

УДК 631.417.1

ЗАПАСЫ ФИТОМАССЫ И ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ТУНДРОВЫХ ЭКОСИСТЕМАХ СЕВЕРНОЙ ФЕННОСКАНДИИ*

М.Н. Маслов, Е.И. Копейна, А.Г. Зудкин, Н.Е. Королева,
А.А. Шулаков, В.Г. Онипченко, М.И. Макаров

Рассматриваются запасы углерода в различающихся по положению в мезо- и макрорельефе тундровых экосистемах Северной Фенноскандии в связи с величиной и структурой их фитомассы и объемной массой мелкозема почвы. Основные запасы углерода экосистемы (60—97%) сосредоточены в маломощных почвах. На величину почвенного пула элемента оказывает влияние не только его концентрация, но и мощность и степень каменистости почвенных горизонтов. Фитомасса — второй по значимости пул углерода. Для большинства тундровых экосистем установлено преимущественное запасание этого элемента в подземной фитомассе, что в целом отражает соотношение ее надземной и подземной частей. Запасы углерода в мортмассе тундровых экосистем сравнимы либо несколько превышают запасы элемента в живой фитомассе.

Ключевые слова: тундра, запасы фитомассы, органическое вещество почвы, углерод, Абиско, Фенноскандия.

Введение

В почвах экосистем Арктики и Субарктики сосредоточено до 190 Гт углерода [26, 34, 36], что составляет ~14% почвенного и ~28% всего углерода атмосферы планеты. Способность тундровых экосистем аккумулировать значительные количества этого элемента связана с коротким вегетационным периодом, низкими среднегодовыми температурами, высокой кислотностью, частым подавлением оксидазной активности из-за недостатка кислорода и наличием химически сложных субстратов с низким содержанием азота [24, 32], что создает условия для медленного разложения растительных остатков и их накопления в виде слабогумифицированного органического вещества почвы [26].

На протяжении последних 50 лет исследователи пытаются определить: станет Арктика зоной эмиссии углерода в атмосферу или останется зоной стока, как это было на протяжении последних 10 тыс. лет [33]. Одним из наиболее распространенных и эффективных методов исследования биогеохимического цикла углерода является математическое моделирование [16]. Однако точность прогнозов, полученных с помощью моделей, во многом определяется качеством первоначальных входных данных, в том числе — запасов углерода в почве и фитомассе. Анализ данных о запасах углерода в тундровых почвах [10, 11, 13, 14, 18, 20, 29, 36 и др.] дает довольно разнообразные оценки. Расхождения в них могут быть связаны как с учетом углерода в разных по мощности слоях почвы (0—10, 0—20, 0—100, 0—300 см), так

и с неполнотой первичных данных, на которые опираются авторы при расчетах. Так, очень часто в базах данных о запасах органического углерода в почвах используется аппроксимация значений плотности почвенного горизонта или массы мелкозема в нем. Отсутствие таких экспериментальных данных для каждого конкретного горизонта является важным фактором неопределенности запасов углерода в почвах и подчеркивает важность получения корректных первичных результатов.

Объекты и методы исследования

Исследования проведены в июле—августе 2011—2013 гг. в районе научно-исследовательской станции Абиско (Abisko naturvetenskapliga station, Швеция, 68°21'N, 18°49'E). Изучали восемь тундровых экосистем, расположенных на градиенте от элювиальных к аккумулятивным ландшафтным элементам, приуроченных к горной и равнинной территории и наиболее полно охватывающих разнообразие безлесых сообществ в этом районе [9].

В горно-тундровом поясе изучали пять фитоценозов, расположенных на юго-западном макросклоне горы Ньюла (Nuolja), на высоте 700—800 м над ур. м., на топографическом градиенте от хионофобного флавоцеттаријево-вороничного сообщества (ФВ) на бортах долины ручья, через зеленомошно-кустарничковое (ЗК) на склоне долины, к ивково-мелкотравному сообществу вблизи снежника с разным временем таяния снега (ИМР — раннее и ИМП — позднее) и душисто-колосково-разнотравной луговине (ДКР) на берегу ручья.

* Работа выполнена при поддержке гранта Нидерландской организации по научным исследованиям (NWO № 047.018.003).

Подробная характер-истика горно-тундровых сообществ и почв дана нами ранее [12].

В равнинной части тундры исследовали три типа фитоценозов, расположенных вблизи юго-западного берега о. Турнетреск (Torneträsk) на высоте около 340 м над ур. м. (среднегодовая температура $-1,0^{\circ}$, количество осадков 304 мм). Ерниковое сообщество (ЕР) формируется на склонах микроповышений. Около 50% проективного покрытия приходится на кустарничек *Betula nana*. На слабооснеженных полигонах, расположенных на гребнях микроповышений, формируется кустарничково-лишайниковое сообщество (КЛ), характеризующееся разреженным проективным покрытием и представленное в основном кустарничками *Rubus chamaemorus*, *Andromeda polifolia*, *Vaccinium uliginosum* и *V. vitis-idaea*, а также лишайниками *Cladonia arbuscula* и *C. rangiferina*. Верховое болото (ВБ) располагается в непосредственной близости от уреза воды озера. Доминантным видом является *Sphagnum fuscum*. Помимо сфагнового мха в состав этого сообщества входят кустарнички *Rubus chamaemorus*, *Oxycoccus microcarpus*, *Empetrum hermaphroditum* и *Andromeda polifolia*.

В кустарничковой экосистеме ЕР формируется сухоторфяно-литозем перегнойно-торфяный [7], или Folic Leptosol [27], имеющий следующее строение профиля:

TJ (0—23 см) — темно-бурый, влажный, бесструктурный, состоит из разложившихся растительных остатков, содержит большое количество корневищ растений;

M (23 см) — порода (гранит).

В кустарничково-лишайниковой экосистеме формируется литозем перегнойный типичный, или Folic Leptosol:

H (0—10 см) — темно-коричневый, влажный, бесструктурный, представлен разложенным растительным материалом, содержит большое количество корневищ и мелких корней, включения обломков породы незначительны;

M (10 см) — порода (гранит).

В экосистеме верхового болота формируется торфяная олиготрофная остаточно-эуτροφная почва, или Fibric Gistosol. Формирование ее происходит в условиях застойного переувлажнения, что во многом определяет консервацию растительных остатков в почве. Под слоем сфагнового очеса располагается слаборазложившийся вороничный торф. Профиль почвы имеет следующее строение:

ТО (0—30 см) — очес сфагнума (*Sphagnum fuscum*), светло-бурый, сырой;

ТЕ (30—50 см) — темно-бурый, сырой, бесструктурный, состоит из слаборазложившихся остатков *Empetrum hermaphroditum*;

M (50 см) — порода (гранит).

Запасы и структуру надземной фитомассы и общее количество надземной мортмассы определяли на пробных площадках 25×25 см (12-кратная повторность для каждого сообщества). Надземную фитомассу разбирали по группам и видам растений. Для определения подземной фитомассы в каждом сообществе отбирали образцы почвы в виде монолитов 10×10 см по генетическим горизонтам на всю глубину профиля. Отбор проводили на площадках, использовавшихся для учета запасов надземной фитомассы (по 10 монолитов в каждом сообществе). Монолит размывали водой на системе сит (минимальный размер ячейки 0,25 мм) и разбирали вручную. Подземные органы разделяли на живые и мертвые корневища, а также на корни (без деления на живые и мертвые) с диаметром до 1 мм и крупнее.

Образцы почв (всего 135) отбирали в тех же местах в виде монолитов 10×10 см по генетическим горизонтам на всю глубину профиля. В них определяли массу мелкозема для расчета запасов углерода.

В надземной и подземной фитомассе растений, мортмассе и в почве определяли содержание углерода методом сухого сжигания в токе кислорода на элементном анализаторе Elementar Vario EL III.

Результаты и их обсуждение

Надземная фитомасса. По общим запасам надземной фитомассы исследованные фитоценозы можно разделить на две группы. В первую входят кустарничковые сообщества горной и равнинной тундры (ФВ, ЗК, ЕР, КЛ) и фитоценоз верхового болота (ВБ), характеризующиеся относительно высокими запасами (табл. 1), что связано, прежде всего, с высокой долей участия многолетних одревесневающих органов растений: *Empetrum hermaphroditum*, *Vaccinium myrtillus*, *V. uliginosum*, *V. vitis-idaea*, *Betula nana*, *Cassiope tetragona*. Сохранение большей части надземной фитомассы в течение нескольких лет приводит к накоплению ее существенных запасов. Во вторую группу входят травяно-кустарничковые и травяное сообщества ИМР, ИМП и ДКР, запасы надземной фитомассы в которых значимо ниже, что связано с ежегодным отмиранием и новым развитием надземной фитомассы травянистых растений.

Изученные фитоценозы различаются по соотношению основных ботанических групп (лишайники, мохообразные, травянистые растения, вечнозеленые и листопадные кустарнички) (рис. 1). Основу надземной фитомассы в сообществах составляют сосудистые растения, доля лишайников варьирует в пределах 1—25%. Преобладающие ботанические группы в составе фитоценоза зависят

Таблица 1

Запасы фитомассы в тундровых сообществах Северной Фенноскандии, г/м²
(среднее ± ошибка среднего)

Экосистема	Общая фитомасса	Живая фитомасса		Мортмасса	
		надземная	подземная	надземная	подземная
Горная тундра					
ФВ	1238 ± 106	670 ± 27	568 ± 97	656 ± 85	84 ± 12
ЗК	1234 ± 180	670 ± 64	564 ± 186	912 ± 158	242 ± 54
ИМР	556 ± 85	256 ± 30	300 ± 82	365 ± 32	178 ± 32
ИМП	792 ± 102	271 ± 32	521 ± 142	383 ± 63	147 ± 28
ДКР	803 ± 86	204 ± 27	599 ± 132	254 ± 54	144 ± 25
Равнинная тундра					
ЕР	2670 ± 159	1172 ± 69	1498 ± 179	154 ± 47	572 ± 47
КЛ	1355 ± 62	636 ± 45	719 ± 75	19 ± 6	182 ± 31
ВБ	1594 ± 29	739 ± 30	855 ± 31	745 ± 57	48 ± 9

от его положения в ландшафте и связанном с этим перераспределением осадков. В составе горно-тундровых фитоценозов, занимающих элювиальные позиции ландшафта (ФВ, ЗК), наименее обеспеченные снегом зимой и периодически высыхающие летом, преобладают вечнозеленые и листопадные кустарнички (50–75%) и лишайники (11–23%). При продвижении от элювиальных к аккумулятивным позициям ландшафта происходит закономерное уменьшение доли участия лишайников и вечнозеленых кустарничков и закономерное повышение доли участия мохообразных, травянистых растений и листопадных кустарничков. Для сообществ равнинной тундры закономерность изменения доли ботанических групп в составе надземной фитомассы в зависимости от влагообеспеченности местообитания также соблюдается. До 30% фитомассы сообщества КЛ, расположенного на малооснеженных и наиболее сухих полигонах, представлено лишайниками. В сообществе ВБ, приуроченному к переувлажненным участкам, доля мхов максимальна и составляет 77%, а на лишайники приходится менее 1% фитомассы.

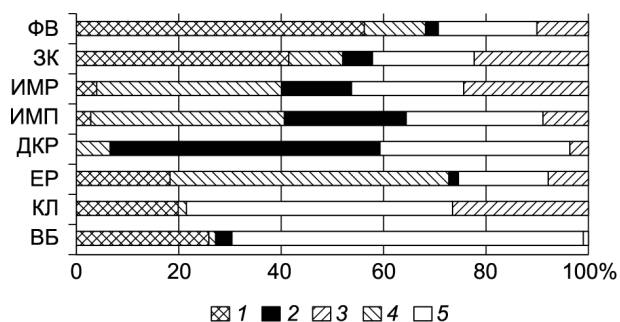


Рис. 1. Структура надземной фитомассы тундровых сообществ: 1 — вечнозеленые кустарнички, 2 — травянистые растения, 3 — лишайники, 4 — листопадные кустарнички, 5 — мхи

Подземная фитомасса. Изученные сообщества различаются также по запасам подземной фитомассы (табл. 1). В сообществах горной тундры они варьируют в пределах 300–600 г/м² и составляют от 46 до 75% от общей фитомассы. Фитоценозы равнинной тундры характеризуются более высокими абсолютными значениями (700–1500 г/м²), но меньшей долей (53–56%) подземных органов в общей фитомассе.

Основу подземной фитомассы тундровых сообществ (50–90%) составляют корневища (рис. 2). Суровые климатические условия и короткий вегетационный период приводят к доминированию в тундре многолетних растений с развитой системой подземных побегов.

В подземной фитомассе горно-тундровых сообществ корни представлены в основном фракцией тонких корней (диаметр < 1 мм). Они считаются наиболее метаболически активными, участвующими в процессах поглощения воды и элементов минерального питания. В условиях низкой обеспеченности тундровых почв доступными формами элементов минерального питания развитие большой массы тонких корней физиологически целесообразно.

По запасам общей фитомассы исследованные сообщества в целом соответствуют ранее изученным показателям аналогичных сообществ Фенноскандии (Абиско и Стордален [23, 35], Хибины [4, 15, 17, 19]), что связано со сходными климатическими условиями, в которых функционируют тундровые экосистемы в этих районах. При этом запасы фитомассы в исследованных сообществах значительно отличаются от литературных данных, приведенных для других регионов (Большеземельская тундра [1, 6], Полярный Урал [5], Ямал и Якутия [1], Таймыр [2, 3], а также Аляска [22, 23, 28]).

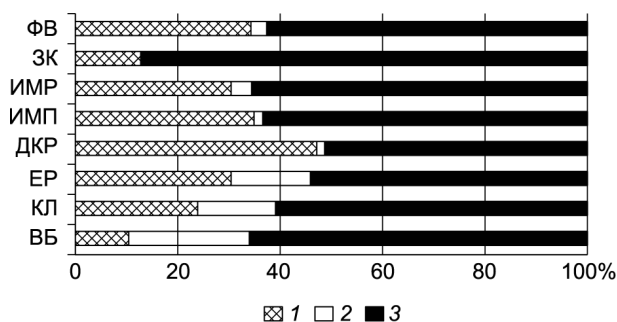


Рис. 2. Структура подземной фитомассы тундровых сообществ: 1 — корни < 1 мм, 2 — корни > 1 мм, 3 — корневища живые

М о р т м а с с а. Формирование запасов морт-массы в разных экосистемах определяется комплексным сочетанием ряда факторов (запас фитомассы, количество и биохимический состав опада, гидротермические условия и т.д.). На равномерность распределения запасов мортмассы на пробных площадках в пределах одного сообщества оказывают влияние особенности мезо- и микрорельефа: самые низкие показатели характерны для площадок, расположенных на более крутых склонах.

Запасы подземной мортмассы в тундровых фитоценозах в 2–16 раз ниже, чем надземной (табл. 1). Исключение составляют лишь равнинные сообщества ЕР и КЛ, где ее запасы превышают таковые надземной в 3 и 10 раз соответственно, что связано с потерей части надземной мортмассы за счет ее сдувания, так как фитоценозы располагаются на хорошо продуваемых равнинных участках.

С о д е р ж а н и е и з а п а с ы у г л е р о д а в п о ч в е. Максимальные запасы углерода в тундровых экосистемах сосредоточены в почве. В то же время, почвы разных экосистем сильно различаются по этому показателю (табл. 2), что обусловлено как с различиями в концентрациях углерода в разных горизонтах, так и варьированием мощности профиля и отдельных горизонтов, а также разной степенью каменистости.

Т а б л и ц а 2

Содержание и запасы углерода в тундровых почвах (среднее ± ошибка среднего)

Экосистема	Горизонт, мощность, см	C, %	C, г/м ²
Горная тундра			
ФВ	TJ, 25	32,1 ± 3,9	4147 ± 702
	ВН, 15	4,4 ± 0,5	1695 ± 101
ЗК	АН, 15	14,5 ± 2,9	1588 ± 278
ИМР	АН, 3	16,7 ± 2,6	1523 ± 300
	C _{hi} , 5	2,3 ± 0,6	1091 ± 200
ИМП	АН, 5	12,7 ± 1,9	1133 ± 465
	C _{hi} , 7	2,5 ± 0,3	1912 ± 501
ДКР	АН, 5	14,4 ± 2,5	1450 ± 433
	C _{hi} , 10	3,9 ± 0,7	1174 ± 437
Равнинная тундра			
ЕР	TJ, 23	47,2 ± 0,9	33 980 ± 3010
КЛ	Н, 10	48,0 ± 0,4	39 190 ± 4240
ВБ	ТО, 30	41,2 ± 0,1	13 210 ± 640
	ТЕ, 20	44,7 ± 0,8	32 550 ± 1960

Полученные нами данные по запасам углерода в органогенных горизонтах почв горной тундры близки к таковым почв Хибин под схожими

растительными сообществами [19]. В работе [18] для горной тундры Кольского полуострова также приводятся близкие значения запасов углерода в почве — $5,3 \pm 1,8$ кг/м². В то же время, запасы углерода в почвах горных тундр других регионов превышают полученные нами значения. Например, для почв горной тундры Полярного Урала они оцениваются в $10,6 \pm 2,4$ кг/м², для Якутии и островов моря Лаптевых — $7,9 \pm 1,5$, Чукотки — $8,5 \pm 3,5$, для горных тундр Средней Сибири — $8,6 \pm 1,0$ кг/м² [18]. Результаты, полученные нами для почв равнинной тундры, совпадают с оценками других авторов для тундровых почв Восточной Сибири, Аляски и Северной Канады, где запасы органического углерода в почве колеблются от 20 до 45 кг/м² [8]. Однако для почв Якутии, сформированных в более суровых климатических условиях, приводятся меньшие значения — от 7,6 до 13,2 кг/м² [21]. При этом в работах [30, 31] дан достаточно широкий спектр оценок запасов почвенного органического углерода — от 3 до 110 кг/м². Полученные нами данные по запасам органического углерода в торфяной олиготрофной почве под верховым болотом (13,2 кг/м² для гор. ТО и 32,5 кг/м² для гор. ТЕ) достаточно хорошо согласуются со средними значениями для болот Кольского полуострова (20,4 кг/м²) [18]. Значительные расхождения в оценках запасов углерода в тундровых почвах разных регионов связаны, по-видимому, с особенностями регионального почвообразования — прежде всего, с разными климатическими условиями и составом почвообразующих пород. В то же время, расхождения в оценках запасов углерода для одних и тех же территорий могут быть обусловлены неполнотой исходных данных, особенно по объемной массе почвы, поскольку бо́льшая часть неопределенности оценок запасов элементов в почвах во многом зависит от аппроксимации этих показателей.

С о д е р ж а н и е и з а п а с ы у г л е р о д а в ф и т о м а с с е. Средневзвешенное содержание углерода в надземной фитомассе тундровых экосистем практически не различается и составляет 40–46%. Для тундровых растений оно колеблется в пределах 35–54% и изменяется в ряду: кустарнички > мохообразные = лишайники > осочки > злаки > разнотравье. Для растений одного вида, произрастающих в разных сообществах, этот показатель практически не различается.

Содержание углерода в подземной фитомассе тундровых растений составляет 45–50% с максимальной концентрацией в наиболее метаболически активных тонких корнях диаметром < 1 мм. Более высокое содержание углерода и других элементов в тонких корнях установлено для большинства экосистем [25], в том числе и для альпийских и горно-тундровых сообществ северо-запада Кавказа и Абиско.

Т а б л и ц а 3

Запасы углерода в фитомассе тундровых экосистем, г/м²
(среднее ± ошибка среднего)

Экосистема	Надземная фитомасса	Подземная фитомасса	Общая мортмасса
Горная тундра			
ФВ	311 ± 15	320 ± 29	323 ± 31
ЗК	294 ± 21	395 ± 30	418 ± 51
ИМР	103 ± 7	220 ± 29	142 ± 12
ИМП	117 ± 15	321 ± 37	167 ± 23
ДКР	79 ± 8	342 ± 43	106 ± 19
Равнинная тундра			
ЕР	497 ± 12	1014 ± 127	79 ± 14
КЛ	281 ± 13	451 ± 52	69 ± 12
ББ	328 ± 15	406 ± 54	370 ± 34

Химический состав надземной и подземной мортмассы близок к составу живой фитомассы.

Фитомасса — второй по величине пул углерода в тундровых экосистемах Северной Фенноскандии (табл. 3). Максимальные запасы элемента в надземной фитомассе характерны для кустарничковых и болотной экосистем, что обусловлено наибольшими запасами фитомассы в этих сообществах. Для большинства тундровых экосистем установлено преимущественное запасание углерода в подземной фитомассе. Такое распределение его запасов в целом отражает соотношение надземной и подземной частей растений. Запасы углерода в мортмассе тундровых экосистем одинаковы либо несколько превышают таковые в живой фитомассе, что делает мортмассу важным

экосистемным пулом углерода. В кустарничковых экосистемах равнинной тундры запасы углерода в мортмассе значительно ниже, чем в живой фитомассе, что связано с низкими запасами надземной мортмассы в этих экосистемах. Запасы углерода в фитомассе тундровых экосистем Северной Фенноскандии близки к показателям тундровых экосистем Хибин [17].

Заключение

Различия в структуре и запасах фитомассы тундровых сообществ определяются мощностью снегового покрова и степенью увлажненности почвы в вегетационный сезон. Суровые климатические условия Арктики определяют преобладание в тундровых сообществах многолетних растений с развитой системой подземных побегов, которая обеспечивает сосредоточение основных запасов фитомассы фитоценозов в составе подземных органов.

Несмотря на малую мощность тундровых почв, в них содержатся основные экосистемные запасы углерода (60—97%). Более высокие показатели характерны для экосистем кустарничкового типа, особенно равнинной тундры, за счет большей плотности почвенных горизонтов и отсутствия включений в виде обломков породы. Это подтверждает важность учета объемной массы мелкозема в индивидуальном образце почвы при расчете запасов элементов.

Запасы углерода в фитомассе в большей степени определяются ее массой, а не химическим составом преобладающих видов растений, их максимум приходится на подземную фитомассу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Базилевич Н.И.* Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М., 1993.
2. *Богатырев Л.Г.* Биологический круговорот в тундрах Западного Таймыра: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1976.
3. *Вильчек Г.Е.* Продуктивность типичных тундр Таймыра // Экология. 1987. № 5.
4. *Владыченский А.С., Абысова О.Н.* Продуктивность растительных сообществ горно-тундрового пояса юго-западной части Хибин (на примере хребтов Кукисвумчорр и Поачвумчорр) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2004. № 3.
5. *Горчаковский П.Л., Андрияшкина Н.И.* Изучение первичной продуктивности сообществ лесотундры на стационаре «Харп» // Ресурсы биосферы. Вып. 1. Л., 1975.
6. *Елькина Г.Я., Лаптева Е.М.* Аккумуляция минеральных элементов в биоценозах кустарничково-лишайниково-моховой тундры // Биоразнообразие экосистем Крайнего Севера: инвентаризация, мониторинг, охрана. Сыктывкар, 2013.
7. Классификация и диагностика почв России. Смоленск, 2004.
8. *Кобак К.И.* Биотические компоненты углеродного цикла. Л., 1988.
9. *Королёва Н.Е.* Основные биотопы горных и зональных тундр Мурманской области // Вестн. Мурман. гос. техн. ун-та. 2008. Т. 11, № 3.
10. *Кудяров В.Н., Заварзин Г.А., Благодатский С.А.* и др. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России. М., 2007.
11. *Мажитова Г.Г., Казаков В.Г., Лопатин Е.В., Виртанен Т.* Геоинформационная система для бассейна р. Усы (Республика Коми) и расчет запасов почвенного углерода // Почвоведение. 2003. № 3.
12. *Маслов М.Н., Макаров М.И.* Органическое вещество почв горной тундры Северной Фенноскандии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2013. № 3.
13. *Орлов Д.С., Бирюкова О.Н.* Запасы углерода органических соединений в почвах Российской Федерации // Почвоведение. 1995. № 1.

14. *Пастухов А.В., Каверин Д.А.* Запасы почвенного углерода в тундровых и таежных экосистемах Северо-Восточной Европы // Почвоведение. 2013. № 9.
15. *Переверзев В.Н., Коробейникова Н.М., Кошлева Е.А.* Биологическая продуктивность растительного покрова, запасы фитомассы и органического вещества почв в ландшафтах Кольского полуострова // Актуальные проблемы сохранения биоразнообразия растительного и животного мира Северной Фенноскандии и сопредельных территорий. М., 2005.
16. *Рыжова И.М., Ерохова А.А., Подвезенная М.А.* Динамика и структура запасов углерода в постагрогенных экосистемах южной тайги // Почвоведение. 2014. № 12.
17. *Ушакова Г.И., Шмакова Н.Ю., Королева Н.Е.* Влияние видового состава и структуры фитомассы растительных сообществ на накопление углерода в горных и предгорных биогеоценозах Хибин // Бюл. МОИП. Отд. биол. 2004. Т. 109, вып. 2.
18. *Честных О.В., Замолодчиков Д.Г., Карелин Д.В.* Запасы органического углерода в почвах тундровых и лесотундровых экосистем России // Экология. 1999. № 6.
19. *Шмакова Н.Ю., Ушакова Г.И., Костюк В.И.* Горно-тундровые сообщества Кольской Субарктики (эколого-физиологический аспект). Апатиты, 2008.
20. *Щепаченко Д.Г., Мухортова Л.В., Швиденко А.З., Ведрова Э.Ф.* Запасы органического углерода в почвах России // Почвоведение. 2013. № 2.
21. *Bockheim J.G., Walker D.A., Everett L.R.* Soil carbon distribution in nonacidic and acidic tundra of Arctic Alaska // *Advances in Soil Science — Soil Processes and the Carbon Cycle*. Boca Raton, 1998. P. 143—155.
22. *Bret-Harte M.S., Mack M.C., Goldsmith G.P.* et al. Plant functional types do not predict biomass responses to removal and fertilization in Alaskan tussock tundra // *J. Ecol.* 2008. Vol. 96. P. 713—726.
23. *Epstein H.E., Reynolds M.K., Walker D.A.* et al. Dynamics of aboveground phytomass of the circumpolar Arctic tundra during the past three decades // *Environ. Res. Letters*. 2012. N 7. P. 1—12.
24. *Freeman C., Ostle N., Kang H.* An enzymic “latch” on a global carbon store — A shortage of oxygen locks up carbon in peatlands by restraining a single enzyme // *Nature*. 2001. Vol. 409. P. 149.
25. *Gordon W.S., Jackson R.B.* Nutrient concentrations in fine roots // *Ecology*. 2000. Vol. 81, N 1. P. 275—280.
26. *Hobbie S.E., Schimel J.P., Trumbore S.E., Randerson J.R.* Controls over carbon storage and turnover in high-latitude soils // *Global Change Biol.* 2000. N 6. P. 196—210.
27. IUSS Working Group WRB. 2006. World reference base for soil resources. World Soil Resources Reports N 103. FAO, Rome, 2006.
28. *Johnson D.R., Lara M.J., Shaver G.R.* et al. Exclusion of brown lemmings reduces vascular plant cover and biomass in Arctic coastal tundra: resampling of a 50+ year herbivore exclosure experiment near Barrow, Alaska // *Environ. Res. Letter*. 2011. N 6. P. 1—8.
29. *Kolchugina T.P., Vinson T.S., Gaston G.G.* et al. Carbon pools, fluxes, and sequestration potential in soils of the former Soviet Union // *Soil Management and Greenhouse Effect*. Boca Ration; London; Tokio, 1995. P. 25—40.
30. *Michaelson G.J., Ping C.L.* Soil organic carbon and CO₂ respiration at subzero temperature in soils of the Arctic // *Alaska J. Geophys. Res.* 2003. Vol. 108. P. 701—711.
31. *Michaelson G.J., Ping C.L., Kimble J.M.* Carbon storage and distribution in tundra soils of Arctic Alaska // *U.S.A. Arctic and Alpine Res.* 1996. Vol. 28 (4). P. 414—424.
32. *Moore T., Basiliko N.* Decomposition in boreal peatlands // *Boreal Peatland Ecosystems*. Berlin, 2006. P. 125—143.
33. *Pries C.E.H., Schuur E.A.G., Crummer K.G.* Holocene carbon stocks and carbon accumulation rates altered in soils undergoing permafrost thaw // *Ecosystems*. 2012. Vol. 12 (1). P. 162—173.
34. *Schuur E.A.G., Bockheim J., Canadell J.G.* et al. Vulnerability of Permafrost Carbon to Climate Change: Implications for the Global Carbon Cycle // *BioScience*. 2008. Vol. 58. P. 701—714.
35. *Sorensen P.L., Clemmensen K.E., Michelsen A.* et al. Plant and microbial uptake and allocation of organic and inorganic nitrogen relates to plant growth forms and soil conditions at two subarctic tundra sites in Sweden // *Arctic, Antarctic and Alpine Res.* 2008. Vol. 40, N 3. P. 171—180.
36. *Tarnocai C., Canadell J.G., Schuur E.A.G.* et al. Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region // *Global Biogeochem. Cycles*. 2009. Vol. 23. P. 1—11.

Поступила в редакцию
15.10.2015

THE STOCKS OF BIOMASS AND ORGANIC CARBON IN TUNDRA ECOSYSTEMS OF NORTHERN FENNOSCANDIA

M.N. Maslov, E.I. Kopeina, A.G. Zudkin, N.E. Koroleva,
A.A. Shulakov, V.G. Onipchenko, M.I. Makarov

The article content information about the structure of carbon stocks in different tundra ecosystems of Northern Fennoscandia in connection with structure of their phytomass. The main stocks of carbon are concentrate in the soil. Carbon concentration, thickness and stones content in the soil horizons are influence on soil carbon pool. Phytomass is the second largest pool of carbon. The main stocks of carbon are concentrate in below-ground phytomass. Carbon stocks in mortmass are comparable or somewhat superior to the stocks in the phytomass.

Key words: tundra, phytomass, soil organic matter, carbon, Abisko, Fennoscandia.

Сведения об авторах

Маслов Михаил Николаевич, канд. биол. наук, инженер каф. общего почвоведения ф-та почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова. Тел.: 8(495) 939-17-16; *e-mail*: maslov.m.n@yandex.ru. **Копейна Екатерина Игоревна**, аспирант Полярно-альпийского ботанического сада-института им. Н.А. Аврорина Кольского научного центра РАН. *E-mail*: koreina-e@yandex.ru. **Зудкин Александр Геннадьевич**, аспирант каф. геоботаники биологического ф-та МГУ им. М.В. Ломоносова. Тел.: 8(495) 939-43-10; *e-mail*: a-zudkin@yandex.ru. **Королева Наталья Евгеньевна**, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. Полярно-альпийского ботанического сада-института им. Н.А. Аврорина Кольского научного центра РАН. *E-mail*: floa012011@yandex.ru. **Шулаков Александр Александрович**, аспирант каф. геоботаники биологического ф-та МГУ им. М.В. Ломоносова. Тел.: 8(495) 939-43-10; *e-mail*: malaxis@yandex.ru. **Онипченко Владимир Гертрудович**, докт. биол. наук, зав. каф. геоботаники биологического ф-та МГУ им. М.В. Ломоносова. Тел.: 8(495) 939-43-10; *e-mail*: vonipchenko@mail.ru. **Макаров Михаил Иванович**, докт. биол. наук, зав. каф. общего почвоведения ф-та почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова. Тел.: 8(495) 939-17-16; *e-mail*: mikhail_makarov@mail.ru.