

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА ВЕРХНИХ ОТЛОЖЕНИЙ ПОЧВ ОСТРОВОВ САМОЙЛОВСКИЙ, БОЛЬШОЙ ЛЯХОВСКИЙ И КОТЕЛЬНЫЙ

А. Г. Шепелев

ФГБУН Институт мерзлотоведения имени П. И. Мельникова Сибирского отделения РАН
(Якутск, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 12 июля 2023 г.

Для цитирования

Шепелев А. Г. Запасы углерода верхних отложений почв островов Самойловский, Большой Ляховский и Котельный // Арктика: экология и экономика. — 2023. — Т. 13, № 4. — С. 536—547. — DOI: 10.25283/2223-4594-2023-4-536-547.

В тундроболотах острова Самойловский запасы органического углерода составили 21,5 кг/м², неорганического углерода — 0,6 кг/м², а на острове Большой Ляховский — 51,6 кг ТОС/м² и 5,9 кг ТИС/м². В травяно-гипновых болотах острова Котельный депонировано 12,4 кг ТОС/м² и 0,3 кг ТИС/м². На береговых обнажениях острова Самойловский, подверженных русловым процессам термоабразии и термоденудации, запасы варьируют в интервале 85,8—115,5 кг ТОС/м² и 6,9—7,3 кг ТИС/м², а на острове Большой Ляховский — 51,6 кг ТОС/м² и 5,4 кг ТИС/м². В байджарахах острова Большой Ляховский средние запасы углерода составили 38,6 кг ТОС/м² и 6,1 кг ТИС/м².

Ключевые слова: органический углерод, неорганический углерод, многолетнемерзлые породы, деградация, лемминги.

Введение

Арктические ландшафты вмещают колоссальное количество углерода, где он в основном депонирован в мерзлотно-почвах, отложениях ледовых комплексов и торфяниках, что составляет примерно треть мировых запасов углерода [1]. Отложения ледового комплекса достигают мощности 50 м и более, они являются неотъемлемой частью многолетнемерзлых пород (ММП) Сибири и Северной Америки и простираются на площади около 2 587 000 км² [2], где методами наземной и космической съемки регистрируется деградация ММП.

В условиях Арктики образование и накопление углерода в основном формируется из бриофитных ассоциаций [3], которые генерируют 17% углерода Северного полушария [4; 5]. Современные изменения, происходящие в структуре климата планеты, вызывают трансформацию ландшафтов, расши-

ряясь в пространстве в северной и восточной Сибири. В результате эрозии и термокарстовых процессов происходят образование термокарстовых озер и заболачивание, появляются байджарахи и формируются термоцирки в отдельных районах, доминирующих в ландшафте [6]. Планетарное потепление в Арктике [7; 8], как и безрассудное техногенное освоение обширных северных территорий, вызывает активизацию криогенных процессов и таяние подземных льдов. При этом повышаются риски потерь резервуаров органического материала из ММП, что, несомненно, сказывается на ускоренном анаэробном и аэробном микробном разложении [9; 10], потенциально ведущему к увеличению выбросов парниковых газов в атмосферу, которые имеют положительную обратную связь с повышением температуры воздуха [11—13]. Кроме того, происходит физическая (механическая) убыль биогенных элементов в речные и морские бассейны посредством разрушения, термоабразии берего-

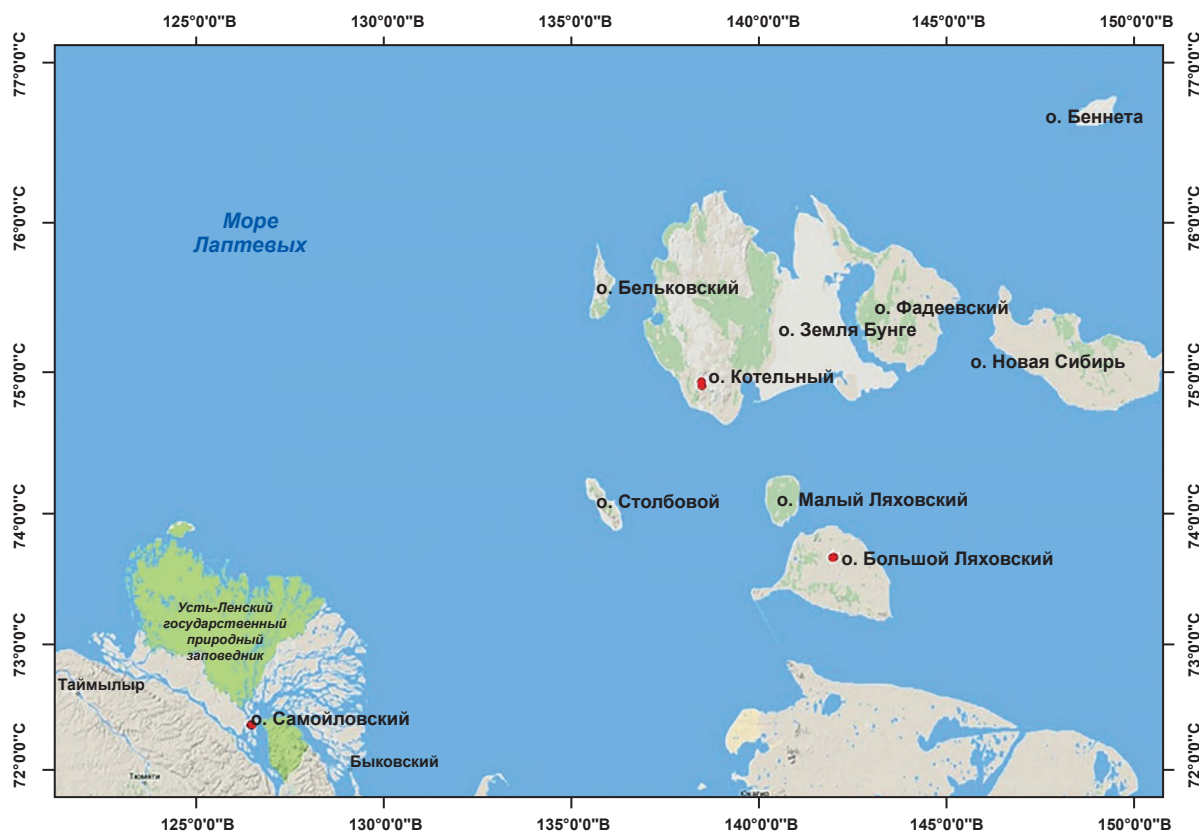


Рис. 1. Расположение пунктов отбора образцов из различных ландшафтов Якутского сектора Арктических островов (отмечены красным цветом)

Fig. 2. Location of sampling sites from various landscapes of the Yakut sector of the Arctic islands (marked in red)

вой линии арктических морей и прилегающих к ним островов [14; 15].

В циркумполярной области содержится порядка 1300—1395 Гт наземного органического углерода [16; 17]. В многолетнемерзлых отложениях законсервировано 850 Гт [18]. Суммарные запасы углерода в Арктике для отложений до мощности 25 м оцениваются в 1400—1850 Гт [19]. Из-за таяния толщ ледового комплекса позднего плейстоцена они могут превратиться из поглотителя углерода в неизбежный его источник [20] благодаря насыщенности органическим материалом и илистыми фракциями. В отложениях позднего плейстоцена содержится 83 Гт [21] органического углерода, а в голоценовых термокарстовых образованиях — 130 Гт [22]. Следовательно, отложения накапливались быстрыми темпами, что привело к захоронению исходного материала, а растительные и животные остатки не успели разложиться до конечных продуктов метаболизма. Дж. Харден [23] ранее установил, что глубокое проникновение тепла и прогревание почвы способствуют разложению и потерям органической части с изменением гидрологических условий по всему профилю отложений и, как правило, сопровождаются высокой нагрузкой на атмосферу.

Цель настоящей работы — оценить поверхностные запасы органического и неорганического угле-

рода в почвах мерзлотных ландшафтов островной суши и речных береговых обнажений, включая байджарахи на острове Большой Ляховский.

Объекты исследований и характеристика участков

Мерзлотные участки исследований, представленные на рис. 1:

1. Остров Самойловский, типичная тундра — 72,36816667° с. ш., 126,47486111° в. д.; береговое обнажение № 1 в типичной тундре — 72,36975000° с. ш., 126,47694444° в. д.; береговое обнажение № 2 в типичной тундре — 72,36588889° с. ш., 126,50666667° в. д.

2. Остров Большой Ляховский, арктическая тундра — 73,67314791° с. ш., 141,98996425° в. д.; береговое обнажение — 73,66551367° с. ш., 141,99123293° в. д.; байджарах-1 — 73,66909083° с. ш., 141,96019441° в. д.; Байджарах-2 — 73,66917907° с. ш., 141,96027756° в. д.; байджарах-3 — 73,66919755° с. ш., 141,95995837° в. д.

3. Остров Котельный, арктическая тундра — 74,90722200° с. ш., 138,48138800° в. д.; арктическая тундра — 74,93655556° с. ш., 138,46897222° в. д.

Образцы отобраны в неоднородных генетических типах ледовых комплексов, образованных в разных геохронологических интервалах. Наиболее изучен-

ным из посещенных островов является Самойловский в дельте реки Лена. Возраст голоценовых толщ с полигонально-жильными льдами по радиоуглеродному датированию составляет 3,0—2,5 тыс. лет, что соответствует возрасту самого острова [24].

Ледовый комплекс острова Большой Ляховский начал формироваться 55,0—28,7 тыс. лет назад, в настоящее время перекрыт голоценовыми отложениями [25].

Возраст толщ ледового комплекса острова Котельный изменяется в глубоких отложениях от 49,7—35,4 тыс. лет [26] до 7,2—11,9 тыс. лет [27], в покровных отложениях — до 9,0 тыс. лет [28].

Остров Самойловский расположен в области непрерывного распространения ММП в дельте Лены. На исследуемой территории ММП достигают мощности 400—600 м. Остров состоит из поймы в западной части и голоценовой террасы с полигональной тундрой, в восточной части расположены водоемы (термокарстовые озера). Четвертичные формации насыщены органическими аллювиальными отложениями со средней льдистостью в верхнем метре более 65% по объему для террасы голоцена и около 35% для пойменных отложений [29]. На террасе голоцена преобладают полигонально-жильные льды, которые сосредоточены в верхнем слое почвы 0—10 м [30], а их деградация наблюдается повсеместно на территории острова [31].

Почвенный покров типичной тундры представлен Histic Cryosols Reductaquic (tundra gley reatumuck) — верхний слой торфянистый, минеральная толща из песка.

Образование углерода в типичной тундре острова Самойловский происходит благодаря тундроболотной растительности на валиках, представленных редкоивовыми (*Salix pulchra*, *S. glauca*) травяно (*Eriophorum vaginatum*, *Carex stans*) — зеленомошными (*Aulacomnium turgidum*, *Hylocomium splendens*) ассоциациями, в мочажинах — травяными (*Carex stans*) растительностями отmelей (*Leymus villosissimus*, *Poa alpigena*) в сочетании с ивняками (*Salix glauca*) и травяными (*Eriophorum polystachion*, *Arctophila fulva*) болотами, среди которых и травяно (*Carex stans*, *Eriophorum polystachion*) — кустарничково (*Vaccinium vitis-idaea*) — лишайниково-зеленомошные (*Aulacomnium turgidum*, *Hylocomium splendens*, *Cetraria cucullata*) ассоциации [32].

Остров Большой Ляховский находится в области сплошного распространения ММП мощностью 500—600 м и с температурой пород ниже от –15 до –11°C [33]. Для острова свойственно быстрое прибрежное отступление, скорость эрозии для разрезов ледового комплекса позднего плейстоцена и современного термокарста изменяется от 2,9 [34] до 3,6 м/год [35]. Ляховские острова включают не меньше трех этапов стадийных отложений ледового комплекса, перекрытых отложениями последнего межледниковья и голоцена [36]. Современное сохранение отдельных отложений изменчиво, это-

му способствуют таяния мощных подземных льдов позднего плейстоцена [37] и последующая деградация многолетнемерзлых пород с формированием термокарстовых ландшафтов [38].

Остров Котельный находится в области сплошного распространения ММП мощностью 450—500 м и с температурой пород ниже –11°C [33]. Ландшафты характеризуются холмистыми предгорными денудационными равнинами на мезозойских складчатых структурах, преимущественно из цокольных возвышенностей — высшая точка горы Малакатын-Тас (374 м), а также низменными аллювиальными и озерно-аллювиальными равнинами. В последнюю ландшафтную группу включена северная окраина плоской Яно-Индибирской низменности, сложенная межледниковыми песчано-суглинистыми отложениями, содержащими до 50—60% льда. Ледовый комплекс состоит из верхнеплейстоценовых и голоценовых отложений [25].

Почвы исследованных участков островов Котельный и Большой Ляховский относятся к следующим типам и видам: Haplic Cryosols Reductaquic (tundra muck-gley), Haplic Gleysols Humic (muck-gleys), Haplic Cryosols Eutric (arctic) и Turbic Cryosols Dystric (arctic hydromorphic non-gleyic).

На тундроболотах острова Большой Ляховский растительность полигонально-валиковая кустарничково (*Salix polaris*) — зеленомошная (*Aulacomnium turgidum*) на валиках и пушицево-осоково-зеленомошная (*Aulacomnium turgidum*) и травяная (*Eriophorum scheuchzeri*, *Carex stans*) в мочажинах. На острове Котельный растительные сообщества травяно (*Carex hyperborea*, *Poa arctica*, *Alopecurus alpinus*) — зеленомошные (*Aulacomnium turgidum*, *Hylocomium splendens*, *Orthothecium chryseum*) пятнистые, местами травяные (*Eriophorum angustifolium*, *Carex stans*, *Ranunculus nivalis*) мелкопочковатые в комплексе с полигональными травяно-гипновыми болотами [32].

Методы исследований

В местах отбора образцов стенки разрезов тщательным образом зачищались для удаления ветренного внешнего слоя породы во избежание влияния физических ошибок при анализе проб в лабораторных условиях. Образцы почвы из обнажений отбирались там, где отсутствовали включения и жилы льда, чтобы исключить попадание льдистых пород в образцы без льда.

Запасы углерода рассчитывали для каждого отобранного слоя породы, а общие запасы углерода всей толщи разреза суммировались с полученными показателями. Расчет запасов углерода проводили по формуле

$$S = HpX,$$

где S — запасы углерода в почве, кг/м²; H — слой почвы, см; p — плотность почвы, г/см³; X — содержание углерода в почве, %.

Определение содержания углерода (общий органический углерод — ТОС, общий неорганический углерод — ТИС, общий углерод — ТС) в почве проводилось на сертифицированном анализаторе углерода LECO RC612 производства фирмы LECO Corporation (США) в твердых образцах по стандарту DIN19539 методом температурного программирования, что позволяет идентифицировать различные формы углерода на органический и неорганический. Предельная температура сжигания образцов 1000°C в окислительной атмосфере. Анализ проводили в трех определениях, всего 48 проб из 16 образцов.

Статистическая обработка полученных данных выполнялась в программе Microsoft Excel for Windows 10. Данные в статье представлены в виде средних арифметических со стандартной ошибкой средних значений $S\bar{x}$.

Результаты и их обсуждение

Почвенный пул органического углерода в исследованных разрезах заметно выше неорганической формы. Отчасти это связано с физическими криогенными процессами, приводящими к заполнению морозобойных трещин растительно-торфянистым субстратом, а также с выносом углерода поверхностными сезонными водотоками и выщелачиванием минералов в условиях полярного типа гумидного климата. При обследовании мерзлотных участков на островах и закладке почвенных разрезов прослеживается неотчетливая дифференциация минеральных горизонтов, осложненная выделением материнской породы и слабо развитым растительным покровом, иногда разреженным проективным покрытием на площади или отсутствием растительности на обнажениях острова Самойловский.

Климатическая суровость региона в совокупности с мерзлотным развитием определяют близкое залегание к дневной поверхности ММП. Деятельный слой почвы (верхний динамический сезонный слой, оттаивающий летом и промерзающий зимой) на островах Самойловский и Котельный составляет от 14 до 45 см с преобладанием тиксотропных криометаморфических горизонтов почвы и криогенного перемешивания. В тундровом участке острова Большой Ляховский деятельный слой достигает оттаивания 70 см к середине августа, что является исключением из правила. Основанием этому слу-

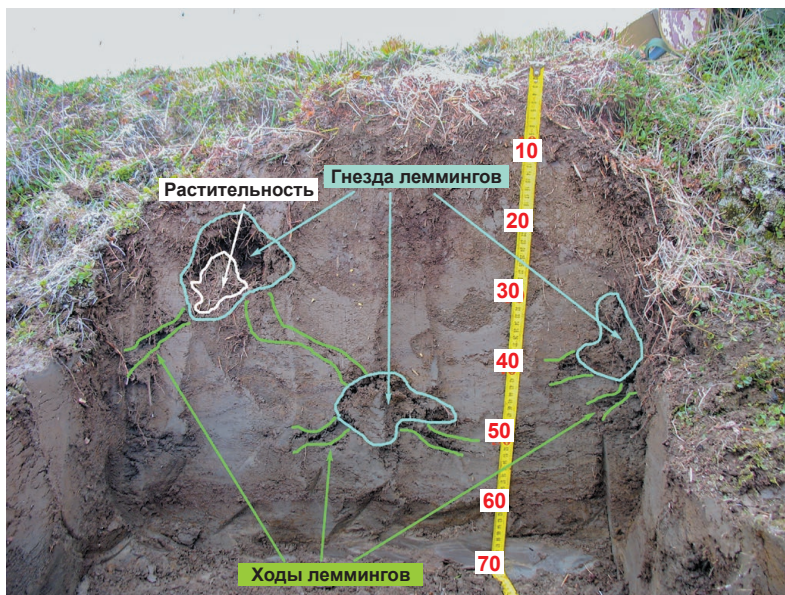


Рис. 2. Один из участков толщ почвы в арктической тундре, освоенный леммингами (остров Большой Ляховский). Представлены ходы и гнезда леммингов, в которых почва переработана их функционированием, вносом и погребением растительного материала. Территориально и в масштабе острова это может значительно влиять на оборот углерода в ландшафте. Интенсивная трансформация почвы биогенными процессами наблюдалась только на этом острове. Аналогичные признаки не были отмечены на острове Котельный в районе исследований

Fig. 2. A section of soil profile in the Arctic tundra, developed by lemmings (Bolshoy Lyakhovsky Island). Represents the order of passages and nests of lemmings, where soil is processed by their functioning, input and burial of plant material. At the spatial and scale, islands can have a significant impact on carbon turnover in the landscape. Intensive soil transformation by biogenic processes is observed only on this island. No similar signs are noted on Kotelnny Island on the study site

жит проведенный обход участков, который выявил активное влияние леммингов на тундру. Их нишами и сетью каналов охвачен верхний почвенный покров, что фиксировалось при описании почвенных разрезов и береговых обнажений, а ходы проникали до глубины 40—50 см, в которых находились остатки растительности и заторфованные органические остатки (рис. 2). Воздействие местной фауны влечет нарушение теплоизоляционных свойств грунта, способствуя проникновению тепла вглубь почвы, дислокации органического материала вне искомой зоны расположения и выступая в качестве одного из рельефообразующих компонентов арктического ландшафта.

В табл. 1 представлены результаты расчетов запасов углерода в гетерогенных почвенных разрезах арктических островов. Поступление и аккумуляция углерода на поверхности и в толщах примитивных почв происходит под непрерывным влиянием термокарстовых процессов, инициирующих формирование аласных форм рельефа в результате вытаявания подземных льдов, в том числе образование озерно-болотных равнин с аллювиальными и болотными отложениями. В разнородных средах транспорт и распределение углерода рассредоточены неравномерно в пространстве почвы. Источ-

Таблица 1. Депонированный углерод в различных толщах арктических островов, кг/м²
 Table 1. Deposited carbon in various thickness of the Arctic islands, kg/m²

Место отбора	Слой (см)	ТОС	ТИС	ТС
Остров Самойловский (типичная тундра)	Мох (0—2)	0,12	0,00	0,12
	Очес (2—4)	0,25	0,00	0,25
	Песок (4—45)	21,14	0,63	21,77
	Общие запасы	21,51	0,63	22,14
	$S\bar{x}$	1,16	0,02	1,15
Остров Самойловский (береговое обнажение № 1 в типичной тундре)	Торф (0—60)	23,32	0,00	23,32
	Торфо-песчаный (60—200)	62,45	7,27	69,72
	Общие запасы	85,77	7,27	93,04
	$S\bar{x}$	0,63	0,07	0,67
Остров Самойловский (береговое обнажение № 2 в типичной тундре)	Торф (0—24)	16,64	0,00	16,64
	Торфо-песчаный (0—250)	98,81	6,89	105,70
	Общие запасы	115,50	6,89	122,34
	$S\bar{x}$	0,94	0,08	1,01
Остров Большой Ляховский (арктическая тундра)	Растительный (0—6)	0,37	0,00	0,37
	Органо-супесчаный (6—40)	10,76	1,13	11,89
	Супесчаный (40—70)	9,21	1,20	10,41
	Общие запасы	20,34	2,33	22,67
	$S\bar{x}$	1,62	0,19	1,81
Остров Большой Ляховский (береговое обнажение в арктической тундре)	Растительно-органический (0—10)	5,12	0,00	5,12
	Суглинистый (10—180)	46,50	5,44	51,94
	Общие запасы	51,62	5,44	57,06
	$S\bar{x}$	1,25	0,14	1,38
Остров Котельный (арктическая тундра)	Мох (0—3)	1,71	0,00	1,71
	Очес (3—5)	2,79	0,00	2,79
	Суглинистый (5—30)	2,16	0,26	2,42
	Общие запасы	6,66	0,26	6,92
	$S\bar{x}$	0,12	0,04	0,45
Остров Котельный (арктическая тундра)	Мох (0—2)	0,60	0,00	0,60
	Очес (2—6)	4,35	0,00	4,35
	Торф (6—10)	5,11	0,00	5,11
	Суглинистый (10—17)	2,38	0,31	2,69
	Общие запасы	12,44	0,31	12,75
	$S\bar{x}$	0,53	0,04	0,54

ники углерода перемещаются в трещины между почвой и клиньями повторно-жильных льдов. При их оттаивании почвенная масса с остатками растений опускается в глубину освободившейся области безо льда и там консервируется обрушившимися сверху отложениями. В ситуации, когда на местности наблюдаются уклон и нижняя граница соприкосновения почвы с прилегающим рядом повторно-жильным льдом, активизируется солифлюкция, допускаящая разрушение почвенного покрова и погребение вместе с ним части углерода. В таких условиях во вмещающих отложениях образуются локальные беспорядочные очаги пятен гумифицированных органических остатков и конгломераты торфа с песком, супесью или суглинком.

В отложениях слоистого типа, состоящих из пластов различного происхождения и мощности, как, например, в береговых обнажениях острова Самойловский, запасы ТОС в двухметровой толще составляют около 86 кг/м². При увеличении глубины на береговом обнажении № 2 на 50 см запасы возрастают на 26%, или до 116 кг/м². На этих участках проявляется синлитогенное развитие почв, которое протекает одновременно с привнесом свежего речного минерального материала в виде песка и биогенно-аккумулятивного вещества. Поступление вызывает непрерывное обновление отложений и накопление материала на поверхности, что приводит к наращиванию почвенного профиля вверх. Вследствие этого развиваются покрытия дифференцированной мощности и неоднородной степени слоистости, в которых происходит современное почвообразование на недренированных участках с близким залеганием ММП. Данный вывод согласуется с мнением ряда авторов [39], проводивших исследования на острове Самойловский и в дельте Лены.

В деятельном слое типичной тундры сосредоточено около 22 кг/м² общего количества ТОС, на долю мохово-растительного покрова приходится всего лишь 0,4 кг/м², содержание ТОС в живом мхе составляет 11,8%, а в очесе — 13,3% (отмершие мхи, еще не затронутые оторфованием). Торфянисто-слаборазвитый горизонт на псаммитовой структуре способствует накоплению остаточного грубого органического вещества и подвижного дисперсного углерода в деятельном слое при оттаивании почвы, опускающегося к фронту промерзания и фильтрации с атмосферными осадками. В этом профиле почвы наблюдаются признаки слабого ожелезнения и отсутствие оглеения, указывающие на низкое выветривание минералов и относительно молодую стадию почвообразования, что соотносится с малым абсолютным возрастом самого острова.

На острове Большой Ляховский в покровных суглинистых отложениях запасы углерода ниже по сравнению с участками острова Самойловский. Связано это с меньшей апробированной мощностью, но и с недостаточной концентрацией органического материала во вмещающих породах. Формирование

запасов складывается из слоя тундрово-болотной растительности (содержание ТОС — 6,11%), грубогумусового горизонта мощностью 7 см, слоя корней и рассредоточенными вниз по профилю редкими корневыми волосками до глубины ММП (180 см). Визуальный учет указывает на разреженную и низкую популяционную плотность растительного покрова и изрезанность каналами леммингов, использующих травяную растительность круглый год для пропитания. Это ограничивает наращивание и накопление подстилочного органического субстрата в верхней части деятельного слоя почвы, а также способствует интенсификации термокарстовых просядов за счет уничтожения теплоизоляционного растительного слоя.

Участки почвы, отдаленные от морского берега и не подверженные термоабразии, например, обнажение на реке Кылгас-Юрях (остров Большой Ляховский, береговое обнажение в арктической тундре), уязвимы вследствие термоденудации. В данном разрезе проявляются признаки термокарста: неравномерное проседание почвы, пучение, формирование байджарахов при вытаивании повторно-жильных льдов, появление отрицательных форм рельефа и деградация ММП. В экстремальных геокриологических условиях фактические запасы ТОС в арктической тундре и растительно-супесчаной толще оценены в 61 кг/м², при этом ТИС меньше на 88,4%.

В обнажении реки Кылгас-Юрях в толще 0—180 см запасы ТОС определены на уровне 51,6 кг/м², а ТИС — ниже на 88,6% по сравнению с органической формой. На таких участках суши формируются условия с лимитированным запасом углерода под влиянием зоогенного рельефообразования, обусловленного деструктивной деятельностью животных, одного из экзогенных агентов, воздействующих на земную поверхность, в частности леммингов. Высока роль биогенного морфолитогенеза на процесс преобразования рельефа и осадконакопления вследствие жизнедеятельности мелких животных. Подчеркнем, что к биогенному рельефу относятся формы, состоящие из минерального материала, т. е. созданные микроорганизмами из минерального субстрата или минерализованного органического вещества. Другой вариант представлен из сочетания минеральных и органических частиц либо из отмершего органического вещества (опада растений, костных останков животных и т. п.), перерабатываемого и перемещаемого леммингами на поверхности почвы и в ее горизонтах, создавая тем самым бороздчато-мелкобугристый микрорельеф, занимающий значительную площадь арктической тундры.

В мелкопочковатой арктической тундре острова Котельный заметно проявляется влияние криогенных процессов. Сортировка обломочного материала (щебня) в виде пятен медальонов, выраженных в микрорельефе, и морозобойного трещинообразования, в которых формируются ледяные жилы. Здесь тра-

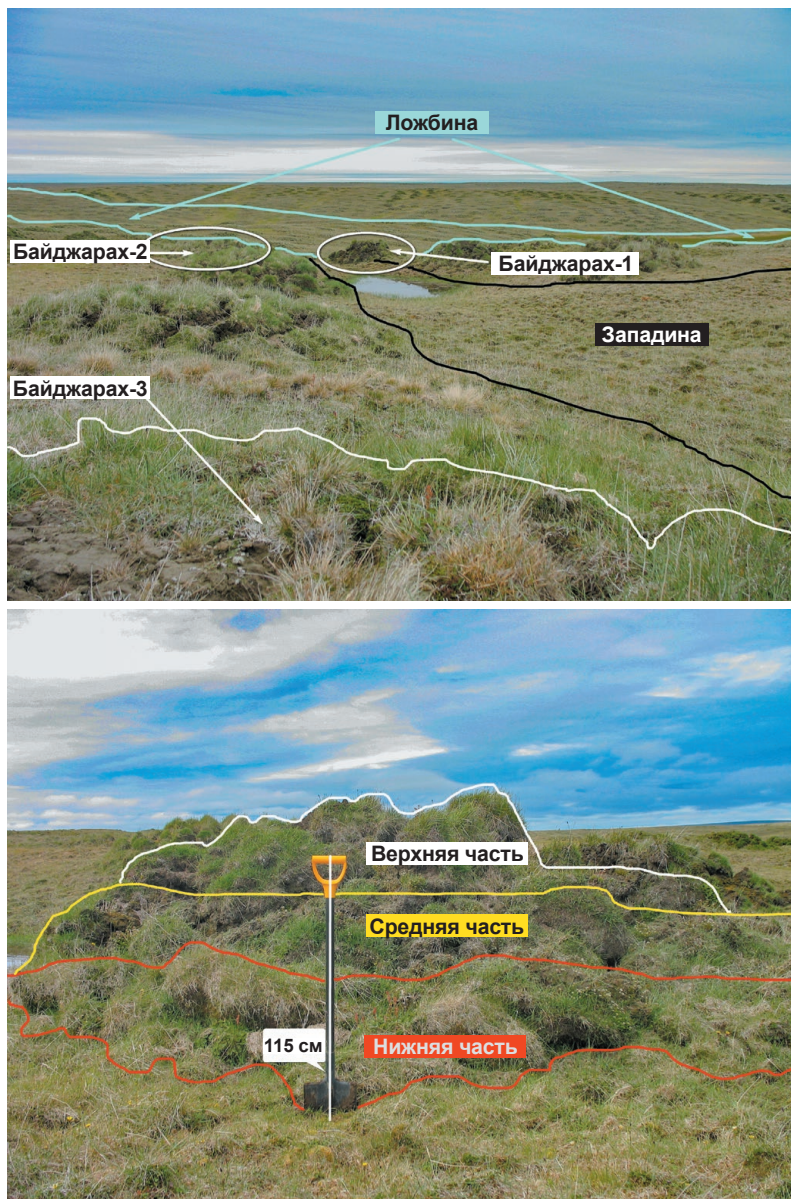


Рис. 3. Группа денудированных байджарахов на волнисто-увалистой равнине острова Большой Ляховский. Первоначально в якутском языке «байджарахи» означали обрывистое место с буграми. Бугры мерзлого грунта относятся к термокарстовому рельефу и имеют положительную форму конусовидного или куполовидного вида высотой от 1 м и выше диаметром до первых десятков метров. Возникают при вытаивании системы повторно-жильных льдов под ними и представляют общую стадию разрушения полигонального рельефа тундры

Fig. 3. A group of denuded baidzharakhs on the undulating and ridged plain of Bolshoy Lyakhovsky Island. Baidzharakhs originally in the Yakut language mean a steep place with hillocks. The mounds of frozen soil belong to the thermokarst relief and have a positive shape of a cone-shaped or dome-shaped type with a height of 1 m and above, with a diameter of ten meters. They arise during the thawing of the ice wedge system and represent a general stage of destruction of the polygonal tundra relief

вянистая растительность развита слабо, преимущественно доминируют мохообразные ассоциации плотной структуры мощностью 3—4 см и среднеразложившиеся отмершие мхи мощностью 1,5—3,0 см. Почвообразующая порода подвержена тиксотропности и представлена суглинком. Содержание ТОС в почвообразующей породе в среднем очень низкое (1,27%) и низкое (2,06%). Содержание органического

углерода в живом мхе варьирует от 11,8% до 19,2%, а в отмерших органах от 13,2% до 23,0%. Неорганическая форма углерода в материнской породе изменяется от 0,15% до 0,53%. Запасы углерода в маломощных разрезах составляют 6,7 кг/м² в неоглеенной почве и 12,4 кг/м² в глеевой почве. Столь низкие значения характерны для арктических регионов, например, в канадской Арктике в нижней речной террасе в слое 0—30 см запасы общего углерода не превышают 7 кг/м² [40]. Если брать в расчет только минеральную часть профиля почвы, то запасы ТОС достигают 2,2 и 2,4 кг/м², ТИС — 0,3 кг/м². Соответственно основные запасы ТОС формируются за счет мхов, что составляет 70—73% общего углерода в почве [4].

В отдельную категорию геоморфологической формы рельефа выделили группу байджарахов (рис. 3). На обширных пространствах тундры они занимают половину территории острова от береговой линии и бровки клифа до центральной части суши.

Протаивание почвы и уменьшение объема льда под разрушенными байджарахами проходят неравномерно, что видно из табл. 2. Ввиду этого отбор образцов проводили до глубины протаивания сезонно-талого слоя, где она изменялась в интервале 30—60 см в зависимости от изымаемой части почвы байджараха в момент экспедиции (16 августа).

Содержание ТОС в различных частях байджарахов распределено в узких пределах. В среднем у подошвы байджарахов обнаружено 2,2—2,8% органического углерода, в середине — 2,0—2,5% и верхней части — 2,1—2,6%. Содержание ТИС вне зависимости от части байджарахов меняется незначительно от 0,3% до 0,5%. Углерод рассредоточен преимущественно вертикально и радиально в пространстве и вокруг байджарахов. Ранее упомянутые криогенные процессы и зоогенное влияние воздействуют вместе на распределение

углерода. В нарушенной почве образуются два средоточия аккумуляции: на поверхности почвы и смешанное грунтовое под действием разрыва пласта мерзлых пород в зимнее время. В вегетационный период происходят оседание, разрушение, разрыхление почвы и беспорядочный перенос леммингами растительных остатков. При этом в денудированных термокарстовых образованиях с суглинистыми отложениями хранится достаточно большое количество органического и неорганического углерода, сопоставимого с тундровой формацией. Отчасти более тяжелый гранулометрический состав способствует этому, выполняя больше физиологическую функцию состояния почвы. Так, в байджарахе-1 в нижней части законсервировано 35,9 кг/м² ТОС, значительно меньше ТИС — на 84% по сравнению с органической формой. В средней части показатели запасов повышаются за счет большей глубины отбора до 53 кг/м², а ТИС — ниже на 86%. Верхняя часть байджараха аналогична средней — 52,3 кг/м² и сокращение ТИС на 83%.

Влияние фауны, в частности мелких грызунов, на почвенные биогеохимические и физические процессы тундры слабо изучено не только в российской Арктике [41], но и в мире [42]. В местах обитания леммингов растительность усиленно уничтожается, они являются доминантами в потреблении фитомассы тундры [43]. Не использованные леммингами грубые части растений в значительных количествах (до 2 т с гектара) сносятся тальми водами вниз по склону ложбин и депрессий, пластинами отлагаются в виде скоплений, образуя своеобразный мелкобугорчатый микрорельеф зоогенного происхождения наподобие вытянутых торфяных бугров [44]. Это содействует образованию мозаичности растительного покрова тундры и почвенных пятен с момента формирования тундрового ландшафта. Мелкие травяные перераспределяют углерод и питательные вещества путем переноса почвы из нижних горизонтов на поверхность, где к ней могут получить доступ микроорганизмы и возможна смена растительного сообщества. В исследованиях необходимо учитывать влияние фауны на уязвимые мерзлотные ландшафты, поскольку она обладает потенциалом регулировать пространственные закономерности растительности, поглощение углерода и его консервацию в почве [45—47].

Заключение

Выявленные отличия в запасах углерода относятся к происходящим мерзлотным процессам, привязанным к определенной геоморфологической структуре и литологическому составу отложений, в которых в разной степени развиты русловые процессы. В частности, на острове Самойловский распространение получили морфологическое изменение берегов, осадение на них органического вещества и аккумуляция наносов. Большое количество органического вещества во вмещающих голо-

Таблица 2. Распределение запасов углерода в денудированных байджарахах на острове Большой Ляховский, кг/м²

Table 2. Distribution of carbon stocks in denuded baidzharakhs on Bolshoy Lyakhovsky Island, kg/m²

Форма и элемент ландшафта	ТОС	ТИС	ТС
<i>Арктическая тундра, байджарах-1</i>			
Нижняя часть (0—40)	35,94	5,67	41,61
Средняя часть (0—60)	52,97	7,18	63,65
Верхняя часть (0—60)	52,32	8,67	60,99
S \bar{x}	1,36	0,28	1,63
<i>Арктическая тундра, байджарах-2</i>			
Нижняя часть (0—30)	23,25	4,59	27,84
Средняя часть (0—35)	25,80	5,07	30,86
Верхняя часть (0—60)	51,11	8,60	61,82
S \bar{x}	1,00	0,24	1,24
<i>Арктическая тундра, байджарах-3</i>			
Нижняя часть (0—35)	33,58	4,38	37,96
Средняя часть (0—40)	37,24	5,93	43,17
Верхняя часть (0—40)	35,11	4,62	39,73
S \bar{x}	0,80	0,12	0,93

Примечание. В скобках приведена величина толщи в сантиметрах.

ценовых отложениях формируется за счет речных потоков, но они могут и выносить углерод за пределы островной суши. Следовательно, в криогенных ландшафтах они недолговечны и функционируют в динамических средах, восприимчивых к экзогенным проявлениям и в результате деградации береговых ММП. Запасы органического углерода в этих ландшафтах варьируют от 85,77 до 115,50 кг/м² в слоях мощностью 200 и 250 см соответственно, в типичной тундре — 21,51 кг/м² в слое 0—45 см. Запасы неорганической формы углерода незначительны и меняются в широком интервале от 0,63 (типичная тундра) до 7,27 кг/м² (береговое обнажение № 1 в типичной тундре).

Внутренние ландшафты (отдаленные от влияния моря и интенсивного речного течения) островов Большой Ляховский и Котельный подвержены влиянию локальных условий развития термокарстовых явлений и вмешательств фауны в формирование почвенного углерода на различных уровнях ландшафта. Бугристые положительные формы рельефа (байджарахи) — сложная часть тундровых экосистем, их изучение требует нестандартного подхода

и систематизации по мерзлотоведческому принципу как результат изменения природной среды и в качестве одной из форм резервуара углерода. В исследованных байджарахах острова Большой Ляховский запасы органического углерода в слое мощностью 60 см составляют 51,11—52,32 кг/м². В арктической тундре в слое мощностью 70 см законсервировано 20,34 кг/м² органического углерода. Запасы неорганического углерода байджарахов в среднем варьируют от 4,97 до 7,17 кг/м², а в арктической тундре — от 2,33 до 5,44 кг/м². В почвах арктической тундры острова Котельный зарегистрированы минимальные запасы органического и неорганического углерода — 6,66—12,44 и 0,26—0,31 кг/м² соответственно.

Мелкие животные лемминги являются неотъемлемой частью ландшафта Арктики и отчасти рельефообразующим фактором, что проявляется на локальном уровне в виде небольших залежей мертвой массы растений как внутри толщи почвы, так и на поверхности, создавая своеобразный мелкобугорчатый микрорельеф из скоплений почвы и тундровой растительности. Во-первых, влияние леммингов на накопление углерода недостаточно изучено, они переводят углерод в организм и аккумулируют его в теле, употребляя растительность. Во-вторых, при поедании леммингами растительности снижается продуктивность ценоза, способного депонировать углерод и резервировать его в почве, что непосредственно сказывается на уменьшении запасов углерода в почве.

Финансирование

Работа выполнена в рамках базового проекта «Криогенные процессы и формирование природных рисков освоения мерзлотных ландшафтов Восточной Сибири» (№ АААА-А20-120111690009-6) при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (финансирование экспедиции, оснащение необходимым оборудованием для научных изысканий и обеспечение безопасного выполнения работ) и Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 21-55-75004_БФ) (приобретение расходных материалов и стандартов к анализатору для определения в образцах содержания углерода).

Благодарность

Выражаю искреннюю благодарность сотрудникам Института мерзлотоведения им. П. И. Мельникова Сибирского отделения РАН доктору географических наук А. Н. Федорову, кандидату географических наук В. В. Самсоновой и младшему научному сотруднику А. М. Черепановой за бесценные критические замечания при написании статьи. Глубочайшая признательность доктору биологических наук А. В. Протопопову из Академии наук Республики Саха (Якутия) за сотрудничество и приглашение принять участие в экспедиции на Новосибирские острова. Особая благодарность руко-

водителю Булунонской инспекции государственного экологического надзора Министерства экологии, природопользования и лесного хозяйства Республики Саха (Якутия) И. И. Стручкову за предоставленную возможность проведения исследований на территории ресурсного резервата «Лена-Дельта» (граница кластера охватывает участок «Восточный» и архипелаг Новосибирские острова).

Литература/References

1. Feng X., Vonk J. E., van Dongen B. E. et al. Differential mobilization of terrestrial carbon pools in Eurasian Arctic river basins. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2013, vol. 110, no. 35, pp. 14168—14173. DOI: 10.1073/pnas.1307031110.
2. Strauss J., Laboor S., Schirmer L. et al. Circum-Arctic Map of the Yedoma Permafrost Domain. *Front. Earth Sci.*, 2021, vol. 9, p. 758360. DOI: 10.3389/feart.2021.758360.
3. Hugelius G., Kuhry P. Landscape partitioning and environmental gradient analyses of soil organic carbon in a permafrost environment. *Global Biogeochemical Cycles*, 2009, vol. 23, GB3006. DOI: 10.1029/2008GB003419.
4. Lavoie M., Mack M. C., Schuur E. A. G. Effects of elevated nitrogen and temperature on carbon and nitrogen dynamics in Alaskan arctic and boreal soils. *J. of Geophysical Research Atmospheres*, 2011, vol. 116, G03013. DOI: 10.1029/2010JG001629.
5. Park H., Launiainen S., Konstantinov P. Y. et al. Modeling the effect of moss cover on soil temperature and carbon fluxes at a tundra site in northeastern Siberia. *J. of Geophysical Research: Biogeosciences*, 2018, vol. 123, no. 9, pp. 3028—3044. DOI: 10.1029/2018JG004491.
6. Fountain A. G., Campbell J. L., Schuur E. A. G. et al. The disappearing cryosphere: impacts and ecosystem responses to rapid cryosphere loss. *Biosciences*, 2012, vol. 62, pp. 405—415. DOI: 10.1525/bio.2012.62.4.11.
7. Dao T. T., Gentsch N., Mikutta R. et al. Fate of carbohydrates and lignin in north-east Siberian permafrost soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 2018, vol. 116, pp. 311—322. DOI: 10.1016/j.soilbio.2017.10.032.
8. Bjorkman A. D., Myers-Smith I. H., Elmendorf S. C. et al. Plant functional trait change across a warming tundra biome. *Nature*, 2018, vol. 562, pp. 57—62. DOI: 10.1038/s41586-018-0563-7.
9. Gilichinsky D., Vishnivetskaya T., Petrova M. et al. *Bacteria in Permafrost. Psychrophiles: from Biodiversity to Biotechnology*. Berlin, Heidelberg, Springer, 2008, pp. 83—102.
10. Gentsch N., Mikutta R., Shibistova O. et al. Properties and bioavailability of particulate and mineral-associated organic matter in Arctic permafrost soils, Lower Kolyma Region, Russia. *European J. of Soil Science*, 2015, vol. 66, pp. 722—734. DOI: 10.1111/ejss.12269.

11. Schuur E. A. G., McGuire A. D., Schadel C. et al. Climate change and the permafrost carbon feedback. *Nature*, 2015, vol. 520, pp. 171—179. DOI: 10.1038/nature14338.
12. Faucherre S., Jorgensen C. J., Blok D. et al. Short and long-term controls on active layer and permafrost carbon turnover across the Arctic. *J. of Geophysical Research: Biogeosciences*, 2018, vol. 123, iss. 2, pp. 372—390. DOI: 10.1002/2017JG004069.
13. Sun T., Ocko I. B., Hamburg S. P. The value of early methane mitigation in preserving Arctic summer sea ice. *Environmental Research Letters*, 2022, vol. 17, no. 4, 044001. DOI: 10.1088/1748-9326/ac4f10.
14. Semiletov I., Pipko I., Gustafsson O. et al. Acidification of East Siberian Arctic Shelf Waters through Addition of Freshwater and Terrestrial Carbon. *Nature Geoscience*, 2016, vol. 9, no. 5, pp. 361—365. DOI: 10.1038/ngeo2695.
15. Broder L., Andersson A., Tesi T. et al. Quantifying degradative loss of terrigenous organic carbon in surface sediments across the Laptev and East Siberian Sea. *Global Biogeochemical Cycles*, 2019, vol. 33, pp. 85—99. DOI: 10.1029/2018GB005967.
16. Карелин Д. В., Замолодчиков Д. Г., Гильманов Т. Г. Запасы и продукция углерода в фитомассе тундровых и лесотундровых экосистем России // *Лесоведение*. — 1995. — № 5. — С. 29—36.
- Karelin D. V., Zamolodchikov D. G., Gilmanov T. G. Stocks and production of carbon in the phytomass of tundra and forest-tundra ecosystems in Russia. *Lesovedenie. [Forest science]*, 1995, no. 5, pp. 29—36. (In Russian).
17. Hugelius G., Bockheim J. G., Camill P. et al. A new data set for estimating organic carbon storage to 3 m depth in soils of the northern circumpolar permafrost region. *Earth System Science Data*, 2013, vol. 5, pp. 393—402. DOI: 10.5194/essd-5-393-2013.
18. Hugelius G., Strauss J., Zubrzycki S. et al. Estimated stocks of circumpolar permafrost carbon with quantified uncertainty ranges and identified data gaps. *Biogeosciences*, 2014, vol. 11, pp. 6573—6593. DOI: 10.5194/bg-11-6573-2014.
19. Schuur E. A. G., Lee H., Vogel J. G. et al. Vulnerability of permafrost carbon to climate change: Implications for the global carbon cycle. *Bioscience*, 2008, vol. 58, pp. 701—714. DOI: 10.1641/B580807.
20. Schuur E. A. G., Vogel J. G., Crummer K. G. et al. The effect of permafrost thaw on old carbon release and net carbon exchange from tundra. *Nature*, 2009, vol. 459, pp. 556—559. DOI: 10.1038/nature08031.
21. Strauss J., Schirmermeister L., Mangelsdorf K. et al. Organic-matter quality of deep permafrost carbon — a study from Arctic Siberia. *Biogeosciences*, 2015, vol. 12, pp. 2227—2245. DOI: 10.5194/bg-12-2227-2015.
22. Walter Anthony K. M., Zimov S. A., Grosse G. et al. A shift of thermokarst lakes from carbon sources to sinks during the Holocene epoch. *Nature*, 2014, vol. 511, pp. 452—456. DOI: 10.1038/nature13560.
23. Harden J. W., Koven C. D., Ping C.-L. et al. Field information links permafrost carbon to physical vulnerabilities of thawing. *Geophysical research letters*, 2012, vol. 39, L15704. DOI: 10.1029/2012GL051958.
24. Bolshiyakov D., Makarov A., Savelieva L. Lena River delta formation during the Holocene. *Biogeosciences*, 2015, vol. 12, pp. 579—593. DOI: 10.5194/bg-12-579-2015.
25. Meyer H., Dereviagin A., Siegert C. et al. Palaeoclimate reconstruction on Big Lyakhovsky Island, North Siberia — hydrogen and oxygen isotopes in ice wedges. *Permafrost and Periglacial Processes*, 2002, vol. 13, pp. 91—105. DOI: 10.1002/ppp.416.
26. Makeev V. M., Arslanov X. A., Барановская О. Ф. и др. Стратиграфия, геохронология и палеогеография позднего плейстоцена и голоцена острова Котельного // *Бюл. комиссии по изучению четвертич. периода*. — 1989. — № 58. — С. 58—69.
- Makeev V. M., Arslanov Kh. A., Baranovskaya O. F., Kosmodamiansky A. V., Ponomareva D. P., Tertychnaya T. V. Stratigraphy, geochronology and paleogeography of the late Pleistocene and Holocene of Kotelny Island. *Byulleten' komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda. [Bulletin of the commission for the study of the Quaternary period]*, 1989, no. 58, pp. 58—69. (In Russian).
27. Каплина Т. Н. Аласные комплексы Северной Якутии // *Криосфера Земли*. — 2009. — Т. 13, № 4. — С. 3—17.
- Kaplina T. N. Alas complexes of Northern Yakutia. *Kriosfera Zemli. [Earth's Cryosphere]*, 2009, vol. 13, no. 4, pp. 3—17. (In Russian).
28. Васильчук Ю. К., Makeev V. M., Маслаков А. А. и др. Реконструкция позднелепистоценовых и раннеголоценовых зимних температур воздуха на острове Котельный по изотопному составу повторно-жильных льдов // *Криосфера Земли*. — 2019. — Т. 23, № 2. — С. 13—28. — DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2019-2(13-28).
- Vasilchuk Yu. K., Makeev V. M., Maslakov A. A., Budantseva N. A., Vasilchuk A. K. Reconstruction of Late Pleistocene and Early Holocene winter air temperatures on Kotelny Island from the isotope composition of re-veined ice. *Kriosfera Zemli. [Earth's Cryosphere]*, 2019, vol. 23, no. 2, pp. 13—28. (In Russian).
29. Zubrzycki S., Kutzbach L., Grosse G. et al. Organic carbon and total nitrogen stocks in soils of the Lena River Delta. *Biogeosciences*, 2013, vol. 10, pp. 3507—3524. DOI: 10.5194/bg-10-3507-2013.
30. Kutzbach L., Wagner D., Pfeiffer E. M. Effect of microrelief and vegetation on methane emission from wet polygonal tundra, Lena Delta, Northern Siberia. *Biogeochemistry*, 2004, vol. 69, pp. 341—362. DOI: 10.1023/B:BI0G.0000031053.81520.db.
31. Liljedahl A. K., Boike J., Daanen R. P. et al. Pan-Arctic ice-wedge degradation in warming permafrost and its influence on tundra hydrology. *Nature Geoscience*, 2016, vol. 9, pp. 312—318. DOI: 10.1038/ngeo2674.
32. Федоров А. Н. Мерзлотные ландшафты Якутии: методика выделения и вопросы картографирования

ния. — Якутск: Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР, 1991. — 140 с.

Fedorov A. N. Permafrost landscapes of Yakutia: identification technique and mapping issues. Yakutsk, Institute of Permafrost Science of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences, 1991, 140 p. (In Russian).

33. Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток / Под ред. Э. Д. Ершова. — М.: Недра, 1989. — 515 с.

Geocryology of the USSR. Eastern Siberia and the Far East. Ed. by E. D. Ershov. Moscow, Nedra, 1989, 515 p. (In Russian).

34. Gunther F., Overduin P. P., Sandakov A. V. et al. Short and long-term thermo-erosion of ice-rich permafrost coasts in the Laptev Sea region. Biogeosciences, 2013, vol. 10, pp. 4297—4318. DOI: 10.5194/bg-10-4297-2013.

35. Пижанкова Е. И., Добрынина М. С. Динамика побережья Ляховских островов (результаты дешифрирования аэрокосмических снимков) // Криосфера Земли. — 2010. — Т. 16, № 4. — С. 66—79.

Pizhankova E. I., Dobrynina M. S. Dynamics of the coast of the Lyakhovsky Islands (results of interpretation of aerospace images). Kriosfera Zemli. [Earth's Cryosphere], 2010, vol. 16, no. 4, pp. 66—79. (In Russian).

36. Тумской В. Е. Особенности криолитогеनेза отложений Северной Якутии в среднем неоплейстоцене — голоцене // Криосфера Земли. — 2012. — Т. 16, № 1. — С. 12—21.

Tumskoy V. E. Peculiarities of cryolithogenesis in Northern Yakutia (middle Neopleistocene to Holocene). Kriosfera Zemli. [Earth's Cryosphere], 2012, vol. 16, no. 1, pp. 12—21. (In Russian).

37. Grosse G., Robinson J. E., Bryant R. A. et al. Distribution of Late Pleistocene Ice-rich Syngenetic Permafrost of the Yedoma Suite in East and Central Siberia, Russia. U.S. Geological Survey Open File Report, 2013, vol. 1078, pp. 1—37. DOI:10.3133/OFR20131078.

38. Wetterich S., Tumskoy V., Rudaya N. et al. Ice Complex permafrost of MIS5 age in the Dmitry Laptev Strait coastal region (East Siberian Arctic). Quat. Science Rev., 2016, vol. 147, pp. 298—311. DOI: 10.1016/j.quascirev.2015.11.016.

39. Boike J., Nitzbon J., Anders K. et al. A 16-year record (2002—2017) of permafrost, active-layer, and meteorological conditions at the Samoylov Island Arctic permafrost research site, Lena River delta, northern Siberia: an opportunity to validate remote-sensing

data and land surface, snow, and permafrost models. Earth Syst. Sci. Data, 2019, vol. 11, pp. 261—299. DOI: 10.5194/essd-11-261-2019.

40. Gagnon S., Allard M. Geomorphological controls over carbon distribution in permafrost soils: the case of the Narsajuaq river valley, Nunavik (Canada). Arctic Science, 2020, vol. 6, no. 4, pp. 1—20. DOI: 10.1139/as-2019-0026.

41. Sheremetiev I. S., Rozenfeld S. B., Gruzdev A. P. Dietary Overlap among Ruminants, Geese, and Lemmings of Wrangel Island in Summer. Russian J. of Ecology, 2017, vol. 48, pp. 532—538. DOI: 10.1134/S1067413617060091.

42. Stark S., Egelkraut D., Aronsson K.-A. et al. Contrasting vegetation states do not diverge in soil organic matter storage: Evidence from historical sites in tundra. Ecology, 2019, vol. 100, no. 7, 02731. DOI: 10.1002/ecy.2019.100.issue-7.

43. Шереметьев И. С., Розенфельд С. Б., Баранюк В. В. Трофическая избирательность травоядных о. Врангеля и ее роль в круговороте вещества арктической экосистемы // Сиб. экол. журн. — 2021. — Т. 28, № 2. — С. 174—186. — DOI: 10.15372/SEJ20210204. Sheremetiev I. S., Rozenfeld S. B., Baranyuk V. V. Trophic selectivity of herbivores on Wrangel Island and its role in the cycle of matter in the Arctic ecosystem. Sibirskiy Ekologicheskii Zhurnal [Contemporary Problems of Ecology], 2021, vol. 28, no. 2, pp. 174—186. (In Russian).

44. Тихомиров Б. А. О влиянии животных на растительность Таймырской тундры // Рус. орнитол. журн. — 2003. — № 215. — С. 267—273.

Tikhomirov B. A. On the influence of animals on the vegetation of the Taimyr tundra. Russkii ornitologicheskii zhurnal. [The Russian Journal of Ornithology], 2003, no. 215, pp. 267—273. (In Russian).

45. Schmitz O. J., Wilmers C. C., Leroux S. J. et al. Animals and the zoogeochemistry of the carbon cycle. Science, 2018, vol. 362, no. 6419, p. eaar3213. DOI: 10.1126/science.aar3213.

46. Roy A., Suchocki M., Gough L. et al. Above- and belowground responses to long-term herbivore exclusion. Arctic, Antarctic, and Alpine Research, 2020, vol. 52, no. 1, pp. 109—119. DOI: 10.1080/15230430.2020.1733891.

47. Roy A., Gough L., Boelman N. T. et al. Small but mighty: Impacts of rodent-herbivore structures on carbon and nutrient cycling in arctic tundra. Functional Ecology, 2022, vol. 36, iss. 9, pp. 2331—2343. DOI: 10.1111/1365-2435.14127.

Информация об авторе

Шепелев Андрей Геннадиевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория криогенных ландшафтов, Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН (677010, Россия, Республика Саха (Якутия), Якутск, Мерзлотная ул., д. 36), e-mail: carbon-shag@yandex.ru.

CARBON RESERVES IN THE UPPER SOIL SEDIMENTS OF SAMOILOVSKY, BOLSHOY LYAKHOVSKY AND KOTELNY ISLANDS

Shepelev, A. G.

Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Yakutsk, Russian Federation)

The article was received on July 12, 2023

For citing

Shepelev A. G. Carbon reserves in the upper soil sediments of Samoilovsky, Bolshoy Lyakhovsky and Kotelny islands. *Arctic: Ecology and Economy*, 2023, vol. 13, no. 4, pp. 536—547. DOI: 10.25283/2223-4594-2023-4-536-547. (In Russian).

Abstract

In the tundra swamps of Samoilovsky Island carbon reserves amounted to 21.5 kg TOC/m² and 0.6 kg TIC/m². On Bolshoy Lyakhovsky Island it makes 51.6 kg TOC/m² and 5.9 kg TIC/m². In the grass-hypnum bogs of Kotelny island 12.4 kg TOC/m² and 0.3 kg TIC/m² are deposited. On the coastal outcrops of Samoilovsky island with thermal abrasion and thermal denudation reserves vary between 85.8—115.5 kg TOC/m² and 6.9—7.3 kg TIC/m², and on Bolshoy Lyakhovsky island — 51.6 kg TOC/m² and 5.4 kg TIC/m². In the baidzharakhs of Bolshoy Lyakhovsky island the average carbon reserves make 38.6 kg TOC/m² and 6.1 kg TIC/m².

Keywords: *organic carbon, inorganic carbon, permafrost, degradation, lemmings.*

Funding

The study is carried out within the basic project “Cryogenic processes and the formation of natural risks due to the development of permafrost landscapes in Eastern Siberia” (No. AAAA-A20-120111690009-6) and supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (financing the expedition, equipping with the necessary equipment for scientific research and ensuring the safe performance of work) and Russian Foundation for Basic Research (project No. 21-55-75004_BF) (purchase of consumables and standards for the analyzer to determine the carbon content in samples).

Acknowledgements

I express my sincere gratitude to the staff of the Melnikov Permafrost Institute: A. N. Fedorov, Doctor of Geology, V. V. Samsonova, PhD of Geology, and Junior Researcher A. M. Cherepanova for invaluable critical remarks when the writing of the article. Deepest gratitude to A. V. Protopopov, Doctor of Biology, Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia) for cooperation and invitation to take part in the expedition to the New Siberian Islands. Special thanks to the Head of the Bulunsky Inspectorate for State Environmental Supervision of the Ministry of Ecology, Nature Management and Forestry of the Republic of Sakha (Yakutia) I. I. Struchkov for providing the opportunity to conduct research on the territory of the Lena-Delta resource reserve, the cluster boundary covers the Vostochny site and the New Siberian Islands archipelago.

Information about the author

Shepelev Andrei Gennadievich, PhD of Biology, Senior Researcher, Laboratory of Permafrost Landscapes, Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (36 Merzlotnaya st., Yakutsk, Russia, 677010), e-mail: carbon-shag@yandex.ru.

© Shepelev A. G., 2023