатов (неустойчивые в УЗ-поле) – МА – состоят из ЛФ_{АГР} (ядро) и илстых частиц, капсулирующих ядро микроагрегатов.

Количество структурных отдельностей такого рода, как правило, согласуется с содержанием илистой фракции в почве (рис. 1). Соответственно, максимальное количество МА наблюдается в наиболее тяжелых по гранулометрическому составу горизонтах. Следует отметить, что пелозем р. 4 (гор. LG-12 ÷ LG-14) объекта **Ледяная Гавань** отличается от почв всех остальных объектов наиболее равномерным распределением содержания МА по почвенному профилю. Количество МА в пелоземе р. 4 колеблется в очень узких пределах (14.2–15.0% на массу почвы), что наиболее близко к максимально наблюдаемому (16.7% на массу почвы в р. 9) в исследуемых объектах.

Фракция остатка

В состав фракции остатка входят крупнозернистый минеральный компонент (преимущественно первичные минералы), устойчивые в УЗ-поле микроагрегаты, с незначительной примесью лигниноподобных и углеподобных веществ (Артемьева, Фе-

дотов, 2013). Фракция остатка в почвах изученных объектов, как правило, преобладает над остальными фракциями и достигает 77–96%. Исключение отмечено лишь для органогенных горизонтов (CJ-22 и RG-1), где содержание фракции остатка в почве составляет 42.8 и 26.9% соответственно (рис. 1).

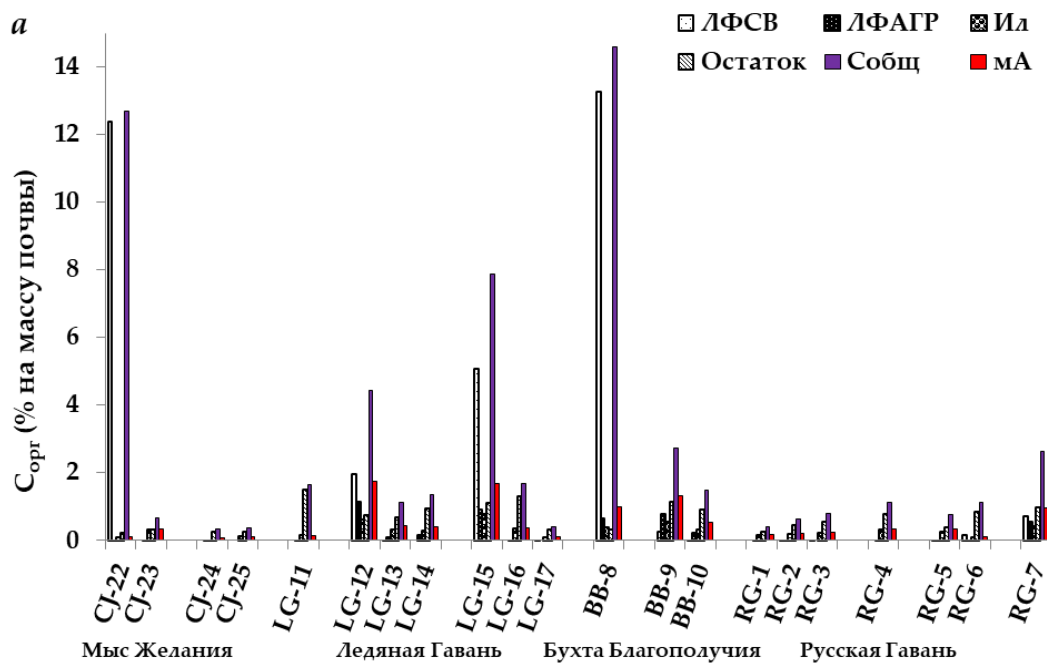
Качественный состав ОБ почв рассмотренных объектов

Мыс Желания. По уровню накопления $C_{орг}$ почвы данного объекта существенно различаются: в гор. CJ-22 криозема р. 1 его содержание в 38 раз превышает таковое в гор. CJ-24 петрозема р. 2 (рис. 2), что обусловлено, в первую очередь, компонентным составом ОБ почв данных разрезов. В первом случае $C_{орг}$ почвы практически полностью представлено $ЛФ_{СВ}$ (почти 98% от $C_{орг}$ почвы), на долю $C_{орг}$ илистой фракции и остатка приходится менее 1 и 1.6% от $C_{орг}$ почвы соответственно (табл. 1). Во втором случае (петрозем р. 2) свободное ОБ ($ЛФ_{СВ}$) отсутствует, дискретное ОБ состоит лишь из $ЛФ_{АГР}$, на долю которого приходится < 5%, а подавляющая часть $C_{орг}$ почвы представлена илистой фракцией и остатком (21 и 75% от $C_{орг}$ почвы соответственно).

Следует отметить, что углерод свободного ОБ в гор. CJ-22 криозема р. 1 практически нацело представлен $C_{орг}$, доля $C_{неорг}$ не превышает 0.3% от $C_{СВ}$ (табл. 1).

Качественный состав $ЛФ_{СВ}$ в гор. CJ-22 криозема р. 1 свидетельствует о значительной его обедненности азотом ($C/N = 30$), что, вероятно, связано с повышенной микробной биомассой в этом горизонте среди всех изученных разрезов данного объекта (170 против 23–60 мкг/г почвы в гор. CJ-23 – CJ-25) (Никитин и др., 2021b) (рис. 3).

Состав $ЛФ_{АГР}$ в рассматриваемых почвах свидетельствует о существенном “загрязнении” дискретного ОБ тонкодисперсным минеральным компонентом, что отражается в пониженных величинах концентрации $C_{орг}$ (8–15.2% на массу фракции). Ранее было выявлено, что в составе $ЛФ_{АГР}$ всегда присутствует минеральный компонент, тем не менее, величина концентрации C для $ЛФ_{АГР}$ оставалась выше 20% на массу фракции (Федотов, Артемьева, 2015).



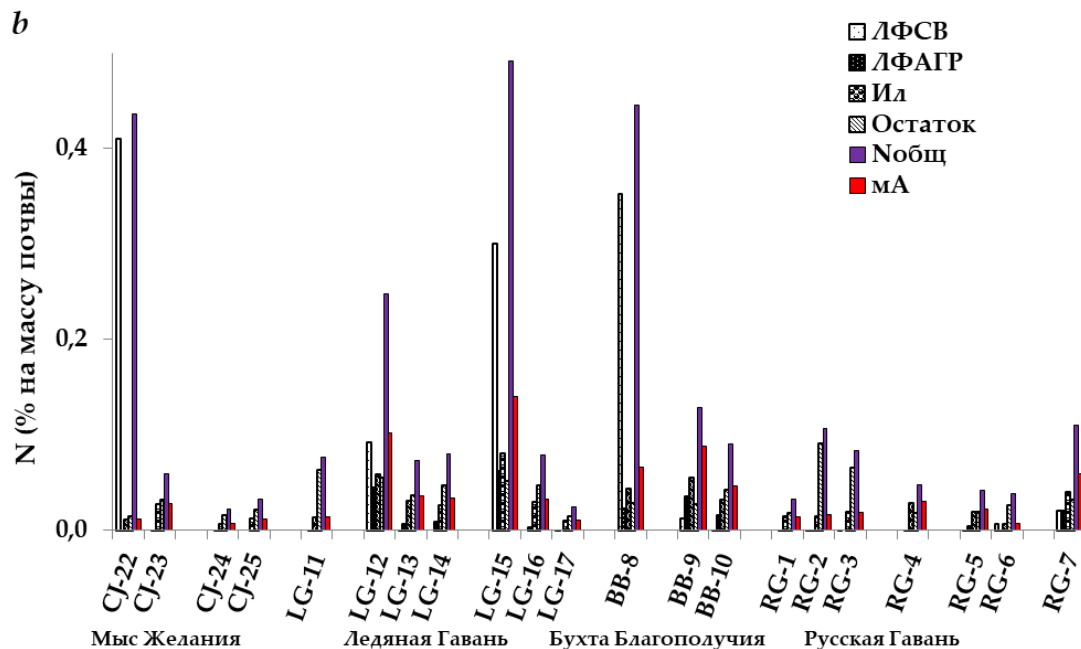


Рис. 2. Содержание углерода (% на массу почвы) (*a*), азота (% на массу почвы) (*b*) в разных фракциях.
Fig. 2. Carbon content (% in soil) (*a*), nitrogen (% in soil) (*b*) in different fractions.

Таблица 1. Доли $C_{\text{орг}}$ и $C_{\text{неорг}}$ в разных органо-минеральных фракциях исследованных объектов
Table 1. Proportions of $C_{\text{орг}}$ and $C_{\text{неорг}}$ in different organo-mineral fractions of the studied objects

Объект	№ разреза	Почва	Горизонт	ЛФ _{СВ}		ЛФ _{АГР}		Ил		Остаток		мА	
				$C_{\text{неорг}}$	$C_{\text{орг}}$	$C_{\text{неорг}}$	$C_{\text{орг}}$	$C_{\text{неорг}}$	$C_{\text{орг}}$	$C_{\text{неорг}}$	$C_{\text{орг}}$	$C_{\text{неорг}}$	$C_{\text{орг}}$
				% в ТОС		% в ТОС		% в ТОС		% в ТОС		% в ТОС	
Мыс Желания	1	Криозем	CJ-22		100	69	31	2	98	10	90	18	82
			CJ-23				100	5	95	42	58	4	96
	2	Петрозем	CJ-24			2	98	10	90	28	72	9	91
			CJ-25					12	88	35	65	12	88
Ледяная Гавань	3	Карбопетрозем	LG-11			23	77	46	54	74	26	45	55
	4	Пелозем	LG-12	2	98	1	99	4	96	54	46	2	98
			LG-13	6	94	1	99	15	85	63	37	12	88
			LG-14			1	99	16	84	51	49	12	88
	5	Пелозем	LG-15	3	97	1	99	6	94	59	41	4	96
			LG-16			2	98	15	85	63	37	14	86
			LG-17	1	99			15	85	44	56	15	85
Бухта Благополучия	10	Пелозем	BB-8		100	4	96	29	71	58	42	25	75
	11	Криозем	BB-9	1	99	1	99	14	86	29	71	13	87
			BB-10		100		100	3	97	12	88	1	99
	6	Криозем	RG-1	1	99		100	6	94	31	69	3	97
			RG-2		100		100	1	99	11	89	1	99
			RG-3		100	1	99	3	97	29	71	2	98
Русская Гавань	7	Петрозем	RG-4				100	5	95	51	49	5	95
	8	Карбопетрозем	RG-5	29	71	6	94	26	74	85	15	24	76
			RG-6	5	95	1	99	20	80	82	18	20	80
	9	Пелозем	RG-7			1	99	12	88	61	39	11	89

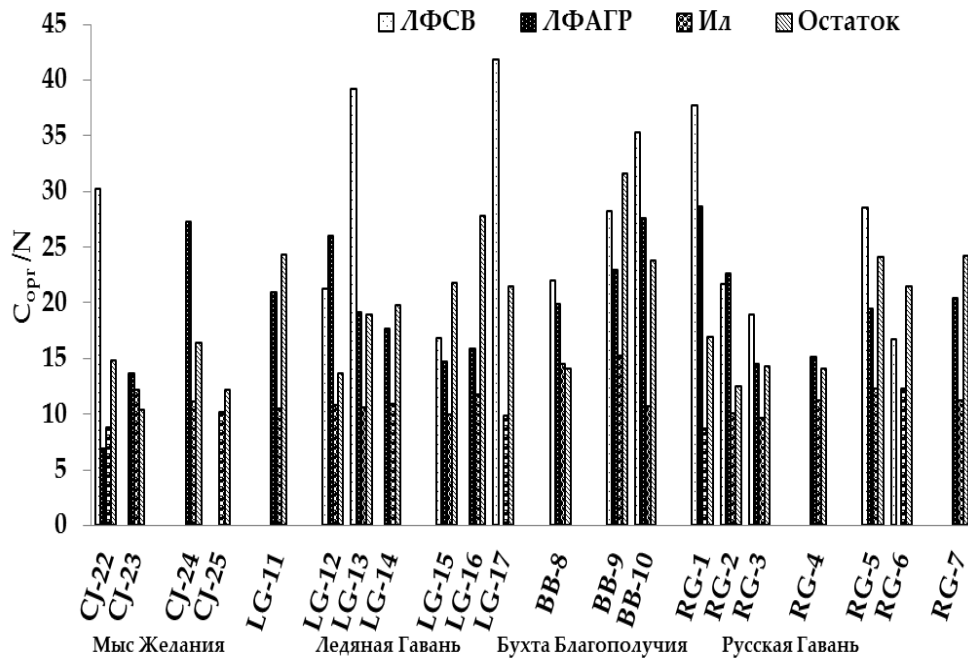


Рис. 3. Величина отношения C_{org}/N в арктических почвах.

Fig. 3. The C_{org}/N ratio in arctic soils.

Наличие значительных количеств тонкодисперсного минерального компонента может быть следствием особенностей минералогического состава почв изученного объекта.

В условиях периодических циклов замерзания/оттаивания велика вероятность физического нарушения кристаллической решетки глинистых минералов, провоцирующих образование глинистых ультрамикроагрегатов очень мелкого размера с удельным весом, соизмеримым с таковым легких фракций. Следствием этого может быть “загрязнение” легких фракций этим ультрамикротонкодисперсным минеральным материалом.

В отличие от свободного ОВ, углерод $ЛФ_{АГР}$ в гор. СJ-22 криозема р. 1 почти на 70% представлен $C_{неорг}$ (табл. 1), вниз по профилю доля его снижается до 0.3% от $C_{ЛФ}^{АГР}$. Напротив, углерод в поверхностном гор. СJ-24 петрозема р. 2 почти полностью представлен $C_{орг}$, доля $C_{неорг}$ составляет $< 2\%$ от $C_{ЛФ}^{АГР}$.

Качественный состав ОВ илистой фракции в почвах данного объекта также характеризуется весьма низкими величинами концентрации C (1.1–3.6% на массу фракции), что, по-видимому, свидетельствует о ярко выраженной микробной природе ОВ в илистой фракции с преобладанием адсорбции микробных остатков (например, клеточных остатков) на минеральную матрицу, наряду с особенностями минералогического состава.

Илистая фракция петрозема р. 2 характеризуется повышенной долей $C_{неорг}$ в составе общего $C_{Ил}$ по сравнению с таковой криозема р. 1 (10.4–12.3 против 2.4–4.7% от $C_{Ил}$ соответственно) (табл. 1).

Состав ОВ фракции остатка в исследованных почвах двух разрезов достаточно обычен и однотипен: C/N колеблется в пределах 10–16 (рис. 3).

Для фракции остатка в почвах объекта отмечены наиболее высокие доли $C_{неорг}$ в составе общего $C_{Ост}$ (10.4–42.2% от $C_{Ост}$) (табл. 1). Аналогично илистой фракции, вклад $C_{неорг}$ в исследованных почвах увеличивается с глубиной.

Ледяная Гавань. Уровень накопления почвенного органического углерода (ПОУ) в верхних горизонтах разрезов данного объекта (карбопетрозем р. 3 и пелоземы рр. 4, 5) увеличивается в следующем ряду: $LG-11 < LG-12 < LG-15$ (рис. 2). Почвы изучен-

ных разрезов значительно различаются по компонентному составу углерода (табл. 1). В частности, в карбопетрозе (р. 3) отсутствует ЛФ_{СВ}, и 91% от $C_{орг}$ почвы представлено фракцией остатка, а на долю ОВ илистой фракции и дискретного ОВ (ЛФ_{АГР}) приходится только 8 и < 1% от $C_{орг}$ почвы соответственно. В почвенном профиле пелозема (р. 4) наблюдается аккумулятивный характер распределения $C_{орг}$: в верхнем горизонте (LG-12) на долю ЛФ_{СВ} и ЛФ_{АГР} приходится почти 44 и 26% от $C_{орг}$ почвы соответственно. При этом вклады ОВ илистой фракции и остатка примерно равны и составляют 14 и 17% соответственно. В нижележащем горизонте (LG-13) доля ЛФ_{СВ} резко снижается (в 34 раза), а ЛФ_{АГР} – в 2.7 раза по сравнению с таковыми в вышележащем гор. LG-12. Следовательно, большая часть $C_{орг}$ почвы сосредоточена в илистой фракции и остатке (29 и 61% от $C_{орг}$ почвы соответственно). В гор. LG-14 пелозема (р. 4) отмечено незначительное увеличение доли ЛФ_{АГР} в составе $C_{орг}$ почвы по сравнению с таковой в вышележащем гор. LG-13 (11 против 9% соответственно), что, по-видимому, является проявлением криотурбационных процессов (табл. 1). Это сопровождается уменьшением в гор. LG-14 вклада илистой фракции (в 1.4 раза) и увеличением вклада остатка (в 1.1 раза) по сравнению с таковыми в гор. LG-13. В органо профиле пелозема (р. 5), на первый взгляд, не наблюдается признаков криотурбации – он имеет выраженный аккумулятивный характер: величина $C_{орг}$ почвы снижается вниз по профилю (рис. 2). Однако присутствие ЛФ_{СВ} на глубине 17–30 см явно свидетельствует об участии криотурбационных процессов в формировании пелозема. В верхнем горизонте (LG-15) пелозема (р. 5) $C_{орг}$ почвы более чем наполовину (> 64%) представлен ЛФ_{СВ}, вклад ЛФ_{АГР} значительно ниже (11% от $C_{орг}$ почвы) (табл. 1). На долю ОВ илистой фракции и остатка приходится лишь 10 и 14% от $C_{орг}$ почвы соответственно. В нижележащем гор. LG-16 вклад ЛФ_{АГР} в $C_{орг}$ почвы снижается в 4 раза, при этом ЛФ_{СВ} отсутствует, а доли илистой фракции и остатка увеличиваются в 2 и 5 раз соответственно, по сравнению с таковыми в гор. LG-15. Вниз по профилю в гор. LG-16 на долю ЛФ_{СВ} приходится почти 2% от $C_{орг}$ почвы, вклад ОВ илистой фракции увеличивается до 24%, а остатка – снижается до 74% от $C_{орг}$ почвы (табл. 1).

Горизонты LG-12 и LG-13 пелозема (р. 4) существенно различаются между собой по качественному составу ЛФ_{СВ}. Величина отношения C/N этой фракции в гор. LG-12 составляет 21 (рис. 3), что, вероятно, связано с особенностями микробной активности. В данном горизонте отмечена максимальная среди всех почв исследованной территории величина микробной биомассы: 390 против 90 мкг/г почвы в горизонтах LG-11–LG-17 (Никитин и др., 2021b). Нижележащий гор. LG-13 явно “загрязнен” минеральным компонентом и характеризуется весьма низкими (для ЛФ_{СВ}) величинами концентрации C_{орг} и N – 15.5 и 0.4% на массу фракции.

Доля C_{неорг} в общем C_{СВ} поверхностных горизонтов (LG-12 и LG-15) пелоземов (пр. 4, 5) выше по сравнению с таковой гор. CJ-22 объекта Мыс Желания в 6–10 раз (табл. 1).

Состав ЛФ_{АГР} в почвах исследованных разрезов данного объекта достаточно обычен и однотипен: C/N колеблется в пределах 15–26 (рис. 3). Единственное исключение отмечено для гор. LG-11, где, аналогично почвам объекта Мыс Желания, ЛФ_{АГР} характеризуется низкими величинами концентрации C и N (7 и 0.3% на массу фракции соответственно), что свидетельствует о значительном присутствии в ее составе ультратонкодисперсного минерального компонента.

Доля C_{неорг} в общем C_{АГР} исследованных почв объекта Ледяная Гавань незначительна – не превышает 2.3% от C_{АГР}. Исключение отмечено лишь для гор. LG-11 криозема р. 3, где вклад C_{неорг} в общий C_{АГР} составил почти 23% (табл. 1). Тем не менее, это более чем в 3 раза ниже по сравнению с таковым в гор. CJ-22 криозема р. 1 объекта Мыс Желания.

Качественный состав ОВ илистой фракции в верхних гор. (LG-12, LG-15) пелоземов (пр. 4, 5 соответственно) характеризуется достаточно высокими величинами C и N (6.2 и 8.1% на массу фракции соответственно) и традиционной для почв Русской равнины величиной отношения C/N (~10) (Артемьева, Федотов, 2013). Остальные почвенные горизонты данного объекта отличаются явной недонасыщенностью по углероду – величины концентрации C_{орг} весьма низкие (1–2.5% на массу фракции). Аналогично почвам объекта Мыс Желания (описанным выше), это может быть следствием преобладания адсорбции микробных остатков (напри-

мер, клеточных остатков) на минеральную матрицу, наряду с особенностями минералогического состава.

Доля $C_{\text{неорг}}$ в общем $C_{\text{Ил}}$ в исследованных почвах данного объекта колеблется в широких пределах: 3.6–6.4% от $C_{\text{Ил}}$ в верхних горизонтах (LG-12, LG-15), увеличиваясь с глубиной до 14.8–16.3% от $C_{\text{Ил}}$ (табл. 1). Исключение отмечено лишь для верхнего гор. LG-11 карбопетрозема р. 3, где $C_{\text{Ил}}$ почти наполовину состоит из $C_{\text{неорг}}$ (46% от $C_{\text{Ил}}$).

Состав ОВ фракции остатка в изученных почвах существенно различается: C/N колеблется в широких пределах от 19 до 27 (рис. 3). Это может быть следствием очень прочной связи остатков моховой растительности с первичными минералами, которые при физическом фракционировании почвы попадают во фракцию остатка. Кроме того, это может быть следствием очень низкой концентрации N в данной фракции (0.02–0.03% на массу фракции) и возникающими при этом аналитическими ошибками, значительно влияющими на величину отношения C/N .

Характерной чертой $C_{\text{ост}}$ в исследованных почвах объекта Ледяная Гавань является преобладание в его составе $C_{\text{неорг}}$: 50.2–73.7% от $C_{\text{ост}}$ (табл. 1). Исключение наблюдается лишь в гор. LG-17 пелозема р. 5, где вклад $C_{\text{неорг}}$ составляет лишь 43.7% от $C_{\text{ост}}$.

Таким образом, карбопетрозем р. 3 характеризуется наиболее высокой долей $C_{\text{неорг}}$ во всех фракциях ОВ среди исследованных почв данного объекта.

Русская Гавань. Среди изученных почв резко выделяется органогенный горизонт (RG-1) криозема (р. 6) с максимально наблюдаемым на всей исследованной территории уровнем накопления ПОУ (14.6% на массу почвы) и вкладом ЛФ_{СВ} в $C_{\text{орг}}$ (> 90%) (рис. 2). Учитывая органогенный характер верхнего гор. RG-1 (р. 6), на долю илистой фракции и остатка приходится лишь 2.6–2.1% от $C_{\text{орг}}$, остальные 4.3% в $C_{\text{орг}}$ вносит ЛФ_{АГР} (рис. 2). В нижележащем горизонте (RG-2) уровень накопления $C_{\text{орг}}$ более чем в 5 раз, а вклад ЛФ_{СВ} в $C_{\text{орг}}$ более чем в 9 раз меньше по сравнению с таковыми в гор. (RG-1) (рис. 2); остальные почвы (петрозем р. 7, карбопетрозем р. 8, пелозем р. 9) характеризуются значительно меньшими величинами уровня накопления $C_{\text{орг}}$, как правило, $C_{\text{орг}} \leq 1\%$ на массу почвы (рис. 2), а также вкладом ЛФ_{СВ} в $C_{\text{орг}}$ (1–2%).

В горизонтах RG-2, RG-3 (р. 6) вклады фракций ЛФ_{АГР}, илистой и остатка составляют 15–29, 20 и 42–62% от $C_{орг}$ соответственно.

В петроземе (р. 7) вскрыт единственный горизонт RG-4, в котором, несмотря на то, что он классифицирован как смешанный органогенный с породой, практически не наблюдаются признаки органогенного происхождения: подавляющая часть $C_{орг}$ в нем сосредоточена в илистой фракции и остатке (38 и 59% от $C_{орг}$) и лишь 2.6% в $C_{орг}$ вносит дискретное ОВ (ЛФ_{АГР}) (рис. 2).

Карбопетрозем (р. 8) характеризуется очень незначительным уровнем накопления $C_{орг}$. Тем не менее, горизонты (RG-5 и RG-6) содержат полный набор дискретного ОВ: вклад ЛФ_{СВ} в $C_{орг}$ составляет < 1%, вклад ЛФ_{АГР} – 3.4–4.8% от $C_{орг}$ соответственно; большая часть $C_{орг}$ сосредоточена в илистой фракции и остатке (~28 и 67–68% от $C_{орг}^{общ}$ соответственно) (рис. 2).

Единственный вскрытый в пелоземе (р. 9) гор. RG-7 идентифицируется, аналогично RG-4, как смешанный органогенный с породой. Тем не менее, анализ состава ОВ свидетельствует о большем участии органогенных продуктов в RG-7, по сравнению с таковым в гор. RG-4: уровень накопления $C_{орг}$ в пелоземе значительно выше (в 2.8 раза) по сравнению с таковым в петроземе (рис. 2). Это сопровождается увеличением вклада ЛФ_{АГР} (в 1.2 раза), снижением вклада илистой фракции в $C_{орг}$ (в 1.3 раза) и увеличением вклада остатка (в 1.2 раза).

Качественный состав дискретного ОВ (ЛФ_{СВ} и ЛФ_{АГР}) в криоземе (р. 6) и карбопетрозе (р. 8) хорошо соотносится с микробиологическими показателями (Никитин и др., 2021b): с увеличением количества биомассы вниз по профилю увеличивается степень его микробной переработки (величина C/N сужается вниз по профилю) (рис. 3).

Дискретное ОВ (ЛФ_{СВ} и ЛФ_{АГР}) в карбопетрозе р. 8 выделяется среди исследованных почв данного объекта по вкладу $C_{неорг}$: 4.9–29 против 0.2–1.0% от $C_{СВ}$ и 1.2–5.7 против 0.1–0.6% от $C_{АГР}$ (табл. 1).

ОВ илистой фракции в криоземе (р. 6) характеризуется максимально высокими величинами $C_{орг}$ среди всех исследованных объектов: 4.6–9.1% на массу фракции, а также привычной (для почв Русской равнины) величиной отношения C/N (~10) (Федотов,

Артемьева, 2015). Остальные почвы данного объекта (петроземы (рр. 7 и 9) и карбопетрозем (р. 8)) характеризуются недонасыщенностью по углероду – величины концентрации $C_{орг}$ достаточно низкие (1.9–2.8% на массу фракции).

Илистая фракция в карбопетрозе р. 8, аналогично дискретному ОВ, характеризуется наиболее высоким вкладом $C_{неорг}$ в общий $C_{Ил}$: 20.0–25.7 против 1.2–6.5% от $C_{Ил}$ (табл. 1).

Качественный состав ОВ фракции остатка в почвах данного объекта, аналогично таковому объекта Бухта Благополучия, значительно варьирует: C/N колеблется в широких пределах от 14 до 24 (рис. 3).

Углерод фракции Остаток в карбопетрозе р. 8 более чем на $\frac{3}{4}$ представлен $C_{неорг}$ (81.5–85.4% от $C_{Ост}$). Петрозем р. 7 и пелозем р. 9 также характеризуются повышенной долей $C_{неорг}$ в составе общего $C_{Ост}$ (51 и 61% от $C_{Ост}$ соответственно). Углерод фракции Остаток в криоземе р. 6 характеризуется намного меньшим вкладом $C_{неорг}$ в общий $C_{Ост}$: 11.4–31.1% от $C_{Ост}$ (рис. 2).

Таким образом, карбопетрозем р. 8 объекта Русская Гавань, аналогично карбопетрозе р. 3 объекта Ледяная Гавань, характеризуется наиболее высокой долей $C_{неорг}$ во всех фракциях ОВ среды исследованных почв объекта Русская Гавань.

Бухта Благополучия. Уровень накопления $C_{орг}$ в пелоземе и криоземе (рр. 10 и 11 соответственно) существенно различается: в гор. ВВ-8 (пелозем) он ниже в 1.5 и 2.3 раза по сравнению с таковыми в горизонтах ВВ-9 и ВВ-10 соответственно (криозем) (рис. 2). Таким образом, в формировании криозема (р. 11) очевидно значительное участие криотурбационных процессов и, как следствие, погребение гор. ВВ-10, что подтверждается увеличением величины $C_{орг}$ почвы (в 2.3 раза) по сравнению с таковой вышележащего гор. ВВ-9 (рис. 2). Это сопровождается аналогичными тенденциями в распределении вкладов разных пулов ОВ в $C_{орг}$ почвы: для дискретного ОВ ($ЛФ_{СВ}$ и $ЛФ_{АГР}$) они максимальны в погребенном гор. ВВ-10 криозема (27 и 20% от $C_{орг}$ почвы соответственно) и минимальны в пелоземе (2.4 и 9.5% от $C_{орг}$ почвы соответственно). Распределение вкладов ($C_{орг}$) илистой фракции и остатка в $C_{орг}$ почвы следуют таковому массе фракций.

Качественный состав $ЛФ_{СВ}$ в разрезах значительно различа-

ется: величина отношения C/N в этой фракции колеблется от 22 (пелозем) до 33–41 (криозем) (рис. 3). По-видимому, это обусловлено разной природой ОБ в данных почвах. В первом случае единственный вскрытый горизонт (ВВ-8) представлен преимущественно породой (C_{Ca}) с незначительным включением остатков корней и моховой растительности, составляющих $ЛФ_{CB}$, на долю которых приходится лишь 2.4% от $C_{орг}$ почвы горизонта. В криоземе (р. 11) с достаточно развитым растительным покровом (*Deschampsia brevifolia*, *Saxifraga hyperborea*, мхи), напротив, $ЛФ_{CB}$ вносит довольно существенный вклад в $C_{орг}$ почвы: 15–26% от $C_{орг}$ почвы и характеризуется значительно большей степенью микробной переработки, что подтверждается микробиологическими показателями (Никитин и др., 2021b). В частности, общее количество микробной биомассы в гор. ВВ-9 максимальное для почв данного объекта: 211 против 147–175 мкг/г почвы в гор. ВВ-8 и ВВ-10 (Никитин и др., 2021b).

Доля $C_{неорг}$ в составе $C_{ЛФ}^{CB}$ незначительна (0.1–0.7% от $C_{ЛФ}^{CB}$) и соизмерим с таковой в гор. СЖ-22 объекта Мыс Желания и криоземе р. 6 объекта Русская Гавань (табл. 1).

Для $ЛФ_{АГР}$ в разрезах наблюдаются тенденции, аналогичные таковым для $ЛФ_{CB}$: горизонты криозема (ВВ-9 и ВВ-10) отличаются от горизонта ВВ-8 пелозема более широким отношением C/N в анализируемой фракции, свидетельствующим об обеднении азотом в результате более интенсивной микробной переработки (рис. 3). Это сопровождается “загрязнением” ультратонкодисперсным компонентом $ЛФ_{АГР}$ горизонтов ВВ-8 и ВВ-9, что отражается в пониженных величинах концентрации $C_{орг}$ (14.7 и 10.4 на массу фракции соответственно). $ЛФ_{АГР}$ в погребенном гор. ВВ-10 (криозем) обогащена азотом по сравнению с таковой вышележащего гор. ВВ-9 (в 2 раза), что указывает на большую степень его сохранности по сравнению с гор. ВВ-9.

Вклад $C_{неорг}$ в составе $C_{ЛФ}^{АГР}$ незначителен (0.2–4.4% от $C_{ЛФ}^{CB}$), но выше такового $C_{ЛФ}^{CB}$.

ОБ илистой фракции в почвах данного объекта характеризуется промежуточными (между таковой фракцией объектов Мыс Желания и Ледяной Гаванью) величинами концентрации C (3.1–5.7% на массу фракции), что отражается в повышенной, по срав-

нению с таковыми для почв Русской равнины, величинами отношения C/N : 10.7–15.3 (рис. 3).

Доля $C_{неорг}$ в $C_{Ил}$ колеблется в пределах 14.3–28.6% от $C_{Ил}$ в верхних горизонтах (ВВ-8 и ВВ-9) и снижается в нижнем горизонте ВВ-10 до 2.9% от $C_{Ил}$ (табл. 1).

Качественный состав ОВ фракции остатка в почвах данного объекта значительно варьирует: C/N колеблется в широких пределах от 14 до 32 (рис. 3).

Вклад $C_{неорг}$ в составе $C_{Ост}$ достаточно высок в верхних горизонтах (ВВ-8 и ВВ-9): 28.8–57.6% от $C_{Ост}$, в нижнем горизонте ВВ-10 он снижается до 12.2% от $C_{Ост}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые получены уникальные экспериментальные данные по компонентному составу ОВ о. Северный архипелага Новая Земля. Показано, что широко представленные на этой территории криоземы и петроземы заметно различаются по содержанию и составу ОВ, что, вероятно, свидетельствует о разнообразии экологических условий на сравнительно небольшой территории (~49 км²). Криогенные и связанные с ними криотурбационные процессы, наряду с низкими температурами, оказывают доминирующее влияние на формирование и уровень накопления ОВ в этой экстремально суровой по климатическим особенностям зоне исследования.

Несмотря на небольшие величины накопления $C_{орг}$ (исключая органогенные горизонты), практически во всех почвах наблюдается присутствие обеих форм дискретного ОВ ($ЛФ_{СВ}$ и $ЛФ_{АГР}$). Вне зависимости от глубины залегания горизонтов во всех почвенных профилях исследованных объектов углерод в дискретном ОВ ($ЛФ_{СВ}$ и $ЛФ_{АГР}$) на 94–96% (в среднем) представлен органическим углеродом, а в илистой фракции и остатке доля $C_{орг}$ от $C_{общ}$ фракции снижается до 87 и 54% соответственно.

Уровень накопления $C_{орг}$ в различных фракциях во многом определяет микробиологическую активность в почвах о. Северный. Коэффициент корреляции (R^2 , $P < 0.05$) между содержанием $C_{орг}$ фракций (% на массу почвы) и величиной микробной биомассы снижается в следующем ряду: $ЛФ_{АГР}$ (0.59) > $МА$ (0.53) > $ЛФ_{СВ}$

(0.50) > ил (0.36) > остаток (0.26), отражая важную роль структурных единиц почвы, в частности, неустойчивых в УЗ-поле микроагрегатов (мА), в обеспечении благоприятных экологических условий для функционирования микробиоты.

Свободное ОВ (ЛФ_{СВ}), как правило, представлено слабо трансформированным детритом, что отражает неблагоприятные экологические условия для разложения ОВ.

Агрегированное ОВ (ЛФ_{АГР}) в изученных почвах всегда “загрязнено” ультратонкодисперсным минеральным компонентом, что, вероятно, является следствием интенсивных криогенных процессов.

Илистые фракции почв часто недонасыщены по углероду: величины концентрации $C_{\text{орг}}$ очень низкие (1–2% на массу фракции), что, по-видимому, обусловлено недостатком дискретного ОВ в экстремально суровых климатических условиях, наряду с возможными специфическими особенностями их минералогического состава.

ОВ фракции остатка в изученных почвах характеризуется широким диапазоном величины отношения C/N (от 10 до 32). Причиной этого, с одной стороны, может быть очень прочная связь остатков моховой растительности с первичными минералами (устойчивых в УЗ-поле микроагрегатов), которые при физическом фракционировании почвы могут попадать во фракцию остатка. С другой стороны, в силу очень низкой концентрации N в данной фракции нельзя исключать высокую вероятность появления существенных аналитических ошибок при его определении, что приводит к значительной величине варьирования отношения C/N.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ананко Т.В., Герасимова М.И., Конюшков Д.Е. Арктические и тундровые почвы на новой цифровой почвенной карте России масштаба 1 : 2.5 млн // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 101. С. 46–75. DOI: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-101-46-75>.
2. Артемьева З.С., Федотов Г.Н. Состав функциональных пулов легкоразлагаемого органического вещества автоморфных зонального ряда почв Центра Русской равнины // Вестник Московского

университета. Серия 17. Почвоведение. 2013. № 4. С. 3–10.

3. *Артемяева З.С., Юртаев А.А., Александровский А.Л., Зазовская Э.П.* Органическое вещество погребенной торфяной почвы на острове Белый (Карское море) // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2016. Вып. 85. С. 36–55. DOI: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-85-36-56>.

4. *Горячкин С.В., Караваева Н.А., Таргульян В.О.* География почв Арктики: современные проблемы // Почвоведение. 1998. № 5. С. 520–530.

5. *Грищенко И.В.* Климат / Новая Земля. М.: Европейские издания – Paulsen, 2009. С. 307–311.

6. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 223 с.

7. *Кононова М.М.* Органическое вещество почвы, его природа, свойства и методы изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 315 с.

8. *Крупская В.В., Мирошников А.Ю., Доржиева О.В., Закусин С.В., Семенов И.Н., Усачева А.А.* Минеральный состав почв и донных осадков заливов архипелага Новая Земля // Океанология. 2017. № 57(1). С. 238–245.

9. *Мирошников А.Ю., Лаверов Н.П., Чернов Р.А., Кудиков А.В., Усачева А.А., Семенов И.Н., Алиев Р.А., Асадулин Эн Э., Гаврило М.В.* Радиоэкологические исследования на севере архипелага Новая Земля // Океанология. 2017. Т. 57. № 1. С. 227–237.

10. *Мосеев Д.С., Сергиенко Л.А.* К флоре островов архипелага Земля Франца-Иосифа и северной части архипелага Новая Земля (аннотированный список видов) // Ученые записки Петрозаводского гос. ун-та. 2017. № 4. 165 с.

11. *Никитин Д.А., Лысак Л.В., Бадмадашиев Д.В., Холод С.С., Мергелов Н.С., Долгих А.В., Горячкин С.В.* Биологическая активность почв севера архипелага Новая Земля: влияние крупнейшего ледника России // Почвоведение. 2021a. Т. 54. № 10. С. 1207–1230.

12. *Никитин Д.А., Лысак Л.В., Кутовая О.В., Грачева Т.А.* Эколого-трофическая структура и таксономическая характеристика сообществ микроорганизмов почв северной части архипелага Новая Земля // Почвоведение. 2021b. № 11. С. 1346–1362. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X21110101>.

13. *Орлов Д.С.* Гумусовые кислоты почв. М.: Изд-во МГУ, 1974. 333 с.

14. *Семенов И.Н.* Физико-географическая характеристика архипелага Новая Земля (литературный обзор). 2020. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15583.20642>.

15. *Тюрин И.В.* Органическое вещество почвы и его роль в почвообразовании и плодородии. М-Л.: Сельхозгиз, 1937. 285 с.

16. Федотов Г.Н., Артемьева З.С. Коллоидная составляющая грануло-денсиметрических фракций почв // Почвоведение. 2015. № 1. С. 61–70. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0032180X15010049>.
17. Artemyeva Z., Danchenko N., Kolyagin Yu., Kirillova N., Kogut B. Chemical structure of soil organic matter and its role in aggregate formation in Haplic Chernozem under the contrasting land use variants // Catena. 2021. Vol. 204. P. 105403. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105403>.
18. Bockheim J.G., Mazhitova G., Kimble J.M., Tarnocai C. Controversies on the genesis and classification of permafrost-affected soils // Geoderma. 2006. Vol. 137. P. 33–39.
19. Gerzabek M.H., Haberhauer G., Stemmer M., Klepsch S., Haunold E. Long-term behavior of ^{15}N in an alpine grassland ecosystem // Biogeochemistry. 2004. Vol. 70. P. 59–69.
20. Post E., Alley R.B., Christensen T.R., Macias-Fauria M., Forbes B.C., Gooseff M.N. et al. The polar regions in a 2 °C warmer world // Sci. Adv. 2019 Vol. 5. P. 12. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaw9883>.
21. World Reference Base for Soil Resources. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. 4th ed., International Union of Soil Sciences (IUSS). Vienna, 2022. 236 p.

REFERENCES

1. Ananko T.V., Gerasimova M.I., Konyushkov D.E., Arctic and tundra soils on the new digital soil map of Russia, 1 : 2.5 M scale, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2020, Vol. 101, pp. 46–75, DOI: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-101-46-75>.
2. Artem'eva Z.S., Fedotov G.N., Sostav funktsional'nykh pulov legkorazлагаемого органического veshchestva avtomorfnykh zonal'nogo ryada pochv Tsentra Russkoj ravniny (Composition of functional pools of easily decomposed organic matter in automorphic zonal soils of the Central Russian Plain), *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17. Pochvovedenie*, 2013, No. 4, pp. 3–10.
3. Artemyeva Z.S., Yurtaev A.V., Alexandrovskiy A.L., Zazovskaya E.P., The organic matter of the buried peat soils on Bely island (Kara sea), *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2016, Vol. 85, pp. 36–55, DOI: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-85-36-56>.
4. Goryachkin S.V., Karavaeva N.A., Targul'yan V.O., Geografiya pochv Arkiki: sovremennye problemy (Soil geography of the Arctic: current problems), *Pochvovedenie*, 1998, No. 5, pp. 520–530.
5. Grishchenko I.V., *Klimat. Novaya Zemlya* (Climate. Novaya Zemlya), Moscow: Evropejskie izdaniya – Paulsen, 2009, pp. 307–311.

6. *Classification and diagnostics of soils of the USSR*, Moscow: Kolos, 1977, 223 p.
7. Kononova M.M., *Organicheskoe veshchestvo pochvy, ego priroda, svojstva i metody izucheniya* (Soil organic matter, its nature, properties, and methods of study), Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1963, 315 p.
8. Krupskaya V.V., Miroshnikov A.Yu., Dorzhieva O.V., Zakusin S.V., Semenov I.N., Usacheva A.A., Mineral'nyj sostav pochv i donnykh osadkov zalivov arhipelaga Novaya Zemlya (Mineral Composition of Soils and Bottom Sediments in the Bays of the Novaya Zemlya Archipelago), *Okeanologiya*, 2017, Vol. 57, No. 1, pp. 238–245.
9. Miroshnikov A.Yu., Laverov N.P., Chernov R.A., Kudikov A.V., Usacheva A.A., Semenov I.N., Aliev R.A., Asadulin En E., Gavrilov M.V., Radioekologicheskie issledovaniya na severe arhipelaga Novaya Zemlya (Radioecological studies in the north of the Novaya Zemlya archipelago), *Okeanologiya*, 2017, Vol. 57, No. 1, pp. 227–237.
10. Moseev D.S., Sergienko L.A., K flore ostrovov arhipelaga Zemlya Frantsa-Iosifa i severnoj chasti arhipelaga Novaya Zemlya (annotirovannyj spisok vidov) (On the flora of the islands of the Franz Josef Land archipelago and the northern part of the Novaya Zemlya archipelago (annotated list of species)), *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gos. un-ta*, 2017, No. 4, 165 p.
11. Nikitin D.A., Lysak L.V., Badmadashiev D.V., Kholod S.S., Mergelov N.S., Dolgikh A.V., Goryachkin S.V., Biologicheskaya aktivnost' pochv severa arhipelaga Novaya Zemlya: vliyanie krupnejshogo lednika Rossii (Biological activity of soils in the north of the Novaya Zemlya archipelago: the influence of the largest glacier in Russia), *Pochvovedenie*, 2021a, Vol. 54, No. 10, pp. 1207–1230.
12. Nikitin D.A., Lysak L.V., Kutovaya O.V., Gracheva T.A., Ekologo-troficheskaya struktura i taksonomicheskaya kharakteristika soobshchestv mikroorganizmov pochv severnoj chasti arhipelaga Novaya Zemlya (Ecological and trophic structure and taxonomic characteristics of microbial communities in soils of the northern part of the Novaya Zemlya archipelago), *Pochvovedenie*, 2021b, No. 11, pp. 1346–1362, DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X21110101>.
13. Orlov D.S., *Gumusovye kisloty pochv* (Humus acids of soils), Moscow: Izd-vo MGU, 1974, 333 p.
14. Semenov I.N., *Fiziko-geograficheskaya kharakteristika arhipelaga Novaya Zemlya (literaturnyj obzor)* (Physical and geographical characteristics of the Novaya Zemlya archipelago (review)), 2020, DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15583.20642>.

15. Tyurin I.V., *Organicheskoe veshchestvo pochvy i ego rol' v pochvoobrazovanii i plodorodii* (Soil organic matter and its role in soil formation and fertility), Moscow-Leningrad: Sel'khozgiz, 1937, 285 p.
16. Fedotov G.N., Artem'eva Z.S., Kolloidnaya sostavlyayushchaya granulodensimetricheskikh fraktsij pochv (Colloidal component of granulodensimetric fractions of soils), *Pochvovedenie*, 2015, No. 1, pp. 61–70, DOI: <https://doi.org/10.7868/S0032180X15010049>
17. Artemyeva Z., Danchenko N., Kolyagin Yu., Kirillova N., Kogut B., Chemical structure of soil organic matter and its role in aggregate formation in Haplic Chernozem under the contrasting land use variants, *Catena*, 2021, Vol. 204, pp. 105403, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105403>.
18. Bockheim J.G., Mazhitova G., Kimble J.M., Tarnocai C., Controversies on the genesis and classification of permafrost-affected soils, *Geoderma*, 2006, Vol. 137, pp. 33–39.
19. Gerzabek M.H., Haberhauer G., Stemmer M., Klepsch S., Haunold E., Long-term behavior of ^{15}N in an alpine grassland ecosystem, *Biogeochemistry*, 2004, Vol. 70, pp. 59–69.
20. Post E., Alley R.B., Christensen T.R., Macias-Fauria M., Forbes B.C., Gooseff M.N. et al., The polar regions in a 2 °C warmer world, *Sci. Adv.*, 2019, Vol. 5, pp. 12, DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaw9883>.
21. *World Reference Base for Soil Resources*, International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps, 4th ed., International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, 2022. 236 p.