

ОРИГИНАЛЬНЫЕ
СТАТЬИ

УДК 630*187:582.475:574.4

**КРУГОВОРОТ УГЛЕРОДА
В СИСТЕМЕ “ФИТОЦЕНОЗ-ПОЧВА”
В ЧЕРНИЧНО-СФАГНОВЫХ СОСНЯКАХ
СРЕДНЕЙ ТАЙГИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ***

© 2012 г. К. С. Бобкова, А. Ф. Осипов

*Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
167982 Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28
E-mail: osipov@ib.komisc.ru
Поступила в редакцию 19.07.2011 г.*

Приведены оценки пула и интенсивности накопления углерода в экосистемах среднетаежных чернично-сфагновых сосняков разного возраста. Показано, что в сосновых биогеоценозах на болотно-подзолистых почвах более половины органического углерода экосистемы сконцентрировано в верхнем метровом слое почвы. Продукция углерода фитомассы в них составляет 1.9–3.0 т га⁻¹ год⁻¹. Охарактеризовано поступление растительного опада и деструкция растительных остатков на поверхности болотно-подзолистых почв. Отмечено, что за год разлагается около 30% от ежегодной массы поступающего опада, остальное накапливается на поверхности почвы в виде лесной подстилки, запасы которой составляют 28–33 т С га⁻¹.

Органический углерод, сосняк, продукция фитомассы, опад, разложение растительных остатков.

Актуальность исследований резервуаров и потоков органического углерода в лесных экосистемах обусловлена Рамочной конвенцией ООН об изменении климата [23] и Киотским протоколом [13]. Принятие Россией этих соглашений обусловило необходимость инвентаризации существующих запасов, а также оценить величины секвестирования и закрепления углерода в лесных сообществах. В масштабах России работы, характеризующие эти процессы, выполнены [1, 9, 10 и др.]. Определены запасы и депонирование углерода основными лесобразующими древесными породами [31], лесными массивами крупных регионов [29], отдельными фитоценозами [3, 17, 33 и др.]. Характеристика отдельных компонентов углеродного цикла приведена в работах [14, 25, 28] и др.

Исследователи, проводившие оценку запасов на территории России и крупных регионов, отмечают необходимость получения дополнительных

экспериментальных данных, описывающих круговорот углерода в различных типах леса. Ими показано, что сведения о нетто-продукции лесных экосистем, особенно о роли в накоплении углерода растений нижних ярусов фитоценозов и их корней недостаточны. Мало данных, характеризующих минерализованный поток CO₂ при деструкции растительных остатков в почве. Слабо исследованы в этом плане заболоченные типы лесных сообществ. Сосновые леса на территории Республики Коми занимают 7.1 млн. га [16], из них половина представлена насаждениями на болотно-подзолистых почвах, и углеродный цикл в них исследован очень слабо.

Цель данной работы — изучение круговорота органического углерода и оценка роли отдельных звеньев углеродного цикла в среднетаежных чернично-сфагновых сосняках разного возраста.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа выполнена в Республике Коми, на территории Ляльского (62°17'с.ш., 50°40'в.д.) и Чернамского (62°00'с.ш., 50°20'в.д.) лесных стацио-

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (№ 10-04-00067-а) и программы Президиума РАН № 16 “Окружающая среда в условиях изменяющегося климата: экстремальные природные явления и катастрофы”.

Таблица 1. Характеристика древостоев чернично-сфагновых сосняков

Состав	Средний возраст, лет	Густота деревь-ев, экз. га ⁻¹		Сумма площа-дей сечения, м ² га ⁻¹	Запас древеси-ны, м ³ га ⁻¹		Средняя высо-та, м	Средний диаметр, см	Подрост, тыс. экз. га ⁻¹
		растущих	сухих		растущих	сухих			
9С1Б + Е	45±2	2153	27	15.0	95	1	8.8	9.3	5.5
10С + Б ед.Е	60±4	2040	100	15.7	109	4	10.0	10.0	3.5
10С + Е, Б, Ос	118±4	1210	30	20.2	169	2	12.9	16.3	2.2

наров Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Объекты исследования — чернично-сфагновые сосняки разного возраста послепожарного происхождения, IV и V классов бонитета. Краткая таксационная характеристика древостоев приведена в табл. 1. В составе древесного яруса сосняков при господстве сосны отмечается незначительное участие березы, ели и редко осины. В подлеске единично ива и рябина. Подрост густотой 2.2–5.5 тыс. экз. га⁻¹ состоит из сосны, березы и ели при доминировании сосны. Травяно-кустарничковый ярус в исследованных сосняках с общим проективным покрытием 50–60% довольно сходен по составу и состоит из черники, голубики, брусники, багульника, водяники, кассандры, подбела, марьяника и осоки. Почти сплошной моховой покров представлен в основном сфагновыми при незначительном участии зеленых мхов. На кочках встречаются лишайники из родов *Cladonia* и *Cladina*. Почвы торфянисто-подзолисто-глееватые иллювиально-железистые и торфянисто-подзолисто-глееватые гумусовые.

В соответствии с ОСТ 56-69-83 [22] заложены 3 пробные площади размером 0.1 и 0.15 га, на которых проведен сплошной пересчет деревьев. Основные звенья круговорота органического углерода определены по потокам органического вещества. Запасы и прирост органической массы древостоя определяли методом модельных деревьев [30]. Было проанализировано: сосны 15 модельных деревьев (3 дерева 45 лет, 8 – 60, 4 – 118 лет), ели – 11 деревьев (3 дерева 45 лет, 4 – 60, 3 – 118 лет), березы – 8 деревьев (2 дерева 45 лет, 3 – 60, 3 – 118 лет) разных ступеней толщины.

Прирост древесины ствола определяли средний за 5 лет по приросту объема ствола модельных деревьев при помощи LINTAB 5 с использованием программы Tsar Win Basic. Прирост ветвей рассчитан по средней ветви модельных деревьев. Продукцию ассимиляционного аппарата вычисляли среднюю за 4 года. Массу подземных органов определяли методом крупных и мелких монолитов [20]. Пни и скелетные корни толщи-

ной > 20 мм извлекали из монолитов размером 1.5×1.5×0.6 м у тех деревьев, которые служили для определения массы надземных частей. Проводящие корни деревьев толщиной 0.6–20 мм, корни кустарничков и трав отбирали из монолитов размером 25×25 см в 15–18-кратной повторности до глубины проникновения корней. Прирост коры принимали равным ее опад. Продукцию древесных корней определяли по формуле [24].

Фитомассу растений напочвенного покрова определяли методом укосов на каждой пробной площади в 10-кратной повторности рамкой 50×50 см [24]. Их прирост вычисляли, отделяя побеги первого года. По полученным соотношениям рассчитывали общую продукцию. Прирост корней трав и кустарничков равен 25% от их массы [4].

Сбор опада осуществляли с помощью опадоловителей размером 50×50 см в 15–20-кратной повторностях. Массу опада кустарничков и мхов учитывали по их приросту. Компоненты опада и растительных остатков лесной подстилки закладывали в капроновых мешочках в пятикратной повторности в почву для оценки их разложения [32]. Содержание углерода в отдельных фракциях фитомассы и опада рассчитывали согласно [5]. Запасы органического углерода в почвах чернично-сфагновых сосняков определены нами ранее [21].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Запасы органического углерода в экосистемах. Запасы и распределение органического углерода по компонентам в лесных экосистемах характеризуют особенности биологического круговорота в конкретных лесорастительных условиях. В процессе развития лесные фитоценозы аккумулируют углерод в фитоценозе и почве.

Пул углерода фитомассы чернично-сфагновых сосняков образуют растения древостоя, подроста и напочвенного покрова. В древостоях сосняков на болотно-подзолистых почвах накоплено 35–55 т С га⁻¹, что составляет 81–93% от общих запасов углерода в фитоценозе, которые главным об-

разом сконцентрированы в древесине ствола (61–62%) и корнях (22–24%), на долю хвои приходится 4%, коры ствола – 6–7, ветвей – 4–6% (табл. 2). Древо­стой довольно близкие по составу, 9–10 единиц в них составляет сосна. Следовательно, она формирует большую часть углерода фитомассы ценоза. Запасы органического углерода в подросте – наи­более изученный компонент круговорота углерода в лесных экосистемах. Участие подроста в накоп­лении углерода фитомассы сосняков уменьшается с возрастом от 5.4 до 0.9 т га⁻¹, а его густота от 5.5 до 2.2 тыс. экз. га⁻¹. Более высокие запасы его от­мечены в 45-летнем насаждении, что обусловлено процессами интенсивного формирования древо­стоя и дифференциацией деревьев по состоянию.

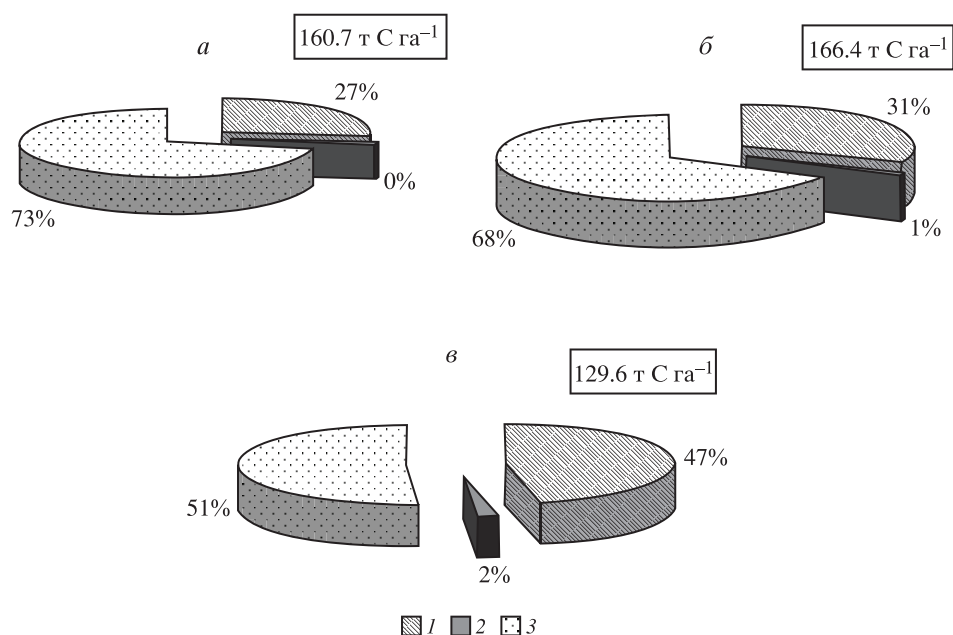
В среднетаежных чернично-сфагновых сос­няках масса углерода в растениях напочвенного покрова изменяется от 2.6 до 5.1 т С га⁻¹, значи­тельная часть которого в этом ярусе фитоцено­за приходится на чернику (19–45%) и сфагновые мхи (13–46%). Необходимо отметить, что в 45- и 118-летних фитоценозах в массе напочвенного покрова значительна роль голубики (13 и 22%, соответственно) и зеленых мхов (18 и 20%). На остальные растения приходится менее 10% от за­паса углерода растений напочвенного покрова. В целом, на долю кустарничков в аккумуляции уг­лерода надземной массы нижних ярусов при­ходится 39–63%, мхов – 36–53, трав – 1–8%. Известно [4, 11], что в фитоценозе с увеличением сомкнутости полога древо­стоя уменьшается мас­са растений напочвенного покрова. Это объясня-

ет уменьшение запасов углерода почти в 2 раза в мохово-лишайниковом и травяно-кустарничко­вом ярусах 45-летнего насаждения.

Таким образом, запасы углерода органической массы в фитоценозах чернично-сфагновых сос­няков увеличиваются с возрастом и составляют 43.0–60.5 т С га⁻¹ (табл. 2).

По нашим данным [21], пул углерода в почвен­ном блоке исследуемых сосновых экосистем со­ставляет 66–117 т С га⁻¹, и его доля в общем за­пасе экосистемы снижается по мере развития ценоза от 71% в 45-летнем до 51% в 118-летнем насаждении. Основным компонентом легкоми­нерализуемой фракции органического вещест­ва почвы является лесная подстилка с запасом 28.8–33.5 т С га⁻¹. Гумус почв на 50–75% состо­ит из стабильной фракции органического веще­ства. Большая часть, 69–90%, углерода 1-метро­вого профиля приходится на корнеобитаемый (0–50 см) слой почвы. Следует отметить, что исходно запасы углерода 1-метрового профи­ля почвы в сосняках разные из-за различий в их гранулометрическом составе. Песчаная почва спелого чернично-сфагнового сосняка имеет меньшие запасы углерода в отличие от 45- и 60-летних насаждений, развитых на супесчаных почвах.

Общий пул углерода в чернично-сфагновых сос­няках разного возраста на болотно-подзолистых почвах варьирует от 130 до 166 т га⁻¹ со значитель­ным (51–73%) накоплением его в верхнем 1-мет­ровом слое почвы, включая подстилку (рис. 1).



Запасы углерода в экосистемах чернично-сфагновых сосняков 45 лет (а), 60 лет (б) и 118 лет (в): 1 – фитомасса, 2 – древесный дебрис, 3 – почва; общее количество углерода приведено в рамке.

Таблица 2. Запасы (т га^{-1}) и продукция ($\text{кг га}^{-1} \text{ год}^{-1}$) углерода органического вещества в фитоценозах сосняков чернично-сфагновых

Компонент	Возраст, лет					
	45		60		118	
	запас	нетто-продукция	запас	нетто-продукция	запас	нетто-продукция
Древесные растения	<u>83.40</u> 40.13	<u>2760</u> 1291	<u>98.09</u> 47.16	<u>3137</u> 1483	<u>115.26</u> 55.53	<u>3777</u> 1796
Сосна						
хвоя	<u>3.11</u> 1.43	<u>571</u> 260	<u>3.66</u> 1.70	<u>736</u> 340	<u>4.21</u> 1.95	<u>1016</u> 471
древесина ствола	<u>49.57</u> 23.74	<u>844</u> 400	<u>49.81</u> 23.86	<u>983</u> 470	<u>67.44</u> 32.29	<u>1252</u> 601
кора ствола	<u>5.22</u> 2.53	<u>152</u> 70	<u>5.99</u> 2.91	<u>84</u> 40	<u>5.97</u> 2.89	<u>142</u> 69
ветви живые	<u>4.51</u> 2.13	<u>645</u> 300	<u>3.59</u> 1.70	<u>383</u> 180	<u>6.55</u> 3.09	<u>847</u> 401
корни	<u>15.83</u> 7.83	<u>232</u> 111	<u>18.91</u> 9.36	<u>285</u> 140	<u>24.38</u> 12.06	<u>282</u> 141
Ель						
хвоя	<u>0.26</u> 0.12	<u>17</u> 8	<u>0.28</u> 0.13	<u>15</u> 7	<u>0.47</u> 0.22	<u>33</u> 15
древесина ствола	<u>0.56</u> 0.27	<u>13</u> 6	<u>0.50</u> 0.24	<u>13</u> 6	<u>1.69</u> 0.81	<u>12</u> 6
кора ствола	<u>0.22</u> 0.11	<u>12</u> 6	<u>0.30</u> 0.16	<u>10</u> 5	<u>0.26</u> 0.13	<u>8</u> 4
ветви живые	<u>0.25</u> 0.12	<u>12</u> 6	<u>0.29</u> 0.14	<u>10</u> 5	<u>0.38</u> 0.22	<u>12</u> 6
корни	<u>0.20</u> 0.10	<u>4</u> 2	<u>0.05</u> 0.02	<u>12</u> 6	<u>0.87</u> 0.42	<u>8</u> 4
Береза						
листья	<u>0.78</u> 0.37	<u>85</u> 40	<u>1.67</u> 0.78	<u>482</u> 226	<u>0.57</u> 0.26	<u>79</u> 37
древесина ствола	<u>1.09</u> 0.51	<u>64</u> 30	<u>6.61</u> 3.11	<u>43</u> 20	<u>1.12</u> 0.53	<u>23</u> 11
кора ствола	<u>0.77</u> 0.39	<u>40</u> 20	<u>1.52</u> 0.77	<u>22</u> 11	<u>0.48</u> 0.25	<u>20</u> 10
ветви живые	<u>0.73</u> 0.34	<u>43</u> 20	<u>1.96</u> 0.91	<u>33</u> 15	<u>0.55</u> 0.26	<u>22</u> 10
корни	<u>0.30</u> 0.14	<u>26</u> 12	<u>2.95</u> 1.37	<u>26</u> 12	<u>0.32</u> 0.15	<u>21</u> 10
Напочвенный покров	<u>5.52</u> 2.63	<u>1338</u> 636	<u>10.98</u> 5.14	<u>2772</u> 1293	<u>10.36</u> 4.94	<u>2563</u> 1224
кустарнички	<u>1.28</u> 0.63	<u>298</u> 146	<u>1.55</u> 0.77	<u>367</u> 181	<u>2.47</u> 1.21	<u>696</u> 340
травы	<u>0.06</u> 0.03	<u>61</u> 26	<u>0.37</u> 0.15	<u>367</u> 154	<u>0.04</u> 0.02	<u>41</u> 17
мхи и лишайники	<u>0.85</u> 0.38	<u>148</u> 65	<u>2.45</u> 1.05	<u>385</u> 165	<u>1.61</u> 0.71	<u>266</u> 118
корни трав и кустарничков	<u>3.33</u> 1.59	<u>831</u> 399	<u>6.61</u> 3.17	<u>1653</u> 793	<u>6.24</u> 3.00	<u>1560</u> 749
Всего	<u>88.92</u> 42.76	<u>4098</u> 1927	<u>109.07</u> 52.30	<u>5909</u> 2776	<u>125.62</u> 60.47	<u>6340</u> 3020

Примечание. Числитель – масса сухого органического вещества, знаменатель – масса углерода.

Содержание углерода в фитомассе чернично-сфагновых сосняков увеличивается с возрастом от 43 в 45-летнем до 60 т С га⁻¹ в спелом насаждении. В древесном дебрисе концентрируется и составляют 0.7–2.8 т га⁻¹. В составе углерода органического вещества блока фитоценоза 81–93% от его общих запасов сосредоточено в древостое. Следует отметить, что в экосистемах средневозрастных и спелых сосняков брусничных и черничных в условиях средней тайги Карелии накапливается 95–176 т С га⁻¹ [25]. На фитомассу приходится 65–90% от общих запасов углерода, и эта доля увеличивается с возрастом насаждения. В лишайниковых сосняках Сибири общий пул углерода варьирует от 72 до 109 т га⁻¹, доля углерода фитомассы составляет 46–74% [17].

Продукция углерода в фитоценозах. Важнейшей характеристикой функционирования лесных экосистем является интенсивность продуцирования органического вещества фитоценозов. В чернично-сфагновых сосняках разного возраста ежегодно депонируется 1.9–3.0 т С га⁻¹. В формировании органической массы доля древостоя составляет 51–71% от годичной нетто-продукции (табл. 2). В накоплении органического углерода ценоза значительно участие хвой (0.3–0.6 т га⁻¹) и древесины стволов (0.4–0.6 т га⁻¹). Вклад ветвей равен 0.2–0.4 т га⁻¹. Прирост корней составляет 0.1–0.2, а коры ствола – 0.06–0.10 т га⁻¹.

Ранее было отмечено, что с увеличением влажности почвы экосистем увеличивается доля продукции фитомассы растений напочвенного покрова [4, 11]. Так, в сосняках чернично-сфагновых доля растений напочвенного покрова составляет 0.6–1.3 т С га⁻¹ год⁻¹, или 29–41% от общего прироста фитомассы ценоза. Основную часть продукции (33–69%) формируют кустарнички. На мхи приходится 27–34, травы – 4–33% от общей продукции углерода фитомассы растений напочвенного покрова.

Сопоставляя полученные данные, характеризующие продуктивность сосняков на болотно-подзолистых почвах, с литературными, следует отметить, что сосняки зеленомошной группы типов на автоморфных почвах в условиях средней тайги образуют древостои III–IV классов бонитета и накапливают органической массы в 1.3–2.0 раза больше, чем сосняки на полугидроморфных почвах [4, 18, 33, 34]. Средневозрастные и спелые сосняки брусничные и черничные в условиях средней тайги Карелии образуют древостои I–III классов бонитета с запасом углерода в фитоценозе 62–159 т га⁻¹, с ежегодной его продукцией 2.2–4.2 т С га⁻¹ [25]. В сосновых насаждениях

Европейско-Уральской провинции в зависимости от возраста сосредоточено 27–77 т С га⁻¹, а ежегодное депонирование составляет 0.6–1.7 т С га⁻¹ [31]. В 30-летних северотаежных сосновых молодняках Республики Коми в зависимости от условий произрастания запасы углерода в фитоценозе варьируют от 9.5 до 18.8 т га⁻¹, а нетто-продукция – от 1.5 до 2.8 т га⁻¹ год⁻¹ [3]. Следует отметить, что в молодняках в запасании и фиксации углерода атмосферы относительно высока (20–61%) доля участия растений напочвенного покрова, что обеспечивает интенсивный ежегодный возврат углерода в почву и атмосферу в процессе минерализации опада. Так, по [17], запас углерода в древостоях сосняков лишайниковых в зависимости от возраста составляет 26–61 т га⁻¹, а годичная продукция – 0.7–1.1 т га⁻¹. При продвижении с севера на юг количество депонированного углерода увеличивается от 0.5 до 1.4 т га⁻¹ год⁻¹.

Таким образом, невысокая продуктивность углерода фитомассы в чернично-сфагновых сосняках обусловлена неблагоприятными условиями почвенной среды. В болотно-подзолистых почвах данных сообществ более 80% сосущих корней располагается в лесной подстилке. Продолжительность температур, при которых происходит их активный рост, составляет 3–3.5 месяца в органогенном горизонте, 2.5–3 мес. в ризосфере. Однако, промывной водный режим переувлажненных почв уменьшает содержание кислорода, вызывает периодическое прекращение роста корней и нарушение обменных процессов в них [4]. Согласно [2], высокое отношение C/N в почве свидетельствует о слабом обеспеченности гумуса азотом и низком плодородии почвы. При разложении растительных остатков в торфянистой лесной подстилке образуются фульвокислоты, которые, растворяясь в воде, выносят элементы минерального питания из органогенного горизонта в толщу почвы, делая их труднодоступными для корней растений.

Углерод опада органической массы. В чернично-сфагновых сосняках средней тайги с опадом на поверхность почвы поступает 1.3–1.8 т С га⁻¹ год⁻¹ (табл. 3). Эта величина соответствует 3–5% от запасов органического углерода фитоценозов, или 60–67% от ежегодной его продукции. В опаде 42–57% от общей массы углерода приходится на древесный ярус, остальное – на растения напочвенного покрова. Следует также отметить увеличение органического углерода опада древесного яруса с возрастом. Такая же закономерность динамики поступления опада древесного яруса сосняков с возрастом отмечена Н.И. Казимировым с со-

Таблица 3 Масса опада (числитель) и содержание углерода (знаменатель) в сосняках чернично-сфагновых, т га⁻¹

Компоненты опада	Возраст, лет		
	45	60	118
Древостой	1.40±0.24	1.81±0.30	1.32±0.17
	0.71±0.13	0.91±0.16	0.66±0.09
Напочвенный покров	1.25±0.18	1.93±0.23	2.38±0.33
	0.59±0.09	0.91±0.11	1.14±0.16
Всего	2.65±0.21	3.74±0.27	3.70±0.2
	1.30±0.11	1.82±0.13	1.80±0.12
Запасы подстилки	73.5±2.9	64.3±3.3	74.6±4.9
	32.9±1.2	28.8±1.4	31.3±2.1
Подстильно-опадочный коэффициент	27.7	17.2	20.2

Таблица 4. Разложение основных компонентов опада

Компонент опада	Потеря массы, %
Хвоя сосны	32
Кора сосны	5
Ветви сосны	13
Листья березы	36
Травянистые растения	51
Черника	59
Сфагновые мхи	20*
Зеленые мхи	25
Подстилка	
A ₀ '	3
A ₀ ''	8

* По данным Н.Л. Смоленцевой [26].

авт. [11]. Согласно их данным, наблюдается рост массы опада древесного яруса сосняков черничных и брусничных примерно до 100-летнего возраста (с 2.1 до 4.9 т га⁻¹), с последующим уменьшением до 2.9–3.1 т га⁻¹ в возрасте 180–200 лет, тогда как общее количество опада исследованных фитоценозов варьирует в пределах 2.9–7.2 т га⁻¹. В сосняках предгорий Хибин с опадом возвращается на поверхность почвы 1.5–4.9 т га⁻¹ год⁻¹ органической массы [19]. Подстильно-опадочный коэффициент (отношение массы подстилки к массе опада) варьирует от 17 до 27, что свидетельствует о замедленном биологическом круговороте (табл. 3).

Важным показателем, отражающим процесс круговорота веществ, является скорость разложения растительных остатков [6, 12]. Как показыва-

ют данные табл. 4, скорость разложения отдельных компонентов растительного опада варьирует. Наиболее интенсивно разлагается активная фракция опада. В процессе разложения листья березы за год теряют 36, хвоя сосны – 32% веса. Неактивная фракция растительных остатков разлагается медленнее. Скорость разложения ветвей сосны составляет 13, коры стволов – 5% в год. Черника и травянистые растения отличаются относительно высокой скоростью разложения, 59 и 51% в год от исходной массы соответственно. У мхов ежегодное поступление органического вещества в подстилку происходит за счет отмирающих нижних частей надземных органов и ризоидов. У доминирующих в фитоценозах сфагновых мхов ежегодная потеря массы составляет 20, зеленых – 25%.

Следовательно, ежегодное разложение растительных остатков в сосняках на болотно-подзолистых почвах составляет около 30% от поступившего опада. При деструкции опада освобождается, т С га⁻¹ год⁻¹: 0.40 в 45-летнем, 0.56 в 60- и 118-летних насаждениях. В процессе разложения лесной подстилки теряется около 1.2 т С га⁻¹ год⁻¹. Согласно [7], большая часть (около 85%) выделившегося при разложении углерода в виде эмиссии СО₂ поступает в атмосферу, остальное вовлекается в процессы гумификации.

Известно, что разложение растительных остатков определяется в основном биологической активностью почв. Основными разрушителями растительного материала в хвойных фитоценозах рассматриваемого региона являются микроартроподы и микроорганизмы, представленные бактериями и грибами [15, 26, 27]. Неблагоприятные гидротермические и физико-химические условия болотно-подзолистых почв чернично-сфагновых сосняков обуславливают медленные процессы преобразования органического вещества и накопление его в виде лесной подстилки [8], запасы углерода в которой в исследуемых сосняках чернично-сфагновых составляют 28–34 т га⁻¹ [21].

Закключение. В условиях средней тайги на болотно-подзолистых почвах образуются низкопродуктивные сосновые насаждения с запасом углерода в экосистеме 130–166 т га⁻¹. Сосняки чернично-сфагновые характеризуются замедленным биологическим круговоротом веществ, что определяется значительным участием почвенного блока в накоплении органического углерода экосистемой. В аккумуляции углерода в сосняках возрастает доля фитомассы и древесного дебриса с возрастом насаждения, что обусловлено увеличением органической массы древостоя и усилением дифференциации деревьев по со-

стоянию. Продукция органического углерода фитомассы в заболоченных сосняках невысокая – 1.9–3.0 т С га⁻¹. С опадом на поверхность почвы поступает 1.3–1.8 т С га⁻¹ год⁻¹. Ежегодно разлагается около 30% от поступившего опада, остальное пополняет запасы торфянистой лесной подстилки, скорость разложения которой незначительна. При разложении опада освобождается 0.4–0.6 т С га⁻¹, подстилки – около 1.2 т С га⁻¹, большая часть которого в виде потока СО₂ поступает в атмосферу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев В.А., Бердси Р.А.* Углерод в экосистемах лесов и болот России. Красноярск: Ин-т леса СО РАН, 1994. 224 с.
2. *Арчегова И.Б.* Почвы некоторых типов хвойных фитоценозов среднетаежной подзоны // Комплексные биогеоценологические исследования хвойных лесов европейского Северо-Востока (Тр. Коми филиал АН СССР. № 73). Сыктывкар, 1985. С. 70–82.
3. *Бобкова К.С.* Биологическая продуктивность хвойных лесов европейского Северо-Востока. Л.: Наука, 1987. 156 с.
4. *Бобкова К.С.* Биологическая продуктивность и компоненты баланса углерода в молодняках сосны // Лесоведение. 2005. № 6. С. 30–37.
5. *Бобкова К.С., Туужилкина В.В.* Содержание углерода и калорийность органического вещества в лесных экосистемах Севера // Экология 2001. № 1. С. 69–71.
6. *Богатырев Л.Г.* Образование подстилок – один из важнейших процессов в лесных экосистемах // Почвоведение. 1996. № 4. С. 501–511.
7. *Ведрова Э.Ф.* Разложение органического вещества лесных подстилок // Почвоведение. 1997. № 2. С. 216–223.
8. *Забоева И.В.* Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар, 1975. 344 с.
9. *Замолодчиков Д.Г., Коровин Г.Н., Гитарский М.Л.* Бюджет углерода управляемых лесов Российской Федерации // Лесоведение. 2007. № 6. С. 23–34.
10. *Исаев А.С., Коровин Г.Н.* Депонирование углерода в лесах России // Углерод в биогеоценозах: чтения памяти академика В.Н. Сукачева, XV / Под ред. И.А. Шилова. М., 1997. С. 59–98.
11. *Казимиров Н.И., Волков А.Д., Зябченко С.С., Иванчиков А.А., Морозова Р.М.* Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера. Л.: Наука, 1977. 304 с.
12. *Карпачевский Л.О.* Лес и лесные почвы. М.: Лесная пром-сть, 1981. 264 с.
13. Киотский протокол к рамочной конвенции Организации объединенных наций об изменении климата. Официальный русский перевод. ООН, 1997. 27 с.
14. *Кобак К.И.* Биотические компоненты углеродного цикла. Л.: Гидрометеиздат. 1988. 248 с.
15. *Криволицкий Д.А., Лебрен Ф., Кунст М., Акимов И.А., Баяртогтох Б., Гришина Л.Г., Голосова Л.Д., Карптинен Э.* Панцирные клещи: морфология, развитие, филогения, экология, методы изучения и характеристика модельного вида *Nothrus palustris*. М.: Наука, 1995. 224 с.
16. Леса Республики Коми / Под ред. Г.М. Козубова, А.И. Таскаева. М., 1999. 332 с.
17. Лесные экосистемы Енисейского меридиана / Под ред. Ф.И. Плешикова. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 356 с.
18. *Молчанов А.А.* Продуктивность органической массы в лесах различных зон. М.: Наука, 1971. 275 с.
19. *Никонов В.В.* Почвообразование на северном пределе сосновых биогеоценозов. Л.: Наука, 1987. 142 с.
20. *Орлов А.Я.* Метод определения массы корней деревьев в лесу и возможность учета годичного прироста органической массы в толще лесной почвы // Лесоведение. 1967. №1. С. 64–69.
21. *Осипов А.Ф., Кузнецов М.А.* Содержание органического углерода болотно-подзолистых почвах хвойных лесов средней тайги // Лесоведение. 2010. № 6. С. 65–70.
22. ОСТ 56-69-83. Пробные площади лесоустойчивые. Метод закладки. М.: ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1983. 60 с.
23. Рамочная конвенция ООН об изменениях климата. Официальный русский перевод. ООН, 1992. 30 с.
24. *Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И.* Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота. Л.: Наука, 1967. 145 с.
25. *Синькевич С.М., Бахмет О.Н., Иванчиков А.А.* Роль почв в региональном балансе углерода в сосновых лесах Карелии // Почвоведение. 2009. № 3. С. 290–300.
26. *Смоленцева Н.Л.* Поступление и превращение опада в сосново-еловом насаждении на подзолистых почвах средней тайги Коми АССР. Автореф. ... дис. канд.с.-х. н. М.; ТСХА, 1979. 15 с.
27. *Стенина Т.А.* Микрофлора почв // Почвы Коми АССР и пути повышения их плодородия. Сыктывкар, 1963. С. 34–40.
28. *Трефилова О.В., Ведрова Э.Ф., Кузьмичев В.В.* Годичный цикл углерода в зеленомошных сосняках Енисейской равнины // Лесоведение. 2011. № 1. С. 3–12.
29. *Усольцев В.А.* Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 637 с.

30. Уткин А.И. Биологическая продуктивность лесов // Итоги науки и техники. Сер. "Лесоведение и лесоводство". М.: ВИНТИ, 1975. Т. 1. С. 9–190.
31. Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Честных О.В. Пулы углерода фитомассы и почв сосновых лесов России // Хвойные бореальной зоны. 2004. № 2. С. 13–20.
32. Heath G.W., Edwards C.A., Arnold M.K. Some methods for assessing the activity of soil animals in the breakdown of leaves // *Pedobiologia*. 1964. V. 4. № 1–2. P. 80–87.
33. Kolari P., Pumpanen J., Rannik Ü., Ilvesniemi H., Hari P., Berninger F. Carbon balance of different aged Scots pine forests in Southern Finland // *Global Change Biology*. 2004. V. 10. P. 1106–1119.
34. Vanninen P., Ylitalo H., Sievänen R., Mäkelä A. Effects of age and site quality on distribution of biomass in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) // *Trees*. 1996. V. 10. P. 231–238.

Carbon Cycling in System Phytocenosis–Soil in Bilberry-Sphagnum Pine Forests of the Middle Taiga (Republic of Komi)

K. S. Bobkova, A. F. Osipov

The carbon pool and intensity of carbon accumulation in bilberry-sphagnum pine forests of different ages are estimated. More than half of organic carbon concentrates in the upper 1-m-thick soil layer under the pine forests. The carbon content in the phytomass of these forests is 1.9–3.0 t ha⁻¹ yr⁻¹. The input of plant falloff and decomposition of plant residues in the boggy podzolic soils are characterized. About 30% of the annual falloff is decomposed for a year; 70% accumulate on the soil surface as the litter, the reserves of which amount to 28–33 n C ha⁻¹.