

ОРИГИНАЛЬНЫЕ
СТАТЬИ

УДК 630*181.9

ЭМИССИЯ УГЛЕРОДА ОТ РАЗЛОЖЕНИЯ ВАЛЕЖА
В ЮЖНОТАЕЖНОМ ЕЛЬНИКЕ*

© 2012 г. С. С. Сафонов¹, Д. В. Карелин², В. А. Грабар³, Б. А. Латышев¹,
В. И. Грабовский⁴, Н. Е. Уварова³, Д. Г. Замолотчиков², В. Н. Коротков³,
М. Л. Гитарский³

¹ Филиал «Угреша» ГБУ ВПО МО Международный университет природы общества и человека «Дубна»
140090 Московская обл., г. Дзержинский, ул. Академика Жукова, д. 24

E-mail: M.Gytarsky@gmx.net

² Биологический факультет ФГБОУ ВПО Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
119234 Москва, Воробьевы горы, д. 1, стр. 12

³ ФГБУ Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН
107258 Москва, ул. Глебовская, д. 20Б

⁴ ФГБУН Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН
117997 Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32

Поступила в редакцию 02.05.2012 г.

В спелом ельнике Валдайской возвышенности исследованы динамика формирования запасов мертвой древесины и потоки диоксида углерода (CO₂) в атмосферу от ее разложения. Объемный запас сухостоя и валежа составляет 45.4% от суммарного запаса живой и мертвой древесины в насаждении при преобладании древесных остатков третьей стадии разложения (73.2%). Поток CO₂ от разложения валежа в летний период оценен в 10.02 кг С га⁻¹ сут⁻¹, из которых 95% приходится на эмиссию от древесных остатков третьей стадии разложения. Степень разложения валежа является интегральным показателем интенсивности эмиссии CO₂.

Еловый древостой, диоксид углерода, разложение древесных остатков, мертвая древесина.

В последнее время рекреационное и климато-защитное значение лесов России зачастую привлекает больше внимания, чем их традиционные экономические и ресурсно-сырьевые функции. Благодаря комплексу физико-биохимических процессов, важнейшим из которых является фотосинтез, лесные экосистемы поглощают и консервируют углерод, а также смягчают изменения климата, обусловленные ростом атмосферных концентраций диоксида углерода (CO₂) и других парниковых газов. Роль бореальных лесов по регуляции газового состава наглядно подтверждается сезонными колебаниями концентраций CO₂ в северном полушарии: в вегетационный период она снижается, а в холодное время снова начинает расти [21]. Если учесть, что в растительности и верхнем слое почв бореальных лесов сосредото-

чено более 22% глобальных запасов резервуара углерода суши [18], то их вклад в круговорот углерода на планете должен быть достаточно весомым.

Объем и динамика резервуара углерода лесных экосистем определяются соотношением продукции и деструкции органического вещества. При доминировании процессов биохимического разложения лесные экосистемы могут превратиться в источник углеродсодержащих соединений, и их способность к депонированию CO₂ снизится. Субстратом для биохимической деструкции в лесных экосистемах является древесный дебрис, представленный в основном сухостоем и валежом (древесными остатками) разной степени разложения. В зависимости от преобладания аэробных либо анаэробных условий разложение валежа сопровождается, соответственно, преимущественной эмиссией CO₂ или метана [8, 9]. Будучи вторым по величине после лесной фитомассы наземным резервуаром углерода [3], древесный дебрис

* Исследования выполнены в рамках плана научно-исследовательских работ Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Российской Федерации и РФФИ (11-05-00328, 11-04-01486).

рис оказывает существенное влияние на интенсивность и объем газообразных потерь углерода лесных экосистем [7]. Целью настоящего исследования были количественная оценка фракции древесного дебриса в старовозрастном ельнике южной тайги и анализ интенсивности выделения CO_2 от его разложения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Исследования проводили в летний период 2009–2011 гг. на исследовательском полигоне “Таежный лог” Валдайского филиала ФГБУ “Государственный гидрологический институт” (ГГИ) ($57^\circ 57.76'$ с.ш., $33^\circ 20.34'$ в.д., 218 м над ур. моря). Полигон расположен на территории национального парка “Валдайский” (Новгородская обл.). По своему ботанико-географическому положению район полевых работ находится на границе зон южной тайги и хвойно-широколиственных лесов [10], согласно лесорастительному делению он относится к району хвойно-широколиственных лесов европейской части РФ.

По наблюдениям на метеостанции Валдай [11, 12], среднемноголетняя температура воздуха за период 1931–1960 гг. составляла 3.2°C , среднегодовая сумма осадков – 828 мм. Наиболее холодным месяцем являлся январь (-9.6°C), наиболее теплым – июль (16.6°C), причем в этот месяц максимальна и среднемноголетняя сумма осадков (92 мм). Среднегодовые температуры в 2009, 2010 и 2011 гг. были, соответственно, 5.2 , 4.6 и 5.7°C , что на 1.4 – 2.5°C выше, чем климатическая норма 1931–1960 гг. Указанное превышение климатических норм можно связать с прогрессирующим глобальным потеплением климата. По суммарному годовому количеству осадков, варьировавшему от 843 (2010 г.) до 915 (2009 г.) мм, период исследований также превосходит климатическую норму 1931–1960 гг. (828 мм).

Объект исследований – еловый древостой I класса бонитета, средний возраст 110 лет, средний диаметр 37 см и средняя высота 28–31 м. Лесотаксационные характеристики древостоя определяли на основе сплошного перечета на пробной площади, заложенной в типичных для территории национального парка лесорастительных условиях. В древостое был также произведен учет древесных остатков валежа и определена величина эмиссии CO_2 от них в атмосферу.

Запас стволовой древесины (в коре) живых деревьев и сухостоя определяли по стандартной методике на основе данных измерений диаметра и высоты деревьев на пробной площади [2] в каж-

дый год полевых работ. Учет валежа выполняли в 2010 и 2011 гг. методом линейных трансект [20] в модификации [1]. Трансекты длиной 300 м закладывали перпендикулярно друг к другу в направлении сторон света (север-юг и запад-восток). При учете фиксировали все пересекавшие трансекту фрагменты древесных остатков диаметром 2 см и более. У каждого фрагмента измеряли общую длину, а также диаметры основания и вершины, определяли породу и стадию разложения согласно классификации М.Е. Тарасова [13]:

1-я стадия: фрагмент с неповрежденной корой и сохранившейся на ветвях хвоей; древесина без гнили, но уже возможна её окраска;

2-я стадия: фрагмент имеет в основном неповрежденную кору; многие тонкие ветви утеряны; сердцевина, как правило, здоровая, но возможна заболонная гниль; на коре прорастают сеянцы растений; моховое покрытие и плодовые тела грибов;

3-я стадия: кора фрагмента отпадает или отсутствует; в местах, где кора утеряна, часть древесины и сердцевина здоровые; ствол держит свой вес; сохранились отдельные ветви первого порядка, а их длина больше диаметра ствола; корни поселившихся на фрагменте растений проникают в заболонь; сильно развит кустарничково-моховой покров;

4-я стадия: заболонь на фрагменте отсутствует, форма сохраняется лишь частично; сердцевина гнилая; кора почти полностью отсутствует; длина веток первого порядка короче диаметра ствола; ствол не держит свой вес, на нем самосев, кустарнички, мхи;

5-я стадия: у фрагмента отсутствует различимая структурная целостность. Древесные остатки практически полностью погребены в подстилке или под травянистой и моховой растительностью; продукты разложения древесины гумифицированы; корни растений проникают повсеместно.

По результатам учетов на трансектах рассчитывали суммарную площадь поверхности, запас валежа каждой стадии разложения и его суммарный объем в пересчете на единицу площади. Расчеты проводили с использованием программного обеспечения, охарактеризованного в работе [1].

Интенсивность выделения CO_2 валежом измеряли камерным методом. Для древесных остатков 1-й, 2-й и 3-й стадий разложения использовали непрозрачные пластиковые камеры цилиндрической формы диаметром 10.7 см и высотой 14–16 см. Камеры герметично устанавливали на валежные стволы при помощи резиновых про-

кладок и фиксаторов. Объем цилиндрических камер, использованных в экспериментах, составил в среднем $1336 \pm 67.9 \text{ см}^3$. Из-за невозможности сохранения герметичности при установке цилиндрических камер на древесные фрагменты 4-й и 5-й стадий разложения эмиссию CO_2 от них оценивали в камере, представлявшей собой герметичный ящик, в который помещали отобранные фрагменты 4-й и 5-й стадий разложения размером $300 \times 100 \times 10 \text{ мм}$. По окончании измерений фрагменты возвращали в естественные условия.

Регистрацию изменения концентраций CO_2 в камерах осуществляли портативным инфракрасным газоанализатором RI-411 фирмы Riken Keiki Company, Ltd (Япония). Разрешение прибора составляет 25 ppm, рабочий диапазон 0–2000 ppm. Измерения проводили в августе 2011 г., ежедневно в течение 20 дней в трех повторностях на нескольких фрагментах древесных остатков одинаковых стадий разложения. При каждом измерении фиксировали состояние окружающей среды (атмосферное давление, влажность и температура воздуха), длительность экспозиции и изменение концентрации CO_2 в камерах. В зависимости от интенсивности эмиссии продолжительность экспозиции камеры варьировала от 2 мин для третьей стадии до 35.5 мин для пятой стадии разложения.

Для расчета изменения массы углерода (в форме углекислого газа) в камере за время экспозиции использовали выражение (1), основанное на уравнении Менделеева–Клапейрона:

$$DC = \frac{12 \times 10^{-6} \times DM \times P \times V}{8.314(t + 273)} \quad (1)$$

где DC – изменение массы углерода в камере, г С; 12 – молярная масса углерода, г С моль⁻¹; 10^{-6} – пересчетный коэффициент из ppm в объемные доли, ppm⁻¹; DM – изменение концентрации CO_2 в камере, ppm; P – атмосферное давление, Па; V – объем камеры, м³; 8.314 – универсальная газовая постоянная, Па м³ °К⁻¹ моль⁻¹; t – температура воздуха, °С; 273 – параметр для пересчета температуры воздуха в °К. Далее отнесением DC к времени экспозиции и площади основания камеры получали оценки интенсивности выделения CO_2 валежом (г С м⁻² сут⁻¹).

Полученные оценки усредняли по стадиям разложения валежа. Далее с учетом запасов валежа по стадиям разложения рассчитывали величины совокупной эмиссии от древесных остатков на единице площади елового насаждения. Обработку массивов полученных данных измерений и статистический анализ проводили с использованием стандартного пакета Microsoft Office Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Динамика запасов фракций живой древесины и сухостоя исследованного 110-летнего ельника Новгородской обл. за 2009–2011 гг. представлена в табл. 1. В древостое интенсивно идут процессы отмирания фитомассы, запас древесины живых деревьев за три года сократился с 571.6 до 352.2 м³ га⁻¹, а запас сухостоя увеличился с 31.8 до 208.1 м³ га⁻¹. Запас валежной древесины с 2010 к 2011 г. вырос от 69.9 до 84.4 м³ га⁻¹. Выявленные темпы отпада более чем на порядок превосходят нормативные величины, приводимые в таблицах хода роста нормальных еловых насаждений [2]. Явления усыхания еловых лесов, временами приобретающие масштабный характер, в настоящее время регистрируются по всей территории Северной Евразии [5, 6, 14 и др.]. В качестве основных причин этих явлений указываются неблагоприятные погодные условия (в первую очередь летние засухи), вспышки размножения короеда-типографа и распространение корневых гнилей. В цели настоящей статьи не входит анализ причин повышенной интенсивности отпада в исследуемом древостое, однако полученные результаты вполне соответствуют представлениям о глобальном ухудшении состояния темнохвойных лесов [6].

В табл. 2 приведено распределение объемных запасов валежной древесины по стадиям разложения согласно данным учета 2011 г. Анализ собранных данных показал, что древесные остатки принадлежат преимущественно ели, участие других древесных пород незначительное. Преобладание в рассматриваемом древостое валежа 3-й стадии разложения свидетельствует о том, что интенсивное отмирание деревьев ели началось значительно раньше, возможно, под действием фитопатогенных факторов. Увеличение запасов дубрава в древостоях способствует распространению насекомых-ксилофагов и фитопатогенных заболеваний в лесах, а также повышает риск возникновения в них лесных пожаров. Такие леса теряют экономическую ценность из-за снижения их ресурсного потенциала и повышения затрат на санитарно-профилактические и охранные мероприятия.

Интенсивность эмиссии CO_2 с поверхности елового валежа разных стадий разложения, полученная на основе камерных измерений, представлена на рисунке. Величина эмиссии диоксида углерода определяется скоростью разложения древесных остатков деструкторами грибами [7]. В свою очередь, численность и активность организмов-деструкторов зависят от доступности и качества питательного субстрата. Невысо-

Таблица 1. Объемные запасы живой и сухостойной древесины в спелом южнотаежном ельнике по годам исследования

| Фракция древесины | Объемный запас, м ³ га ⁻¹ | | |
|-------------------|---|---------|---------|
| | 2009 г. | 2010 г. | 2011 г. |
| Живая | 571.6 | 479.2 | 352.2 |
| Сухостойная | 31.8 | 110.3 | 208.1 |

Таблица 2. Объемные запасы и эмиссии CO₂ от валежа по стадиям разложения в спелом южнотаежном ельнике

| Стадия разложения по [13] | Запас валежа, м ³ га ⁻¹ | Доля в общем запасе валежной фракции древостоя, % | Эмиссия от разложения, кг С га ⁻¹ сут ⁻¹ |
|---------------------------|---|---|--|
| 1 | 0.01 | 0.02 | 0.007 |
| 2 | 4.0 | 4.69 | 0.247 |
| 3 | 61.8 | 73.20 | 9.516 |
| 4 | 9.2 | 10.90 | 0.178 |
| 5 | 9.5 | 11.19 | 0.072 |
| Всего | 84.4 | 100 | 10.02 |

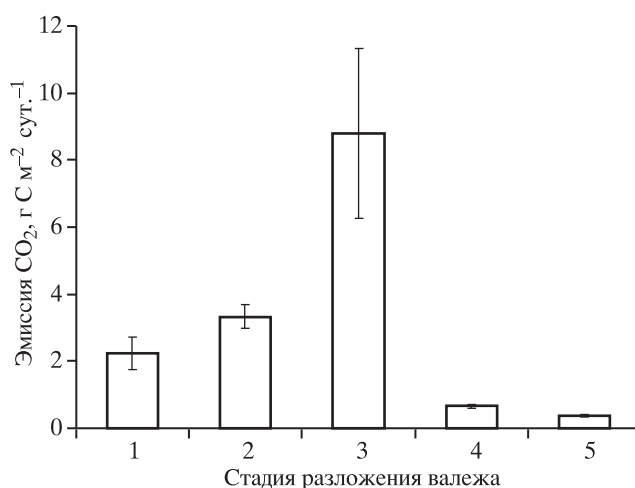
кая интенсивность эмиссии с поверхности валежа первой стадии разложения, по-видимому, объясняется тем, что на этой стадии древесина ели еще сравнительно свежая, имеет высокое содержание фитонцидов и ненарушенную структуру, препятствующие заселению организмами-деструкторами (рисунок). Затем интенсивность выделения CO₂ от разложения валежа растет по мере потери устойчивости древесины и ее освоения комплексом дереворазрушающих грибов и насекомых-ксилофагов (2-я и 3-я стадии разложения). Из рисунка видно, что для 3-й стадии разложения характерна самая высокая интенсивность выделения CO₂ с поверхности валежа – 8.8 ± 2.5 г С м⁻² сут⁻¹. По всей вероятности, на этой стадии древесные остатки ели как питательный субстрат обладают наибольшей доступностью для комплекса дереворазрушающих грибов.

Существенное влияние на скорость освоения питательного субстрата оказывают условия окружающей среды – температура и влажность воздуха, а также осадки, от которых зависят характеристики древесного субстрата, и, наконец, размеры и местоположение древесных остатков. В зависимости от окружающих условий деструкция древесного дебриса, соответствующая 3-й стадии разложения, может продолжаться длительное вре-

мя – от нескольких до нескольких десятков лет [7, 13, 15], чем, собственно, и объясняется значительная вариация значений эмиссии CO₂, измеренных на фрагментах валежа 3-й стадии разложения (рисунок).

Численность микро- и макроорганизмов сокращается по мере уменьшения питательности субстрата на 4-й и 5-й стадиях разложения древесных остатков, чем обусловлен резкий спад эмиссии CO₂. Для 5-й стадии разложения древесных остатков характерна наименьшая величина потока (0.4 ± 0.04 г С м⁻² сут⁻¹). Очевидно, малые значения суточного потока CO₂ на 5-й стадии разложения валежа обусловлены завершающей стадией микогенного ксилолиза древесины, когда древесные остатки преобразуются в почвенный детрит. На основе полученных величин запаса валежа разных стадий разложения, были рассчитаны соответствующие им потоки CO₂ (табл. 2). Совокупная интенсивность эмиссии от разложения валежа в исследованном ельнике составила 10.02 кг С га⁻¹ сут⁻¹, при этом вклад 3-й стадии разложения древесных остатков составил 95%.

Полученный нами диапазон значений эмиссии CO₂ от валежа (0.4 – 8.8 г С м⁻² сут⁻¹) вполне согласуется с литературной оценкой 2.7 – 8.3 г С м⁻² сут⁻¹ для старовозрастного хвойного леса на северо-западе США [19]. Приняв оценку 33.1 кг С га⁻¹ сут⁻¹ для дыхания для идентичного типа почв в пределах южнотаежной зоны [4], получим, что эмиссия от разложения валежа составляет в нашем случае около 23% от суммарной эмиссии CO₂ с поверхности почвенного покрова в вегетационный сезон. Это в два раза выше аналогичной величины за вегетационный сезон (10%) для зрелого вторичного твердолиствен-

**Рис.** Интенсивность эмиссии CO₂ с поверхности валежа ели разных стадий разложения.

ного умеренного леса в Северной Америке [16] и почти на порядок больше годовых оценок 3% для старовозрастных умеренных лесов на северо-востоке Китая [22] и 2% для лиственного умеренного леса в районе Великих Озер [17]. Указанные расхождения следует связать со значительными запасами валежа, накопленными в исследуемом ельнике за счет высокой интенсивности отпада.

Найденное в нашей работе соотношение стадий разложения валежа по средним уровням дыхания не находит подтверждения в научной литературе. Обычно отмечаются либо растущие (на единицу массы валежа) уровни дыхания по мере разложения [22], либо уровни дыхания оказываются выше на начальных и конечных стадиях разложения [19]. Таким образом, единая точка зрения по этому вопросу пока не сформирована. Однако известно, что при гетеротрофной сукцессии сообщества микродеструкторов достигают наибольшего разнообразия именно на средних стадиях разложения валежа [16]. Такая закономерность может способствовать как взаимному подавлению, так и общему росту дыхания и, соответственно, эмиссии CO₂.

Заключение. В исследованном 110-летнем высокобонитетном ельнике запас сухостоя и валежа составил 45.4% общего запаса древостоя. В валеже преобладают древесные остатки 3-й стадии разложения (73.2% по объемному запасу). Вероятно, наблюдаемое одномодальное изменение средней эмиссии CO₂ в ходе разложения древесных остатков определяется этапами колонизации древесного субстрата микродеструкторами: на первом (восходящем) этапе эмиссии происходит прогрессирующее освоение все более значительного объема субстрата по отношению к единице его площади, а на втором (нисходящем по эмиссии) происходит деградация (потеря качества и количества) субстрата по отношению к единице его площади, которое может усугубляться ухудшением абиотических условий (например, излишним повышением влажности субстрата). В свою очередь, степень разложения древесных остатков можно считать интегральным показателем, объединяющим указанные факторы.

* * *

Авторы благодарны Р.Т. Карабаню и В.Ю. Кузьмичёвой (ФГБУ «Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН») за помощь в проведении полевых работ и ценные замечания при обсуждении результатов, А.С. Маруничу

(Валдайский филиал ГГИ) за помощь в организации полевых работ и предоставление современной информации по метеостанции Валдай.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Грабовский В.И., Замолотчиков Д.Г.* Методы оценки запасов валежа по данным учетов на трансектах // *Лесоведение*. 2012. № 2. С. 66–73.
2. *Загреев В.В., Сухих В.И., Швиденко А.З., Гусев Н.Н., Мошкалева А.Г.* Общесоюзные нормативы для таксации лесов. М.: Колос, 1992. 495 с.
3. *Кудеяров В.Н., Заварзин Г.А., Благодатский С.А., Борисов А.В., Воронин П.Ю., Демкин В.А., Демкина Т.С., Евдокимов И.В., Замолотчиков Д.Г., Карелин Д.В., Комаров А.С., Курганова И.Н., Ларионова А.А., Лопес де Гереню В.О., Уткин А.И., Чертов О.Г.* Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России. М.: Наука, 2007. 315 с.
4. *Курганова И.Н., Кудеяров В.Н.* Оценка потоков диоксида углерода из почв таежной зоны России // *Почвоведение*. 1998. № 9. С. 1058–1070.
5. *Маслов А.Д.* Короед-типограф и усыхание еловых лесов. М.: ВНИИЛМ, 2010. 138 с.
6. *Манько Ю.И., Гладкова Г.А.* Усыхание ели в свете глобального ухудшения темнохвойных лесов. Владивосток: Дальнаука, 2001. 228 с.
7. *Мухин В.А., Воронин П.Ю.* Микогенное разложение древесины и эмиссия углерода в лесных экосистемах // *Экология*. 2007. № 1. С. 24–29.
8. *Мухин В.А., Воронин П.Ю.* Метаногенная активность в древесных растениях // *Физиология растений*. 2009. Т. 56. № 1. С. 152–154.
9. *Мухин В.А., Воронин П.Ю., Сухарева А.В., Кузнецов В.В.* Грибное разложение древесины при потеплении климата в бореально-гумидной лесорастительной зоне // *Доклады Академии наук*. 2010. Т. 431. № 3. С. 423–425.
10. *Национальные парки России: Справочник / Под ред. И.В. Чебаковой.* М.: ЦОДП, 1996. 198 с.
11. *Справочник по климату СССР. Вып. 3. Карельская АССР, Ленинградская, Новгородская и Псковская области. Часть 2. Температура воздуха и почвы.* Л.: Гидрометеоиздат, 1965. 343 с.
12. *Справочник по климату СССР. Вып. 3. Карельская АССР, Ленинградская, Новгородская и Псковская области. Часть 4. Влажность воздуха, осадки и снежный покров.* Л.: Гидрометеоиздат, 1968. 325 с.
13. *Тарасов М.Е.* Роль крупного древесного детрита в балансе углерода лесных экосистем Ленинградской области // *Автореф. дис. ... канд. биол. наук*. СПб.: СПбНИИЛХ, 2000. 21 с.
14. *Цветков В.Ф., Цветков И.В.* К проблеме усыхания еловых лесов в Архангельской области // *Усы-*

- хающие ельники Архангельской области, проблемы и пути их решения. Архангельск: Департамент лесного комплекса Архангельской области, 2007. С. 20–30.
15. Шорохова Е.В., Каница Е.А., Кузнецов А.А. Микогенный ксилолиз пней и валежа в таежных ельниках // Лесоведение. 2009. № 4. С. 24–33.
 16. Forrester J.A., Mladenoff D.J., Gower S.T., Stoffel J.L. Interactions of temperature and moisture with respiration from coarse woody debris in experimental forest canopy gaps // Forest Ecol. Manag. 2012. V. 265. P. 124–132.
 17. Gough C.M., Vogel C.S., Kazanski C., Nagel L., Flower C.E., Curtis P.S. Coarse woody debris and the carbon balance of a north temperate forest // Forest Ecol. Manag. 2007. V. 244. P. 60–67.
 18. Land Use, Land Use Change, and Forestry. A Special Report of the IPCC / Eds. R. Watson, I. Noble, B. Bolin, N. Ravindranath, D. Verardo, D. Dokken. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 375 p.
 19. Marra J.L., Edmonds R.L. Coarse woody debris and forest floor respiration in an old-growth coniferous forest on the Olympic Peninsula, Washington, USA // Can. J. Forest Res. 1994. V. 24. № 9. P. 1811–1817.
 20. Ståhl G., Ringvall A., Fridman J. Assessment of coarse woody debris – a methodological overview // Ecol. Bul. 2001. V. 49. P. 57–71.
 21. The Global Carbon Cycle: Integrating Humans, Climate, and the Natural World. SCOPE / Eds. C.B. Field, M.R. Raupach. V. 62. Washington–Covelo–London: Island Press, 2004. 529 p.
 22. Wu J., Zhang X., Wang H., Sun J., Guan D. Respiration of downed logs in an old-growth temperate forest in north-eastern China // Scand. J. Forest Res. 2010. V. 25. № 6. P. 500–506.

The Emission of Carbon from the Decomposition of Woody Debris in the Southern Taiga Spruce Forest

**S. S. Safonov, D. V. Karelin, V. A. Grabar, B. A. Latyshev, V. I. Grabovskiy,
N. E. Uvarova, D. G. Zamolodchikov, V. N. Korotkov, M. L. Gytarsky**

The formation of dead wood stock and atmospheric flux of carbon dioxide (CO₂) from its subsequent decomposition were investigated in the mature spruce forest of the Valday terrain. The standing dead trees and woody debris composed 45.4% of the entire (live and dead) volumetric stock in the stand, dominated by the debris of the third rate of the decomposition (73.2). In the summer time, the CO₂ flux from the decomposition of woody debris was estimated as 10.02 kg C ha⁻¹ day⁻¹. The woody debris of the third rate of the decomposition contributed to 95% of the flux. The woody debris decomposition rate becomes an integrated measure of the CO₂ emission intensity.

Spruce stand, carbon, dioxide, decomposition of woody debris, dead wood.