

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

УДК 630*182.59

Ю. П. Демаков, М. Г. Сафин

ПРОБЛЕМА ОЦЕНКИ УГЛЕРОДОДЕПОНИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЭКОСИСТЕМ ОЛИГОТРОФНЫХ БОЛОТ И ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ

Проведено обоснование и структурирование проблемы оценки углерододепонирующей способности экосистем олиготрофных болот, построена блок-схема потоков углерода в них и разработан алгоритм решения задач. Приведены результаты натурных исследований, проведенных на территории Марийского Полесья, и дано их сравнение с данными других авторов. Показано, что на современном уровне знаний нельзя однозначно судить о роли олиготрофных болот в глобальном углеродном цикле и снижении парникового эффекта, так как скорость накопления углерода фитоценозом и его трансформация в трофических цепях многочисленными видами организмов не поддается, из-за большой пространственно-временной изменчивости, точной количественной оценке.

Введение. В начале XXI столетия в результате крупномасштабной антропогенной деятельности наметились некоторые симптомы потери компенсационных способностей биосферы, наиболее ясно выраженным из которых является повышение концентрации CO₂ в атмосфере (по сравнению с 1750 годом она выросла на 31% и является максимальной за последние 20 тыс. лет) и начавшееся в связи с этим глобальное потепление, а также аномалии климата (сегодня практически каждый из нас в той или иной мере на себе ощутил последствия этих аномалий). Причинам и последствиям изменений климата посвящено в настоящее время множество публикаций, порой довольно противоречивых [1–7], и, несмотря на отсутствие неопровержимых доказательств вины человечества в этом процессе, приняты международные соглашения по сокращению выбросов парниковых газов, одним из которых является углекислый газ (диоксид углерода).

Важнейшую роль в глобальном круговороте и балансе углерода играют, как показали многочисленные исследования [8–13], леса, особенно бореальные. Поэтому не случайно, что часть обязательств той или иной страны по сокращению выбросов углекислого газа будет зачтена ей, согласно Киотскому протоколу, за сток углерода в создаваемые на её территории леса. Это особенно актуально для России с её огромным потенциалом лесов и пустующих земель. В связи с этим задача по оценке углерододепонирующих способностей лесных экосистем и общего потенциала лесов по поглощению парниковых газов становится одной из наиболее актуальных в экологическом и эконо-

мическом отношении. В настоящее время установлено [8–13], что запасы углерода и темпы его депонирования в лесных экосистемах зависят от многих факторов: климата, лесорастительных условий, структуры, возраста и состояния насаждений. Особенно велика роль в процессе депонирования углерода заболоченных лесов и болот (эти земли занимают порядка 20% территории России), мощные залежи торфа в которых являются прямым подтверждением данного положения. Несмотря на этот неоспоримый факт, вопрос о закономерностях продукционного процесса в лесоболотных комплексах и скорости накопления органического вещества в торфяниках, имеющий давнюю историю [14–21], окончательно не решен. Полученные исследователями результаты показывают довольно широкую амплитуду колебаний прироста торфа в зависимости от его ботанического состава, степени разложения и времени отложения. В среднем величина годового прироста торфа составляет 0,4–0,5 мм с колебаниями по регионам и биотопам от 0,1 до 1,9 мм. Эти сведения, однако, не позволяют оценить в полной мере динамику накопления массы органического вещества в торфе, так как исследователи не учитывали изменений его плотности и зольности с возрастом, которые довольно значительны, а также выноса вещества из экосистемы грунтовыми водами.

Целью нашей работы явилась количественная оценка углерододепонирующей способности экосистем олиготрофных болот Марийского полесья. Для её достижения поставлены следующие задачи:

- 1) сформулировать и структурировать проблему, построить блок-схему потоков углерода в экосистеме и на основе её разработать алгоритм действий;
- 2) оценить характер распределения массы органического вещества между различными элементами фитоценоза на олиготрофных болотах и определить их роль в накоплении углерода;
- 3) изучить особенности роста древостоев на олиготрофных болотах и накопления ими биомассы;
- 4) выявить слабые места существующих методик и оценить ориентировочные трудозатраты для решения проблемы.

Объекты и методика исследований. Объектом исследований явились экосистемы олиготрофных болот Республики Марий Эл. Для решения поставленных задач были использованы данные натурных учетов, проведенных на 26 пробных площадях в сосняках сфагновых различного возраста (от 15 до 260 лет), произрастающих на олиготрофных болотах в различных лесничествах республики и в заповеднике «Большая Кокшага», а также материалы лесоустройства (таксационные описания более 1,5 тыс. выделов), торфяного кадастра (сведения по 372 торфяным болотам) и базы данных по биопродуктивности лесов [22].

На всех пробных площадях был проведен замер мощности торфяного пласта по ходовым линиям с расположением пикетов через 20 м и построены профили торфяной залежи (максимальная мощность пласта достигала 420 см); на четырех пробных площадях проведена оценка надземной массы всех компонентов фитоценоза (древостоя, кустарничков, трав, мхов) с разделением на отдельные фракции (ствол, стебли, ассимиляционные органы). Для выявления закономерностей роста древостоев проанализирована динамика годового прироста в высоту у 185 деревьев в возрасте 15–70 лет и толщину у 220 деревьев в возрасте от 40 до 290 лет. В сборе материала принимали участие студенты МарГТУ С.А. Бирюкова, А.А. Хренова и А.О. Малинина. Собранный цифровой материал обработан на ПК с использованием стандартных методов математической статистики и критериев достоверности оценок.

Результаты исследований и их обсуждение. Для решения проблемы необходимо, прежде всего, четко обозначить её, т.е. выделить предмет исследования. Вопрос

этот не настолько банален, как это может показаться на первый взгляд. Дело в том, что многие авторы [9–12] понимают под депонированием углерода его фактическое содержание в различных компонентах экосистем в текущий момент времени. Такой подход мы считаем в корне неверным, не учитывающим распределения потоков этого химического элемента в экосистеме и времени удержания его в различных её компонентах, которое может изменяться в очень больших пределах. Так, к примеру, углерод, накопленный в листьях трав, кустарников и деревьев, через 1–2 года вновь возвращается в атмосферу в результате их разложения организмами-гетеротрофами. Хвойный опад разлагается значительно медленнее. В стволовой древесине углерод уже может сохраняться несколько десятков или даже сотен лет в зависимости от возраста деревьев, условий их роста и среды, в которую они попали после отмирания. В почве, а особенно в торфе, углерод способен удерживаться, в зависимости от условий, в течение сотен или даже тысяч лет. В потоки углерода в экосистеме вовлечены многие биотические и абиотические компоненты, оказывающие значительное влияние на эффективность его депонирования, которая зависит также и от антропогенной деятельности, естественных изменений климата и природных катастроф, что может быть отображено следующей блок-схемой (рис. 1).

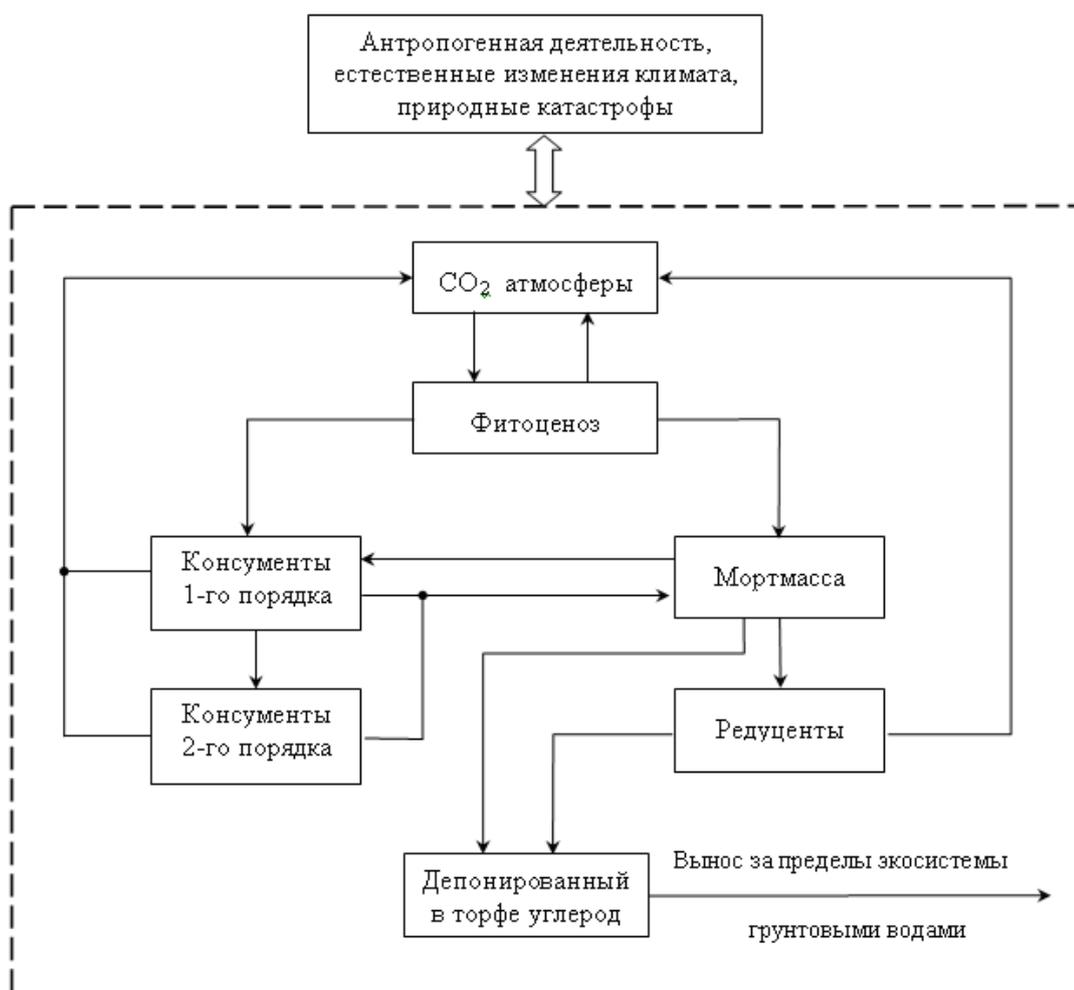


Рис. 1. Блок-схема потоков углерода в экосистеме олиготрофного болота

Под углерододепонирующей способностью экосистем, исходя из всего изложенного, мы понимаем не только скорость накопления ими этого химического элемента, но и эффективность его депонирования, которую можно выразить через среднее время переноса энергии или коэффициент накопления биомассы, значение которых равно частному от деления всей её фактической величины ($\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}$) на текущий прирост ($\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$). Данный коэффициент применим, однако, лишь к экосистемам, в которых цикл углерода (или иного элемента) полностью замкнут и не происходит выноса вещества за пределы их жизненного пространства какими-либо агентами (например, грунтовыми водами). Применительно к экосистемам олиготрофных болот эффективность депонирования углерода целесообразнее оценивать через отношение среднего годового прироста его массы в торфе к массе, содержащейся в годовом приросте всех компонентов фитоценоза. Алгоритм решения задачи представляет собой следующую последовательность действий по количественной оценке:

- 1) характера распределения органического вещества между различными компонентами экосистемы, что дает представление об их роли в накоплении и трансформации углерода;
- 2) чистой первичной продукции фитоценоза и характера распределения её по видам растений и их органам;
- 3) видового состава и численности организмов-потребителей (консументов и редуцентов) и величины изъятия ими первичной продукции фитоценоза;
- 4) годового отпада фитомассы и величины её потоков по видам консументов и редуцентов;
- 5) интенсивности выделения CO_2 в атмосферу консументами и редуцентами;
- 6) биомассы отпада консументов и редуцентов;
- 7) выноса органического вещества из экосистемы грунтовыми водами.

Алгоритм работы можно несколько упростить, сведя его к оценке:

- 1) массы ассимиляционного аппарата растений и эффективности его работы, т.е. скорости образования чистой первичной продукции;
- 2) скорости накопления органического вещества в торфе путем датирования радиоуглеродным (или иным) методом различных слоев залежи;
- 3) эффективности депонирования углерода через отношение скорости накопления органического вещества в торфе к скорости образования чистой первичной продукции.

Практическая реализация как первого, так и второго алгоритма сопряжена, однако, с массой трудностей методического и технического характера, преодоление которых может составить самостоятельную и весьма важную задачу. Попытаемся продемонстрировать это на примере проведенных нами исследований. Так, в результате обработки материала было установлено, что главным источником варьирования при определении запасов торфа является мощность (толщина) его пласта, средняя величина которого в олиготрофных болотах Республики Марий Эл изменяется между биотопами от 0,6 до 8,7 м ($V=69\%$). В большей части биотопов (86%) средняя мощность торфяного пласта не превышает 2 м (рис. 2), однако оценка этой величины имеет большую погрешность из-за крайне неровного рельефа дна болота (рис. 3).

Определенное влияние на точность оценки массы торфа оказывает его плотность ($V=18,5\%$), среднее значение которой в абсолютно сухом состоянии составляет $103,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$, изменяясь от 50 до $150 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$ (рис. 4). При оценке этой величины не учитывается, однако, изменений плотности торфа, связанной с глубиной его залегания и наличием включений крупных древесных остатков, которых в ряде болот довольно много. Следует отметить, что оценить с помощью применяемых буров плотность торфа, осо-

бенно нижних слоев залежи, не нарушив целостности его структуры (а это является одним из главных условий точности оценки), практически не представляется возможным.

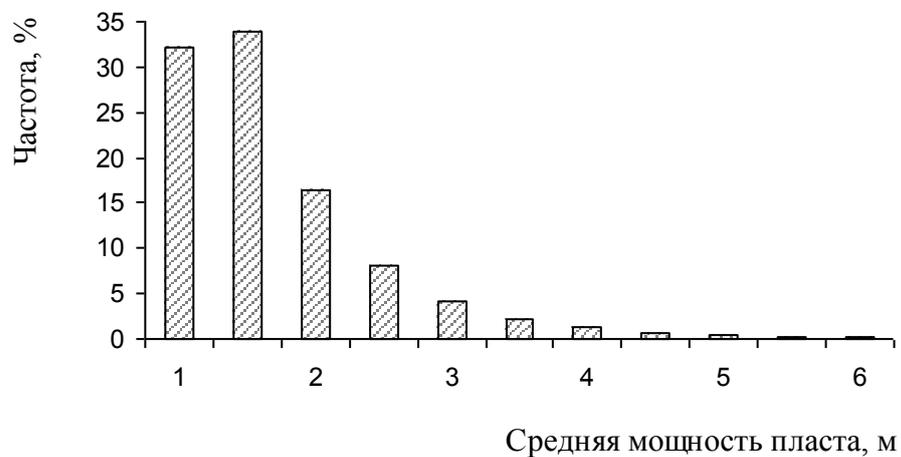


Рис. 2. Частотное распределение средней мощности торфяного пласта на олиготрофных болотах Марийского Полесья

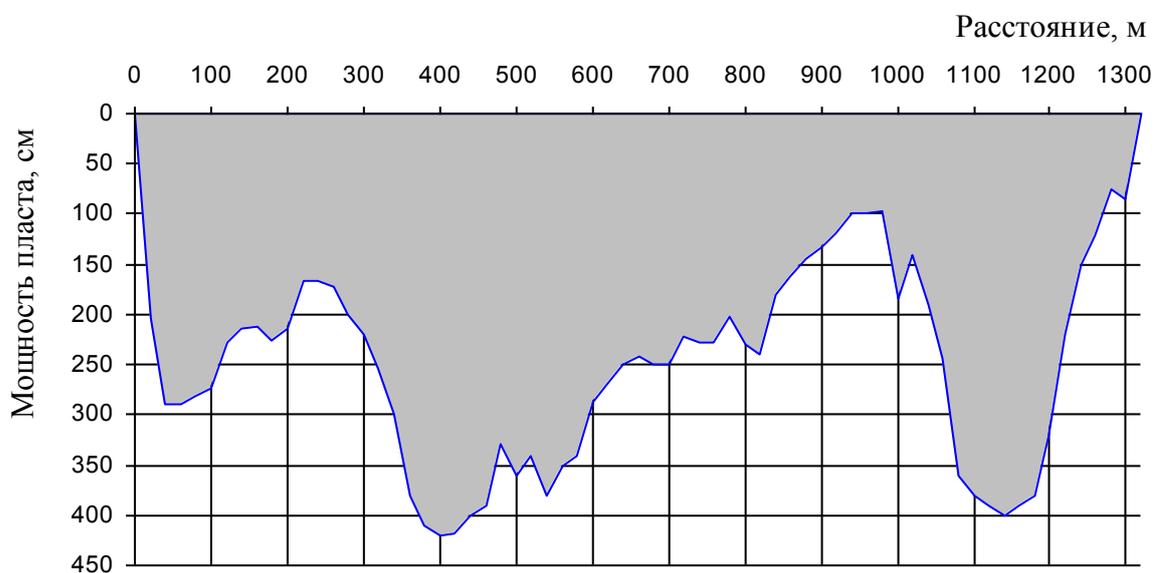


Рис. 3. Профиль торфяной залежи на болоте «Илюшкино» (Республика Марий Эл, Старожильское лесничество)

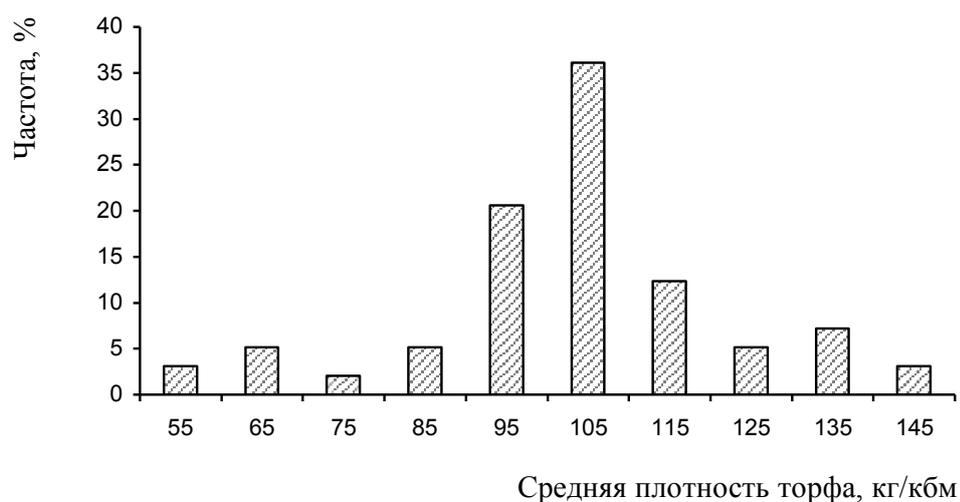


Рис. 4. Частотное распределение плотности торфа на олиготрофных болотах Марийского Полесья

Оценка общей и первичной продукции фитоценозов на болотах также сопряжена с рядом методических трудностей и является весьма неточной. Так, бонитет древостоев сосны, характеризующий их продуктивность, изменяется на олиготрофных болотах республики от IV до Vб класса, а полнота – от 0,3 до 1, что связано с особенностями почвенно-гидрологических условий биотопов. Дополнительные погрешности, и порой довольно значительные, возникают при оценке запаса древостоя, так как он основан на использовании специальных таблиц, предназначенных для массовой таксации, в которых диапазон градаций входных параметров (высоты и диаметра ствола) довольно велик. В связи с этим возникает задача о подборе математических функций, аппроксимирующих связь данных величин. Наилучшее приближение к фактическим данным, как показали проведенные нами расчеты, дает функция:

$$V = 0,897 \cdot (D/100)^{2,780} \cdot H^{1,129} + 0,001; R^2 = 0,925 \text{ при } N = 57,$$

где V – объем ствола дерева в коре, m^3 ;

D – диаметр ствола в коре на высоте 1,3 м, см;

H – высота дерева, м;

R^2 – коэффициент детерминации уравнения.

Для пересчета с объема ствола на его массу необходимо располагать сведениями о плотности древесины, которая не остается постоянной, а изменяется в зависимости от возраста и густоты древостоя, а также индивидуальных особенностей дерева. Здесь возникает еще один источник погрешности оценки биомассы. Для оценки всей биомассы дерева необходимо также располагать данными о массе других его фракций: ветвей, коры, корней и ассимиляционного аппарата (хвои), роль в депонировании углерода которых различна. Расчеты, проведенные нами по табличным данным В.А. Усольцева [22], показали, что непосредственные измерения в однопородных и ненарушенных древостоях на олиготрофных болотах можно заменить использованием регрессионных уравнений $M = a \cdot H^b \cdot [(D+1)/100]^c$ и $M = a \cdot H^b \cdot \exp[-c \cdot (N/1000)]$, значения констант которых представлены в табл. 1 и 2 (M – масса фракции дерева в абсолютно сухом состоянии, кг; H – высота дерева, м; D – его диаметр на высоте 1,3 м, см; N – густота древостоя, экз.·га⁻¹).

Таблица 1

Параметры регрессионных уравнений, отображающих зависимость абсолютно сухой массы различных фракций деревьев сосны от их высоты и диаметра в сфагновом типе леса

Фракция	Значение параметров уравнения $M = a \cdot H^b \cdot [(D+1)/100]^c$			
	a	b	c	R ²
Ствол	670,7	0,629	2,325	0,989
Кора	15,6	1,026	2,065	0,959
Ветви	12,0	1,000	1,647	0,862
Хвоя	1,4	1,000	0,822	0,811
Корни	61,5	0,770	1,813	0,860
Дерево в целом	1581,1	0,472	2,299	0,986

Таблица 2

Параметры регрессионных уравнений, отображающих зависимость абсолютно сухой массы различных фракций деревьев сосны от их высоты и густоты древостоя в сфагновом типе леса

Фракция	Значение параметров уравнения $M = a \cdot H^b \cdot \exp[-c \cdot (N/1000)]$			
	a	b	c	R ²
Ствол	1,190	1,876	0,800	0,961
Кора	0,010	2,661	0,370	0,913
Ветви	12,38	0,464	1,459	0,939
Хвоя	4,171	0,337	0,672	0,843
Корни	2,263	1,241	0,995	0,896
Дерево в целом	4,346	1,591	0,867	0,969

В сложении фитомассы экосистем олиготрофных болот принимают участие, кроме древостоя, различные виды кустарничков, трав и мхов, роль в депонировании углерода которых неодинакова. Основным методом оценки их фитомассы является срезка всех экземпляров растений на площадках определенного размера с последующей сушкой и взвешиванием. Основная задача по снижению погрешности оценки массы подпологовой растительности состоит в выборе оптимального объема выборки, который зависит от степени изменчивости покрова в пределах биотопа. Исследования показали, что коэффициент вариации массы надземной части всех кустарничков, оцененной нами в четырех биотопах на 12 площадках размером 1 м² в каждом, изменяется от 37 до 60%, превышая по отдельным видам 100%. У мхов величина этого показателя при использовании учетных площадок размером 0,01 м² достигает 75%. Для достижения 10%-ной погрешности оценки, исходя из этого, необходимо провести учет кустарничков в пределах одного биотопа не менее чем на 35–40 площадках, а мхов – на 50–60, что очень трудоемко.

Оценка текущего запаса органического вещества в экосистеме и характера распределения его массы между различными компонентами не решает задачи об эффективности депонирования углерода олиготрофными болотами. Для этого необходимо оценить скорость накопления органики и характер её временной динамики, который, как показывает анализ собранного нами материала и имеющейся базы данных [22], довольно изменчив. Так, к примеру, в возрасте 120 лет масса древостоя в абсолютно сухом состоянии может изменяться, по данным различных авторов, от 60 до 160 т·га⁻¹ (рис. 5),

средняя высота деревьев в 35-летних молодняках – от 3,0 до 6,1 м (рис. 6), а величина радиального годичного прироста – от 0,1 до 3–4 мм (рис. 7). Основной причиной изменчивости фитомассы дерева с возрастом является густота древостоя, оценить воздействие которой на массу отдельных фракций позволяет, как показали проведенные нами расчеты, уравнение регрессии $M = K \cdot \exp(-a \cdot N) \cdot (t/100)^{[b \cdot \exp(-c \cdot N)]}$, параметры которого приведены в табл. 3 (M – масса фракции дерева в абсолютно сухом состоянии, кг; N – густота древостоя, тыс. экз.·га⁻¹, t – возраст дерева, лет).

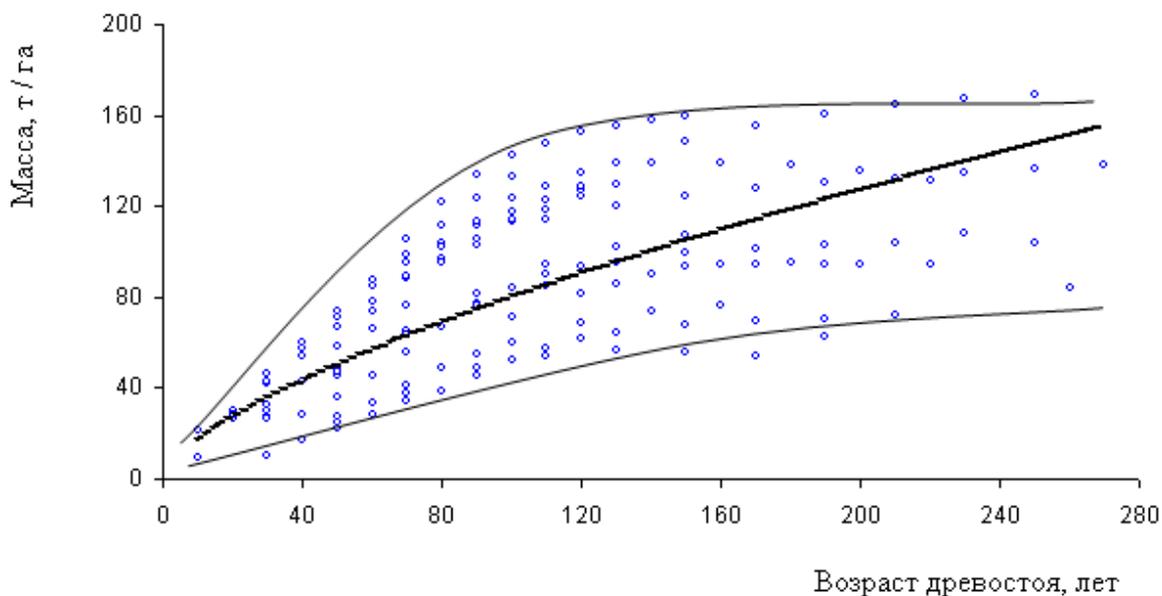


Рис. 5. Возрастная динамика фитомассы (древесина + кора + ветви + хвоя + корни) соснового древостоя в абсолютно сухом состоянии на олиготрофных болотах Северо-Востока европейской части России и Зауралья: графики построены по материалам [22]

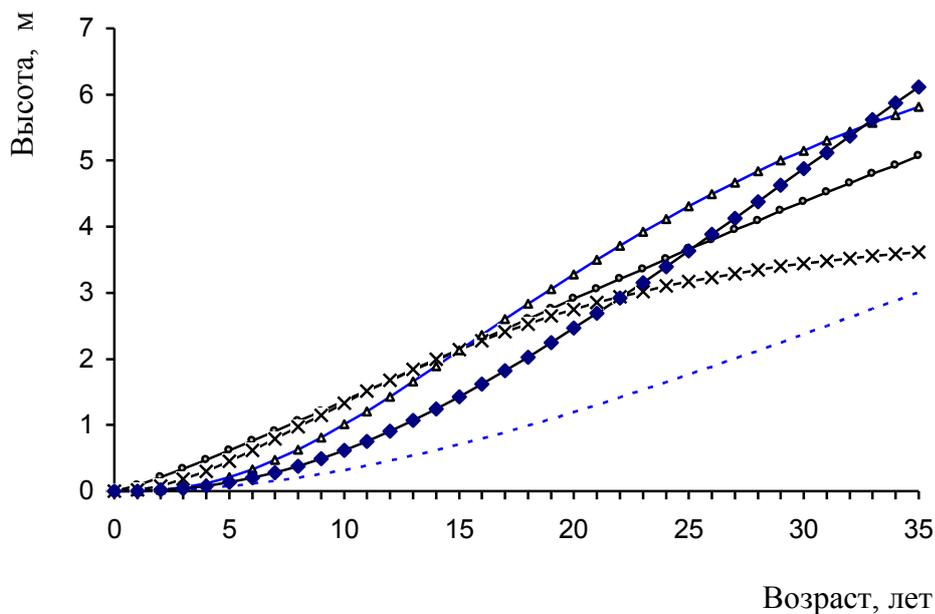


Рис. 6. Ход роста в высоту постпирогенных молодняков сосны на олиготрофных болотах Марийского Полесья

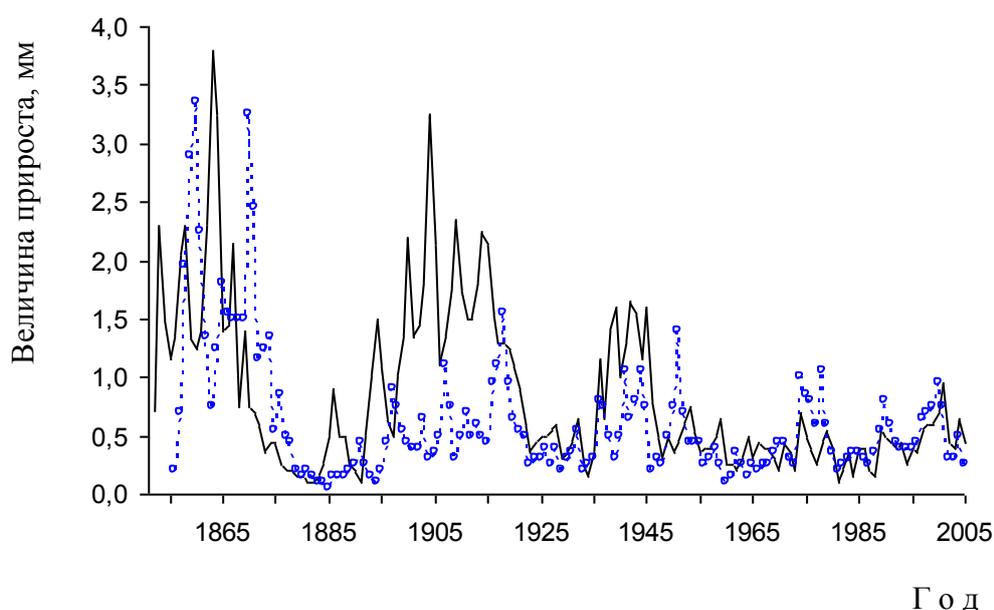


Рис. 7. Динамика годичного радиального прироста деревьев сосны на олиготрофном болоте «Тетёркино» (Республика Марий Эл, Старожильское лесничество)

Таблица 3

Параметры регрессионных уравнений, отображающих зависимость абсолютно сухой массы различных фракций деревьев сосны от их возраста и густоты древостоя в сфагновом типе леса

Фракция	Значение параметров уравнения $M = K \cdot \exp(-a \cdot N) \cdot (t/100)^{[b \cdot \exp(-c \cdot N)]}$				
	K	a	b	c	R ²
Ствол	219,2	1,157	1,249	2,074	0,883
Кора	15,0	0,751	2,164	2,184	0,861
Ветви	42,4	1,452	52,55	17,90	0,943
Хвоя	10,4	0,723	873,3	27,61	0,851
Корни	91,7	1,483	26,14	18,15	0,834
Дерево в целом	393,9	1,215	2,918	5,997	0,899

При оценке величины текущего годичного прироста биомассы древостоя необходимо принимать во внимание тот факт, что у деревьев в течение их жизни некоторая её доля разрушается грибами и насекомыми, в результате чего накопленный углерод возвращается в атмосферу. Еще большие трудности возникают при оценке годичной продукции подпологовой растительности, особенно у болотных кустарничков, величина которой у различных видов изменяется в очень больших пределах в зависимости от нанорельефа поверхности болота, полноты и возраста древостоя, а также метеорологических условий года. Так, у мхов она может колебаться от 0,1 до 7,7 т·га⁻¹·год⁻¹ [23]. Далеко не вся отмершая фитомасса превращается при этом в торф и сохраняет накопленный углерод. Торфонакопление, по данным Н.И. Пьявченко [16], происходит с потерей более 60–80%

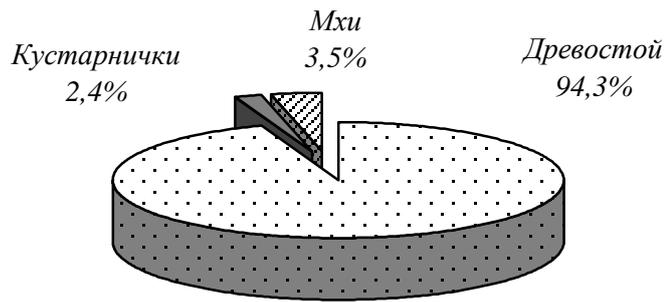


Рис. 8. Распределение абсолютно сухой биомассы между различными компонентами фитоценоза на олиготрофных болотах Марийского Полесья

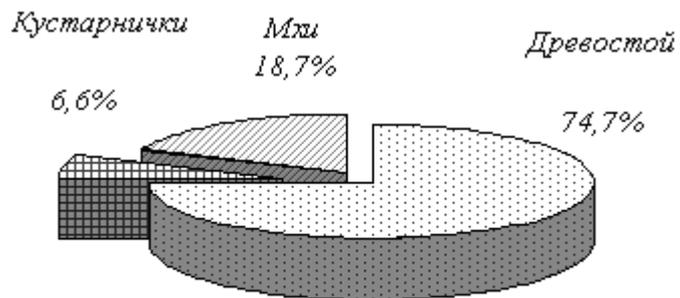


Рис. 9. Структура абсолютно сухой массы ассимиляционного аппарата растительности лесных экосистем олиготрофных болот Марийского Полесья

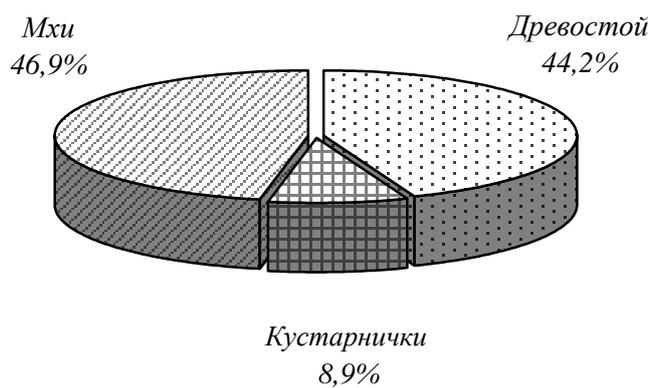


Рис. 10. Структура абсолютно сухой массы годичной продукции растительности лесных экосистем олиготрофных болот Марийского Полесья

первоначальной массы органики за счет выноса её подземными водами. Интенсивность выноса зависит от многих факторов и трудно поддается количественной оценке.

Исследования показали, что основная доля (90–96%) органического вещества в абсолютно сухом состоянии в экосистемах олиготрофных болот Марийского Полесья сосредоточена в торфе, относительная масса которого изменяется по биотопам в очень широких пределах (от 105 до 4412 т/га, $V=76\%$). По величине абсолютно сухой общей фитомассы, изменяющейся на изученных нами объектах от 38,3 до 121,4 т/га, и массы ассимиляционного аппарата, которая варьирует в пределах 4,78–10,02 т/га, в большинстве случаев доминирует древостой (рис. 8, 9), а по величине годичной продукции, изменяющейся от 4,72 до 7,74 т/га, на первое место чаще всего выходят мхи (рис. 10). На долю кустарничков приходится от 5,7 до 16,7% годичной продукции фитоценоза.

Полученные нами, как впрочем и другими исследователями, результаты отражают, ввиду ограниченности и невысокой точности исходного материала из-за трудоемкости его сбора, особенности продукционного процесса лишь в конкретных биотопах и не могут претендовать на всеобщность. Современный уровень научных знаний не позволяет однозначно судить о роли олиготрофных болот в глобальном углеродном цикле и снижении парникового эффекта, так как скорость накопления углерода фитоценозом и его трансформация в трофических цепях многочисленными видами организмов не поддается из-за большой пространственно-временной изменчивости точной количественной оценке. Трудно оцениваемыми являются вынос органики подземными водами, а также величина эмиссии диоксида углерода из торфа в атмосферу от дыхания почв и пожаров, которые периодически возникают на олиготрофных болотах, вызывая коренные изменения состояния экосистем и интенсивности продукционного процесса. Исследователями, в дополнение к сказанному, не учитывается еще и величина транспирации фитоценоза, которая может оказывать через увеличение содержания в атмосфере водяного пара значительно большее влияние на формирование парникового эффекта, нежели диоксид углерода.

Выводы

1. Масса органического вещества и характер её распределения между различными компонентами экосистем олиготрофных болот Марийского Полесья изменяются в пространстве биотопов в очень больших пределах и могут быть оценены реально лишь со значительной погрешностью (порядка 20%).

2. Основная доля органического вещества в зрелых экосистемах на олиготрофных болотах Марийского Полесья заключена в торфе, средняя мощность пласта которого изменяется от 0,6 до 8,7 м, не оказывая при этом существенного влияния на структуру и продуктивность фитоценозов.

3. Величина годичной продукции фитоценозов, основную долю в которой занимают, в зависимости от экологических условий биотопов, либо мхи (от 40 до 61%), либо древостой (52 – 67%), очень сильно изменяется во времени. На долю кустарничков, которые довольно обильны на олиготрофных болотах Марийского Полесья, приходится не более 17% годичного прироста фитомассы.

Список литературы

1. Будыко, М.И. Современные изменения климата / М.И. Будыко. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 360 с.
2. Котляков, В.М. Глобальные изменения климата: антропогенное влияние или естественные вариации? / В.М. Котляков // Экология и жизнь. – 2001. – № 1. – С. 44–47.

3. Сун, В. Влияние антропогенных выбросов CO₂ на климат: нерешенные проблемы / В. Сун, С. Баюнас, К.С. Демирчан и др. // Изв. РГО. – 2001. – Т. 133. Вып. 2. – С. 1–19.
4. Тарко, А.М. Парниковый эффект и климат / А.М. Тарко // Экология и жизнь. – 2001. – № 1. – С. 48–51.
5. Сорохтин, О.Г. Парниковый эффект: миф или реальность / О.Г. Сорохтин // Вестник РАЕН. – 2001. – № 1. – С. 8–21.
6. Ясаманов, Н.А. Современный климат и парниковый эффект / Н.А. Ясаманов // Известия РАЕН. Секция наук о Земле. – 2003. – № 10. – С. 98–116.
7. Белов, С.В. Причины изменения климата: человек или геологические процессы? / С.В. Белов, И.С. Ротфельд // Использование и охрана природных ресурсов России: информационно-аналитический бюллетень. – М.: НИИ-Природа, 2004. – № 1. – С. 43–49.
8. Базилевич, Н.И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии / Н.И. Базилевич. – М.: Наука, 1993. – 262 с.
9. Исаев, А.С. Оценка запасов годичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России / А.С. Исаев, Г.Н. Коровин, А.И. Уткин, А.А. Пряжников, Д.Г. Замолотчиков // Лесоведение. 1993. – № 5. – С. 3–10.
10. Алексеев, В.А. Углерод в экосистемах лесов и болот России / В.А. Алексеев, Р.С. Бердси. – СПб.: Санкт-Петербургский лесной экологический центр, 1994. – 365 с.
11. Моисеев, Б.Н. Об оценке запаса и прироста углерода в лесах России / Б.Н. Моисеев, А.М. Алфиров, В.В. Страхов // Лесное хозяйство. – 2000. – № 4. – С. 18–20.
12. Курбанов, Э.А. Бюджет углерода сосновых экосистем Волго-Вятского района / Э.А. Курбанов. – Йошкар-Ола: Периодика, 2002. – 243 с.
13. Моисеев, Б.Н. Оценка потоков и баланс органического углерода в основных биомах России / Б.Н. Моисеев, И.О. Алябина // Использование и охрана природных ресурсов России: информационно-аналитический бюллетень. – М.: НИИ-Природа, 2004. – № 1. – С. 61–69.
14. Доктуровский, В.С. Болота и торфяники, строение и развитие их / В.С. Доктуровский. – М.: Новая деревня, 1922. – 216 с.
15. Пьявченко, Н.И. Биологическая продуктивность и круговорот веществ в болотных лесах Западной Сибири / Н.И. Пьявченко // Лесоведение. – 1967. – № 3. С. – 28–36.
16. Пьявченко, Н.И. Прирост фитомассы и скорость накопления торфа / Н.И. Пьявченко // Повышение продуктивности заболоченных лесов. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1983. – С. 42–46.
17. Козловская, Л.С. Динамика органического вещества в процессе торфообразования / Л.С. Козловская, В.М. Медведева, Н.М. Пьявченко. – Л.: Наука, 1978. – 176 с.
18. Разумовский, С.М. Закономерности динамики биоценозов / С.М. Разумовский. – М.: Наука, 1981. – 165 с.
19. Лисс, О. Л. Лесные болота / О.Л. Лисс, В.Г. Астахова. – М.: Лесная промышленность, 1982. – 128 с.
20. Коломыцев, В.А. Болотообразовательный процесс в среднетаежных ландшафтах Восточной Фенноскандии / В.А. Коломыцев. – Петрозаводск, 1993. – 83 с.
21. Нейштадт, М.И. Возникновение и скорость развития процесса заболачивания / М.И. Нейштадт // Научные предпосылки освоения болот Западной Сибири. – М.: Наука, 1997. – С. 39–47.
22. Усольцев, В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: нормативы и элементы географии // В.А. Усольцев // Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 761 с.
23. Грабовик, С.И. Флуктуации продуктивности сфагновых мхов / С.И. Грабовик // Лесные стационарные исследования: методы, результаты, перспективы. – Тула, 2001. – С. 343–345.

Поступила в редакцию 19.05.07.