

## Поверхностный органический и неорганический углерод в ландшафтах Лено-Амгинского междуречья (Центральная Якутия)

А.М. Черепанова<sup>1,2,\*</sup>, В.В. Спектор<sup>1,2</sup>, А.Г. Шепелев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, Россия

<sup>2</sup>Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия

\*alexandra\_587@mail.ru

**Аннотация.** В исследованиях оценено содержание органического и неорганического углерода для верхней части деятельного слоя голоценовых отложений, представленных большей частью супестью, сформировавшейся на Бестяхской и Тюнгилюнской террасах в Лено-Амгинском междуречье. Для территории проявляется отчетливая закономерность уменьшения содержания органического углерода по направлению с юга на север и в зависимости от структурных особенностей террасированности ландшафтов. В среднем этот показатель на южной окраине Тюнгилюнской псевдотеррасы составляет 7,70 %  $C_{орг}$ , в центральной части Тюнгилюнской поверхности (участок Бёкё) – 1,64 %  $C_{орг}$ , а на севере при сочленении Тюнгилюнской поверхности с Бестяхской органический углерод убывает до минимального содержания, равного 0,99 %  $C_{орг}$ . Форма неорганического углерода имеет более сложное рассеянное распределение между террасами. В центральной части Тюнгилюнской поверхности его содержание в среднем составляет 1,03 %  $C_{неорг}$  с внезапным снижением к Тюнгилюнской псевдотеррасе – 0,19 %  $C_{неорг}$  и возвышенности на участке Улу-Кюель до 0,03 %  $C_{неорг}$ . Влияние постпирогенного прошлого на участках Майя-2 и Беджелек отражается в истощении и потере заметного содержания органического углерода из верхних горизонтов почвы по сравнению с участком Майя-1 на 55 и 80 % соответственно. Вместе с тем за 19 лет самовосстановления лесной подстилки намечается повышение содержания углерода растительного происхождения, близкого к исходному состоянию.

**Ключевые слова:** органический углерод, неорганический углерод, деятельный слой, Лено-Амгинское междуречье, Центральная Якутия.

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке базового проекта СО РАН по теме «Строение и ключевые этапы эволюции континентальной криолитозоны в неоплейстоцене и голоцене», регистрационный номер АААА-А20-120122290035-5.

### Введение

Многолетняя мерзлота, покрывающая почти четверть поверхности суши Северного полушария, за последние несколько десятилетий значительно прогрелась вследствие продолжающегося изменения климата [1–3]. Процесс таяния высокольдистых отложений потенциально влечет глобальные последствия из-за высокого содержания в них углерода органических остатков, по оценкам [4–6], органический углерод составляет 1100–1700 Гт, часть его может выделяться в виде  $CO_2$  и  $CH_4$  при оттаивании. Однако, неучтенным и малоизученным остается углерод в глубоких горизонтах мерзлоты, о реакции которого на меняющийся климат нам мало что известно, но это перспективные исследования ближайшего времени.

Запасы углерода Северного полушария сосредоточены в толще многолетнемерзлых пород [7], что означает их нахождение в законсервированном состоянии как минимум два года. Углерод в мерзлотных почвах формировался тысячелетиями [8]. Оценка потерь углерода из мерзлоты является важным индикатором уязвимости запасов углерода к потеплению и перераспределения углерода из почвы в атмосферу [9–11]. По прогнозам к 2100 г. площадь верхней кровли мерзлоты сократится на 2–66 %, что примерно высвободит от 10 до 240 Гт углерода многолетней мерзлоты [12, 13].

На изменения углерода в покровных отложениях криолитозоны влияет множество факторов климатического и геологического направления. Дестабилизация многолетней мерзлоты включает

ряд механизмов, действующих в различных временных и пространственных направлениях. Повышение температуры способствует постепенному углублению деятельного слоя и сокращению площади многолетней мерзлоты [15], осадки и пожары [16] влекут разрушение ландшафтов и вместе с тем истощение запасов органического углерода. Уменьшение высокольдистых голоценовых и плейстоценовых отложений, богатых углеродом, особенно четко выражаются в наше время вследствие активизации термокарстовых процессов, которые широко распространены в центральной части и на северо-востоке Якутии.

Цель исследования заключалась в изучении содержания органического и неорганического углерода в верхней части деятельного слоя в естественном лесном и постпирогенном ландшафте на территории Лено-Амгинского междуречья.

#### Объекты и методы исследования

В геолого-геоморфологическом отношении исследования относятся к Лено-Амгинскому междуречью, что составляет часть Центральной Якутской низменности, лежащей в провинции Среднесибирской возвышенности [17] на Лено-Амгинской аласной провинции физико-географической страны Средняя Сибирь [18]. Район характеризуется широким развитием термокарстовых форм рельефа [19]. Мощность ледового комплекса составляет 10–12 м, а глубина его залегания – 2 м [20]. По почвенно-географическому районированию территория относится к бореальному (умеренно-холодному) поясу Восточно-Сибирской мерзлотно-таежной области, к Центрально-Якутской провинции среднетаежной подзоны мерзлотно-таежных и палевых почв [21].

Ключевой участок Майя-1 расположен в 9,4 км к северо-северо-западу от с. Майя, абсолютная высота составляет 155 м над уровнем моря (см. рисунок 1 и табл. 1). Рассматриваемая поверхность лежит в пределах Тунгюлюнской псевдотеррасы. Она имеет пологий наклон, местами горизонтальная, осложнена аласными котловинами. На поверхности развит смешанный лиственнично-березовый лес. В верхнем ярусе распространены березы и лиственницы высотой 8–10 м. Подлесок представлен порослью лиственницы высотой 1,5–2 м и локально соснами. В напочвенном покрове отмечаются брусничник и растительная ветошь. Граница, не затронутая и затронутая пожаром 2002 г., четко прослеживается относительно лесной дороги, послужившей

естественным препятствием для распространения огня на данном участке. На не затронутом пожаром участке в 20 м слева (при следовании с юга на север) от дороги заложен разрез –  $N61^{\circ}49'12,7''$ ,  $E130^{\circ}14'03,2''$ .

Участок Майя-2 расположен в той же области, что и первый, но на южном крае лесного пожара 2002 г. Имеет пологий наклон северной экспозиции. На поверхности наблюдается большое количество поваленных стволов деревьев диаметром преимущественно до 10 см. Огневые борозды на стволах деревьев достигают высоты 1 м от земли. На участке развит смешанный лиственнично-сосновый лес с множеством стоящих оголенных стволов лиственниц, погибших от пожара. В подлеске отмечается поросль лиственницы высотой 1–3 м. Напочвенный покров представлен брусничником, отдельными кустарничками карликовой ивы, злаковыми травами, местами отмечаются зеленые мхи. Разрез заложен в координатах –  $N61^{\circ}49'11,0''$ ,  $E130^{\circ}15'12,4''$ .

Участок Бёкё расположен на Тунгюлюнской поверхности в районе одноименного села. Абсолютная высота составляет 140 м над уровнем моря. На поверхности развит смешанный лиственнично-березовый лес. На девственном участке заложен почвенный разрез –  $N61^{\circ}52'21,3''$ ,  $E130^{\circ}28'43,8''$ .

Участок Беджелек расположен в месте перехода Бестяхской поверхности в Тунгюлюнскую, имеет пологий уклон ( $1-3^{\circ}$ ) поверхности в западном направлении. Абсолютная высота составляет 140 м над уровнем моря. Растительность представлена лиственничным лесом, преобладающий диаметр стволов лиственниц около 10 см. На гари наблюдается молодая поросль лиственницы высотой 1–4 м. Напочвенный покров представлен брусничником и разнотравьем. Почвенный разрез заложен на менее нарушенном участке, в 20 м к востоку от границы с гарью с наибольшей интенсивностью пожара в 2002 г. –  $N61^{\circ}57'19,2''$ ,  $E130^{\circ}10'14,8''$ .

Участок Улу-Кюель расположен на вершине положительной гребневидной ориентированной формы. Абсолютная высота составляет 134 м над уровнем моря. Гряда вытянута с северо-запада на юго-восток, параллельно линии проходящих озер. На поверхности развит сосновый лес, напочвенный покров представлен брусничником и широко распространенными лишайниками. Разрез заложен в координатах –  $N61^{\circ}58'49,1''$ ,  $E130^{\circ}05'59,4''$ .

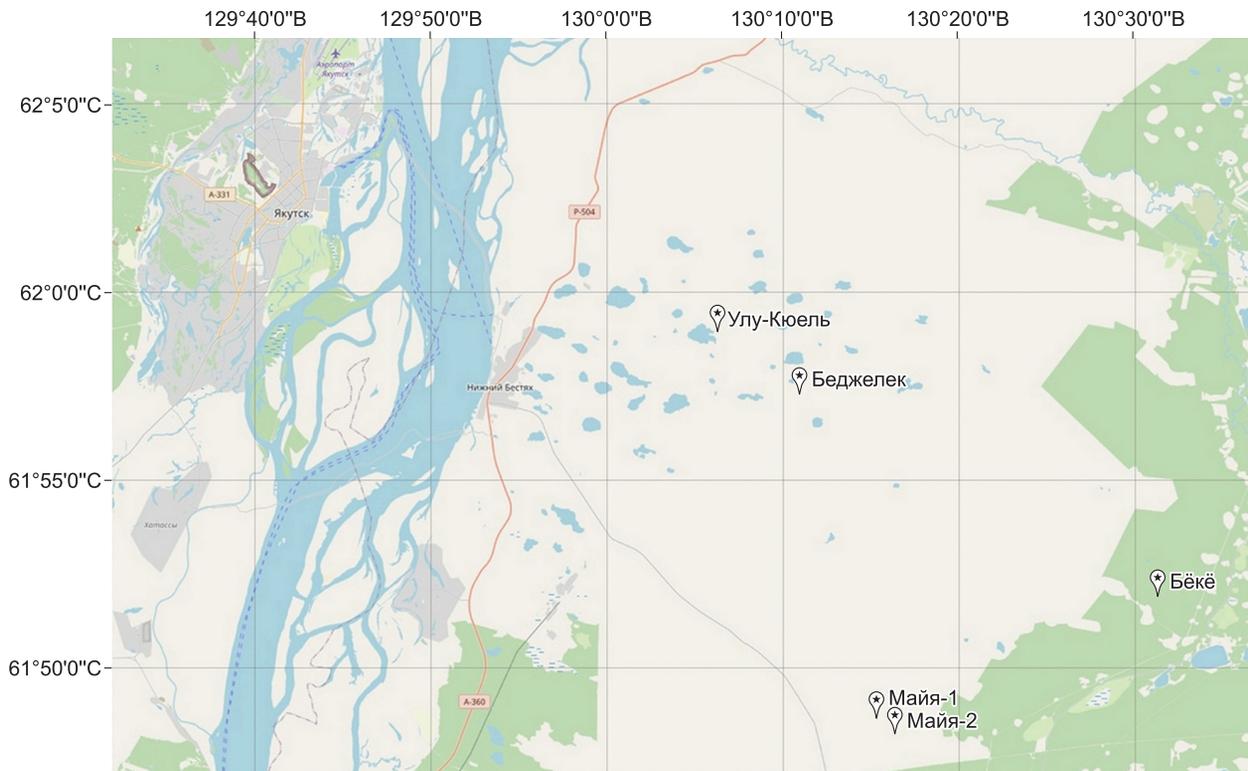


Схема расположения ключевых участков на территории Лено-Амгинского междуречья.  
The arrangement of key areas within the Lena-Amga interfluve.

Территории участков развивались на ложе Муруктинского и Сартанского горизонтов с преобладанием озерных, озерно-болотных, озерно-аллювиальных и криогенно-эоловых отложений, т. е. образованных комплексом перигляциальных осадков. В настоящее время они являются рельефообразующей характеристикой района, сформировавшими водораздел между реками Лена и Амга. Четвертичные покровные отложения в основном слагаются супесью мощностью более 50 м и породами повышенной льдистости до 80 % от объема, что типично для территории Центральной Якутии.

Дочетвертичное развитие территории имеет более сложный геологический комплекс, сложенный разновозрастными свитами. Укугутская свита приурочена к участкам Майя, сунтарская свита – к участку Бёкё, биллэхская и нюлькючанская свиты – к участку Беджелек, марыкчанская, бергеинская и сытогинская свиты – к Улу-Кюель. В основном они представлены песчаниками, аргиллитами, алевролитами и углями, которые покрыты мощным чехлом четвертичных образований.

## Результаты и обсуждение

В ближайшие десятилетия тундровые и бо-реальные районы сплошного распространения многолетней мерзлоты способны деградировать быстрее, чем это ожидалось ранее [2, 6]. В этих природных зонах находятся большие запасы органического углерода на Земле, которые в основном содержатся в толщах мерзлых отложений. Особую группу составляют различные его формы, в частности неорганический углерод ( $C_{\text{неорг}}$ ). Происхождение данной формы углерода прослеживается из двух основных источников. Преимущественно в почвах  $C_{\text{неорг}}$  выявляется из карбонатных минералов, таких как кальцит ( $\text{CaCO}_3$ ) и доломит ( $\text{MgCO}_3$ ), также на его образование сильное влияние оказывают процессы биотического дыхания почвы. В атмосфере  $C_{\text{неорг}}$  содержится, главным образом, в виде углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ), концентрация которого составляет примерно 400 ppm и увеличивается примерно на 2 ppm в год [23]. Когда  $\text{CO}_2$  растворяется в воде, он может существовать в различных формах, в зависимости от pH, это  $\text{CO}_2$ , бикарбонаты и карбонаты. Многие фотосинтетические организмы мо-

**Морфолитологическое описание исследованных участков**

Table 1

**Morpholithological description of the studied areas**

Горизонт, м Horizon, m	Морфология Morphology
	Майя-1 Maya-1
0-0,03	Почвенно-растительный слой Soil and vegetation layer
0,03-0,10	Супесь темно-коричневого цвета с прослоями песка до глубины 0,07 м, сильно пронизанная корнями растений Dark brown sandy loam with interlayers of sand to a depth of 0.07 m, strongly penetrated by plant roots
0,10-0,20	Супесь темно-серая, массивная, пронизанная корнями растений Dark gray sandy loam, massive, penetrated with plant roots
0,20-0,40	Суглинок коричневый, с примесью тонкозернистого песка. Верхняя граница волнистая, с амплитудой до 5 см. На глубине 0,4 м проходит нижняя граница слоя сезонного оттаивания на дату 9 июня Brown loam with an admixture of fine-grained sand. The upper boundary is wavy, with an amplitude of up to 5 cm. At a depth of 0.4 m there is the lower boundary of the seasonal thawing layer on 9 June
	Майя-2 Maya-2
0-0,03	Почвенно-растительный слой Soil and vegetation layer
0,03-0,07	Супесь серовато-коричневого цвета с рассеянным залеганием песка до глубины 0,13 м, сильно пронизанная корнями растений A grayish-brown sandy loam with a scattered bedding of sand to a depth of 0.13 m, strongly penetrated by plant roots
0,07-0,35	Супесь коричневая, массивная. На глубине 0,35 м проходит нижняя граница слоя сезонного оттаивания на дату 10 июня Brown sandy loam, massive. At a depth of 0.35 m there is the lower boundary of the seasonal thawing layer on 10 June
	Бёкё Буокуо
0-0,01	Почвенно-растительный слой Soil and vegetation layer
0,01-0,10	Супесь серая, массивная, пылеватая, с небольшими (до 5 мм) включениями древесного угля. Нижняя граница неровная, затеками амплитудой до 3-5 см Gray sandy loam, massive, silty, with small (up to 5 mm) inclusions of charcoal. The lower boundary is uneven, with streaks of amplitude up to 3-5 cm
0,10-0,52	Супесь тяжелая, коричневая, массивная, в верхней части пронизанная корнями растений. Отмечаются неясные пятна более темного органического вещества на глубине 0,30 и 0,48 м. В талом состоянии наблюдается тонкая чешуйчатая (1-3 мм) отдельность The sandy loam is heavy, brown, massive, penetrated with plant roots in the upper part. Unclear spots of darker organic matter are noted at the depths of 0.30 and 0.48 m. In the thawed state a thin scaly (1-3 mm) join is observed
0,52-0,65	Суглинок легкий, светло-коричневый, массивный. На глубине 0,65 м проходит нижняя граница слоя сезонного оттаивания на дату 11 июня Light brown, massive and light loam. At a depth of 0.65 m there is the lower boundary of the seasonal thawing layer on 11 June

Горизонт, м Horizon, m	Морфология Morphology
	Беджелек Bedzhelek
0–0,04	На поверхности почвы подстилка из хвои и разнотравья (0–0,02). Горизонт нарушен постпирогенным фактором. Между корневой системой растений и почвой наблюдаются рудименты древесного угля On the surface of the soil there is a litter of needles and herbs (0–0.02). The horizon is disturbed by the post-pyrogenic factor. There are rudiments of charcoal between the root system of the plants and the soil
0,04–0,27	Супесь коричневая, массивная, сильно пронизанная корнями растений. Нижняя граница с затеками, амплитудой до 5 см. На глубине 0,15 м отмечается включение органического вещества темно-коричневого цвета, размером 3×2 см (разложившихся органических остатков) Brown sandy loam, massive and strongly penetrated with plant roots. The lower boundary with streaks, with an amplitude of up to 5 cm. At a depth of 0.15 m there is an inclusion of organic matter of dark brown color, the size is 3×2 cm (of decomposed organic remains)
0,27–0,48	Супесь светло-коричневая, более тяжелая по сравнению с вышележащим слоем. Нижняя граница плавная. В интервале 0,33–0,37 м наблюдается вогнутый прослой суглинка темно-коричневого цвета Light brown sandy loam, heavier than the overlying layer. The lower border is smooth. A concave interlayer of dark brown loam is observed in the interval 0.33–0.37 m
0,48–0,65	Супесь темно-коричневого цвета, массивная. На глубине 0,65 м проходит нижняя граница слоя сезонного оттаивания на дату 12 июня Massive, dark brown sandy loam. At a depth of 0.65 m, there is the lower boundary of the seasonal thawing layer on 12 June
	Улу-Кюель Ulu-Kyuel
0–0,05	Лесная подстилка из брусники и лишайников. Горизонт от серого до темно-серого цвета Lingonberry and lichen litter. The horizon is from gray to dark gray color
0,05–0,22	Песок оранжевато-коричневый, ожелезненный, с темными пятнами органических остатков с криотурбациями, пронизанный корнями растений Sand is orange-brown, ferruginous, with dark spots of organic remains with cryoturbations, penetrated with plant roots
0,22–0,85	Песок мелкозернистый ожелезненный, оранжевато-коричневый, массивный. На глубине 0,70–0,74 м отмечается субгоризонтальный волнистый прослой песка интенсивно ожелезненный. На глубине 0,85 м проходит нижняя граница слоя сезонного оттаивания на дату 12 июня The sand is fine-grained, ferruginous, orange-brown and massive. At a depth of 0.70–0.74 m there is a subhorizontal wavy sand interlayer, intensely ferruginous. At a depth of 0.85 m, there is the lower boundary of the seasonal thawing layer on 12 June

гут превращать бикарбонаты в кислород. Сравнение количества органического и неорганического углерода может служить оценочным показателем их сохранности в многолетней мерзлоте, в том числе и как потенциальный источник парниковых газов. При потеплении и таянии мерзлоты находящиеся органические остатки как питательный субстрат становятся доступными для микробного разложения, обеспечивая положительную обратную связь с потеплением климата. Первый на-

прямую стимулирует метаболизм микроорганизмов, обеспечивая их углеродом. Второй косвенно активизирует круговорот органических веществ за счет повышения продуктивности растений и ускоренной смены подстилки. Это указывает на то, что изменения будут иметь противоположный результат на планетарный круговорот углерода, вовлеченного в функционирование наземных биомов и литологической трансформации мерзлоты.

Содержание различных фракций углерода в начальный период оттаивания деятельного слоя

Table 2

The content of various carbon fractions in the initial period of thawing of the active layer

Участок Site	Глубина, м Depth, m	C <sub>орг</sub> , % OC, %	C <sub>неорг</sub> , % IC, %	C <sub>общ</sub> , % TC, %
		Среднее ± ошибка Average ± mistake		
Майя-1 Maia-1	0,0–0,03	17,73 ± 0,66	0,21 ± 0,01	17,94 ± 0,64
	0,03–0,10	17,29 ± 2,31	0,38 ± 0,08	17,67 ± 2,64
	0,12–0,15	2,20 ± 0,04	0,16 ± 0,01	2,35 ± 0,05
	0,20–0,25	0,83 ± 0,11	0,09 ± 0,01	0,93 ± 0,12
	0,30–0,35	0,47 ± 0,07	0,08 ± 0,01	0,56 ± 0,08
Майя-2 Maia-2	0,0–0,03	9,34 ± 1,43	0,33 ± 0,07	9,67 ± 1,47
	0,03–0,07	6,36 ± 2,77	0,29 ± 0,02	6,65 ± 2,76
	0,15–0,20	0,61 ± 0,13	0,12 ± 0,01	0,73 ± 0,15
	0,25–0,30	0,27 ± 0,05	0,09 ± 0,01	0,36 ± 0,06
Бёкё Vyokyo	0,0–0,01	7,88 ± 1,09	0,41 ± 0,04	8,29 ± 1,05
	0,01–0,08	0,82 ± 0,06	0,14 ± 0,01	0,95 ± 0,06
	0,10–0,15	1,08 ± 0,09	0,51 ± 0,04	1,60 ± 0,09
	0,25–0,30	0,70 ± 0,04	1,95 ± 0,03	2,64 ± 0,02
	0,35–0,40	0,47 ± 0,01	2,22 ± 0,01	2,69 ± 0,02
	0,45–0,50	0,25 ± 0,01	0,64 ± 0,02	0,89 ± 0,02
	0,55–0,60	0,29 ± 0,01	1,34 ± 0,02	1,63 ± 0,03
Беджелек Bedzhelek	0,01–0,03	5,21 ± 0,38	0,27 ± 0,03	5,49 ± 0,40
	0,05–0,10	1,67 ± 0,05	0,22 ± 0,01	1,89 ± 0,05
	0,10–0,15	0,47 ± 0,04	0,08 ± 0,00	0,56 ± 0,05
	0,20–0,25	0,23 ± 0,02	0,11 ± 0,00	0,34 ± 0,02
	0,27–0,32	0,28 ± 0,01	0,33 ± 0,01	0,61 ± 0,01
	0,33–0,37	0,39 ± 0,05	0,32 ± 0,01	0,71 ± 0,06
	0,40–0,45	0,32 ± 0,03	1,44 ± 0,17	1,76 ± 0,20
	0,50–0,55	0,25 ± 0,00	0,58 ± 0,01	0,83 ± 0,01
	0,60–0,65	0,07 ± 0,00	0,18 ± 0,00	0,25 ± 0,00
Улу-Кюель Ulu-Kyuel	0,01–0,03	2,72 ± 0,36	0,10 ± 0,01	2,82 ± 0,35
	0,05–0,10	0,42 ± 0,01	0,03 ± 0,00	0,45 ± 0,01
	0,15–0,20	0,28 ± 0,05	0,02 ± 0,00	0,30 ± 0,06
	0,25–0,30	0,07 ± 0,00	0,02 ± 0,00	0,08 ± 0,00
	0,35–0,40	0,03 ± 0,00	0,02 ± 0,00	0,04 ± 0,00

Определение содержания углерода в грунтах проводилось на сертифицированном многофазном анализаторе углерода LECO RC612 производства фирмы «LECO Corporation» (США) в твердых образцах по стандарту DIN19539 методом температурного программирования в лабораторных условиях. Анализ на углерод проводили в трех определениях, что позволило разде-

лить различные формы углерода на органический и неорганический.

В табл. 2 представлено вертикальное распределение содержания различных форм углерода. Между различными группами разрезов деятельного слоя выявились существенные различия. Наибольшее содержание C<sub>орг</sub> присуще для участков Майя-1, Майя-2 на Тюнголюнской террасо-

видной ступени и Бёкё на поверхности Тюнгионской террасы с широким распространением термокарстовых форм рельефа, покровные отложения представлены лессовидными суглинками и разнородными супесями, их мощность составляет 30–50 м. С продвижением к надпойменной Бестяхской террасе пограничным по содержанию  $C_{\text{орг}}$  оказался участок Беджелек в месте перехода Бестяхской поверхности в Тюнгионскую. На участке Улу-Кюель содержание  $C_{\text{орг}}$  зарегистрировано как самое низкое, что во многом связано с составом горной породы, которая представлена песком, положением участка в ландшафте и преобладанием соснового леса с низкой продуктивностью живой фитомассы. Влияние растительности на содержание органического углерода в исследуемых участках отчетливо проявляется в верхних горизонтах почвы, что следует из описания общей характеристики ключевых участков в разделе «Объекты и методы исследования» и табл. 1, за счет подстилочного компонента и залегания основной массы корней до 94 % в двух верхних горизонтах почвы. Отметим, что леса Лено-Амгинского междуречья разнообразны подлеском и травяно-кустарничковым ярусом. Отличительным признаком растительности является развитие лугово-лесостепных и лугово-болотно-лесных ландшафтов [24], сформированных в замкнутых понижениях на мерзлом основании с резко выраженной переменной увлажненности и сухостью климата [25].

С изменением глубины фиксируется резкое падение содержания углерода на всех участках независимо от состава горной породы и постпирогенного состояния растительного покрова. Наличие корней в нижних минеральных горизонтах почвы не оказало заметного и сопутствующего повышения количества органического углерода, напротив, заметна тенденция к уменьшению. Это видно при сопоставлении соотношения  $C_{\text{орг}}$  между органическими и минеральными горизонтами профильных разрезов, так в подстилочном и органо-аккумулятивном горизонтах (0–0,10 м) сосредоточено от 87 до 99 %  $C_{\text{орг}}$  и всего лишь малая часть в минеральных горизонтах, что свойственно для каждого отдельного исследованного участка Центральной Якутии. Аналогичные наблюдения зафиксированы под еловыми лесами на Аляске [26] и на альпийских лугах Цинхай-Тибетского плато [27].

При рассмотрении данных с позиции постпирогенного состояния участков Майя-2 и Бедже-

лек за 19 лет самовосстановления верхних горизонтов почвы, в том числе и лесной подстилки, содержание  $C_{\text{орг}}$  по сравнению с неподверженным пожаром участком Майя-1 сократилось в 2 и 5 раз соответственно. Прогретая после пожара до 150–500 °С почва определяет степень потери углерода за счет высокой доступности органических остатков для микроорганизмов после выгорания растительности. В начальный период происходит интенсивное потребление субстрата микроорганизмами с последующим его истощением и ослаблением физико-химических процессов [28, 29]. Ряд исследователей указывают [30, 31], что после прохождения пожара происходит перераспределение углерода живой фитомассы в углерод отмерших частей растений. При этом процесс накопления биомассы и аккумуляции углерода в первые после пожара годы в значительной степени зависит от интенсивности горения, определяющей степень воздействия на надземные и подземные компоненты экосистемы. По мере отпада деревьев и поступления на поверхность почвы отмершей растительности происходит накопление запасов подстилки, которое наиболее интенсивно идет в первые годы после пирогенного воздействия.

Неорганический углерод – один из показателей содержания карбонатов в почве. Результаты определения показали, что  $C_{\text{неорг}}$  имеет меньшую изменчивость по сравнению с  $C_{\text{орг}}$ , что отражается в его плавном распределении по почвенному профилю за исключением на участках Бёкё и Беджелек. Основное ядро  $C_{\text{неорг}}$  приближается к значению 0,29 % на участке Майя-1 в верхних горизонтах почвы, прежде чем снижаться до 0,16 % на глубине 0,12–0,15 м. Так же, как и с органическим углеродом, высокая концентрация  $C_{\text{неорг}}$  расположена в горизонтах от 0,0 до 0,10 м, что составляет 62 % от общей доли содержания в профиле почвы. Подобная закономерность наблюдается на участках Майя-2 – 68 %. Почвенный профиль участка Улу-Кюель полностью состоит из песка, поэтому в нем это значение составляет 86 %, причем максимальное содержание  $C_{\text{неорг}}$  найдено только в интервале первого горизонта (0,01–0,03 м) – 0,10 %, затем с резким снижением на глубине 0,05–0,10 м до 0,03 % и следовыми значениями в слое 0,35–0,40 м.

На участках Бёкё и Беджелек залегание  $C_{\text{неорг}}$  в деятельном слое неравномерное со значительным возрастанием в середине профиля от 1,95 до 2,22 % в пределах 0,25–0,30 и 0,35–0,40 м со-

ответственно, тогда как в горизонте 0,0–0,08 м среднее значение составило 0,27 %  $C_{\text{неорг}}$ . В среднем в минеральных горизонтах (0,10–0,60 м) участка Бёкё сконцентрировано 80 %  $C_{\text{неорг}}$ , а в Беджелек – 56 %  $C_{\text{неорг}}$ . Доля неорганического углерода от общего углерода на Тюнгиюлонской поверхности изменяется в узких пределах от 2 до 5 %. При переходе Тюнгиюлонской террасы в Бестяхскую имеет более свободные границы, варьирующие от 28 до 39 %. На участках Майя-1, Майя-2 и Улу-Кюель показатель отношения массовой доли компонентов в экосистеме составляет 28–83. Высокое отношение  $C_{\text{орг}}$  к  $C_{\text{неорг}}$  свойственно поверхностным горизонтам почв со значительным содержанием органического углерода и низкой долей неорганического углерода. В нижних (минеральных) горизонтах этот параметр сужается до 1–9. На участках Бёкё и Беджелек отношение  $C_{\text{орг}}$  к  $C_{\text{неорг}}$  равно 19 вследствие преобладания неорганической формы углерода в нижних горизонтах. Возможно, разносторонний характер образования и распределения неорганического углерода в Лено-Амгинском междуречье связан с геоморфологическими особенностями и развитием террас, при том, что чехол четвертичных отложений гомогенный, состоящий в основном из супеси.

На постпирогенных участках состояние органического углерода после 19 лет самовосстановления находится на высоком уровне за счет обновления и накопления подстилочного растительного материала. Возможно, решающее значение в образовании углерода и его восстановлении на нарушенных участках имеет масштабная деятельность почвенных микроорганизмов. Естественная изменчивость содержания углерода в условиях территориального развития многолетней мерзлоты взаимообусловлена компонентами природной среды, которые могут существенно изменяться под антропогенной или природной нагрузкой, и региональными особенностями: положением в ландшафте, типом почвы, термическим режимом, криолитологической спецификой и криогенных процессов, превышающими критические пределы экосистемы, независимо от того, действуют ли почва и мерзлота как источники углерода или все еще его накапливают.

### Заключение

Данные, представленные в этой статье, указывают на высокое содержание органического углерода в слое почвы 0,0–0,10 м, практически для

всех рассмотренных разрезов, варьирующее от 5,21 до 17,7 %, что составляет 87 и 99 % всего органического углерода, хранящегося в верхней части деятельного слоя. В минеральных горизонтах концентрация  $C_{\text{орг}}$  резко падает и приближена к минимальному критическому уровню – от 1 до 13 % от общего его содержания в деятельном слое. Изучаемая территория покрыта мощным чехлом супеси, что является преобладающей причиной низкого содержания органического углерода в минеральных горизонтах, чего нельзя сказать о неорганическом углероде. Очевидно, что наличие кварца в супеси имеет большее значение для содержания неорганического углерода и его неравномерного залегания в разрезе. При этом трансформация неорганического углерода наглядно проявляется в различных рельефных условиях на участках Бёкё Тюнгиюлонской поверхности и Беджелек при сочленении Бестяхской и Тюнгиюлонской поверхностей, что подтверждается преобладанием от 56 до 80 % неорганического углерода в минеральных горизонтах.

В наших исследованиях использованный подход изучения углерода в отложениях ледового комплекса Лено-Амгинского междуречья выявил существенные различия в изменении содержания органического и неорганического углерода в естественных нетронутых ландшафтах и под влиянием пожаров спустя 19 лет после их завершения и восстановления растительного покрова. По сей день процесс образования и накопления органических остатков продолжается и имеет колоссальную роль для сохранения многолетней мерзлоты и увеличения запасов органического углерода. Вероятнее всего, после окончания пожара и принесенного ущерба в виде потерь наземного и углерода верхних горизонтов почвы были компенсированы новым его накоплением за счет поступления живой фитомассы вновь возобновившейся растительности.

### Литература

1. Kaufman D., McKay N., Routson C. et al. Holocene global mean surface temperature, a multi-method reconstruction approach // *Sci Data*. Vol. 201, No. 7. 2020. P. 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0530-7>.
2. Varney R.M., Chadburn S.E., Friedlingstein P. et al. A spatial emergent constraint on the sensitivity of soil carbon turnover to global warming // *Nat. Commun.* 2020. Vol. 11, No. 5544. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19208-8>.
3. Randers J., Goluke U. An earth system model shows self-sustained thawing of permafrost even if all

- man-made GHG emissions stop in 2020 // *Sci. Rep.* 2020. No. 10.18456. P. 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75481-z>.
4. *Strauss J., Schirrmeyer L., Grosse G. et al.* Deep Yedoma permafrost: A synthesis of depositional characteristics and carbon vulnerability // *Earth-Science Reviews*. 2017. Vol. 172. P. 75–86. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.07.007>.
5. *Schuur E.A.G., Mack M.C.* Ecological response to permafrost thaw and consequences for local and global ecosystem services // *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 2018. Vol. 49, No. 1. P. 279–301. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-121415-032349>.
6. *de Vrese P., Brovkin V.* Timescales of the permafrost carbon cycle and legacy effects of temperature overshoot scenarios // *Nat. Commun.* 2021. Vol. 12, No. 2688. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-23010-5>.
7. *Lindgren A., Hugelius G., Kuhry P.* Extensive loss of past permafrost carbon but a net accumulation into present-day soils // *Nature*. 2018. Vol. 560. P. 219–222. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0371-0>.
8. *van Huysteden J.* Thawing permafrost. Permafrost carbon in a warming Arctic. Springer, Cham, 2020. 508 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-31379-1>.
9. *Wild B., Gentsch N., Capek P. et al.* Plant-derived compounds stimulate the decomposition of organic matter in arctic permafrost soils // *Sci. Rep.* 2016. No. 6, 25607. <https://doi.org/10.1038/srep25607>.
10. *Wild B., Andersson A., Broder L., Vonk J., Hugelius G., McClelland J.W., Song W., Raymond P.A., Gustafsson O.* Rivers across the Siberian Arctic unearth the patterns of carbon release from thawing permafrost // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A.* 2019. Vol. 116, No. 21. P. 10280–10285. <https://doi.org/10.1073/pnas.1811797116>.
11. *Walter A.K., Schneider von Deimling T., Nitze I. et al.* 21st-century modeled permafrost carbon emissions accelerated by abrupt thaw beneath lakes // *Nat. Commun.* 2018. Vol. 9, No. 3262. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05738-9>.
12. *Schadel C., Koven C.D., Lawrence D.M. et al.* Divergent patterns of experimental and model-derived permafrost ecosystem carbon dynamics in response to Arctic warming // *Environmental Research Letters*. 2018. Vol. 13, No. 10. P. 105002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aae0ff>.
13. *Meredith M., Sommerkorn S., Cassotta C. et al.* Polar Regions // *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. 2019. P. 203–320.
14. *Heffernan L., Estop-Aragones C., Knorr K., Talbot J., Olefeldt D.* Long-term impacts of permafrost thaw on carbon storage in peatlands: deep losses offset by surficial accumulation // *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*. 2020. Vol. 125, Is. 3. <https://doi.org/10.1029/2019JG005501>.
15. *Koven C., Arora V.K., Cadule P. et al.* 23rd Century surprises: Long-term dynamics of the climate and carbon cycle under both high and net negative emissions scenarios // *Earth Syst. Dynam. Discuss.* 2021. <https://doi.org/10.5194/esd-2021-23>.
16. *Ma W., Zhai L., Pivovarov A. et al.* Assessing climate change impacts on live fuel moisture and wildfire risk using a hydrodynamic vegetation model // *Biogeosciences*. 2021. Vol. 18, Is. 13. P. 4005–4020. <https://doi.org/10.5194/bg-18-4005-2021>.
17. *Соловьев П.А.* Криолитозона северной части Лено-Амгинского междуречья. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 143 с.
18. *Fedorov A.N., Vasilyev N.F., Torgovkin Y.I. et al.* Permafrost-Landscape Map of the Republic of Sakha (Yakutia) on a Scale 1:1,500,000 // *Geosciences*. Vol. 8, No. 12 (465). 2018. P. 1–17. <https://doi.org/10.3390/geosciences8120465>.
19. *Федоров А.Н., Константинов П.Я.* Реакция мерзлотных ландшафтов Центральной Якутии на современные изменения климата и антропогенные воздействия // *География и природные ресурсы*. 2009. № 2. С. 56–62.
20. *Катасонов Е.М., Иванов М.С., Пудов Г.Г. и др.* Строение и абсолютная геохронология аласных отложений Центральной Якутии. Новосибирск: Наука, 1979. 95 с.
21. *Почвенно-географическое районирование СССР (в связи с сельскохозяйственным использованием земель)*. М., 1962. 422 с.
22. *Blok D., Faucher S., Banyasz I. et al.* Contrasting above- and belowground organic matter decomposition and carbon and nitrogen dynamics in response to warming in High Arctic tundra // *Global Change Biology*. 2018. Vol. 24, Is. 6. P. 2660–2672. <https://doi.org/10.1111/gcb.14017>.
23. *Dodds W., Whiles M.* Freshwater Ecology: Concepts and Environmental Applications of Limnology. 2nd Edition, Amsterdam: Elsevier, 2010. P. 829.
24. *Бысыгина М.Ф.* Систематическая структура локальных флор Лено-Амгинского междуречья (Центральная Якутия) // *Вестник Томского государственного университета*. 2009. № 322. С. 232–234.
25. *Андреев В.Н., Галактионова Т.Ф., Михалева В.М. и др.* Луга Якутии. М.: Наука, 1975. 176 с.
26. *Noguchi K., Matsuura Y., Sparrow S.D. et al.* Fine root biomass in two black spruce stands in interior Alaska: effects of different permafrost conditions // *Trees*. 2016. Vol. 30. P. 441–449. <https://doi.org/10.1007/s00468-015-1226-z>.
27. *Mu C., Li L., Zhang F. et al.* Impacts of permafrost on above- and belowground biomass on the northern Qinghai-Tibetan Plateau // *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. 2018. Vol. 50, is. 1. e1447192. <https://doi.org/10.1080/15230430.2018.1447192>.
28. *Masyagina O.V., Tokareva I.V., Prokushkin A.S.* Post fire organic matter biodegradation in permafrost soils: Case study after experimental heating of mineral horizons // *Science of the Total Environment*. 2016.

Vol. 573. P. 1255–1264. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.195>.

29. Masyagina O.V. Carbon dioxide emissions and vegetation recovery in fire-affected forest ecosystems of Siberia: recent local estimations // *Current Opinion in Environmental Science & Health*. 2021. Special issue. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100283>.

30. Иванова Г.А., Кукавская Е.А., Жила С.В. Воздействие пожаров на параметры баланса угле-

рода и компоненты экосистемы в светлехвойных лесах средней Сибири // *Гео-Сибирь*. 2010. Т. 4, № 2. С. 54–58.

31. Knorre A.A., Kiryanov A.V., Prokushkin A.S. et al. Tree ring-based reconstruction of the long-term influence of wildfires on permafrost active layer dynamics in Central Siberia // *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 652. P. 314–319. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.124>

Поступила в редакцию 24.06.2021

Принята к публикации 29.07.2021

#### Об авторах

ЧЕРЕПАНОВА Александра Михайловна, младший научный сотрудник, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 677010, Якутск, ул. Мерзлотная, 36, Россия, магистрант, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, 677000, Якутск, ул. Кулаковского, 48, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-4638-4770>, alexandra\_587@mail.ru;

СПЕКТОР Валентин Владимирович, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 677010, Якутск, ул. Мерзлотная, 36, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-7791-0972>, Researcher ID: J-9015-2018, vvspektor@mpi.ysn.ru;

ШЕПЕЛЕВ Андрей Геннадиевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 677010, Якутск, ул. Мерзлотная, 36, Россия; магистрант Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, 677000, Якутск, ул. Кулаковского, 48, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-8836-2123>, Researcher ID: M-7299-2016, carbon-shag@yandex.ru.

#### Информация для цитирования

Черепанова А.М., Спектор В.В., Шепелев А.Г. Поверхностный органический и неорганический углерод в ландшафтах Лено-Амгинского междуречья (Центральная Якутия) // *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2021. Т. 26, № 3. С. 52–63. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-3-52-63>

DOI 10.31242/2618-9712-2020-26-3-52–63

## Surface organic and inorganic carbon in the landscapes of the Lena-Amga interfluve (Central Yakutia)

A.M. Cherepanova<sup>1,2,\*</sup>, V.V. Spektor<sup>1</sup>, A.G. Shepelev<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Melnikov Permafrost Institute, SB RAS, Yakutsk, Russia

<sup>2</sup>Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

\*alexandra\_587@mail.ru

**Abstract.** The content of organic and inorganic carbon was evaluated in the upper part of the active layer of the Holocene sediments, represented mainly by sandy loam formed at the Bestyakh and Tyungyulyun terraces in the Lena-Amga interfluve. A clear pattern of organic carbon decrease from south to north in relation to the structural features of terraced landscapes is observed. On average, this parameter is 7.70 %  $C_{org}$  at the southern margin of the Tyungyulyun pseudo-terrace, 1.64 %  $C_{org}$  in the central part of the Tyungyulyun surface (the Byokyo region), while to the north, at the joint of the Tyungyulyun and

*Bestyuakh surfaces, the content of organic carbon decreases to the minimal value, which is 0.99 %  $C_{org}$ . Inorganic carbon exhibits a more complicated scattered distribution between the terraces. In the central part of the Tyungyulyun surface, its average content is 1.03 %  $C_{inorg}$ , with a sudden decrease at the Tyungyulyun pseudo-terrace to 0.19 %  $C_{inorg}$  and at the highland of the Ulu-Kyuel region to 0.03 %  $C_{inorg}$ . The effect of the post-pyrogenic past at the Maya-2 and Bedzhelek sites is depicted in the depletion and loss of the noticeable content of organic carbon from the upper soil horizons in comparison with the Maya-1 region by 55 % and 80 %, respectively. At the same time, an increase in the content of carbon of plant origin up to the initial level is outlined during self-recovery for 19 years.*

**Keywords:** organic carbon, inorganic carbon, active layer, the Lena-Amga interfluvium, Central Yakutia.

**Acknowledgements.** The research was carried out with support from the base project of SB RAS «Structure and key stages of the evolution of continental cryolithozone in the Neopleistocene and Holocene» (Project number AAAA-A20-120122290035-5).

### References

1. Kaufman D., McKay N., Routsom C. et al. Holocene global mean surface temperature, a multi-method reconstruction approach // *Sci Data*. Vol. 201, No. 7. 2020. P. 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0530-7>.
2. Varney R.M., Chadburn S.E., Friedlingstein P. et al. A spatial emergent constraint on the sensitivity of soil carbon turnover to global warming // *Nat. Commun.* 2020. Vol. 11, No. 5544. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19208-8>.
3. Randers J., Goluke U. An earth system model shows self-sustained thawing of permafrost even if all man-made GHG emissions stop in 2020 // *Sci. Rep.* 2020. No. 10.18456. P. 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75481-z>.
4. Strauss J., Schirmer L., Grosse G. et al. Deep Yedoma permafrost: A synthesis of depositional characteristics and carbon vulnerability // *Earth-Science Reviews*. 2017. Vol. 172. P. 75–86. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.07.007>.
5. Schuur E.A.G., Mack M.C. Ecological response to permafrost thaw and consequences for local and global ecosystem services // *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 2018. Vol. 49, No. 1. P. 279–301. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-121415-032349>.
6. de Vrese P., Brovkin V. Timescales of the permafrost carbon cycle and legacy effects of temperature overshoot scenarios // *Nat. Commun.* 2021. Vol. 12, No. 2688. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-23010-5>.
7. Lindgren A., Hugelius G., Kuhry P. Extensive loss of past permafrost carbon but a net accumulation into present-day soils // *Nature*. 2018. Vol. 560. P. 219–222. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0371-0>.
8. van Huisseden J. Thawing permafrost. Permafrost carbon in a warming Arctic. Springer, Cham, 2020. 508 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-31379-1>.
9. Wild B., Gentsch N., Capek P. et al. Plant-derived compounds stimulate the decomposition of organic matter in arctic permafrost soils // *Sci. Rep.* 2016. No. 6, 25607. <https://doi.org/10.1038/srep25607>.
10. Wild B., Andersson A., Broder L., Vonk J., Hugelius G., McClelland J. W., Song W., Raymond P.A., Gustafsson O. Rivers across the Siberian Arctic unearth the patterns of carbon release from thawing permafrost // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A.* 2019. Vol. 116, No. 21. P. 10280–10285. <https://doi.org/10.1073/pnas.1811797116>.
11. Walter A.K., Schneider von Deimling T., Nitze I. et al. 21st-century modeled permafrost carbon emissions accelerated by abrupt thaw beneath lakes // *Nat. Commun.* 2018. Vol. 9, No. 3262. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05738-9>.
12. Schadel C., Koven C.D., Lawrence D.M. et al. Divergent patterns of experimental and model-derived permafrost ecosystem carbon dynamics in response to Arctic warming // *Environmental Research Letters*. 2018. Vol. 13, No. 10. P. 105002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aae0ff>.
13. Meredith M., Sommerkorn S., Cassotta C. et al. Polar Regions // IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. 2019. P. 203–320.
14. Heffernan L., Estop-Aragones C., Knorr K., Talbot J., Olefeldt D. Long-term impacts of permafrost thaw on carbon storage in peatlands: deep losses offset by surficial accumulation // *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*. 2020. Vol. 125, Is. 3. <https://doi.org/10.1029/2019JG005501>.
15. Koven C., Arora V. K., Cadule P. et al. 23rd Century surprises: Long-term dynamics of the climate and carbon cycle under both high and net negative emissions scenarios // *Earth Syst. Dynam. Discuss.* 2021. <https://doi.org/10.5194/esd-2021-23>.
16. Ma W., Zhai L., Pivovarov A. et al. Assessing climate change impacts on live fuel moisture and wildfire risk using a hydrodynamic vegetation model // *Biogeosciences*. 2021. Vol. 18, Is. 13. P. 4005–4020. <https://doi.org/10.5194/bg-18-4005-2021>.
17. Solov'ev P.A. Kriolitozona severnoy chasti Leno-Amginskogo mezhdurechya. M.: Izd-vo AN SSSR, 1959. 143 p.
18. Fedorov A.N., Vasilyev N.F., Torgovkin Y.I. et al. Permafrost-Landscape Map of the Republic of Sakha (Yakutia) on a Scale 1:1,500,000 // *Geosciences*. Vol. 8, No. 12 (465). 2018. P. 1–17. <https://doi.org/10.3390/geosciences8120465>.
19. Fedorov A.N., Konstantinov P.Ya. Reaktsiya merzlotnykh landshaftov Tsentralnoy Yakutii na sovremen-

- nye izmeneniya klimata i antropennyye vozdeystviya // Geografiya i Prirodnye Resursy. 2009. No. 2. P. 56–62.
20. *Katasonov Ye.M., Ivanov M.S., Pudov G.G. i dr.* Stroenie i absolyutnaya geokhologiya alasnykh otlozheniy Tsentralnoy Yakutii. Novosibirsk: Nauka, 1979. 95 p.
21. *Pochvenno-geograficheskoe rayonirovanie SSSR (v svyazi s selskokhozyaystvennym ispolzovaniem zemel).* M., 1962. 422 p.
22. *Blok D., Faucherre S., Banyasz I. et al.* Contrasting above- and belowground organic matter decomposition and carbon and nitrogen dynamics in response to warming in High Arctic tundra // *Global Change Biology*. 2018. Vol. 24, Is. 6. P. 2660–2672. <https://doi.org/10.1111/gcb.14017>.
23. *Dodds W., Whiles M.* Freshwater Ecology: Concepts and Environmental Applications of Limnology. 2nd Edition, Amsterdam: Elsevier, 2010. P. 829.
24. *Bysyina M.F.* Sistematicheskaya struktura lokalnykh flor Leno-Amginskogo mezhdurechya (Tsentralnaya Yakutiya) // *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2009. No. 322. P. 232–234.
25. *Andreev V.N., Galaktionova T.F., Mikhaleva V.M. i dr.* Luga Yakutii. M.: Nauka, 1975. 176 p.
26. *Noguchi K., Matsuura Y., Sparrow S.D. et al.* Fine root biomass in two black spruce stands in interior Alaska: effects of different permafrost conditions // *Trees*. Vol. 30. 2016. P. 441–449. <https://doi.org/10.1007/s00468-015-1226-z>.
27. *Mu C., Li L., Zhang F. et al.* Impacts of permafrost on above- and belowground biomass on the northern Qinghai-Tibetan Plateau // *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. 2018. Vol. 50, is. 1. e1447192. <https://doi.org/10.1080/15230430.2018.1447192>.
28. *Masyagina O.V., Tokareva I.V., Prokushkin A.S.* Post fire organic matter biodegradation in permafrost soils: Case study after experimental heating of mineral horizons // *Science of the Total Environment*. 2016. Vol. 573. P. 1255–1264. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.195>.
29. *Masyagina O.V.* Carbon dioxide emissions and vegetation recovery in fire-affected forest ecosystems of Siberia: recent local estimations // *Current Opinion in Environmental Science & Health*. 2021. Special issue. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100283>.
30. *Ivanova G.A., Kukavskaya Ye.A., Zhila S.V.* Vozdeystvie pozharov na parametry balansa ugleroda i komponenty ekosistemy v svetlokhvoynnykh lesakh sredney Sibiri // *Geo-Sibir*. 2010. Vol. 4. No. 2. P. 54–58.
31. *Knorre A.A., Kiryanov A.V., Prokushkin A.S. et al.* Tree ring-based reconstruction of the long-term influence of wildfires on permafrost active layer dynamics in Central Siberia // *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 652. P. 314–319. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.124>

#### About the authors

CHEREPAANOVA, Alexandra Mikhaylovna, junior researcher, Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 36 Merzlotnaya st., Yakutsk 677010, Russia; master's student, North-Eastern Federal University, 48 Kulakovskiy st., Yakutsk 677013, Russia,

<https://orcid.org/0000-0002-4638-4770>, alexandra\_587@mail.ru;

SPEKTOR, Valentin Vladimirovich, Cand. Sci. (Geography), leading researcher, Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 36 Merzlotnaya st., Yakutsk 677010, Russia,

<https://orcid.org/0000-0002-7791-0972>, Researcher ID: J-9015-2018, vvspektor@mpi.ysn.ru;

SHEPELEV, Andrei Gennadievich, Cand. Sci. (Biology), senior researcher Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 36 Merzlotnaya st., Yakutsk 677010, Russia; master's student, North-Eastern Federal University, 48 Kulakovskiy st., Yakutsk 677013, Russia,

<https://orcid.org/0000-0002-8836-2123>, Researcher ID: M-7299-2016, e-mail: carbon-shag@yandex.ru.

#### Citation

*Cherepanova A.M., Spektor V.V., Shepelev A.G.* Surface organic and inorganic carbon in the landscapes of the Lena-Amga interfluvium (Central Yakutia) // *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2021. Vol. 26, No. 3. pp. 52–63. (In Russ.) <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-3-52-63>