

УДК 630.434(571.64)

ИЗМЕНЕНИЕ ЗАПАСОВ НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЫ И ЭМИССИИ УГЛЕРОДА ПРИ ПОЖАРАХ НА ЛЕСОБОЛОТНЫХ КОМПЛЕКСАХ о. САХАЛИН

Т. А. Буренина

*Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, г. Красноярск
E-mail: burenina@kx.krasn.ru*

Изучались последствия пожаров на лесоболотных комплексах о. Сахалин. Для различных вариантов лесоболотных экосистем выявлены соотношения между сгоревшей биомассой и оставшейся в качестве погибшего древостоя. Наибольшие массы сгорающей органики и соответственно потери углерода характерны для облесенных болот и безлесных торфяников (до 90–95% от общих запасов надземной фитомассы). При прохождении пожаров в заболоченных лесах сгорает не более 30–40% всей органической массы.

Ключевые слова: лесные пожары, гари, лесоболотные комплексы, заболоченные леса, лиственничные редины на болоте, низинное болото, сфагновое болото, фитомасса, бюджет углерода.

В связи с ожидаемым глобальным потеплением климата и увеличением в атмосфере углекислого газа в последние два-три десятилетия XX в. возрос интерес ученых к проблеме содержания и динамики углерода в наземных и водных экосистемах. Среди всех наземных экосистем ведущее место в аккумуляции углерода принадлежит лесным экосистемам. Не менее важную роль в консервации огромных запасов неразложившихся растительных остатков и связывании углерода играют торфяные болота. Болотные экосистемы России по занимаемой площади и депонированию растительных остатков являются одним из важнейших резервуаров по накоплению углерода на планете (Ефремов и др., 1994).

Известно, что болото- и торфообразовательный процессы присущи для некоторых регионов бореального пояса, там, где имеется переувлажнение грунтов. На о. Сахалин процессы болотообразования и торфонакопления распространены достаточно широко, более 15% площади острова занято болотными массивами. Значительные площади занимают заболоченные леса, где также происходит процесс торфообразования.

Наиболее распространенным видом воздействия на круговорот углерода между растительностью и атмосферой являются пожары. Остров Сахалин, как большинство регионов Дальнего

Востока, характеризуется частыми пожарами. Леса на Сахалине горят каждый год, возгорание торфяников происходит только в самые экстремальные по засушливости годы. В последние два десятилетия таким экстремальным годом был 1998-й, когда из 80 тыс. га, пройденных пожаром, 35% приходилось на торфяники.

Для оценки вклада пожаров в изменение запасов углерода в торфяных залежах и заболоченных лесах о. Сахалин были подобраны тестовые участки на торфяных болотах и заболоченных лесах, пройденных пожарами в 1998 г.

ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в северной части о. Сахалин между 49° и 53° с. ш. в пределах Северо-Сахалинской равнины и Тымь-Поронайской депрессии. Рельеф Северо-Сахалинской равнины холмисто-увалистый, выположенный, с широким развитием прибрежных лагун и озерных впадин. Представлена Северо-Сахалинская равнина рыхлыми песчаными и супесчаными отложениями. В Тымь-Поронайской депрессии материнскими породами служат рыхлые крупнозернистые пески, песчаники и галечники с глинами (Дальний Восток, 1961).

Климатические условия территории определяются ее широтным положением, близостью, с одной стороны, обширных водных пространств, с

другой – материков, циклонической деятельностью атмосферы, а также доступностью этого района для юго-восточных циклонов. Среднегодовая температура воздуха изменяется с севера на юг от $-2,5$ до $4,5^{\circ}\text{C}$. Самые низкие температуры воздуха зимой отмечаются в центральной части острова, где средние значения за январь составляют $-23,8^{\circ}\text{C}$, а абсолютный минимум достигает -54°C . В самый теплый для острова месяц – август наивысшие среднемесячные температуры воздуха достигают на юге $+17...+18^{\circ}\text{C}$, на севере острова они на 4°C ниже (Клинецов, 1973).

К особенностям климата стоит отнести его муссонный характер, большое количество осадков, высокую влажность воздуха с преобладанием пасмурных дней. Относительная влажность воздуха на острове в среднем за год составляет 66% на юге и 71% – в северной его части. В центральной части острова (Тымовское, Кировское) в мае – июне относительная влажность воздуха в отдельные дни снижается до 30% и менее (в среднем 2 дня за этот период).

Годовое количество выпадающих осадков на Сахалине уменьшается с севера на юг от 700–900 до 550–400 мм. Летние осадки преобладают над зимними. С мая по октябрь выпадает 71% от годового количества. Количество осадков сильно варьирует как по годам, так и по месяцам (Клинецов, 1973).

Прохладное лето при значительном количестве осадков и высокой относительной влажности обеспечивает хороший рост болотных растений, как травянистых, так и сфагнов. Быстрый годичный прирост сфагновых мхов способствует консервации глубже лежащих слоев мха в малоразложившемся состоянии. Степень разложения сфагновых мхов на Сахалине составляет 5–20%, у евтрофных торфов она не превышает 30–35% (Властова, 1960).

Торфяные болота на о. Сахалин занимают около 930 тыс. га, из них 565 тыс. га относятся к землям Государственного лесного фонда. Кроме нелесных торфяных болот, значительные площади (более 65 тыс. га) занимают заболоченные леса.

В наибольшей степени заторфованы низменности и равнины острова. Северо-Сахалинская равнина заторфована на 7% от общей площади, Тымь-Поронайский водораздел – на 12,5%, юг Тымь-Поронайской низменности – на 30%, Южно-Сахалинская низменность – на 11% (Кац, 1971).

На Сахалине преобладает олиготрофный тип болот. Но при большой протяженности острова с севера на юг (около 900 км) характер болот неодинаков. В отличие от Южно-Сахалинской низменности, где преобладают болота с евтрофной и смешанной залежью, на Северо-Сахалинской равнине и Тымь-Поронайской низменности зональ-

ный тип болот представлен сфагновыми грядово-мочажинными торфяниками. На Северо-Сахалинской равнине имеются торфяные массивы, площадь которых превышает 10 тыс. га, а мощность достигает 6 м. Торф олиготрофный, сфагновый, местами до самого дна. По периферии массивов располагается дренированный лиственнично-сфагновый комплекс с кедровым стлаником (*Pinus pumila*) или лиственнично-кустарничково-сфагновое болото с багульником (*Leedum palustre*), голубикой (*Vaccinium uliginosum*) и шикшей (*Empetrum nigrum*). На Тымь-Поронайской низменности встречаются также сфагновые болота с тростником и вейником, заболоченные сфагновые лиственничники, мелкозалежные сфагновые торфяники (торф мощностью около 1 м) с багульником, кассандрой, андромедой, морошкой и др. (Кац, 1971).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на территории Смирныховского, Первомайского, Тымовского и Ногликского лесхозов Сахалинской области. Обследуемые гари были приурочены к четырем категориям переувлажненных земель: 1) заболоченные леса; 2) низинные древесно-травяные болота; 3) переходные древесно-сфагновые и кустарничково-сфагновые болота; 4) безлесные болота как верхового, так и переходного типа.

Заболоченные леса представлены лиственничниками осоково-сфагновой и багульниковой группы типов леса и березняками с осоками и вейниками, произрастающими в низменных заболоченных местоположениях и имеющими торфяные и торфяно-глеевые плохо дренируемые почвы. Из категории низинных древесно-травяных болот были обследованы низкополотные березовые и лиственничные древостои вейниковой (с вейником Лангсдорфа – *Calamagrostis langsdorffii*) и осоковой групп типов леса (с сообществами крупных осок *Carex rostrata*, *C. laevirostris*). Расположены, как правило, в поймах мелких рек, имеющих торфяно-глеевые и торфяно-перегнойные почвы. Мощность торфа достигает 0,5 м.

Гари на облесенных болотах представлены в основном в лиственничниках багульниковой и сфагновой групп типов леса. Как правило, это редины и низкополотные насаждения Va и Vб классов бонитета, мощность торфа 0,4–1,5 м. Обследованные безлесные болотные массивы, по которым прошел пожар 1998 г., представлены переходными и верховыми кустарничково-сфагновыми болотами, занимающими плоские водоразделы рек. Всего было заложено 28 тестовых участков, характеристики которых приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1. Лесоводственно-таксационная характеристика древостоев
Table 1. Forestry inventory of stands

Тип леса	Состав	Порода	Кол-во стволов, шт./га	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Класс бонитета	Полнога	Запас, м ³ /га	Растительность и другие диагностические признаки
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Заболоченные леса									
Лиственничник осоково-вейниковый (S1)		Б	1267	6,6	7,7			24,4	Подлесок редкий из голубики, багульника. Травяной покров густой из вейника Лангсдорфа, осок, дерена канадского
		Л С Т	80 433 200	9,3 6,2 7,3	9,1 7,6 7,1			36,0 8,0 3,4 71,8	
Березняк осоково-вейниковый (S2)	5Л3Б2С+Т	Б	2066	7,2	8,3	IV	0,4	36,4	Подлесок средней густоты из березки Миддендорфа, куртин багульника. Травяной покров густой, представлен вейником Лангсдорфа и осоками
		С Т	66 100	8,0 7,3	8,4 7,0	V	0,4	1,7 1,7 39,8	
Лиственничник зеленомошный (S3)	10Л	Л	1000	8,7	8,9	V	0,4	38,1	Подлесок средней густоты из багульника. Травяной покров представлен вейниками и осоками. Почти сплошной покров из зеленых мхов
Лиственничник багульниковый (S9)	10Л+Б	Л	1766	8,2	8,4	IV	0,3	50,0	Подлесок густой из багульника, куртин березки Миддендорфа. Травяной покров представлен осоками
		Б	33	7,1	10,0			0,1 50,1	
Березняк ерниковый, долинный (S13)	7Б3Л	Л	33	16,0	14,3	V	0,3	6,0	Подлесок средней густоты из березки Миддендорфа, голубики, багульника. Травяной покров представлен вейником Лангсдорфа, осоками. Пятнами мхи
		Б	167	10,1	12,0			11,7 17,7	
Лиственничник багульниковый (N17)	10Л	Л	467	11,4	10,7	V	0,3	23,3	Подлесок густой из багульника, голубики. Травяной покров средней густоты представлен брусничкой, осоками, хвощами. Пятнами мхи
Лиственничник осоково-сфагновый (Т36)	7Л2Б1Ос	ЛБ	1100	6,5	7,0			16,6	Подлесок редкий из багульника, ивы. Сплошь сфагнум, группами кукушкин лен. Травяной покров средней густоты из осок, пушицы, линией северной
		Ос	67 267	12,0 6,0	12,5 6,2	V	0,2	4,7 3,0 24,3	
Низинные древесно-травяные болота									
Березняк вейниковый (S5)	4Б3Л3Ол	Л	333	4,0	5,9			1,1	Травяной покров густой, представлен вейником Лангсдорфа, мощность торфа 0,5–1,0 м
		Б	900	6,9	8,0			1,6	
		Ол	300	7,7	7,7	V6	0,2	1,0 3,6	

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Березняк осоковый (S15b)	7БЗЛ	Б Л	600 266	7,9 8,3	8,5 9,1	V6	0,2	2,6 7,3 9,9	Болотные осоки, пушица. Грунтовые воды выходят на поверхность. Мощность торфа 0,3–0,5 м
Лиственничник осоковый (Т31)	10Л	Л	367	10,3	9,2	V	0,2	14,7	Куртинами багульник, березка Мидлендорфа. Гравяной покров представлен болотными осоками, хвощом. Мощность торфа 0,3–0,5 м
Переходные древесно-сфагновые болота									
Лиственничник багульниковый (S11)	10Л	Л	933	6,3	6,7	Va	0,2	24,8	Вересковые кустарнички: багульник, кассандра, подбел. Гравяной покров представлен болотными осоками, мхи – пятнами. Мощность торфа до 0,5 м
То же (S13a)	10Л	Л	266	7,5	8,3	V6	0,1	7,7	Кустарнички: багульник, голубика. Осоки Мейера, ложнокурайская; пушица. Мощность торфа до 0,5 м
Лиственничник сфагновый (S15)	10Л	Л	200	10,0	13,2	V6	0,2	10,8	Куртинами багульник, березка Мидлендорфа. Мхи – сфагнум, Магелланский, красноватый, бурый – образуют подушки. Мощность торфа 0,4–1,5 м
Лиственничник осоково-сфагновый (P16)	10Л+Б	Л	212	7,7	8,1	V6	0,2	5,6	Куртинами багульник, березка Мидлендорфа. Гравяной покров представлен болотными осоками, мхи образуют подушки, мощность торфа до 1,5 м
Переходные кустарниково-сфагновые болота									
Лиственничная редина (S8)	10Л	Л	350	4,7	5,8	V6	0,1	1,2	Болотные осоки, пушица. Вересковые кустарнички: багульник, кассандра, подбел. Мощность торфа 0,3–0,5 м
То же (S14)	10Л	Л	667	3,0	3,2	V6	0,1	1,5	Куртинами багульник, березка Мидлендорфа, голубика. Сплошь сфагнум, гравяной покров редкий из осок, пушицы. Мощность торфа до 1,0 м
" (N26)	10Л	Л	800	4,7	5,0	V6	0,1	3,0	Куртинами багульник, голубика. Гравяной покров густой, представлен осоками. Мощность торфа 0,6–0,8 м
" (Т37)	10Л+Б	Л	900	4,9	5,2	V6	0,1	3,3	Куртинами багульник, березка Мидлендорфа, голубика. Гравяной покров редкий, представлен болотными осоками. Мощность торфа до 0,5 м

Для определения массы горючих материалов, сгоревших на торфяниках, использовался линейный метод (Софронов, Волокитина, 1998). Закладывались трансекты длиной от 20 до 40 м (в зависимости от однородности условий) и шириной 6 м. Трансекты прокладывались так, чтобы были захвачены горевшие и негоревшие участки торфяника. При наличии древостоя проводили учет деревьев. Мощность мохового покрова на трансекте измеряли с интервалом 1–2 м при ширине полосы 1 м. Учет кустарников, подлеска и подроста проводили по всей длине трансекта (для каждой породы подсчитывали количество экземпляров по грациям высоты). Для получения характеристик живого напочвенного покрова закладывали контрольные пробные площадки на негоревших участках торфяников. Биомассу травяно-кустарничкового яруса оценивали глазомерно по грациям (Софронов, Волокитина, 1998). На трансектах глазомерно определяли долю выгоревшей площади (в %), а на выгоревших участках болот измеряли глубину прогоревшего слоя торфа. На основе полученных экспериментальных данных и средних показателей объема массы торфа и содержания углерода в нем для Дальневосточного региона (Ефремов и др., 1994) рассчитывали запасы сгоревшего торфа и заключенного в нем углерода на единицу площади.

В заболоченных лесах и облесенных болотах закладывали пробные площади радиусом от 9,8 до 17,8 м в зависимости от густоты насаждения (Инструкция..., 1995). На каждой пробной площади проводили сплошной пересчет погибших деревьев, оценивали состояние подроста, описывали почву и напочвенный покров, глубину прогорания мхов, лишайников и подстилки. Проводили замеры упавших деревьев. На основе полученных лесоводственно-таксационных характеристик насаждений и с использованием справочных и литературных источников (Агеенко, 1960; Матвеев-Мотин, 1960; Кузенко, Корякин, 1976; Нормативные..., 1986) были подсчитаны запасы древостоев. Надземную фитомассу древостоя определяли расчетным путем по величине запаса стволовой древесины (Усольцев, 1988). Для реконструкции допожарного состояния живого напочвенного покрова подбирали контрольные (негоревшие) насаждения данного типа леса или использовали описания выделов по материалам лесоинвентаризации. При расчетах запасов органического слоя на почве применяли осредненные характеристики объемного веса мхов, лишайников, опада и подстилки, приведенные в литературе (Софронов, Волокитина, 1998). Для определения запасов фитомассы подроста, подлеска и травяно-кустарничкового яруса в представленных типах леса и лесоболотных комплексах использовали литературные данные (Андреяшкина, Горчаков-

ский, 1972; Базилевич, 1993; Биологическая..., 1988; Морозов, 1978; Москалюк, 1980; Титлянова, 1977; Усольцев, 2002; и др.). Для пересчета сухого органического вещества в углерод мы применяли коэффициенты, приведенные в литературе: для древесины – 0,5, для зеленых частей растений – 0,45 (Birdsey, 1992; Исаев и др., 1993).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Основную долю напочвенных горючих материалов составляют травяно-кустарничковая растительность, мхи, лишайники, подстилка, хвоя и листва верхнего полога. Соотношение запасов фитомассы по ярусам и фракциям для многих регионов России в литературе представлено достаточно хорошо (Биология..., 1976; Москалюк, 1980; Поздняков и др., 1969; Поздняков, 1975; Уткин, 1975; и др.). Как следует из литературных данных, масса напочвенного покрова относительно спелого древостоя составляет 2–4%. Только в особо жестких экологических условиях, в которых формируются редкостойные древостои, биомасса древесной и травянисто-моховой растительности характеризуется соизмеримыми величинами. Как по внешнему облику, так и по биометрическим характеристикам спелые и приспевающие древостои о. Сахалин, расположенные на заболоченных землях, напоминают предтундровые леса материковой части страны, а лиственничные редины облесенных торфяных болот – ландшафты лесотундры. Исследуемые заболоченные леса представлены лиственничниками и смешанными низкополнотными насаждениями с запасом от 17 до 72 м²/га. Лиственничные редколесья с пространственным распределением деревьев куртинами имеют полноту не более 0,2 и запасы от 5 до 24 м²/га. Лиственничные редины с полнотой 0,1 имеют запасы 1,2–3,3 м²/га (табл. 1). Торфяные болота с единичными деревьями, стоящими на значительном расстоянии друг от друга, отнесены к безлесным болотам.

Низкая продуктивность заболоченных лесов и изреженность древостоя обуславливают относительно невысокие запасы фитомассы древесного полога (не более 40 т/га), а запасы суммарной надземной фитомассы в рассматриваемых насаждениях не превышают 55 т/га. На облесенных болотах с разреженным древостоем общие запасы надземной фитомассы колеблются от 15 до 40 т/га. Относительно высокие значения общих запасов надземной фитомассы на некоторых пробных площадях, заложенных в редколесьях на сфагновых болотах, обеспечены наличием зарослей багульника и голубики. Известно, что кустарничковая растительность по сравнению с большинством травянистых растений образует более мощные вегетативные органы, характеризующиеся более вы-

Таблица 2. Характеристика живого напочвенного покрова на безлесных торфяниках

Table 2. Characteristics of grass and moss layers of peat bogs

№ тран-секты	Тип болота	Мох		Багульник		Голубика		Березка Миддендорфа		Осоки		Злаки	
		Н	Сl	Н	Сl	Н	Сl	Н	Сl	Н	Сl	Н	Сl
S-6	Верховое кустарничково-осоково-сфагновое	30	1,0	35	0,3	25	0,2	65	0,1	26	0,2	–	–
S-7	То же	35	1,0	25	0,5	30	0,4	60	Ед.	20	0,2	–	–
S-10	Переходное кустарничково-осоково-сфагновое	20	1,0	52	0,6	–	–	60	Ед.	26	0,2	–	–
S-12	То же	16	1,0	60	1,0	–	–	65	Ед.	20	0,3	–	–
S-13b	"	10	1,0	60	0,5	30	0,2	80	0,2	30	0,3	–	–
S-14a	"	18	1,0	45	0,6	35	0,2	82	0,2	35	0,3	–	–
S-15a	Верховое кустарничково-сфагновое	10	0,9	63	0,6	–	–	85	0,4	30	0,2	–	–
P-16a	То же	12	0,7	45	0,4	–	–	80	0,4	35	0,5	–	–
T-35	Верховое грядово-мочажинное	12	1,0	–	–	–	–	–	–	35	0,2	120	0,8
T-37a	То же	12	0,5	52	0,5	65	0,2	83	0,3	30	0,3	–	–

Примечание. Н – высота растения, см; Сl – проективное покрытие растительного покрова; прочерк – нет данных.

соким содержанием сухого вещества. Среднее содержание сухого вещества у большинства трав колеблется в пределах 10–25%, а у кустарничков – 37–49%. Поэтому масса напочвенного покрова (без мхов) в травяно-болотном типе леса в сырой массе в 1,4 раза ниже, чем в кустарничково-сфагновом, а в сухом виде эта разница достигает трехкратной величины (Кучко, Матюшкин, 1977).

Как показали исследования, во время пожара 1998 г. заболоченные леса и насаждения на низинных болотах выгорали фрагментарно, тогда как на торфяных болотах отмечены очень большие площади (до 140 га), пройденные пожаром. Из литературы известно, что основную массу органического вещества, сгорающего во время пожаров в лесных биогеоценозах, составляют напочвенные горючие материалы (травяно-кустарничковый ярус, мхи, лишайники, опад, подстилка) и незначительную часть хвоя, листва и мелкие веточки. Деревья и крупные ветви только обгорают (Курбатский, 1970).

Сравнение сгоревшей биомассы на пробных площадях с количеством биомассы, оставшейся после пожаров, показало, что эти соотношения значительно различаются для заболоченных лесов

и облесенных торфяных болот (рис. 1). Значительные запасы фитомассы в заболоченных лесах накапливает травяно-моховой покров, поэтому на горях, расположенных в заболоченных лесах, количество сгоревшей биомассы сопоставимо с биомассой погибших деревьев. В исследуемых заболоченных лесах 30–40% надземной фитомассы сгорает полностью, остальная часть служит источником эмиссии углерода в течение нескольких лет, если по этой территории не пройдут повторные пожары. На низинных болотах соотношения несколько иные (см. рис. 1): в типах леса, где хорошо развит кустарничковый ярус, доля сгоревшей надземной фитомассы преобладает над оставшейся частью после пожара. Примером может служить пробная площадь Т-31, для которой характерны довольно густые заросли березки Миддендорфа и багульника.

Более контрастные соотношения между фитомассой древесного полога и нижних ярусов растительности наблюдаются на облесенных сфагновых болотах: чем более разрежен древостой, тем большую долю сгоревшей биомассы составляет растительность травяно-кустарничкового и мохового ярусов. На древесно-сфагновых болотах за-

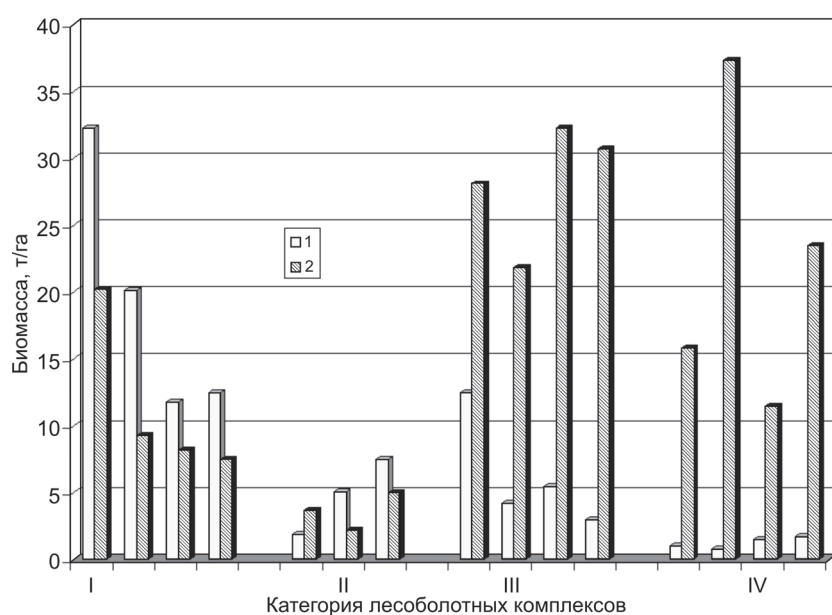


Рис. 1. Соотношение сгоревшей и оставшейся в погибшем от пожара древостое биомассы для различных категорий лесоболотных комплексов. Категории лесоболотных комплексов: I – заболоченные леса; II – низинные болота; III – древесно-сфагновые болота переходного типа; IV – кустарничково-сфагновые болота переходного типа с лиственных рединами; 1 – запасы надземной биомассы, сгоревшей во время пожара; 2 – запасы оставшейся биомассы стволов и ветвей в погибших после пожара древостоях

Fig. 1. Burnt biomass versus dead wood for different forest-and-bog ecosystem categories. Forest-and-bog ecosystem categories: I – swampy forest; II – sedge marsh; III – transitional wood-sphagnum bog; IV – transitional shrub-sphagnum bog with open woodland; 1 – burnt surface biomass; 2 – tree trunk and branch biomass of dead wood after fire

пасы сгоревшего органического вещества превышают запасы биомассы погибших деревьев в 5–6 раз, тогда как на кустарничково-сфагновых болотах с лиственными рединами сгорает биомасса в 15–25 раз больше, чем остается в погибшем древостое (см. рис. 1). Поэтому, несмотря на большие площади торфяников, пройденных пожаром, запасы биомассы погибшего древостоя незначительны. Интенсивное выделение углерода при пожарах в заболоченных лесах и облесенных болотах происходит за счет горения травяно-кустарничкового и мохового ярусов.

В табл. 3 показаны потери углерода при сгорании надземной фитомассы в заболоченных лесах и облесенных болотах. В заболоченных лесах эмиссии углерода в атмосферу составляют от 3,5 до 9,3 т/га в зависимости от типа леса, на облесенных болотах – от 5,8 до 14,7 т/га. При этом значительная доля углерода (от 30 до 50%) поступает при сгорании мхов. Меньше всего сгорает фитомассы на низинных древесно-травяных болотах, эмиссия углерода колеблется от 1,6 до 2,3 т/га.

Известно, что лесоболотные комплексы имеют два пула биогенного углерода – в фитомассе

растительного покрова и торфе. По данным наших измерений, глубина прогорания торфяного слоя во время пожара 1998 г. в заболоченных лесах и облесенных болотах переходного типа составляла 1–2 см. Низинные древесно-травяные болота на Сахалине, как правило, обводнены, и во время пожара 1998 г. торфяной слой не прогорал. При столь незначительном прогорании торфяного слоя на исследуемых лесоболотных комплексах эмиссия углерода в атмосферу составляла от 6 до 12 т/га.

Как уже отмечалось, для лесов характерно длительное удержание углерода и в телах самих деревьев, и в сравнительно медленно разлагающемся детрите (валеж, лесная подстилка, почвенный гумус). В еще большей мере консервация углерода отмерших растений свойственна болотам. По сравнению с лесами на болотах период сохранности углерода в детритной форме на 3–5 порядков больше (Уткин и др., 2001). Суммарная потеря углерода при пожарах на торфяниках определяется толщиной прогоревшего слоя торфа и запасами фитомассы травяно-кустарничковой растительности и мохового покрова.

Как показали исследования, при пожарах на торфяниках происходит мозаичное прогорание торфяного слоя в отличие от травяно-кустарничкового яруса, который сгорает, как правило, полностью. В зависимости от микрорельефа и интенсивности пожара на верховых и переходных торфяных болотах коэффициент прогорания составляет 0,6–0,9; глубина прогорания колеблется от 1 до 5 см. Запасы сгоревшего торфа приведены в табл. 4. Эмиссия углерода при сгорании торфа на обследованных болотах колеблется от 2,5 до 20,0 т/га в зависимости от площади и глубины прогорания. Потери углерода при сгорании живого напочвенного покрова на безлесных болотах сопоставимы с потерями углерода при сгорании торфяного слоя. Эмиссия углерода в атмосферу при сгорании травяно-кустарничкового и мохового ярусов составляет 7,9–24,1 т/га, причем от 50 до 70% углерода поступает при сгорании мхов.

Сравнение средних потерь углерода при сгорании органики на болотах и в заболоченных лесах показывает, что наибольшая эмиссия углерода в атмосферу происходит на безлесных торфяниках – 47% от общего количества углерода, поступающего с лесоболотных комплексов, и менее

Таблица 3. Масса сгоревшей органики и эмиссии углерода в результате пожаров на лесоболотных комплексах
 Table 3. Burnt organic matter and carbon emission caused by forest fire

№ пр. ш.	Тип насаждения	Сгоревшая биомасса в насаждениях и потери углерода при пожаре, т/га											
		Древесный полог				Валежины		Гравияно-кустарничковый ярус		Мхи, опад, подстилка		Всего	
		Кора, ветви		Хвоя		фито-масса	углерод	фито-масса	углерод	фито-масса	углерод	фито-масса	углерод
		фито-масса	углерод	фито-масса	углерод								
Заболоченные леса													
S-1	Лиственничник осокково-вейниковый	0,42	0,21	1,21	0,51	3,22	1,61	4,25	1,94	8,10	3,63	17,20	7,90
S-2	Березняк осокково-сфагновый	0,21	0,11	0,64	0,31	1,95	0,98	2,20	1,12	8,10	3,63	13,10	6,15
S-3	Лиственничник багульниковый	0,23	0,12	0,65	0,32	1,76	0,88	3,42	1,55	8,10	3,63	14,16	6,50
S-9	То же	0,34	0,17	0,72	0,33	2,86	1,43	11,32	5,11	5,10	2,34	20,34	9,38
S-13	Березняк осокковый	0,21	0,11	0,53	0,26	1,84	0,92	3,87	1,73	3,45	1,58	9,90	4,60
N-17	Лиственничник багульниковый	0,16	0,08	0,32	0,14	1,12	0,55	4,30	1,85	4,30	1,96	10,20	4,58
T-36	Лиственничник осокковый	0,12	0,06	0,28	0,12	1,10	0,55	3,26	1,44	3,14	1,47	7,90	3,64
Низинные древесно-гравияные болота													
S-5	Березняк вейниковый	0,02	0,01	0,11	0,05	0	0	3,42	1,54	0	0	3,55	1,60
S-15b	Березняк осокковый	0,02	0,01	0,18	0,08	0	0	2,50	1,15	0	0	2,70	1,24
T-31	Лиственничник осокковый	0,12	0,06	0,21	0,10	0,76	0,38	3,27	1,44	0,82	0,37	5,18	2,35
Переходные древесно-сфагновые болота													
S-11	Лиственничник сфагновый	0,14	0,07	0,55	0,23	0	0	20,7	9,32	4,46	2,10	25,85	11,72
S-13a	Лиственничная редица	0,04	0,02	0,11	0,05	0,42	0,21	11,85	5,37	9,58	4,35	22,0	10,0

№ гран-секты	Тип болота	Переходные кустарничково-сфагновые болота											
		Глубина прогорания торфа, см	$K = S_t/S_{гр}$	Объем, м ³ /га	Запасы торфа, т/га	Потери углерода при сгорании торфа на болотах, т/га	Запасы фитомассы сгоревшего напочвенного покрова, т/га		Потери углерода при сгорании живого напочвенного покрова на болотах, т/га				
S-15	Лиственничник багульниковый	0,05	0,03	0,12	0,06	0,51	0,25	20,71	9,32	11,26	5,12	32,65	14,78
P-16	Лиственничная редица	0,04	0,02	0,05	0,02	0,32	0,16	17,15	7,75	13,20	5,95	30,46	13,90
S-8	Лиственничная редица	0,01	0,005	0,02	0,01	0,10	0,05	11,30	5,15	4,47	2,20	15,90	7,42
S-14	То же	0,01	0,005	0,02	0,01	0,07	0,04	20,70	9,30	16,55	7,45	37,35	16,80
N-26	"	0,01	0,005	0,03	0,01	0,14	0,07	11,32	5,12	0	0	11,50	5,20
T-37	"	0,03	0,02	0,02	0,01	0,30	0,15	20,75	9,32	2,50	1,15	21,60	10,65

Таблица 4. Количество торфа и фитомассы напочвенного покрова, сгоревшего на безлесных болотах во время пожара 1998 г.
Table 4. Burnt peat and surface phytomass of treeless peat moss bogs after fire in 1998

№ гран-секты	Тип болота	Характеристики сгоревшего торфа				Потери углерода при сгорании торфа на болотах, т/га	Запасы фитомассы сгоревшего напочвенного покрова, т/га		Потери углерода при сгорании живого напочвенного покрова на болотах, т/га
		Глубина прогорания торфа, см	$K = S_t/S_{гр}$	Объем, м ³ /га	Запасы торфа, т/га		Травяно-кустарничковый ярус	Моховой ярус	
S-6	Верховое кустарничково-осоково-сфагновое	3	0,90	270	24,30	11,35	11,85	33,0	21,56
S-7	То же	2	0,90	180	16,20	7,57	11,85	38,50	24,14
S-10	Переходное кустарничково-осоково-сфагновое	5	0,67	335	40,20	20,02	20,72	27,55	23,18
S-12	То же	1	0,9	90	10,80	5,38	20,72	17,62	18,45
S-13b	"	2	0,86	172	20,64	10,28	11,85	9,90	10,46
S-14a	"	3	0,83	249	29,88	14,89	20,72	16,54	17,90
S-15a	Верховое кустарничково-сфагновое	1	0,79	79	7,11	3,32	20,72	11,0	15,25
P-16a	То же	2	0,81	162	14,58	6,81	17,14	13,22	14,50
T-35	Верховое грядово-мочажинное	1	0,60	60	5,40	2,52	3,26	13,22	7,94
T-37a	То же	1	0,66	66	5,94	2,77	20,72	3,35	11,52

Примечание. Площадь пробной площадки (трансекты) – 100 м²; $K = S_t/S_{гр}$ – коэффициент прогорания.

всего – на низинных болотах (5%). На облесенных болотах эмиссия углерода при пожарах составляет 31%, а в заболоченных лесах – 17%. Таким образом, на безлесных торфяных болотах сгорает фитомассы и выделяется углерода в атмосферу в 3 раза больше, чем в заболоченных лесах, и в 1,5 раза больше, чем на облесенных болотах (рис. 2).

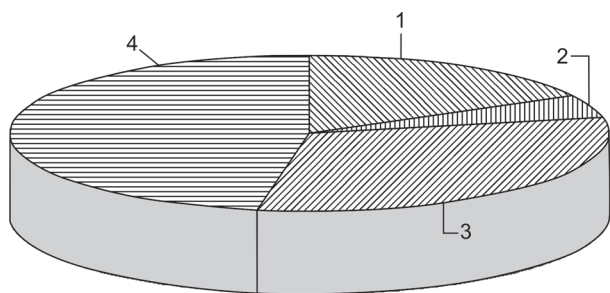


Рис. 2. Потери углерода при сгорании органического вещества на лесоболотных комплексах различных категорий: 1 – заболоченные леса; 2 – низинные болота; 3 – переходные древесно- и кустарниково-сфагновые болота с лиственничными рединами; 4 – безлесные торфяные болота

Fig. 2. Carbon emission caused by forest fire in different forest-and-bog ecosystem categories: 1 – swampy forest; 2 – sedge marsh; 3 – transitional wood-sphagnum and shrub-sphagnum bog with open woodland; 4 – peat moss bog

Оценивая роль пожаров на лесоболотных комплексах, прежде всего отметим их вклад в изменение бюджета углерода. Это связано с потерями органического вещества при горении, когда происходит быстрое уменьшение органического вещества с интенсивным выделением углерода в атмосферу. В послепожарный период происходит разложение несгоревшей органики, что не компенсируется накоплением органического вещества в экосистеме. Продолжительность этого периода будет существенно различаться для лесных и безлесных болот. На Сахалине на лесоболотных комплексах через 5 лет после пожара мы наблюдали восстановление видового состава травяно-кустарничкового яруса. Восстановление мохового покрова отмечено фрагментарно. Естественное возобновление отсутствует и в заболоченных лесах, и на облесенных болотах, что связано как с отсутствием семян, так и с нарушением экологического равновесия на лесоболотных комплексах. Очевидно, послепожарное восстановление лесных биоценозов на лесоболотных комплексах растянется на длительный период.

Более быстрое восстановление травяно-кустарничкового и мохового ярусов на торфяных болотах Сахалина вполне согласуется с выводами, сделанными Т. Т. Ефремовой с соавторами (1994), что пожары не оказывают необратимого воздействия

на экотоп и исходную структуру основных ценопопуляций, восстановление которых возможно в процессе пространственно-временных демутиаций растительного покрова.

Таким образом, выполненные исследования позволили проследить соотношения между сгоревшей биомассой и оставшейся в качестве погибшего древостоя в различных вариантах лесоболотных экосистем. Наибольшие массы сгорающей органики и, соответственно, потери углерода характерны для переходных древесно-сфагновых и кустарниково-сфагновых болот и безлесных торфяников. При прохождении пожаров в заболоченных лесах сгорает не более 30–40% всей органической массы. Значительные запасы биомассы (60–70% от всех запасов органического вещества в биогеоценозе) остаются в виде обгоревших стволов и ветвей. Соответственно соотношение запасов углерода, сконцентрированного в погибшей древесине и поступающего в атмосферу при пожарах, остается примерно таким же. Роль пожаров как экологического фактора проявляется в том, что существенно удлиняются стадии лесовосстановления на лесоболотных комплексах, а в экстремальных условиях происходит замена лесных биоценозов болотной растительностью.

ЛИТЕРАТУРА

- Агеенко А. С. Справочник для таксации хвойных лесов Сахалина. – Долинск, 1960. – 268 с.
- Андреяшкина Н. И., Горчаковский П. Л. Продуктивность кустарничковых и травянистых сообществ лесотундры и методики ее оценки // Экология. – 1972. – № 3. – С. 5–12.
- Базилевич Н. И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. – М.: Наука, 1993. – 293 с.
- Биологическая продуктивность травяных экосистем. – Новосибирск: Наука, 1988. – 187 с.
- Биология и продуктивность растительного покрова Северо-Востока. – Владивосток: Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1976. – 176 с.
- Властова Н. В. Торфяные болота Сахалина. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1960. – 166 с.
- Дальний Восток / под ред. Г. Д. Рихтера. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 440 с.
- Ефремов С. П., Ефремова Т. Т., Мелентьева Н. В. Запасы углерода в экосистемах болот // Углерод в экосистемах лесов и болот России. – Красноярск, 1994. – С. 128–139.
- Ефремова Т. Т., Ефремов С. П. Торфяные пожары как экологический фактор развития лесоболотных экосистем // Экология. – 1994. – № 5. – С. 27–34.
- Инструкция по проведению лесоустройства в лесном фонде России. Ч. 1. Организация лесоустройства. Полевые работы. – М.: Лесн. пром-сть, 1995. – 133 с.
- Исаев А. С., Коровин Г. Н., Уткин А. И. и др. Оценка запасов и депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России // Лесоведение. – 1993. – № 6. – С. 3–10.
- Кац Н. Я. Болота земного шара. – М.: Наука, 1971. – 295 с.

- Клинцов А. П.* Защитная роль лесов Сахалина. – Южно-Сахалинск : Сахалин. отд-ние Дальневост. кн. изд-ва, 1973. – 234 с.
- Кузнецко Ю. Л., Корякин Е. Н.* Унификация метода вычисления запаса древостоев на Дальнем Востоке // Повышение продуктивности лесов Дальнего Востока. – Хабаровск, 1976. – С. 39–43. – (Тр. ДальНИИЛХ ; вып. 18).
- Курбатский Н. П.* Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии. – Красноярск : Изд-во Ин-та леса и древесины СО АН СССР, 1970. – С. 5–58.
- Кучко А. А., Матюшкин В. А.* Запасы органического вещества в надземной части заболоченных березняков // Стационарное изучение болот и заболоченных лесов в связи с мелиорацией. – Петрозаводск : Изд-во КФ АН СССР, 1977. – С. 135–152.
- Матвеев-Мотин А. С.* Универсальный способ определения запаса древостоев при перечислительной таксации. – М., 1960. – 76 с.
- Морозов В. Л.* Запасы надземной и подземной фитомассы крупнотравья и доминантов на Сахалине // Ботан. журн. – 1978. – Т. 63, № 3. – С. 381–387.
- Москалюк Т. А.* Запасы и структура растительной массы древостоев в основных типах лиственничников Северного Охотоморья // Лесоведение. – 1980. – № 2. – С. 32–39.
- Нормативные материалы для таксации лесов Сахалина и Камчатки.* – Южно-Сахалинск, 1986. – 814 с.
- Поздняков Л. К.* Продуктивность лесов Сибири // Ресурсы биосферы. – М.; Л. : Наука, 1975. – С. 43–55.
- Поздняков Л. К., Протопопов В. В., Горбатенко В. М.* Биологическая продуктивность лесов Средней Сибири и Якутии. – Красноярск : Кн. изд-во, 1969. – 155 с.
- Софронов М. А., Волокитина А. В.* Методика оценки баланса углерода по динамике биомассы в пирогенных сукцессиях // Лесоведение. – 1998. – № 3. – С. 36–42.
- Титлянова А. А.* Биологический круговорот углерода в травяных биогеоценозах. – Новосибирск : Наука, 1977. – 221 с.
- Усольцев В. А.* Рост и структура фитомассы древостоев. – Новосибирск : Наука, 1988. – 226 с.
- Усольцев В. А.* Фитомасса лесов Северной Евразии. База данных и география. – Екатеринбург, 2002. – 708 с.
- Уткин А. И.* Биологическая продуктивность лесов // Итоги науки и техники. Лесоведение и лесоводство. – М. : ВИНТИ, 1975. – 263 с.
- Уткин А. И., Замолодчиков Д. Г., Честных О. В. и др.* Леса России как резервуар органического углерода биосферы // Лесоведение. – 2001. – № 5. – С. 8–23.
- Birdsey R. A.* Carbon storage and accumulation in United States forest ecosystems // USDA Forest Service. General Technical Report WO, 1992. – Vol. 59. – 51 p.

Поступила в редакцию 28.02.2006 г.

THE DYNAMICS OF SURFACE PHYTOMASS AND CARBON EMISSION AS AFFECTED BY FOREST FIRES ON SAKHALIN ISLAND

T. A. Burenina

The forest fire impacts for forest-and-bog ecosystems of Sakhalin Island were studied. The burnt biomass versus dead wood ratios were reported for different forest-and-bog ecosystems suffered from forest fires. Forested swamps and treeless peat swamps have the greatest losses of burnt organic matter and, correspondingly, of carbon (about 90–95% of the surface phytomass). Swampy forests have not more than 30–40% of burnt organic matter.

Key words: forest fire, fire scar, forest-and-bog ecosystem, swampy forest, swamp open woodland, marsh, peat moss bog, phytomass, carbon budget.