



ВЕСТНИК

Института биологии
Коми НЦ УрО РАН

№ 9
(167)

В номере

СТАТЬИ

- Осипов А., Бобкова К.** Запасы и продукция углерода в среднетаежных сосняках чернично-сфагновых 2
- Тужилкина В.** Надземная фитомасса и углерод нижних ярусов растительности еловых фитоценозов 4
- Пристова Т.** Характеристика древесного опада и запасы лесной подстилки в лиственных насаждениях средней тайги 7
- Кузнецов М., Осипов А.** Растительный опад как компонент биологического круговорота углерода в заболоченных хвойных сообществах средней тайги 10
- Сенькина С.** Общее содержание воды в хвое ели в ельнике чернично-сфагновом средней подзоны тайги 13
- Герлинг Н.** Структура, содержание пигментов и фотосинтетическая активность хвои можжевельника обыкновенного на северо-востоке европейской части России ... 15
- Плюснина С., Малышев Р.** Образование льда в хвое и почках ели сибирской 17
- Галенко Э.** Температурные ресурсы воздуха елового ценоза средней тайги в теплый период года 20
- Тарасов С.** Моделирование теплового обмена древесных растений: геометрия и внутренние источники тепла 24
- Робакидзе Е., Торлопова Н.** Химический состав листьев брусники и черники в ельниках черничных в условиях аэротехногенного загрязнения выбросами целлюлозно-бумажного производства 28
- Гончарова Н.** Флора сосудистых растений болот среднего течения реки Луза 31
- Манов А.** Строение, состояние древостоев и естественное возобновление в островных массивах сосняков лишайниковых лесного заказника «Сула-Харьягинский» 34

КОНФЕРЕНЦИИ

- Торлопова Н.** XX международный симпозиум «Экология и безопасность» 37

ИНФОРМАЦИЯ

- Зильберг Ц.** Инновация – это новое или давно известное старое? 38

Издается
с 1996 г.

Главный редактор: к.б.н. А.И. Таскаев

Зам. главного редактора: д.б.н. С.В. Дегтева

Ответственный секретарь: И.В. Рапога

Редакционная коллегия: д.б.н. В.В. Володин, д.э.н., д.т.н. А.Н. Киселенко, к.х.н. Б.М. Кондратенко, к.б.н. Е.Г. Кузнецова, к.б.н. Е.Н. Мелехина, д.б.н. А.А. Москалев, к.б.н. А.Н. Петров, к.с.-х.н. Н.В. Портнягина, д.б.н. Г.Н. Табаленкова, к.с.-х.н. А.Л. Федорков, к.б.н. И.Ф. Чадин, к.б.н. Т.П. Шубина

ЗАПАСЫ И ПРОДУКЦИЯ УГЛЕРОДА В СРЕДНЕТАЕЖНЫХ СОСНЯКАХ ЧЕРНИЧНО-СФАГНОВЫХ

Принятие Россией Рамочной конвенции ООН об изменении климата и Киотского протокола обусловило необходимость инвентаризации существующих запасов, а также величины секвестирования и закрепления углерода в лесных экосистемах. В масштабах страны подобные работы выполнены В.А. Алексеевым и Р.А. Бердси [1], А.С. Исаевым и Г.Н. Коровиным [7], Д.Г. Замолотчиковым с соавт. [6]. Дана оценка депонирования углерода основными древесными породами в крупных регионах России [17, 19]. Роль фитоценозов различного состава и структуры в бюджете углерода лесных сообществ освещена в работах [4, 10, 16]. Отмечен недостаток экспериментальных данных, описывающих круговорот углерода в различных типах леса, а также сведений о нетто-продукции лесных экосистем, особенно растений нижних ярусов и их подземных органов. Слабо изучены в этом плане заболоченные типы лесных сообществ. Сосновые леса на территории Республики Коми занимают 7.1 млн га, половина из которых представлена насаждениями на болотно-подзолистых почвах [9].

Целью работы является оценка запасов и продукции органического углерода в среднетаежных сосняках чернично-сфагновых разного возраста.

Работа выполнена в Республике Коми на территории Ляльского (62°7' с.ш., 50°40' в.д.) и Чернамского (62°00' с.ш., 50°20' в.д.) лесных стационаров Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Объектами исследования явились чернично-сфагновые сосняки разного возраста, послепожарного происхождения, IV и V классов бонитета. 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 2.2-5.5 тыс. экз. га⁻¹ состоит из сосны, березы и ели при преобладании сосны. Травяно-кустарничковый ярус в исследованных сосняках довольно сходен по составу. Он состоит из черники, голубики, брусники, багульника, водяники, кассандры, подбела, марьяника и осоки с общим проективным покрытием 50-60 %. Почти сплошной моховой покров представлен в основном сфагновыми при незначительном участии зеленых мхов. На кочках встречаются лишайники из рода *Cladonia* и *Cladina*. Почвы торфянисто-подзолисто-глееватые иллювиально-железистые, торфянисто-подзолисто-глееватые гумусовые.

Три пробные площади (ПП) размером 0.10-0.15 га, на которых проведен сплошной пересчет де-



А. Осипов



К. Бобкова

ревьев, были заложены согласно методическим указаниям [15] и отраслевым стандартам [14]. В сосняке на ПП 4 исследования проведены в динамике (1984 и 2008 гг). Таксационная обработка материала выполнена в соответствии с методическими требованиями [11]. Запасы и прирост органической массы определяли методом модельных деревьев [18]. Было проанализировано 15 модельных деревьев сосны разных ступеней толщины. Прирост древесины ствола определяли средний за пять лет по приросту объема ствола модельных деревьев при помощи LINTAB 5 с использованием программы Tsap Win Basic. Прирост ветвей рассчитан по средней ветви модельного дерева. Продукцию ассимиляционного аппарата вычисляли среднюю за четыре года. Массу подземных органов определяли методом крупных и мелких монолитов [13]. Фитомасса деревьев березы вычислена по уравнениям, приведенным ранее [2]. Прирост коры принимали равным ее опад. Прирост корней деревьев определяли по формуле [15]:

$$P_{кр} = \frac{n_c \cdot k}{c},$$

где $P_{кр}$ – прирост корней (единицы массы); n_c – прирост стволов и ветвей (единицы массы); k – доля корней от суммарной массы ствола, ветвей и корней, %; c – доля ствола и ветвей от суммарной массы ствола, ветвей и корней, %.

Фитомассу растений напочвенного покрова определяли методом укосов на каждой ПП в 10-кратной повторности рамкой 50×50 см [15]. Их продукцию вычисляли отделяя побеги первого года. По полученным соотношениям рассчитывали общий прирост. Содержание углерода во фракциях фитомассы рассчитывали по К.С. Бобковой и В.В. Тужилкиной [5]. Данные переводились в абсолютно сухую массу.

Запасы углерода в фитоценозах сосняков чернично-сфагновых. Пул углерода фитоценозов в заболоченных сосняках образуют древостой, подрост и растения напочвенного покрова. В древостоях сосняков чернично-сфагновых накоплено 35-55 т С га⁻¹, что составляет 81-93 % общих запасов углерода в фитоценозе, которые главным образом сконцентрированы в древесине ствола (61-62 %) и корнях (22-24 %), на долю хвои приходится 4, коры ствола – 6-7, ветвей – 4-6 % (табл. 2). Древостои довольно однородные по составу, следовательно, сосна формирует большую часть углерода фитоценоза. Запас органического углерода в подросте является наименее изученным компонентом круговорота углерода

Осипов Андрей Федорович – к.б.н., и.о. м.н.с. отдела лесобиологических проблем Севера. E-mail: osipov@ib.komisc.ru.
Бобкова Капитолина Степановна – д.б.н., гл.н.с. этого же отдела. E-mail: bobkova@ib.komisc.ru.
 Область научных интересов: *биологическая продуктивность, углеродный цикл.*

Таблица 1

Характеристика древостоя сосняков чернично-сфагновых

Состав	Средний возраст, лет	Плотность* деревьев, экз. га ⁻¹	Сумма площадей сечения, м ² га ⁻¹	Запас* древесины, м ³ га ⁻¹	Высота, м	Диаметр, см
Пробная площадь № 40 (перечет 2007 г.)						
9С1Б+Е	45 ± 2	2153 (27)	15.0	95 (1)	8.8	9.3
Пробная площадь № 4 (перечет 1984 г.)						
10С+Б ед.Е	60 ± 4	2040 (100)	15.7	109 (4)	10.0	10.0
Пробная площадь № 4 (перечет 2008 г.)						
10С ед.Е	80 ± 2	2266 (327)	24.0	141 (8)	11.0	12.0
Пробная площадь № 26 (перечет 2008 г.)						
10С+Е, Б, Ос	118 ± 4	1210 (30)	20.2	169 (2)	12.9	16.3

* Приведены величины показателей для растущих (сухих) деревьев.

в лесных экосистемах. Участие подраста в накоплении углерода фитомассы уменьшается с возрастом от 5.4 до 0.9 т С га⁻¹. Более высокие запасы его отмечены в 45-летнем насаждении, что обусловлено процессами интенсивного формирования древостоя. В среднетаежных сосняках чернично-сфагновых масса углерода в растениях напочвенного покрова изменяется от 2.6 до 5.1 т С га⁻¹. Известно [3, 8], что с увеличением сомкнутости полога древостоя уменьшается масса растений напочвенного покрова. Это объясняет снижение запасов углерода (почти в два раза) в мохово-лишайниковом и травяно-кустарничковом ярусах 45- и 80-летних насаждений.

Таким образом, запасы углерода в фитоценозах сосняков чернично-сфагновых увеличиваются с возрастом и составляют 43.0-60.5 т С га⁻¹.

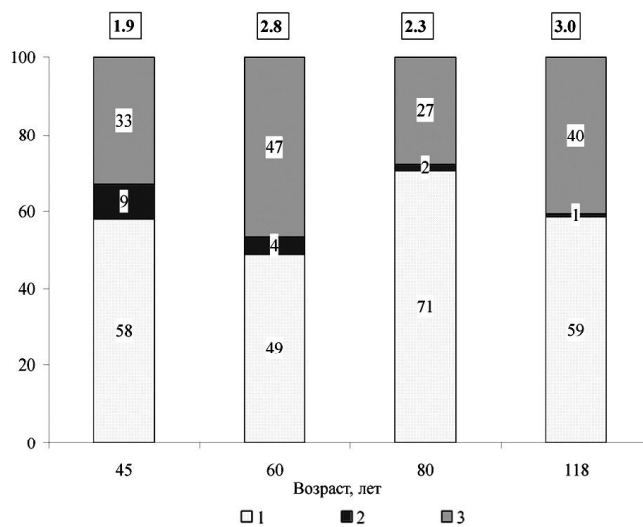
Продукция углерода фитоценозами сосняков чернично-сфагновых. Важнейшей характеристикой функционирования лесных экосистем является интенсивность продуцирования органического вещества фитоценозов. В сосняках чернично-сфагновых ежегодно депонируется 1.9-3.0 т С га⁻¹. В формировании органической массы доля древостоя составляет 49-71% от годичной нетто-продукции (см. рисунок). В накоплении органического углерода значительно участие хвои (0.3-0.6 т га⁻¹) и древесины стволов (0.4-0.6 т га⁻¹), вклад ветвей составляет 0.2-0.4, прирост корней – 0.1-0.2, коры ствола – 0.03-0.07 т га⁻¹. Ранее было отмечено, что с увеличением влажности почвы фитоценоза увеличивается доля продукции углерода растениями напочвенного покрова [3, 8]. Так, в сосняках чернично-сфагновых доля растений напочвенного покрова составляет 27-47% (0.7-1.4 т С га⁻¹год⁻¹) от общего прироста фитомассы ценоза. Основную часть продукции этого яруса (33-69%) формируют кустарнички. На мхи приходится 27-34, травы – 4-33%. Сопоставляя полученные результаты и данные литературы, следует отметить, что сосняки зеленомошной группы типов на автоморфных почвах в условиях средней тайги образуют древостой III-IV класса бонитета и накапливают органической массы в 1.3-2.0 раза больше, чем сосняки на полугидроморфных почвах [3, 12, 20]. Средневозрастные и спелые сосняки брусничные и черничные в условиях средней тайги Карелии образуют древостой I-III класса бонитета с запасом углерода в фитоценозе 62-159 т га⁻¹, с ежегодной его продукцией 2.2-4.2 т С га⁻¹ [16]. В сосновых насаждениях Европейско-Уральской провинции в зависимости от возраста сосредоточено 27-77, а ежегодное депонирование составляет 0.6-1.7 т С га⁻¹ [19]. В северотаежных сосновых молодняках Республики Коми в зависимости от условий произрастания запасы углерода в фитоценозе варьируют от 9.5 до 18.8 т га⁻¹, нетто-продукция – от 1.5 до 2.8 т га⁻¹год⁻¹ [4]. Следует отметить, что в молодняках в запасах и фиксации углерода атмосферы высока доля участия (20-61%) напочвенного покрова, что обеспечивает интенсивный ежегодный возврат уг-

лерода в почву и атмосферу в процессе минерализации опада. Так, по Э.Ф. Ведровой [10], запас углерода в древостоях сосняков лишайниковых на песчаных иллювиально-железистых, глубокооглеенных подзолах в зависимости от возраста в средней тайге Сибири варьирует от 26 до 61 т га⁻¹, годичная продукция – 0.7-1.1 т С га⁻¹. При продвижении с севе-

Таблица 2

Запасы углерода в фитоценозах сосняков чернично-сфагновых, т га⁻¹

Компонент	Возраст, лет			
	45	60	80	118
Древостой	34.96	42.85	53.91	54.63
хвоя (листья)	1.32	1.85	1.94	2.16
древесина ствола	21.88	25.72	33.78	33.47
кора ствола	2.22	3.17	3.07	3.07
ветви	1.98	1.63	2.87	3.30
корни	7.56	10.48	12.25	12.63
Подрост	5.40	3.97	1.30	0.89
Напочвенный покров	2.63	5.14	2.74	4.94
кустарники	0.63	0.77	0.32	1.22
мхи и лишайники	0.37	1.05	0.44	0.71
травы	0.03	0.15	0.03	0.02
корни трав и кустарничков	1.60	3.17	1.68	2.99
Итого	42.99	51.96	57.95	60.46



Доля (%) древостоя (1), подраста (2) и напочвенного покрова (3) сосняков чернично-сфагновых разного возраста (лет; по горизонтали) в продукции углерода фитоценоза (цифры в рамке, т га⁻¹).

ра на юг увеличивается количество депонированного углерода от 0.5 до 1.4 т га⁻¹год⁻¹.

Таким образом, невысокая продуктивность сосняков чернично-сфагновых обусловлена неблагоприятными условиями почвенной среды. Большая часть сосущих корней располагается в лесной подстилке. Продолжительность температур, при которых происходит их активный рост, составляет 3.0-3.5 месяца в органогенном горизонте, 2.5-3.0 месяца в ризосфере. Почвы переувлажнены, что уменьшает содержание кислорода и вызывает прекращение роста корней и нарушение обменных процессов в них. Кроме того, высокое отношение C/N свидетельствует о слабой 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.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев В.А., Бердси Р.А. Углерод в экосистемах лесов и болот России. Красноярск, 1994. 224 с.
2. Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера / Под ред. К.С. Бобковой, Э.П. Галенко. СПб.: Наука, 2001. 278 с.
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., Тужилкина В.В. Содержание углерода и калорийность органического вещества в лесных экосистемах Севера // Экология, 2001. № 1. С. 69-71.
6. Замолодчиков Д.Г., Коровин Г.Н., Гитарский М.Л. Бюджет углерода управляемых лесов Российской Федерации // Лесоведение, 2007. № 6. С. 23-34.

7. Исаев А.С., Коровин Г.Н. Депонирование углерода в лесах России // Углерод в биогеоценозах / Отв. ред. И.А. Шилов. М., 1997. С. 59-98. – (XV Чтения памяти акад. В.Н. Сукачева).

8. (Казимиров Н.И.) Обмен веществ и энергии в сосновых лесах европейского Севера / Н.И. Казимиров, А.Д. Волков, С.С. Зябченко и др. Л.: Наука, 1977. 304 с.

9. Леса Республики Коми / Под ред. Г.М. Козубова, А.И. Таскаева. М., 1999. 332 с.

10. Лесные экосистемы Енисейского меридиана / Под ред. Ф.И. Плешикова. Новосибирск, 2002. 356 с.

11. Лесотаксационный справочник для северо-востока европейской части СССР. Архангельск, 1986. 358 с.

12. Молчанов А.А. Продуктивность органической массы в лесах различных зон. М., 1971. 275 с.

13. 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.

14. ОСТ 56-69-83. Пробные площадки лесоустойчивые. Метод закладки. М., 1983. 60 с.

15. Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота. Л.: Наука, 1967. 145 с.

16. 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.

17. Усольцев В.А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения. Екатеринбург, 2007. 637 с.

18. Уткин А.И. Биологическая продуктивность лесов // Итоги науки и техники. Сер. Лесоведение и лесоводство. М., 1975. Т. 1. С. 9-190.

19. 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.

20. (Kolari P.) Carbon balance of different aged Scots pine forests in Southern Finland / P. Kolari, J. Pumpanen, U. Rannik et al. // Global Change Biology, 2004. Vol. 10. P. 1106-1119. ❖

НАДЗЕМНАЯ ФИТОМАССА И УГЛЕРОД НИЖНИХ ЯРУСОВ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЕЛОВЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ

Важную роль в регулировании углеродного баланса атмосферы играют бореальные леса. Таежные экосистемы северных регионов являются активными резервуарами органического углерода [7, 13]. На территории Республики Коми коренные еловые леса занимают 16.2 млн га, что определяет их значимость в цикле углерода. Возрастная структура ельников региона на 80 % представлена спелыми и перестойными насаждениями [8]. В регулировании содержания углерода в лесу принимают участие все компоненты фитоценоза. Только при полном их охвате можно подойти к решению вопросов энергетических связей и круговорота веществ [2, 9].

Нижний ярус растительности играет важную роль в накоплении органического вещества и углеродном цикле в лесных экосистемах. В связи с этим целью работы было изучение видовой состав, определить надземную фитомассу и органический углерод напочвенного покрова в еловых фитоценозах.

Исследования проводили на территории Чернамского (62°00' с.ш., 50°20' в.д.) и Ляльского (62°17' с.ш., 50°40' в.д.) лесозоологических стационаров Института биологии Коми НЦ УрО РАН, расположенных в средней подзоне тайги. Объектами изучения



В. Тужилкина

были сообщества коренных ельников зеленомошного, черничного и чернично-сфагнового типов (см. таблицу). Геоботаническое описание и оценку обилия травяно-кустарничкового и мохового ярусов проводили по методике А.П. Шенникова [15]. Для определения надземной массы напоч-

венного покрова закладывались учетные площадки (повторность 40-кратная) размером 500 см². Зеленую часть срезали и разбирали по видам, высушивали и взвешивали. Пересчет запасов фитомассы растений напочвенного покрова на массу углерода осуществляли дифференцированно по ви-

Тужилкина Валентина Васильевна – к.б.н., с.н.с. отдела лесобиологических проблем Севера. E-mail: tuzhilkina@ib.komisc.ru. Область научных интересов: лесная экология, углеродный цикл, физиология древесных растений.

Таксационная характеристика еловых фитоценозов

Тип леса	Состав древостоя	Вид	Возраст, лет	Плотность деревьев, экз. га ⁻¹	Сумма площадей сечений, м ² га ⁻¹	Запас, древесины, м ³ га ⁻¹	Высота, м	Диаметр, см
Черничный	8Е1Пх1Б1ед.С	Ель	80-150	783	34.9	259	19	22
		Береза	60-100	83	1.5	14	17	12
		Сосна	100	17	0.8	6	22	21
		Пихта	100	83	4.6	35	19	25
		Всего		966	41.8	314		
Чернично-сфагновый	9Е1Б+С ед.Пх	Ель	106-200	595	2.0	177	16	20
		Береза	110	15	1.0	8	20	32
		Сосна	110	5	1.1	8	22	40
		Пихта	50	10	0.1	1	10	10
		Всего		625	24.2	194		
Зеленомошный	7Е2Б1С	Ель	70-200	1045	21.4	180	14	16
		Береза	130	390	8.5	68	16.0	14
		Сосна	170	30	1.5	18	20	27
		Всего		1465	31.4	266		

дам с применением коэффициентов, полученных нами ранее [6].

Ельник черничный произрастает на типичной подзолистой почве на суглинках [3]. Древостои представлены елью сибирской (*Picea obovata* Ledeb.), березой пушистой (*Betula pendula* Roth.), березой повислой (*Betula pubescens* Ehrh.) с примесью осины (*Populus tremula* L.) и пихты (*Abies sibirica* Ledeb.), редко встречается сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Травяно-кустарничковый ярус имеет синузальное строение, его образуют 16 видов растений, среди которых доминируют черника (*Vaccinium myrtillus*), брусника (*V. vitis-idaea*), линнея северная (*Linnaea borealis*), седмичник (*Trientalis europaea*), кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella*), майник двулистный (*Mainthemum bifolium*), княженика (*Rubus saxatilis*), грушанка средняя (*Pyrola media*). Моховой покров почти сплошной, образован в основном *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, встречаются также *Dicranum polyzetum*, *Polytrichum commune* и *Sphagnum* sp.

Ельник зеленомошный сформирован елью сибирской, березой пушистой и б. повислой. В составе древостоя имеется примесь сосны обыкновенной. Флористический состав травяно-кустарничкового яруса весьма беден, его образуют семь видов растений: черника, брусника, ожика волосистая (*Luzula pilosa*), хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum*), осока шаровидная (*Carex globularis*), майник двулистный, щучка извилистая (*Avenella flex*). Мохово-лишайниковый ярус сплошной, представлен следующими видами: *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Polytrichum commune*, *Ptilium crista-castrensis*, *Dicranum polyzetum*, *Sphagnum russowii*, *Rhytidadelphus triquetrus*, *Cladina aptosa*. Ельник зеленомошный формируется на тор-

фянисто-подзолисто-глеевой иллювиально-гумусовой почве двучленно-го механического состава.

Ельник чернично-сфагновый развивается на торфянисто-подзолисто-глеевой, супесчаной почве, подстилаемой суглинками [8]. В весенне-летнее время почва находится почти постоянно в переувлажненном состоянии. Древесный ярус состоит из ели сибирской, березы пушистой, сосны обыкновенной. В составе фитоценоза имеется примесь пихты сибирской (*Abies sibirica* L.). Травяно-кустарничковый покров с проективным покрытием 60-70 % представлен 20 видами, среди которых доминируют хвощ лесной, осока шаровидная, черника, брусника, линнея северная, майник, седмичник европейский, кислица обыкновенная, княженика. Моховой ярус (проективное покрытие 80-90 %) образован сфагновыми, зелеными мхами (*Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Dicranum polyzetum*), встречается *Polytrichum commune*. Флористический состав растений нижних ярусов свидетельствует об олиготрофных условиях. Фитоценоз входит в динамический ряд заболачивания ельников черничных [8].

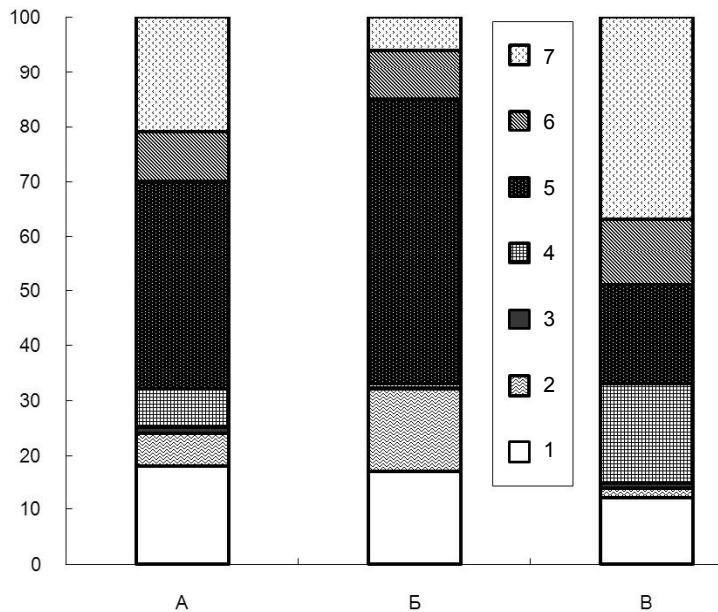
Ель как эдификатор еловых лесов оказывает влияние на видовой состав и структуру кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов [11, 14]. Ведущую роль в регулировании видового состава, строения и продуктивности травяно-кустарничкового яруса играют питательный и водно-воздушный режимы почвенной среды [4, 14]. В сообществах таежной зоны между корнями растений идет конкуренция за усвояемые формы азота. На развитие травянистой растительности еловых лесов оказывает влияние кислая почвенная среда. Так, в еловых сообществах зеленомошной группы, сопря-

женных с бедными и кислыми почвами, бореальные виды травянистых растений угнетаются деревьями и здесь устойчиво доминируют зеленые мхи [1]. Общая надземная фитомасса напочвенного покрова составляет 1.4-1.8 т/га в ельниках зеленомошной группы типов. Довольно близкие данные известны для среднетаежных спелых ельников зеленомошных [4, 10]. Кустарнички образуют 24-29, травянистые растения – 6-7, мхи – 70-71 % общей надземной фитомассы растений нижнего яруса. В чернично-сфагновом сообществе, развитом на торфяно-подзолисто-глеевой суглинистой почве с неблагоприятными условиями среды из-за переувлажнения и недостаточной аэрации, увеличивается видовой состав травянистых растений, среди мхов доминируют виды *Sphagnum*. Фитомасса надземных частей мхов существенно превышает массу трав и кустарничков и составляет 1.5 т/га, в ельниках зеленомошной группы типов леса – 1.0-1.3 т/га. Для ельника черничного северной тайги отмечены более высокие величины данного показателя – 4.3-4.9 т/га [4]. В лесах южных районов лесной зоны фитомасса мохового покрова значительно меньше. В ельниках зеленомошной группы типов (ельник кислично-черничный и е. чернично-кисличный) в условиях южной тайги фитомасса мхов варьирует в пределах 600-970 кг/га [1]. Масса мохового покрова широколиственных еловых лесов составляет лишь 150-400 кг/га [12]. Таким образом, фитомасса мохового яруса заметно увеличивается с юга на север. С продвижением на север ухудшаются почвенно-климатические условия, обуславливающие редкостойность древостоев северных лесов. В связи с этим создаются условия для развития напочвенного покрова, а именно

мохового яруса, за счет которого возрастает доля ассимилирующих частей в фитомассе.

При оценке продукционных процессов и баланса углерода в лесных экосистемах необходимы данные по содержанию углерода в различных органах растений и фракциях фитомассы. Согласно нашим данным, содержание углерода в травянистых растениях и кустарничках изменяется в пределах 41.9-53.4, мхов и лишайниках – 42.3-45.4 % сухой массы [6]. Запас органического углерода надземной фитомассы напочвенного покрова в ельнике зеленомошном составляет 685, черничном – 838, чернично-сфагновом – 856 кг С/га. Основную массу органического углерода аккумулируют мхи, на долю которых приходится около 70 % углерода напочвенного покрова, причем главными продуцентами органических веществ и углерода в ельнике чернично-сфагновом являются сфагновые мхи, а в зеленомошном и черничном типах еловых сообществ – зеленые (см. рисунок). Доля накопления органического углерода фитомассой кустарничков составляет 25, 32 и 12 % общего запаса в черничном, зеленомошном в чернично-сфагновом сообществах. Участие травянистых растений в образовании углерода надземной фитомассы нижнего яруса еловых фитоценозов невелико – 1-18 %.

Таким образом, среднетаежные коренные еловые фитоценозы характеризуются невысоким видовым разнообразием напочвенного покрова: 14-20 травяно-кустарничковых видов, 5-7 видов мхов. Травяно-кустарничковый и моховой ярусы отчетливо выражены. Для изучаемых сообществ характерно относительно сильное развитие мохового и слабое – травяно-кустарничкового ярусов. Запасы надземной фито-



Доля (%) черники (1), брусники (2), линнеи северной (3), травянистых растений (4), зеленых (5), политриховых (6) и сфагновых (7) мхов в общем запасе углерода растений напочвенного покрова в ельнике черничном (А), е. зеленомошном (Б) и е. чернично-сфагновом (В).

массы и углерода в растениях нижнего яруса еловых фитоценозов варьируют в зависимости от почвенно-экологических условий. Главными продуцентами органических веществ являются зеленые и сфагновые мхи.

С продвижением на север в связи с ухудшением почвенно-климатических условий наблюдается увеличение массы напочвенного покрова, в особенности мохового яруса, за счет которого возрастает доля ассимилирующих частей в фитомассе. Полученные нами данные о запасах углерода в фитомассе травяно-кустарничкового и мохового ярусов можно использовать при расчете балансовых характеристик углеродного цикла в среднетаежных еловых фитоценозах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахминова М.П. Некоторые закономерности строения и продуктивности яруса мхов // Структура и продуктивность еловых лесов южной тайги. Л., 1973. С. 270-277.
 2. Базилевич Н.И., Титлянова А.А. Биотический круговорот на пяти континентах: азот и зольные элементы в природных экосистемах. Новосибирск, 2008. 381 с.

А.С. Исаев, Г.Н. Коровин, В.И. Сухих и др. М., 1995. 155 с.

8. Коренные еловые леса Севера: биоразнообразие, структура, функции. СПб.: Наука, 2006. 337 с.

9. (Прокушкин С.Г.) Биомасса напочвенного покрова и подлеска в лиственничных лесах криолитозоны средней Сибири / С.Г. Прокушкин, А.П. Абаимов, А.С. Прокушкин и др. // Сиб. экол. журн., 2006. Т. 13, № 2. С. 131-139.

10. Русанова Г.В. Биологическая продуктивность и содержание химических элементов в фитомассе ельника-зеленомошника // Продуктивность и круговорот элементов в фитоценозах Севера. Л., 1975. С. 30-67.

11. Структура и продуктивность еловых лесов южной тайги / Под ред. В.Г. Карпова. Л.: Наука, 1973. 312 с.

12. Успенская И.М. Определение массы мохового покрова в биогеоценозах широколиственно-еловых лесов в связи с их парцеллярной структурой // Бот. журн., 1966. Т. LI, № 12. С. 1706-1707.

13. (Уткин А.И.) Леса России как резервуар органического углерода биосферы / А.И. Уткин, Д.Г. Замолодчиков, О.В. Честных и др. // Лесоведение, 2001. № 5. С. 8-23.

14. Факторы регуляции экосистем еловых лесов / Под ред. В.Г. Карпова. Л.: Наука, 1983. 318 с.

15. Шенников А.П. Введение в геоботанику. Л., 1964. 447 с. ❖

ИНФОРМАЦИЯ В НОМЕР

Уважаемые коллеги!

Приглашаем вас принять участие в международной научной конференции «Резервуары и потоки углерода в лесных и болотных экосистемах бореальной зоны», которая будет проводиться в Сыктывкаре с 26 по 30 сентября 2011 г.

Конференция ставит своей целью содействовать обмену знаниями по проблемам изучения биологической продуктивности, депонирования углерода в лесных и болотных экосистемах, моделирования углеродного цикла.

ХАРАКТЕРИСТИКА ДРЕВЕСНОГО ОПАДА И ЗАПАСЫ ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКИ В ЛИСТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЯХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

Лесная подстилка играет огромную роль в формировании лесных почв, влияет на ход почвообразовательного процесса и биологический круговорот веществ [2]. Формирование смешанных лиственно-хвойных насаждений в результате естественного лесовозобновления на месте рубок оказывает существенное влияние на состав, структуру и развитие вторичных биогеоценозов. Скорость разложения подстилки и опада в лиственных лесах выше, чем в хвойных [1, 2].

Исследования смешанных лиственно-хвойных насаждений проводили в 2004-2007 гг. на постоянных пробных площадях (ППП), заложенных согласно ОСТ 56-69-83, в Княжпогостском районе Республики Коми, окрестностях дер. Кылтово (62°19' с.ш. 50°55' в.д.). Изучали процессы формирования лесной подстилки в 12-летнем березово-еловом молодняке разнотравном (8Б2Е ед.С ед.Ос) и 43-летнем осиново-березовом насаждении разнотравного типа (5Ос4Б1Е ед.Пх)¹. До рубки на месте исследуемых насаждений произрастали 150-190-летние ельник чернично-долгомошный и ельник черничный с составом древостоя 8Е2Б, подростка – 10Е (по данным Кылтовского участкового лесничества ГУ РК «Железнодорожное лесничество»). Напочвенный покров березово-елового молодняка отличается высокой мозаичностью. Общее проективное покрытие (ОПП) – 100 %, в том числе трав – 30, кустарничков – 5, мхов – 65 %. На месте трелевочных волоков в молодняке развивается моховой покров преимущественно из сфановых мхов (проективное покрытие 80 %). Среди кустарничков здесь доминируют *Vaccinium myrtillus* и *V. vitis-idaea*, среди трав – злаки *Juncus filiformis* и *Agrostis tenuis*, среди мхов – *Polytrichum commune*, *Sphagnum* sp., *Hylocomium splendens*. Напочвенный покров осиново-березового насаждения (ОПП – 80) характеризуется менее развитым моховым покровом (20 %). Доминируют травы (40 %) и кустарнички (20 %).

Количество опада растений древесного яруса определяли 20 опадоуловителями размером 50×50 см. Опад собирали дважды (осень, весна) и разделяли на фракции. Учет количества опада растений напочвенного покрова проводился методом укуса на площадке размером 878.9 см² в 20-кратной повторности. Ежегодно отмирающую массу мхов принимали равной 70, черники – 100, брусники и линнеи – 30 % прироста, трав – 100 % фитомассы. Подстилку отбирали металлическим шаблоном (площадь 878.9 см²) в 20-кратной повторности [3, 6]. Скорость разложения растительного опада вычисляли с использованием капроновых мешочков (20×25 см) с размером ячейки 1 мм. Растительный опад закладывали в верхний слой лесной подстилки в 5-



Т. Пристова

10-кратных повторностях. Убыль в массе растительных остатков и их химический состав определяли по истечении 6 и 12 месяцев.

Химический состав растительного опада и подстилки изучен в аккредитованной экоаналитической лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН по метрологически аттестованным методикам количественного химического анализа (№ РОСС RU.0001.511257). Оценку содержания азо-

та и углерода в растительных и почвенных образцах проводили методом газовой хроматографии на автоматическом анализаторе азота ANA-1500 фирмы Карло Эрба (Италия). Содержание элементов (Ca, Na, K, Mg, Mn, Zn, Fe, Al, Cu) определяли методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (АЭС-ИСП) на Spectro Cirosc^{сод} (Германия).

Количество наземного древесного опада, поступающего ежегодно на поверхность почвы в березово-еловом молодняке, составляет 1289.68 ± 73.09, осиново-березовом насаждении – 2842.08 ± 42.54 кг/га (табл. 1). Значительная его часть (более 80.0 %) представлена листьями (хвоей). В листовом опаде молодняка доминируют листья березы (61.3 %), осиново-березового насаждения – листья березы (44.5 %) и осины (26.9 %). Древесный опад в исследуемых фитоценозах поступает в течение всего года, при этом большая его часть – в теплое полугодие. Так, в период с мая по октябрь на поверхность почвы березово-елового молодняка поступает 67 % среднегодового опада. Доля отдельных фракций от их среднегодового количества составляет для опада листьев (хвои) – 78, ветвей – 20, семян и шишек – 5 %. В теплое полугодие в осиново-березовом насаждении поступает 79 % среднегодового опада. Опад листьев (хвои) в этот период составляет – 96, ветвей – 47, семян и шишек – 5 % годового количества фракции опада. В холодное полугодие более половины опада представлено ветвями, семенами и шишками деревьев и связано с механическим воздействием ветра, дождя и снега [7]. Таким образом, легкоразлагающаяся часть опада поступает в подстилку в основном с мая по октябрь, трудноразлагающаяся – с октября по май. Годичный опад, поступающий на поверхность почвы в течение года, разлагается лишь частично. Относительно высокой скоростью разложения отличаются листья рябины, ивы и березы – около 40 % в год (табл. 2).

Запасы лесной подстилки в березово-еловом молодняке составляют 46.1, осиново-березовом насаждении – 40.0 т/га (табл. 1). Верхний подгоризонт подстилки А01 имеет меньший запас, чем нижний А02. Накопление органического вещества в А01 березово-елового молодняка составляет 37 %, осин-

Пристова Татьяна Александровна – к.б.н., н.с. отдела лесобиологических проблем Севера. E-mail: pristova@ib.komisc.ru. Область научных интересов: средняя тайга, лиственные насаждения, опад, подстилка.

¹ Состав древостоя определен на основе данных перечета на постоянных пробных площадях, проведенного сотрудниками отдела лесобиологических проблем Севера, включая автора, под руководством проф. К.С. Бобковой.

Таблица 1
Количество наземного древесного опада и запасов подстилки, абсолютно-сухая масса, кг/га (%)

Компонент опада	Березово-еловый молодняк	Осиново-березовое насаждение
Листья (хвоя)	1127.47 ± 461.88 (84.0)	2459.70 ± 647.78 (86.5)
береза	834.74 ± 13.79 (61.3)	1265.40 ± 58.26 (44.5)
ива	93.37 ± 8.74 (7.2)	282.76 ± 12.61 (9.9)
осина	12.66 ± 1.76 (1.0)	763.62 ± 24.97 (26.9)
рябина	86.30 ± 17.01 (6.7)	76.54 ± 3.93 (2.7)
ель	90.88 ± 11.69 (7.0)	69.46 ± 4.92 (2.4)
сосна	9.52 ± 1.76 (0.7)	1.67 ± 0.22 (0.1)
пихта	–	0.25 ± 0.04 (0.01)
Ветки	60.01 ± 6.95 (4.7)	246.33 ± 17.55 (8.7)
осина	22.94 ± 4.01 (1.8)	152.11 ± 12.56 (5.4)
ива	4.02 ± 0.60 (0.3)	22.43 ± 1.28 (0.8)
ель	27.45 ± 9.42 (2.1)	1.84 ± 0.27 (0.1)
береза	5.60 ± 0.82 (0.4)	69.95 ± 8.15 (2.5)
Соцветия	12.49 ± 1.55 (1.0)	1.36 ± 0.30 (0.05)
ива	0.54 ± 0.10 (>0.01)	1.33 ± 0.07 (0.05)
береза	0.10 ± 0.02 (>0.01)	0.03 ± 0.01 (>0.01)
Семена ели	1.63 ± 0.24 (0.1)	–
Шишки ели	10.22 ± 1.94 (0.8)	–
Кора березы	1.31 ± 0.21 (0.1)	1.71 ± 0.21 (0.1)
Труха	88.40 ± 4.49 (6.9)	132.98 ± 4.93 (4.7)
Всего древесного опада	1289.68 ± 73.09 (100)	2842.08 ± 42.54 (100)
Запас подстилки, т/га		
A0	46.1 ± 0.9 (100)	39.9 ± 8.8 (100)
A01	17.0 ± 0.9 (37)	15.0 ± 1.7 (38)
A02	28.7 ± 1.5 (63)	25.0 ± 10.7 (62)

Примечание: указаны средние величины за 2005-2007 гг. Для березово-елового молодняка и осиново-березового насаждения опадо-подстилочный коэффициент составляет 35.5 и 14.3 соответственно. Прочерк – указанный компонент опада отсутствует.

ново-березового насаждения приблизительно такое же – 38 % общего запаса подстилки. Значение опадо-подстилочного коэффициента ($K_{п}$) в березово-еловом молодняке составляет 35.7, осиново-березовом – 14.1, что позволяет судить о среднем уровне интенсивности биологического круговорота в исследуемых фитоценозах (табл. 1). Замедленный процесс разложения растительных остатков в густом березово-еловом молодняке также объясняется неблагоприятным водно-тепловым режимом.

Скорость разложения растительного опада находится в тесной связи с его химическим составом. Трансформация растительного опада в процессе разложения также определяется содержанием углеро-

Таблица 2
Среднегодовая скорость разложения опада и подстилки, %

Фракция опада	Осиново-березовое насаждение	Березово-еловый молодняк
Листья		
березы	46.13 ± 2.66	34.39 ± 6.38
ивы	51.70 ± 5.42	43.12 ± 7.34
рябины	–	46.6 ± 7.41
осины	49.63 ± 3.74	–
Зеленые мхи	–	13.99 ± 0.96
Злаки	–	47.70 ± 4.86
Разотравье	–	70.5 ±
A01	25.36 ± 5.58	23.86 ± 1.03

Примечание: здесь и далее прочерк – данные отсутствуют.

да и азота, соотношением C/N, C/P и уровнем содержания катионов [1]. Величина соотношения C/N в листовом опаде через год разложения значительно уменьшается (см. рисунок).

Содержание азота в исследуемых компонентах растительного опада колеблется от 0.59 ± 0.09 до 1.45 ± 0.22 %. Низкой концентрацией азота характеризуется древесный опад, особенно ветви деревьев, высокой – растения напочвенного покрова. Поскольку концентрация азота в компонентах опада не превышает 1.5 %, то весь азот, высвобождаемый в процессе разложения, связывается микроорганизмами. Минерализация азота при формировании подстилки в исследуемых фитоценозах не происходит, об этом свидетельствует соотношение C/N (более 20) в компонентах растительного опада (табл. 3). Минерализация фосфора наблюдается в нижнем подгоризонте подстилки (A02), где соотношение C/P составляет 90 и 111 в осиново-березовом насаждении и березово-еловом молодняке соответственно. Более активно минерализация фосфора происходит в осиново-березовом насаждении. В доминирующих компонентах годичного опада в первый год разложения происходит иммобили-

зация фосфора, так как соотношение C/P в них не превышает 501 [1]. Однако в ветвях деревьев соотношение C/P значительно выше (табл. 3), что позволяет сделать вывод об отсутствии процессов минерализации и иммобилизации фосфора в первый год разложения и затрудненной переработке древесины ветвей микроорганизмами [1].

Сумма элементов (Ca, Na, K, Mg, Mn, Zn, Fe, Al, Cu) в различных фракциях древесного опада березово-елового молодняка составляет 2.82-3.07 %. Чем выше их содержание, тем быстрее происходит разложение. Относительно высоким содержанием элементов отличаются листья лиственных пород и ветви осины. Максимальное количество перечисленных выше элементов химического состава в ветках осины определяется высоким уровнем накопления кальция – 2.49 % (81 % общей суммы оснований). Для некоторых фракций древесного опада характерен высокий уровень накопления того или иного элемента. Например, листья ивы отличаются относительно высоким накоплением калия (0.55 %), листья березы и осины – марганца и магния. Мхи (дикранум, хилокомиум и кукушкин лен) накапливают много алюминия (0.12-0.16 %), злаки – калия (1.3 %, или 50 % суммы оснований).

Для характеристики растительного опада не менее важно соотношение концентрации органического углерода и макроэлементов, таких как калий, магний и кальций. Существует обратная корреляционная зависимость между соотношениями C/K, C/Mg, C/Ca и биомассой микроорганизмов [6]. Чем

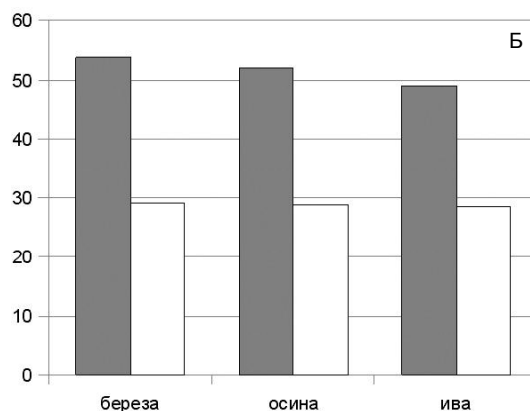
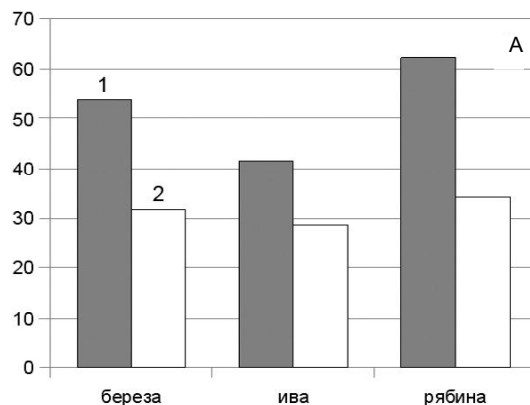
Таблица 3

Соотношение C/N, C/K, C/Mg, C/Ca и C/P в различных компонентах растительного опада лиственных насаждений

Компонент опада	Березово-еловый молодняк					Осиново-березовое насаждение				
	C/N	C/K	C/Mg	C/Ca	C/P	C/N	C/K	C/Mg	C/Ca	C/P
Листья (хвоя)										
березы	53.9	206.7	112.7	30.8	310.0	53.8	141.4	137.5	36.1	330.0
рябины	624.0	180.4	121.8	26.9	287.0	49.1	80.7	125.3	20.5	227.0
ивы	416.0	87.6	178.5	27.2	301.0	52.2	65.8	171.4	21.5	369.0
ели	5245.0	189.6	379.2	26.8	448.0	35.8	163.7	350.7	31.9	409.0
осины	489.0	111.1	163.0	26.0	349.0	52.1	117.1	200.0	23.2	480.0
Ветви осины	–	122.6	341.4	19.2	797.0	59.9	129.5	266.1	17.7	684.0
Злаки	–	33.2	269.4	105.1	239.0	–	–	–	–	–
<i>Polytrichum commune</i>	40.3	77.1	406.4	171.9	344.0	31.0	43.7	329.2	138.1	204.0
<i>Sphagnum</i> sp.	42.6	59.2	266.3	81.9	284.0	36.0	42.1	202.4	55.2	236.0
<i>Hylocomium splendens</i>	42.6	90.6	224.2	68.7	284.0	–	–	–	–	–

ниже величина соотношения углерода и указанных элементов, тем лучше развиваются микроорганизмы и, следовательно, выше скорость разложения. Согласно нашим данным (табл. 3), низкие величины соотношения C/K в березово-еловом молодняке отмечены для злаков, мхов и листьев ивы (от 33.2 до 90.6). Соотношение C/Mg минимально для листьев рябины и ивы (от 112.7 до 121.8), C/Ca – для листового опада в целом и ветвей осины (от 19.2 до 30.8). Величина соотношения C/K в растительном опаде осиново-березового насаждения ниже, чем в березово-еловом молодняке, C/Mg и C/Ca – приблизительно такая же. Следовательно, такие компоненты растительного опада, как листья рябины, березы и ивы способствуют увеличению скорости разложения опада в подстилке исследуемых лиственных биогеоценозов.

Таким образом, более 80% наземного древесного опада лиственно-хвойных насаждений представлено листьями и хвоей древесных растений. Величина опадо-подстилочного коэффициента указывает на средний уровень интенсивности биологического кру-



Соотношение C/N в листовом опаде до разложения (1) и через год после разложения (2) в березово-еловом молодняке (А) и осиново-березовом насаждении (Б).

говора в исследуемых фитоценозах и более замедленную скорость разложения подстилки в березово-еловом насаждении.

Выражаю благодарность проф. Ю.С. Бобковой, сотрудникам отдела лесобиологических проблем Севера и экоаналитической лаборатории «Экоаналит».

ЛИТЕРАТУРА

1. Аристовская Т.В. Микробиология процессов почвообразования. Л.: Наука, 1980. 183 с.
2. Богатырев Л.Г. О классификации лесных подстилок // Почвоведение, 1990. № 3. С. 118-127.
3. Карпачевский Л.О., Киселева Н.К. О методике учета опада и подстилки в смешанных лесах // Лесоведение, 1968. № 3. С. 73-80.
4. Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1968. 143 с.
5. Смирнов В.В. Сезонный опад в лесных биогеоценозах // Лесоведение, 1967. № 6. С. 62-75.
6. Zwolinski J. Microbial biomass Versus soil fertility in forest sites // Polish J. Ecol., 2004. Vol. 52, № 4. P. 553-561. ❖

ИНФОРМАЦИЯ В НОМЕР

Доклады на конференции «Резервуары и потоки углерода в лесных и болотных экосистемах бореальной зоны» представлены по следующим направлениям:

- продуктивность и круговорот органического углерода в лесах бореальной зоны;
- потоки углерода в почвах лесных экосистем;
- CO₂-газообмен растений в лесных фитоценозах;
- углеродный бюджет и его компоненты в болотах бореальной зоны.
- моделирование углеродного цикла лесных и болотных экосистем.

РАСТИТЕЛЬНЫЙ ОПАД КАК КОМПОНЕНТ БИОЛОГИЧЕСКОГО КРУГОВОРОТА УГЛЕРОДА В ЗАБОЛОЧЕННЫХ ХВОЙНЫХ СООБЩЕСТВАХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

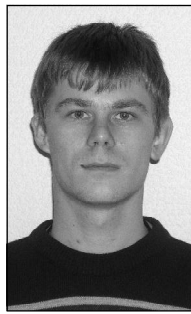
Поступление и разложение органического вещества – деструкционное звено углеродного цикла – обеспечивает возврат углерода в атмосферу, изъятого из нее растениями в ходе фотосинтеза [14]. В лесных экосистемах растительный опад играет важную роль в процессах почвообразования, биологическом круговороте углерода, азота и зольных элементов между фитоценозом и почвой. Под опадом понимают совокупность опавших в течение года на поверхность почвы листьев, хвои, ветвей, сучьев, коры, плодов и других остатков лесной растительности, или количество ежегодно отмирающего органического вещества на единицу площади. В составе общего опада растений различают листовой опад – опадающие части деревьев и кустарничков, опад растений напочвенного покрова и массу отмирающих корней (так называемый корнепад), сразу оказывающихся в толще почвогрунта и активно участвующих в процессах гумусообразования. Количество поступающего опада [15], его состав и интенсивность разложения [5] в значительной степени определяют характер формирования лесной подстилки, морфологию и свойства почвы [4, 12].

На территории Республики Коми хвойные экосистемы занимают около 25 млн га, из них примерно половина приходится на заболоченные типы сообществ [10]. Так, если изучению компонентов углеродного цикла хвойных экосистем на автоморфных почвах в рассматриваемом регионе посвящено достаточно большое количество работ, то заболоченные типы сообществ на полугидроморфных почвах в этом плане исследованы недостаточно. Цель настоящей работы – оценка компонентов, состава и процессов деструкции растительного опада в старовозрастных сосновых и еловых фитоценозах, развитых на болотно-подзолистых почвах в условиях средней тайги Республики Коми.

Работа выполнена на территории Ляльского (62°17' с.ш., 50°40' в.д.) лесоэкологического стационара Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Были заложены постоянные пробные площади, на которых проведен сплошной пересчет деревьев:

Состав древостоя	Возраст, лет	Плотность растущих деревьев, экз. га ⁻¹	Высота, см	Диаметр, см
10С+Е, Б, Ос	118	Сосняк чернично-сфагновый, почва торфянисто-подзолисто-глееватая иллювиально-железистая		
		1210	13	16
9Е1Б+С ед. Пх	106-200	Ельник чернично-сфагновый, почва торфянисто-подзолисто-глееватая		
		625	16	20

Количество опада растений древесного яруса определяли с помощью 15-20 опадоулавливателей размером 0.5×0.5 м [16]. В ельнике чернично-сфагно-



М. Кузнецов



А. Осипов

вом исследования проводились в течение 2005-2008 гг., сосняке – 2008-2010 гг. Растительные остатки собирали дважды в год весной и осенью и разделяли на фракции. Массу опада травяно-кустарничкового яруса и мхов определяли по их приросту. Ежегодно отмирающую массу мхов принимали равной 70, брусники – 30, черники и травянистых растений – 100 % прироста [16]. Опад корней растений травяно-кустарнич-

кового яруса был принят равным 1/4 их массы [2, 21]. Пересчет запасов опада и подстилки на массу углерода осуществляли по коэффициентам, свойственным отдельным фракциям [3]. Закладывали компоненты опада и лесную подстилку для оценки их разложения в капроновых мешочках в пятикратной повторности [22]. Запасы подстилки определяли, используя металлический шаблон (площадь 94.99 см²), в 25-кратной повторности. Содержание азота и углерода в подстилке определяли методом газовой хроматографии на автоматическом анализаторе азота ANA-1500 (фирма Карло Эрба) в аналитической лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН.

Известно, что поступление растительных остатков на поверхность почвы в лесных экосистемах происходит неравномерно и их видовая принадлежность сильно варьирует по месяцам. Согласно Л.О. Карпачевскому [8], в растительном опаде целесообразно выделить две фракции: активный (листья, хвоя, семена и пр.) и неактивный (ветви, кора, шишки).

Опад древостоя. В спелом сосняке чернично-сфагновом в среднем за три года наблюдений на поверхность почвы поступает 1.1 т га⁻¹ органической массы (0.6 т С га⁻¹) растительных остатков древостоя. На долю активной и неактивной фракций приходится 36-61 и 16-32 % соответственно, растительных остатков – 2-4, корней – 17-28 %. В зимне-весенний период поступает 26-34, летне-осенний – 66-74 % массы опада надземных органов древесных растений. В заболоченных сосновых фитоценозах Карелии масса опада древостоев составляет 2.5-3.8, насаждениях, развитых на автоморфных почвах, – 2.0-3.9 т га⁻¹ [7]. В среднетаежных сосняках Республики Коми с опадом древостоя поступает 1.8-3.6 т га⁻¹ органической массы [20]. В сосняках лишайниковых Сибири с опадом на поверхность почвы возвращается 0.6-1.3 т га⁻¹ органической массы [13].

В старовозрастном ельнике чернично-сфагновом за зимне-весенний период поступает 54, в течение сентября-октября – 24 и в летние месяцы – 22 % общей массы годового опада. Выявлено, что ежегодно на поверхность почвы в ельнике чернично-сфагновом с древесным опадом поступает

Кузнецов Михаил Андреевич – к.б.н., и.о. м.н.с. отдела лесобиологических проблем Севера. E-mail: kuznetsov_ma@ib.komisc.ru. Область научных интересов: *углеродный цикл в ельниках, экология леса, лесное почвоведение.*

2.6 т га⁻¹ органической массы (1.3 т С га⁻¹). Наибольшее его количество приходится на хвою, ветви и шишки ели, составляя 56.1, 11.4 и 9.9 % соответственно. Листья березы составляют 8.1, эпифитные лишайники – 3.7, кора ели и сосны – 1.7, листья осины, березы и сосны – 1.1, прочих компонентов – 12.9 %. Корнепад древесных растений составил 0.79 т С га⁻¹. В подзоне средней тайги с наземным древесным опадом в хвойно-лиственном насаждении черничного типа поступает 1.2 и ельнике черничном – 0.9 т С га⁻¹ [11].

Опад растений напочвенного покрова. Определенное количество углерода в заболоченных хвойных фитоценозах поступает за счет отмирания растений напочвенного покрова. В сосняке чернично-сфагновом с опадом растений напочвенного покрова поступает 2.38 т га⁻¹ органического вещества или 1.14 т С га⁻¹. Значительную часть формируют корни и надземные органы кустарничков – 65 и 25 % соответственно. На долю мхов, лишайников и трав приходится 10 % массы годового опада. Сходные количественные показатели характерны для опада напочвенного покрова заболоченных сосняков Карелии [7]. В указанных типах леса ежегодно с опадом напочвенного покрова поступает 1.3-1.7 т га⁻¹ органического вещества. В старовозрастных сосняках средней тайги Республики Коми ежегодное поступление опада растений напочвенного покрова составляет 0.9-1.9 т га⁻¹ [20].

В ельнике чернично-сфагновом с опадом травянистых растений на поверхность почвы поступает 1.5 т га⁻¹ органической массы (0.78 т С га⁻¹). Опад многолетних кустарничков, представленных черникой, брусничкой и линнеей северной, составляет 13.8, травянистых растений – 22.5, мхов, в основном сфагновых, – 53.2 %. Помимо надземных органов растений, в формировании подстилки принимают участие и их корни. Показано [2], что корни кустарничков и трав в ельниках, развитых на болотных почвах, распространяются главным образом в верхних горизонтах почвы на глубину 0-30 см и в горизонте АО концентрируется основная (более 80 %) их масса. Масса опада корней травяно-кустарничкового яруса составляет 10.6 % опада растений напочвенного покрова.

Растительный опад подвергается биологической трансформации в основном различными группами почвенных беспозвоночных, грибами и микроорганизмами. При этом одна часть его разлагается до CO₂, а другая переходит в лесную подстилку, которая служит основным источником почвенного органического вещества. Неблагоприятные гидротермические условия болотно-подзолистых почв хвойных сообществ обуславливают медленные процессы преобразования органического вещества и накопление его в виде лесной подстилки [6]. Деструкция растительного вещества в старовозрастных хвойных фитоценозах исследовалась на фракциях опада, играющих основную роль в его общей массе. Результаты показали, что в течение года наиболее интенсивно разлагается активная часть опада. В сосняке чернично-сфагновом листья березы за год теряют массу в процессе разложения на 36, хвоя сосны – 32 %. Неактивная фракция растительных остатков разлагается медленнее. Скорость разложения сосновых ветвей составляет 13, сосновой коры – 5 % в год.

В ельнике чернично-сфагновом деструкция листьев березы составила 30.8 % в год. Медленнее разлагается хвоя сосны и ели – 25.2 и 19.2 % соответственно из-за большего содержания в ней лигнина и смолистых веществ. Компоненты древесного опада, относящиеся к неактивной фракции, распадаются очень медленно. Так, потеря веса ветвей ели диаметром 3-5 мм за год равна 9.2 %, шишек – 3.9, коры – 2.6 %.

Запасы лесной подстилки. Учет содержания углерода в подстилке бореальных лесов является крайне важным при оценке углерод-депонирующей роли почв Севера [14, 17, 19]. Известно, что мощность, состав и запасы подстилки определяются главным образом условиями произрастания фитоценоза, в частности, типом леса, составом и бонитетом насаждения [8]. Режим увлажнения почвы является решающим фактором, обуславливающим интенсивность и направленность процессов минерализации и накопления лесной подстилки в хвойных сообществах [2].

Мощность лесной подстилки исследуемого сосняка составила 18.9 ± 5.4 см с запасом 75 т га⁻¹ (34 т С га⁻¹). Следует также отметить относительно равномерное распределение органической массы по трем подгоризонтам подстилки: в верхнем слое (A₀') органического горизонта накапливается 35, среднем ферментативном (A₀'') – 30, нижнем прогумусированном (A₀''') – 35 % общей ее массы. В чернично-сфагновом ельнике на торфянисто-подзолисто-глеватой почве мощность подстилки составила 13.1 ± 2.3 см с запасом 73.6 т га⁻¹ (26.6 т С га⁻¹). Распределение углерода по подгоризонтам следующее: в A₀', A₀'' и A₀''' накапливается 22, 38, 39 % общей его массы соответственно. Запасы подстилки в бореальных лесах изменяются очень широко: от 15 до 78 т га⁻¹ [1]. В спелых ельниках Республики Коми запасы подстилки варьируют от 26 до 77, сосняках – от 40 до 75 т га⁻¹ [2, 9]. В подстилках сосновых насаждений, развитых на автоморфных подзолистых почвах, в условиях средней тайги европейской части России накапливается в среднем 17.2, ельниках – 10.6 т С га⁻¹ [19]. В среднетаежных сосняках черничных и с брусничных Карелии [18] лесная подстилка мощностью 3-9 см формирует 21-48 т га⁻¹ органической массы (11-24 т С га⁻¹). В условиях Швеции подзолы хвойных сообществ в подстилке запасают в среднем 28 т С га⁻¹ [23].

Таким образом, на поверхность почвы в заболоченных старовозрастных хвойных сообществах поступает 1.8-2.8 т С га⁻¹год⁻¹ растительного опада, представленного преимущественно неактивной фракцией и опадом хвой, содержащей лигнин и смолистые вещества. Неблагоприятные гидротермические условия болотно-подзолистых почв ограничивают деятельность почвенных редуцентов и приводят к ослаблению интенсивности разложения растительных остатков, замедленному высвобождению вещества и энергии. Все это приводит к накоплению органического вещества в виде довольно мощной подстилки с запасом 27-34 т С га⁻¹.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биенковски П., Титлянова А.А., Шибарева С.В. Трансформационные процессы в подстилках бореальных лесов // Сиб. экол. журн., 2003. Т. 10, № 6. С. 707-713.

2. Бобкова К.С. Биологическая продуктивность хвойных лесов европейского Северо-Востока. Л.: Наука, 1987. 156 с.

3. Бобкова К.С., Тужилкина В.В. Содержание углерода и калорийность органического вещества в лесных экосистемах Севера // Экология, 2001. № 1. С. 69-71.

4. Богатырев Л.Г. Образование подстилок – один из важнейших процессов в лесных экосистемах // Почвоведение, 1996. № 4. С. 501-511.

5. Ведрова Э.Ф. Разложение органического вещества лесных подстилок // Почвоведение, 1997. № 2. С. 216-223.

6. Зобова И.В. Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар, 1975. 344 с.

7. Казимиров Н.И. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах европейского Севера / Н.И. Казимиров, А.Д. Волков, С.С. Зябченко и др. Л.: Наука, 1977. 304 с.

8. Карпачевский Л.О. Лес и лесные почвы. М., 1981. 264 с.

9. Коренные еловые леса Севера: биоразнообразие, структура, функции / Отв. ред. К.С. Бобкова, Э.П. Галенко. СПб.: Наука, 2006. 337 с.

10. Леса Республики Коми / Под ред. Г.М. Козубова, А.И. Таскаева. М., 1999. 332 с.

11. Машика А.В. Динамика содержания органического углерода в почвах еловых лесов подзоны средней тайги: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2005. 20 с.

12. Основы лесной биогеоценологии / Под ред. В.Н. Сукачева и Н.В. Дылиса. М.: Наука, 1964. 575 с.

13. (Плешиков Ф.И.) Лесные экосистемы Енисейского меридиана / Ф.И. Плешиков, Е.А. Ваганов, Э.Ф. Ведрова и др. Новосибирск, 2002. 356 с.

14. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России / Отв. ред. Г.А. Заварзин. М.: Наука, 2007. 315 с.

15. Родин Л.Е., Базилевич Н.И. Динамика органического вещества и биологический круговорот в основных типах растительности Земного шара. М.-Л.: Наука, 1965. 256 с.

16. Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1968. 143 с.

17. (Рожков В.А.) Запасы органических и минеральных форм углерода в почвах России / В.А. Рожков, В.В. Вагнер, Б.М. Козут и др. // Углерод в биогеоценозах. М., 1997. С. 5-58.

18. 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.

19. Честных О.В., Лыжин В.А., Кокшарова А.В. Запасы углерода в подстилках лесов России // Лесоведение, 2007. № 6. С. 114-121.

20. Эколого-физиологические основы продуктивности сосновых лесов европейского Северо-Востока / Под ред. К.С. Бобковой. Сыктывкар, 1993. 176 с.

21. Dahlman R.C., Kuceera C.L. Root productivity and turnover in native prairie // Ecology, 1965. Vol. 46, № 1-2. P. 102-105.

22. 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. Vol. 4, № 1-2. P. 80-87.

23. Olsson M.T., Erlandsson M., Lundin L. Organic carbon stocks in Swedish podzol soils in relation to soil hydrology and other site characteristics // Silva Fennica, 2009. Vol. 43, № 2. P. 209-222. ❖



ЮБИЛЕЙ

Поздравляем **Алексея Леонардовича Федоркова** с 55-летием!

Алексей Леонардович родился в пос. Каменка Мезенского района Архангельской области. Его трудовая деятельность после окончания в 1979 г. факультета лесного хозяйства Архангельского лесотехнического института начиналась в Вилегодском лесхозе в должности инженера лесного хозяйства. В Сыктывкар он приехал в 1981 г. и поступил работать в Министерстве лесного хозяйства Коми АССР, а с 1982 по 1989 г. возглавлял лесосеменную станцию Сыктывкарского лесхоза. В 1989-1996 гг. он руководил Мурманской региональной лабораторией Института леса и лесохимии. После окончания в 1990 г. заочной аспирантуры в Коми НЦ УрО РАН Алек-

сей Леонардович успешно защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук в диссертационном совете при Московском университете леса. Нынешний год стал для него знаменательным вдвойне – им завершена подготовка и успешно защищена в Институте лесоведения РАН докторская диссертация.

В отделе лесобиологических проблем Севера Института биологии Алексей Леонардович работает с 1996 г. Основным направлением его исследований является лесная генетика и селекции, воздействие стрессовых факторов на рост древесных растений, интродукция древесных пород-экзотов на Севере. По материалам исследований опубликовано более 50 работ, в том числе статьи в зарубежных изданиях. Работы Алексея Леонардовича известны далеко за пределами России, он неоднократно проходил стажировки за рубежом и продолжает развивать научные связи со специалистами европейских стран. А.Л. Федорков является прекрасным организатором научных мероприятий – организованные под его руководством международные совещания селекционеров и генетиков в Сыктывкаре получили высокую оценку со стороны зарубежных специалистов. Много внимания Алексей Леонардович уделяет подготовке кадров, с 1997 г. читает курс лекций и проводит практические занятия по генетике и селекции в Сыктывкарском лесном институте. Под его руководством выполнена и защищена кандидатская диссертация одного из аспирантов Института.

От всей души поздравляем Алексея Леонардовича с юбилеем и желаем ему достижения новых творческих вершин, крепкого здоровья и семейного благополучия!

Сотрудники отдела лесобиологических проблем Севера

ОБЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ ВОДЫ В ХВОЕ ЕЛИ В ЕЛЬНИКЕ ЧЕРНИЧНО-СФАГНОВОМ СРЕДНЕЙ ПОДЗОНЫ ТАЙГИ

В отделе лесобиологических проблем Севера в течение многих лет проводятся исследования водного режима в хвойных и хвойно-лиственных фитоценозах таежной зоны. Водный режим характеризуется многими параметрами: это транспирация, оводненность, водный дефицит, водный потенциал, устьичное сопротивление. Каждый из них играет определенную роль в общей транспортной системе на отрезке почва–растение–атмосфера. Общий запас влаги в листе или оводненность, а также водный дефицит являются теми характеристиками, которые определяют внутренний водный баланс растения, дают возможность судить о скорости расхода влаги и об активности ее поглощения корневой системой.

Исследования проводили в течение вегетационных сезонов 2006–2008 гг. в ельнике чернично-сфагнового типа, развитом на торфянисто-подзолисто-глееватой супесчаной почве, подстилкой суглинками. Состав древостою 9Е1Б+С+Пх. Возраст деревьев ели от 100 до 200 лет, средняя высота 16 м и средний диаметр 20 см. По погодным условиям вегетационный сезон 2006 г. характеризовался теплым маем, июнем и сентябрем, в июле температура выше нормы была только во второй декаде, осадки выше нормы выпали в июне и сентябре. В 2007 г. теплыми были май, июль, август и сентябрь, дождливым выдался август. В 2008 г. холодными были май, июнь и август, в июле три недели стояла очень жаркая погода, а наибольшее количество осадков выпало в августе. Температура и влажность воздуха в дни наблюдений были в пределах 21–28 °С и 43–66 % соответственно. Оводненность хвои определяли термовесовым методом путем высушивания ее в сушильном шкафу при температуре 100–105 °С в течение 24 ч. Расчет содержания воды в сырой массе растительного образца проводили в двух-трехкратной повторности. Ветки срезают в период с 10 до 15 ч. Водный дефицит хвои находили как разность между наибольшим содержанием воды после насыщения и реальным ее содержанием в хвое.

Разные исследователи по поводу общего содержания воды в растении высказывали довольно противоречи-

вые мнения. Так, Н.А. Гусев [5] утверждал, что как избыточное, так и недостаточное водоснабжение деревьев вызывает снижение общего содержания воды в листе, Ю.А. Новицкая [11] считала, что между запасом влаги в почве и оводненностью ассимиляционного аппарата не существует определенной зависимости. В листьях древесных пород воды содержится больше в начале вегетационного периода, чем в конце [2]. Известно также, что для перезимовавшей хвои вечнозеленых растений в начале вегетационного сезона отмечается более низкое содержание влаги, которое постепенно увеличивается к середине лета. Причина такого перераспределения влаги заключается в затруднении снабжения подземных органов влагой в условиях медленного оттаивания и прогревания почвы весной, т.е. транспирационная деятельность хвои опережает начало активной деятельности корневой системы. Снижение влажности перезимовавшей хвои объясняется также интенсивным ростом молодых побегов и оттоком воды в растущие органы растения. Осенью в древесных растениях увеличивается проницаемость клеток и количество нерастворимых коллоидов, в связи с чем повышается содержание связанной и уменьшается количество свободной воды [7, 9].

Величина оводненности хвои ели (см. рисунок) первого года в ельнике чернично-сфагновом лежит в пределах 60–65 % (при частоте встречаемости около 50 %), второго года – 50–55 % (при частоте встречаемости до 40 %). Оводненность хвои первого года имеет тенденцию снижаться от июня к августу, особенно это заметно в начале вегетационного периода, затем количество воды в хвое постепенно стабилизируется, в хвое второго года жизни этот показатель меняется незначительно (около 4 %) в сторону увеличения от весны к осени. Таким образом, различия в сезонном содержании влаги в двухлетней хвое достоверны. Содержание воды в хвое текущего года колеблется в пределах от 59.3 до 79.1 %, в хвое второго года – от 50.8 до 56.8. В целом, оводненность



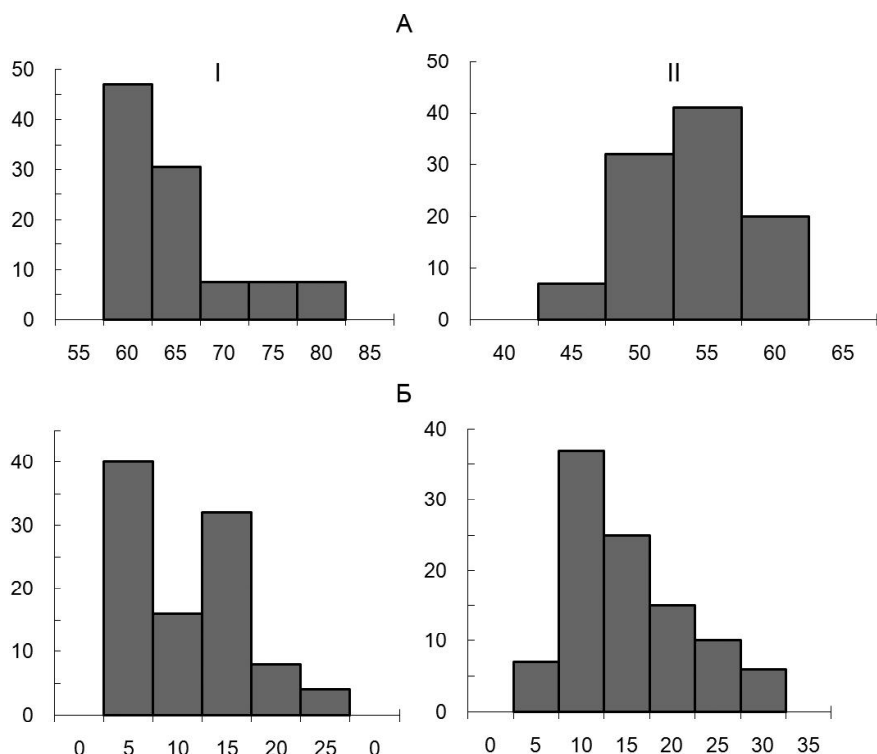
С. Сенькина

хвои ели изменяется незначительно в течение вегетационного сезона, что свидетельствует о гидростабильности этой породы. В начале вегетационного периода оводненность в хвое первого года жизни выше, так как в ней в этот период происходят наиболее активные метаболические процессы.

Эти изменения, как уже говорилось выше, происходят из-за уменьшения водопоглощающих и вододерживающих свойств биокolloидов тканей растений. В разные по погодным условиям годы содержание влаги в хвое первого года составило 63.2 ± 1.3 (2008 г.), 70.9 ± 0.5 (2007 г.) и 67.3 ± 1.8 % (2006 г.). Оводненность хвои второго года жизни – 55.5 ± 1.1 , 52.8 ± 0.7 и 53.3 ± 0.4 % соответственно. В среднем потенциальное содержание влаги в хвое ели в ельнике чернично-сфагновом составляет около 7.9 т/га, или 0.8 мм водного слоя/га.

Недостаток влаги в растении вызывает значительные изменения во многих физиологических процессах. Водный дефицит может достигать значительных величин как в период с высоким содержанием влаги в почве, так и в засушливые периоды. Он может быть вызван или слишком медленным поглощением, или слишком быстрой потерей воды, а чаще всего – сочетанием того и другого, что приводит к нарушению водного баланса в целом [1]. Стабильность недостатка влаги в хвое указывает на тенденцию к постоянству не оводненности, а только количества свободной воды, расходуемой на транспирацию, так как динамика водного дефицита представляет собой изменения только подвижной, так называемой свободной воды [8]. Водный дефицит может меняться не только вследствие убыли воды в листьях, но и вследствие изменения гидрофильности сухого вещества. Большинство растений за ночь целиком не восполняют потерянную днем влагу и даже в утренние часы бывают недонасыщены водой [4]. Характерный признак устойчивого водного дефицита – сохранение его в утренние часы.

Встречаемость величины водного дефицита в хвое ели первого года жизни более чем в 40 % случаев со-



Величина (%; по горизонтали) оводненности (А) и водного дефицита (Б) хвои первого (I) и второго (II) годов жизни. По вертикали – частота встречаемости, %.

ставляет от 5 до 15 %, хвое второго года присущ водный дефицит порядка 10-20 % также более чем в 35 % случаев встречаемости (см. рисунок). Водный дефицит хвои как текущего, так и второго года жизни имеет наибольшую величину в июле, затем к осени он снижается, причем эта тенденция наиболее выражена у хвои первого года жизни. Недостаток влаги в хвое первого года жизни колеблется в пределах от 5.1 до 11.3 %, в хвое второго года жизни – от 8.4 до 13.9. В разные по погодным условиям годы водный дефицит как в хвое первого (от 8.0 ± 0.8 до 8.3 ± 1.3), так и второго (от 11.3 ± 1.1 до 12.9 ± 0.6) года жизни достаточно стабилен.

Итак, водный дефицит в хвое ели так же, как и оводненность, изменяется незначительно как в течение вегетационного сезона, так и в разные по погодным условиям годы. Показатели водного дефицита в хвое ели в два-

три раза меньше известных сублетальных величин [1, 10]. Сезонная динамика водного дефицита кроме биологических особенностей самих растений обусловлена доступной влагообеспеченностью почвы и метеорологическими условиями в годы наблюдений. Доступность поглощения воды определяется как свойствами почвы, так и содержанием доступной влаги в ней, а также экологическими факторами, которые напрямую влияют на процесс испарения влаги (транспирацию). Следует отметить, что условия влажности почв в исследуемых древостоях за все годы исследований в летний период были благоприятными. В целом, среднетаежная подзона относится к области достаточного увлажнения. Максимальная влагозарядка почвы имеет место весной за счет зимних осадков [3, 6].

Таким образом, небольшой размах варьирования содержания воды в

хвое ели в ельнике чернично-сфагновом средней подзоны тайги свидетельствует об устойчивости его водного режима, а наличие водного дефицита является показателем способности данного вида регулировать свой водный баланс и адаптироваться к условиям среды обитания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абражко В.И. Сравнительные исследования водного режима древостоев ели // Факторы регуляции экосистем еловых лесов. Л., 1983. С. 118-127.
2. Абражко В.И. Водный режим сообществ еловых лесов: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. СПб., 1998. 46 с.
3. Бобкова К.С. Биологическая продуктивность хвойных лесов европейского Северо-Востока. Л., 1987. 156 с.
4. Бобровская Н.И. Водный режим растений степей и пустынь Монголии. СПб., 1991. 154 с.
5. Гусев Н.А. О водообмене и состоянии воды растений // Водный режим растений в связи с разными экологическими условиями. Казань, 1978. С. 293-309.
6. Забоева И.В. Почвенно-экологические условия еловых сообществ // Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера. СПб., 2001. С. 112-131.
7. Кабулов С.К. Приспособление растений к дефициту влаги. Ташкент, 1981. 96 с.
8. Колытова Л.Д., Паутова В.Н. О взаимосвязи отдельных показателей состояния и обмена воды в растениях // Эколого-физиологические основы повышения продуктивности степных пастбищ Забайкалья. Иркутск, 1980. С. 60-78.
9. Курбатский Н.П. Сезонные изменения влажности хвои у вечнозеленых древесных пород тайги // Лесоведение, 1972. № 2. С. 44-50.
10. Лархер В. Экология растений. М., 1978. 384 с.
11. Новицкая Ю.Е. Направленность физиолого-биохимических процессов в хвое и побегах ели в условиях Севера. Л., 1971. 116 с. ❖

ИНФОРМАЦИЯ В НОМЕР

Организаторы конференции «Резервуары и потоки углерода в лесных и болотных экосистемах бореальной зоны»: Институт биологии Коми научного центра УрО РАН, Институт лесоведения РАН, Проект ПРООН/ГЭФ ООПТ Республики Коми.

Конференция будет проходить в г. Сыктывкар на базе Института биологии Коми научного центра УрО РАН. Сыктывкар является административным центром Республики Коми и связан с Москвой и Санкт-Петербургом ежедневными рейсами самолетов и поездов.

**СТРУКТУРА, СОДЕРЖАНИЕ ПИГМЕНТОВ И ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ
ХВОИ МОЖЖЕВЕЛЬНИКА ОБЫКНОВЕННОГО
НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ**

Можжевельник обыкновенный (*Juniperus communis* L.) – циркумбореальный вид, образующий подлесок в разных типах хвойных и хвойно-лиственных фитоценозов на северо-востоке европейской части России [5]. Этот вид является светолюбивым, мало требовательным к условиям произрастания [7], устойчивым к засухе и затоплению, но предпочитающим умеренное увлажнение [13]. Однако при таком широком распространении закономерности развития фотосинтетического аппарата можжевельника изучены недостаточно. Цель данной работы заключалась в том, чтобы охарактеризовать сезонные изменения структуры, содержания пигментов и скорости фотосинтеза хвои данного вида, произрастающего под пологом древостоя в ельнике чернично-сфагновом.



Н. Герлинг

Сбор материала проводили в 2007-2008 гг. на территории Ляльского лесозоологического стационара Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Структура чернично-сфагнового елового фитоценоза описана ранее [3]. Для морфометрических исследований отбирали в течение вегетационного периода по 10 однолетних побегов с пяти кустов можжевельника. Для изучения анатомической структуры образцы хвои фиксировали в 70%-ном растворе этилового спирта, срезы готовили на вибрационном микротоме для мягких тканей по методике В.Б. Скупченко [9]. Готовые препараты просматривали в световом микроскопе «Axiovert 200 M» (Karl Zeiss, Германия). Для изучения ультраструктуры срезы готовили на ультрамикротоме «Tesla BS 490 A» (Tesla, Чехословакия) и просматривали с помощью электронного микроскопа «Tesla BS 500» (Tesla, Чехословакия). Морфометрию клеток проводили по методике В.Б. Скупченко [10]. Для определения содержания пигментов образцы хвои фиксировали кипячением 100%-ным ацетоном [8]. Содержание фотосинтетических пигментов в ацетоновых вытяжках определяли на спектрофотометре UV-1700 (Shimadzu, Япония). Долю хлорофиллов в светосо-

бирающем комплексе (ССК) рассчитывали по формуле $1.2 \cdot C(\text{хл } b) + C(\text{хл } b) / (C(\text{хл } a) + C(\text{хл } b))$ [14]. Видимый фотосинтез однолетней хвои у можжевельника обыкновенного измеряли инфракрасным газоанализатором «Li-Cor 6400» (Li-Cor, США). В таблицах и на рисунках приведены среднеарифметические значения и их относительные погрешности.

Длина хвои *Juniperus communis* варьирует по годам и составляет 12-13 мм. Количественные показатели анатомической структуры хвои можжевельника обыкновенного, сформированной в разные годы, оказались достаточно стабильными. Наибольший парциальный объем в хвое занимает мезофилл (61.2 %). Объем проводящего цилиндра, смоляных каналов и покровных тканей составляет 8.4, 3.7 и 27.0 % соответственно.

Более динамичной в течение сезона были количественные показатели ультраструктуры клеток мезофилла. В апреле-мае основной объем в клетках занимала гиалоплазма с органеллами, центральная вакуоль отсутствовала. Однако в течение лета объем вакуолей увеличивался, достигая максимальной величины в августе. Согласно современным представлениям в ботанике, развитие вакуоли в ассимилирующих клетках листа регулируется фотосинтетической деятельностью пластид [1], возможно поэтому увеличение количества образующихся фотоассимилятов вызывает заметное возрастание объема центральной вакуоли во второй половине лета. В августе с прекращением ростовых процессов у растений часть фотоассимилятов запасается в клеточных оболочках и включениях цитоплазмы, объем которых возрастает. Глобулы запасных веществ, образованные липидами и полисахаридами, зимой подвергаются гидролизу, что оказывает стабилизирующее влияние на метаболизм клеток [4]. В летние месяцы в клетках мезофилла хлоропласты располагались вдоль клеточной оболочки, а к концу вегетационного сезона с уменьшением парциальных объемов вакуолей перемещались в центр клетки,

Таблица 1

Характеристика ультраструктуры хлоропластов и митохондрий в клетках мезофилла хвои можжевельника обыкновенного

Месяц	Хлоропласты		Митохондрии	
	А	Б	А	В
Март	14 ± 0.3	5.0 ± 0.3	24 ± 0.3	0.5 ± 0.1
Май	17 ± 0.3	6.6 ± 0.4	26 ± 0.2	0.7 ± 0.1
Июнь	19 ± 0.2	9.5 ± 0.3	32 ± 0.2	0.6 ± 0.2
Август	17 ± 0.3	9.3 ± 0.2	29 ± 0.3	0.7 ± 0.2
Сентябрь	17 ± 0.4	11.8 ± 0.3	26 ± 0.3	0.9 ± 0.1

Примечание: А – число на срез клетки, шт., Б – площадь среза без крахмала, мкм², В – диаметр, мкм.

Таблица 2

Сезонная динамика содержания зеленых пигментов и их доля (ДП) в светособирающем комплексе хвои можжевельника обыкновенного, 2008 г.

Месяц	Хлорофилл, мг г ⁻¹ сырой массы		Соотношение а и б	ДП, %
	а	б		
Апрель	1.1 ± 0.03	0.4 ± 0.08	2.78 ± 0.07	58
Май	1.2 ± 0.01	0.4 ± 0.03	2.68 ± 0.03	59
Июнь	1.4 ± 0.03	0.5 ± 0.03	2.75 ± 0.02	58
Июль	1.5 ± 0.06	0.5 ± 0.07	2.91 ± 0.02	57
Август	1.5 ± 0.03	0.5 ± 0.05	3.00 ± 0.05	56
Сентябрь	1.4 ± 0.02	0.5 ± 0.03	2.67 ± 0.04	55

Герлинг Наталья Владимировна – к.б.н., инж. I категории отдела лесобиологических проблем Севера. E-mail: gerling1@gambler.ru. Область научных интересов: *структурно-функциональная организация хвойных растений.*

что характерно для многих зимнезеленых видов растений. К концу вегетационного сезона хлоропласты в клетках мезофилла можжевельника обыкновенного теряют правильную линзовидную форму. Изменение формы приводит к увеличению площади поверхности оргanelл и эффективности обмена с цитоплазмой в условиях низких температур [6].

Согласно нашим исследованиям, весной в клетках мезофилла хвой можжевельника обыкновенного число хлоропластов ниже, чем осенью. Возможно, это связано с частичным разрушением пластид в зимний период. Самые мелкие хлоропласты в хвое можжевельника обыкновенного отмечены в марте, в них отсутствовал крахмал, но гранальная система была хорошо развита (табл. 1). Число и размеры пластид возрастали в июле и в дальнейшем оставались без существенных изменений. Более заметные изменения происходили в гранальной структуре хлоропластов. Так, число тилакоидов в гранах с июня по август возрастало в два раза. Максимальное накопление крахмала в пластидах хвой можжевельника происходило в июне, а к осени оно снижалось. Отмечено увеличение числа митохондрий в 1.5 раза в осенний период. Сходная динамика отмечена ранее в хвое ели сибирской [4] и сосны обыкновенной [2].

Низкое содержание хлорофиллов *a* и *b* в хвое можжевельника в ранневесенний период связано с их частичным разрушением зимой. По мере восстановления ультраструктуры хлоропластов в течение лета количество пигментов также постепенно возрастало и достигало максимума в августе (рис. 1). Обильное выпадение осадков в течение длительного периода приводило к снижению содержания хлорофиллов. Другие авторы максимум зеленых пигментов в ассимиляционном аппарате у хвойных растений отмечают осенью [12, 13]. Соотношение хлорофиллов *a* и *b* возрастало в августе, что обусловлено в большей степени накоплением хлорофилла *a* в развивающихся тилакоидах гран (табл. 2). В хвое можжевельника высокая доля хлорофилла в составе светособирающего комплекса (ССК) была отмечена в мае, когда суммарное содержание зеленых пигментов еще оставалось низким. Увеличение доли зеленых пигментов, входящих в состав ССК, на фоне низкой их концентрации в листьях считается адаптивным свойством арктических растений и направлено на их выживание в условиях низких температур [6].

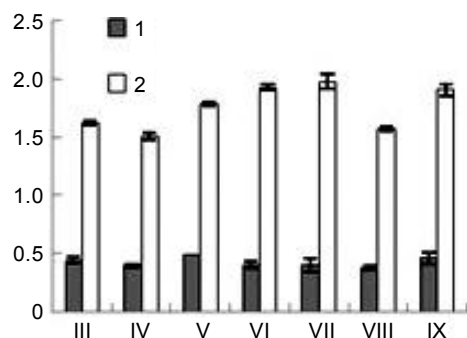


Рис. 1. Содержание (мг г⁻¹) каротиноидов (1) и хлорофилла (a+b) (2) в однолетней хвое можжевельника обыкновенного в марте-сентябре (III-IX) 2008 г.

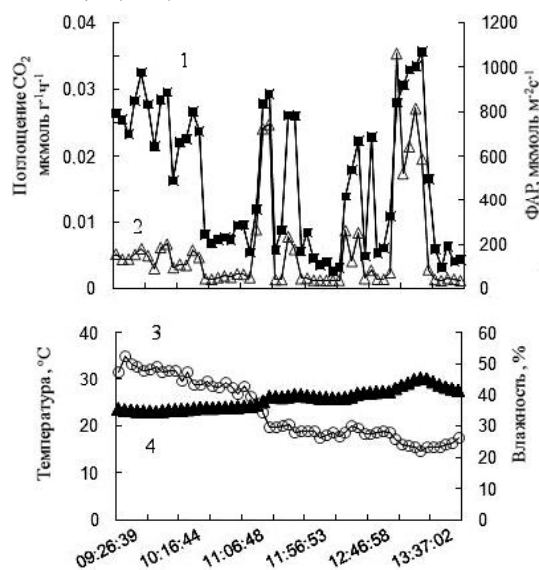


Рис. 2. Дневная динамика интенсивности CO₂-газообмена (1) хвой можжевельника обыкновенного, интенсивности ФАР (2), влажности (3) и температуры воздуха (4). 2 июля 2008 г. (переменная облачность).

Можжевельник обыкновенный, произрастающий под пологом древостоя в ельнике, характеризуется относительно высокой фотосинтетической активностью. При оптимальной температуре (16-19 °С) и влажности воздуха (50-70 %) величина видимого фотосинтеза достигала 0.040 мкмоль CO₂ г⁻¹ч⁻¹ (или 2.2 мг CO₂ г⁻¹ч⁻¹) (рис. 2), что соизмеримо с фотосинтезом других видов хвойных растений, произрастающих в средней тайге. Ле-

том послеполуденной депрессии фотосинтеза *Juniperus communis* не наблюдали. Проведение корреляционного анализа показало тесную зависимость скорости видимого фотосинтеза от величины ФАР практически во все дни наблюдений (0.68-0.8). В течение вегетационного сезона максимальные значения интенсивности фотосинтеза хвой можжевельника отмечали в августе, что совпало с наибольшим накоплением хлорофиллов и развитием гранальной структуры хлоропластов в хвое. В сентябре со снижением интенсивности солнечной радиации, температуры воздуха и повышением суммы осадков скорость фотоассимиляции CO₂ хвоей падала. Однако согласно другим авторам, у хвойных ра-

стений оптимальное функциональное состояние фотосинтетического аппарата и более высокая величина максимального квантового выхода фотосистемы II наблюдается в сентябре [13].

Таким образом, полученные нами данные свидетельствуют о том, что сезонные изменения в ультраструктуре клеток мезофилла тесно связаны с динамикой количества пластидных пигментов и фотосинтетической активности однолетней хвой можжевельника обыкновенного.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гамалей Ю.В. Вакуум растений // Усп. совр. биол., 2006. Т. 126, № 4. С. 348-365.
2. Загирова С.В. Структура ассимиляционного аппарата и CO₂-газообмен у хвойных. Екатеринбург, 1999. 108 с.
3. Коренные еловые леса Севера: биоразнообразие, структура, функции / Отв. ред. К.С. Бобкова, Э.П. Галенко. СПб.: Наука, 2006. 337 с.
4. Ладанова Н.В., Тужилкина В.В. Структурная организация и фотосинтетическая активность хвой ели сибирской. Сыктывкар, 1992. 100 с.
5. Леса Республики Коми / Под ред. Г.М. Козубова, А.И. Таскаева. М., 1999. 332 с.
6. (Маслова Т.Г., Попова И.А.) Maslova T.G., Popova I.A. Adaptive properties of the plant pigment

systems // *Photosynthetica*, 1993. Vol. 29. P. 195-203.

7. *Нестерович Н.Д., Дерюгина Т.Ф., Лучков А.И.* Структурные особенности листьев хвойных. Минск: Наука и техника, 1986. 143 с.

8. (*Сапожников Д.И.*) Метод фиксации и хранения листьев для количественного определения пигментов пластид / *Д.И. Сапожников, Т.Г. Маслова, О.Ф. Попова* и др. // *Бот. журн.*, 1978. Т. 63, № 11. С. 1586-1592.

9. *Скупченко В.Б.* Вибрационная микротомия мягких тканей. Сыктывкар, 1979. 56 с. – (Сер. Новые науч. методики / Коми фил. АН СССР; Вып. 2).

10. *Скупченко В.Б.* Морфометрия на экране электронного микроскопа // *Бот. журн.*, 1990. Т. 75, № 10. С. 1463-1467.

11. *Сычева З.Ф.* Физиолого-биохимические основы роста и адаптации сосны на Севере. Л.: Наука, 1985. 157 с.

12. (*Шерстнева О.А.*) Структурно-функциональные показатели фотосинтетического аппарата у вечнозеленых растений в ходе круглогодичного цикла / *О.А. Шерстнева, Т.Г. Маслова, Н.С. Мамушина* и др. // *Фундаментальные и прикладные проблемы ботаники в начале XXI века: Матер. XII съезда РБО.* Петрозаводск, 2008. С. 149-152.

13. *Яцко Я.Н., Дымова О.В., Головки Т.К.* Пигментный комплекс зимне- и вечнозеленых растений в подзоне средней тайги европейского Северо-Востока // *Бот. журн.*, 2009. Т. 94, № 12. С. 1812-1820.

14. *Gilbert O.L.* Juniper in Upper Teesdale // *J. Ecol.*, 1980. Vol. 68. P. 1013-1024.

15. *Lichtenthaler H.K.* Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes // *Method Enzymol.*, 1987. Vol. 148. P. 350-382.

16. *Senser M., Schotz F., Beck E.* Seasonal changes in structure and function of spruce chloroplasts // *Planta*, 1975. Vol. 10, № 1. P. 1-10. ❖

ОБРАЗОВАНИЕ ЛЬДА В ХВОЕ И ПОЧКАХ ЕЛИ СИБИРСКОЙ

В экспериментах по закаливанию растений были получены результаты, свидетельствующие о способности ели в природных условиях Подмосковья в зимний период выдерживать температуру до -50°C , а в период вегетации ее морозостойчивость ограничивается температурами ниже -5°C [5]. Эксперименты по быстрому охлаждению побегов в период раскрытия вегетативных почек (первая декада июня) показали, что в условиях средней подзоны тайги гибель молодых побегов ели текущего года при низкотемпературном воздействии составляет от 30 (-5°C) до 60 % (-10°C) [3]. В хвое выживших растущих побегов были выявлены изменения в ультраструктуре клеток мезофилла в постстрессовый период. После быстрого охлаждения до -5°C и последующего быстрого оттаивания наблюдали изменения количественных параметров органелл: увеличение числа митохондрий в клетках и тилакоидов в хлоропластах. Понижение температуры до -10°C приводило к изменениям не только количества, но и структуры клеточных компонентов. В частности, было отмечено расширение крист в митохондриях, внутритилакоидного пространства и периферического ретикулума в хлоропластах, а также снижение плотности гиалоплазмы за счет появления электронно-прозрачных участков. В процессе анализа полученных результатов возникли следующие вопросы: 1) какова причина раз-



С. Плюснина



Р. Малышев

личий в ультраструктуре клеток мезофилла после охлаждения разными температурами, 2) чем вызвано появление электронно-прозрачных участков в гиалоплазме и расширение мембранных структур клетки, 3) можно ли связать наблюдаемые изменения с образованием льда в молодых побегах ели? Для ответа на эти вопросы в 2008-2011 гг. изучали образование льда в хвое и почках ели сибирской методом дифференциальной сканирующей калориметрии на DSC-60 (Shimadzu, Japan). Побеги ели из средней части кроны с южной стороны отбирали в ельнике черничном на территории Ляльского лесозоологического стационара с трех деревьев IV класса возраста, II-III класса развития по Крафту. Образцы в сезоны года с отрицательными температурами воздуха хранили в морозильной камере при $-18...-20^{\circ}\text{C}$, при положительных температурах воздуха – в банках с водой в холодильнике (при $+4^{\circ}\text{C}$) или при комнатной температуре. Образцы охлаждали от $+5$ до -30°C со скоростью $1^{\circ}\text{C}/\text{мин}$.

Анализ полученных термограмм показал существенные различия характера кристаллизации воды в тканях почек и хвои, а также в хвое разного возраста. Выявлена сезонная динамика температуры образования льда в вегетативных органах ели. Показано, что в течение года средняя температура начала перехода жидкой фракции в кристаллическую в тканях хвои, как правило, выше, чем в почках. Температура начала кристаллизации воды в хвое текущего года колеблется от -16°C в зимний период до -10°C во второй половине лета. В почках образование льда отмечено при температуре от -17°C в конце лета до -14°C в конце зимы. Таким образом, температуры льдообразования в хвое и почках ели максимально сближены в зимний период и максимально расходятся в конце периода вегетации.

В зимний период, когда растения находятся в состоянии глубокого физиологического покоя, на полученных термограммах наблюдали, как правило, один пик (рис. 1), который соответствует замерзанию внеклеточной воды и относится к высокотемпературным экзотермам (ВТЭ). Низкотемпературные экзотермы (НТЭ), характеризующие замерзание переохлажденной воды внутриклеточно, в этот период для вегетативных органов ели не характерны. В целом, множественные пики наблюдаются в период межсезонья – весной и осенью. Значительные отклонения температуры воздуха от

Плюснина Светлана Николаевна – к.б.н., н.с. отдела лесобиологических проблем Севера. E-mail: pljusnina@ib.komisc.ru. Область научных интересов: *анатомия и ультраструктура фотосинтезирующих органов и тканей хвойных растений.*

Малышев Руслан Владимирович – к.б.н., инж. I кат. лаборатории экологической физиологии растений. E-mail: malyshev@ib.komisc.ru. Область научных интересов: *термодинамические характеристики растений.*

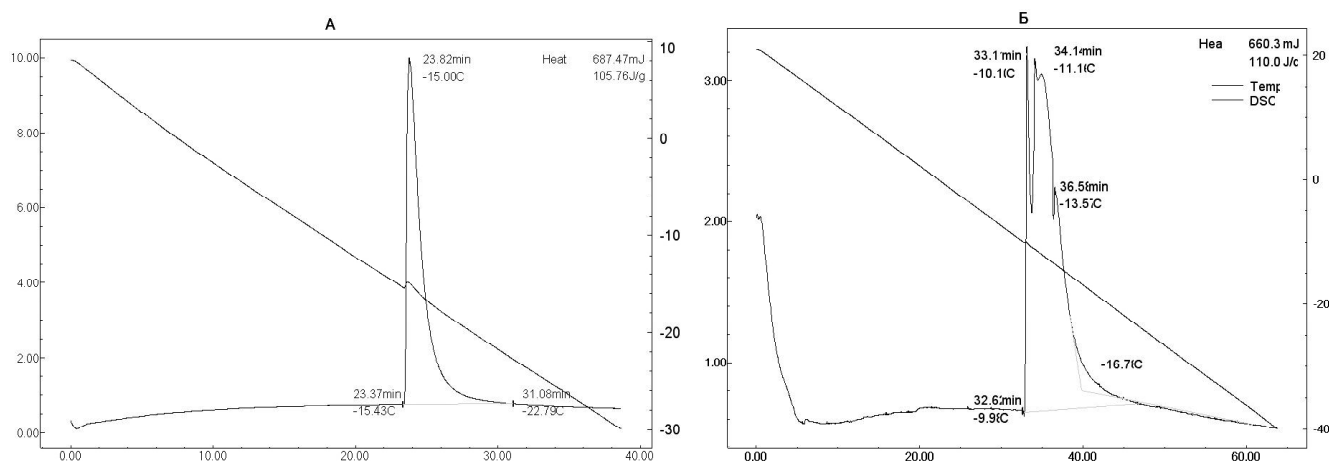


Рис. 1. Термограммы хвои текущего года от 28.01.2011 г. (А), 18.10.2010 г. (Б). По горизонтали: время, мин.; по вертикали: тепловой поток (DSC), мВт (слева) и температура (Temp), °С (справа).

средней многолетней вносят свои коррективы и отражаются на термограммах, полученных в одни и те же периоды в разные годы. Последствия воздействия одной и той же температуры воздуха на растения в разные сезоны года неодинаковы. Так, 30 мая 2008 г. температура начала льдообразования в почках и хвое в среднем составляла -16.3 и -14.4 °С соответственно. Близкие температуры начала ВТЭ были показаны и для января 2010-2011 гг. (в почках и хвое $-15...-16$ и $-13...-14$ °С соответственно). Параллельное охлаждение в морозильной камере побегов ели в мае 2008 г. при температуре -17 °С в течение 6 ч привело к побурению почек и гибели побега в целом, т.е. в начале периода вегетации ВТЭ ограничивает устойчивость и определяет гибель тканей у ели температурой начала кристаллизации переохлажденной воды не только внутри, но и вне клеток. В то же время известно, что в зимние месяцы ель сибир-

ская в условиях средней подзоны тайги благоприятно переживает гораздо более низкие температуры воздуха, а значит и образование льда в тканях.

За весь период наблюдений в почках ели перед их распусканием не было отмечено экзотерм, которые бы начинались при температуре выше -14 °С, а в молодой хвое выше -11.5 °С. Близкие значения температуры начала льдообразования в этот период показаны и для однолетней хвои. Для хвои третьего и четвертого годов жизни температура начала ВТЭ отмечена около -10 °С. В хвое первого и второго годов жизни такая температура фазового перехода воды характерна в августе, когда прирост хвои текущего года по длине и массе уже закончился.

Таким образом, результаты выполненных исследований свидетельствуют о том, что в растущей хвое ели даже при быстром охлаждении со скоростью 1 °С/мин. ни при -5 °С, ни при -10 °С кристаллы льда не образуются. А это означает, что все преобразование структуры клеточных органелл,

которые мы наблюдали в более ранних экспериментах по охлаждению молодых побегов ели при -5 и -10 °С [3], не являются следствием образования льда в клетках.

В литературе вопросы, связанные с образованием льда в растительных тканях, обсуждаются с начала XX в. [4]. Показано, что последствия образования льда в растениях зависят от стадии развития и степени закаленности растения, а также скорости понижения температуры. Разная степень готовности растения к действию низких температур определяется большим количеством факторов, в том числе количеством свободной воды и ее распределением в клетках и тканях, химическим составом мембран (количеством ненасыщенных жирных кислот в липидах, соотношением белков и липидов), содержанием растворимых веществ цитоплазмы и т.д.

В настоящее время подробно рассмотрены термодинамические характеристики фазовых переходов воды в органах и тканях древесных растений в зимний период, раскрыты механизмы, обеспечивающие выживание хвойных растений при низких температурах, выявлены сезонные изменения содержания воды в меристематических тканях и ее распределение в клетках хвойных пород [2]. Показано, что морозоустойчивость северных пород деревьев в период с отрицательными температурами определяется формированием признаков, которые в случае образования льда способствуют скорейшему выведению свободной воды во внеклеточное пространство. Для меристематических тканей ели описан внеорганный тип образования льда в полостях в основании почек (рис. 2). С другой стороны, для протекания в условиях внеорганный обра-

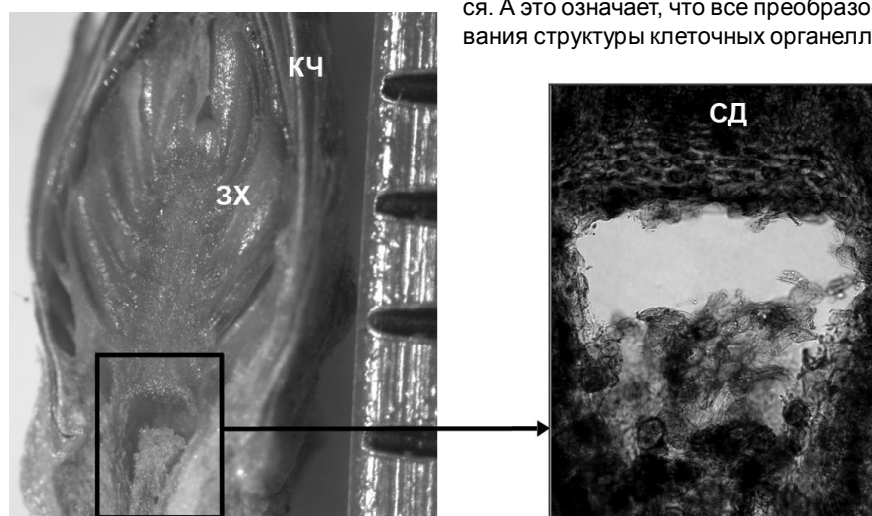


Рис. 2. Полость в основании почки ели – зона внеорганный льдообразования. Условные обозначения: ЗХ – зачаток хвои, КЧ – кроющая чешуя почки, СД – сердцевинная диафрагма.

зования льда биохимических процессов и сохранения жизнеспособности в клетках растений должно присутствовать определенное количество воды. Показано, что в состоянии низкотемпературной устойчивости содержание воды в почках морозоустойчивых хвойных пород деревьев составляет 1.3-1.4 г/г абсолютно сухой массы ткани. После начала льдообразования количество воды сокращается. Так, в зачатках у лиственницы исходное влагосодержание при 0 °С достигало 140 % к сухой массе тканей, а минимальный уровень остаточного влагосодержания после замораживания до -60 °С составил около 41 % к сухой массе. Сохранению переохлажденной воды внутри клеток способствует накопление белков, обладающих антинуклеационными свойствами. У сверхустойчивых пород, таких как лиственница, переживающая в природе температуры до -60 °С, переохлажденная вода в клетках способна переходить из жидкого в стеклообразное состояние (фазовый переход второго рода) с образованием кристаллов очень маленьких размеров [2].

Показано, что значительное повышение температуры воздуха в зимний период приводит к изменению химического состава органов и тканей, что способствует выходу ели из состояния морозоустойчивости [5]. Можно утверждать, что именно ходом температур воздуха определяются различия в температурах начала экзотерм в одни и те же периоды в разные годы. В целом, вариабельность этого показателя значительно выше в хвое (6-25 %), чем в почках (2-14 %) ели. Возможно, в определенной степени большая стабильность тканей почек обеспечивается покровными чешуями, защищающими апикальную меристему и создающими определенный эффект инертности внутренних изменений в ответ на изменения климатических факторов. Это позволяет зачаточным тканям выживать в тех же условиях, при которых незащищенная хвоя на побегах может погибнуть (рис. 3).

Очевидно, что у морозостойких видов внутриклеточный лед, способный привести к гибели растения, в природе не образуется [4]. Это утверждение, на наш взгляд, сомнений не вызывает. В зимний период устойчивость к образованию внутриклеточного льда формируется в процессе последовательного прохождения растением фаз закаливания осенью и закреплена генетически [2, 5]. Как показывают наши исследования, в опасные периоды поздних весенних и ранних осенних



Рис. 3. Отросшие молодые побеги ели колючей на фоне погибшей хвои предыдущих лет вегетации после сочетанного действия низких температур и сильной инсоляции в январе 2009 г.

заморозков гибель хвои, вероятнее всего, не связана с образованием льда. Так, по данным Гидрометцентра Республики Коми температура во время заморозков на территории проведения исследований крайне редко опускается ниже -5 °С, а как было указано выше, при таких температурах лед не образуется ни в клетках, ни в тканях хвои и почек ели. Очевидно, повреждение органов древесных растений вызвано другими причинами. Показано, что с понижением температуры у незакаленных растений увеличивается жесткость мембран вследствие застывания липидов бислоя. В литературе особая роль в повреждении клеток растений при действии пониженных температур отводится изменению содержания активированных форм кислорода, приводящих к усилению свободнорадикального перекисного окисления липидов, что является проявлением окислительного стресса [1, 4].

Итак, в течение года средняя температура начала перехода жидкой в кристаллическую фракцию в тканях хвои ели сибирской, как правило, выше, чем в почках. В зимний период происходит только внеклеточное образование льда, которое не приводит к гибели побегов ели. Образование внеклеточного льда в экспериментальных условиях в период вегетации приводит к гибели клеток и тканей хвои и почек ели. Повреждение и гибель вегетативных органов ели в период поздних весенних и ранних

осенних заморозков не вызваны образованием льда в хвое и почках и связаны с деструктивными изменениями в мембранах и органеллах клетки. Различия в преобразованиях структуры клеточных органелл после охлаждения молодых побегов ели при -5 и -10 °С, вероятнее всего, определяются неодинаковой степенью изменения биохимических свойств веществ в клетках и не связаны с образованием льда в тканях молодых побегов.

Авторы выражают искреннюю благодарность ведущему инженеру отдела лесобиологических проблем Севера А.И. Патову за неоценимую помощь при сборе образцов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Климов С.В. Пути адаптации растений к низким температурам // Усп. совр. биол., 2001. Т. 121. С. 3-22.
2. Миронов П.В., Алаудинова Е.В., Репях С.М. Низкотемпературная устойчивость живых тканей хвойных. Красноярск, 2001. 221 с.
3. Плюснина С.Н. Влияние аэротехногенного загрязнения и охлаждения на структуру мезофилла хвои ели // Изв. Самарского НЦ РАН, 2005. Т. 1. С. 151-155. – (Спец. вып.: Матер. конф. «ELPIT-2005»).
4. Самыгин Г.А. Образование льда в растениях // Физиология растений, 1997. Т. 44, № 2. С. 275-286.
5. Туманов И.И., Красавцев О.А. Закаливание древесных растений отрицательными температурами // Физиология растений, 1959. Т. 6, вып. 6. С. 654-667. ❖

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ РЕСУРСЫ ВОЗДУХА ЕЛОВОГО ЦЕНОЗА СРЕДНЕЙ ТАЙГИ
 В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД ГОДА

Известно, что в хвойных фитоценозах эдификаторная роль древостоев способствует формированию их собственного температурного режима, индивидуального фона тепла в суточной и сезонной динамике. Вместе с другими компонентами микроклимата (солнечная радиация, влажность, ветер) температурный режим лесного массива определяет комплекс лесорастительных условий и особенности формирования и функционирования древостоя.



Э. Галенко

Исследования проведены в 2003-2006 гг. на территории Ляльского лесозоологического стационара Института биологии Коми НЦ УрО РАН, который расположен в средней подзоне тайги европейского Северо-Востока (62°17' с.ш., 50°40' в.д.) в ельнике чернично-сфагновом (*Piceetum myrtilloso-sphagnosum*). Древостой V класса бонитета, запас древесины 194 м³/га, разновозрастный (50-200 лет), разновысотный. Средний диаметр ели 20 см, средняя ее высота 16 м. Много сухостоя, валежа разной степени гниения. Подлесок с проективным покрытием 15-20 % состоит из шиповника, ивы, можжевельника, рябины, жимолости. Подрост из ели, пихты, березы. Травяно-кустарничковый ярус с покрытием 60-70 % формируют черника, хвощ, осока, линнея, седмичник, майник и др. Моховой покров, который образован сфагновыми и зелеными мхами, имеет покрытие 80-90 %. Почва торфянисто-подзолисто-глеявая супесчаная, подстилаемая суглинками. Фитоценоз вписывается в динамический ряд заболачивания ельников черничных [9].

Температуру воздуха фиксировали круглосуточно каждые 15 мин. с мая по октябрь в указанные годы. Использовали многоканальные транзисторные термодатчики МТ-SAT П25, которые были подключены к автоматизированной системе сбора фитоклиматических данных на базе персонального компьютера. Точность измерений 0.1 °С. Изучение распределения температуры воздуха внутри полога древостоя проведено по вертикальному профилю в характерном для ельника фрагменте древостоя парцелле. Для решения поставленной задачи была сооружена деревянная вышка высотой 20 м с выносными площадками в кроновое пространство длиной 3.5 м. Показания снимали над пологом древостоя (высота 20 м), в верхней (13 м), средней (9 м) и нижней (4.5 м) третях кроны и в подпологовом пространстве (1.8 м). Полученные данные обрабатывали в программе Excel. Суммы температур воздуха за каждые сутки, месяц и сезон определяли по Lisog-1200 [10].

Общая характеристика температурного режима региона в годы исследований

Среднемесячные температуры воздуха от 8-12 °С в мае повышаются до 11-12 °С в июне, 14-20 °С в

июле-августе и снижаются до 8-10 °С в сентябре, 0-5 °С – в октябре. Отклонения от многолетней нормы в сторону похолодания были в 29 % случаев и составляли от -0.1 до -2.9 °С, в сторону потепления – в 71 % случаев, когда температуры были на 0.4-4.4 °С выше нормы. Максимальные температуры воздуха поднимались в мае и сентябре до 28/29, июне-августе – до 31/32, октябре – до 19 °С. В мае, июне и сентябре минимальные температуры воздуха могут вызвать заморозки до -2...-4, июле-августе – опуститься до +1...+4 °С.

Для хвойных растений критическим периодом является выход их из состояния покоя в конце зимы-весной, который происходит при температурах воздуха от -5 до +10 °С. При температурах +5 °С и больше дерево может начинать рост [6, 11, 15]. Продолжительность периодов вегетации и активной жизнедеятельности растений составила в 2003 г. – 167 (с 30.04 по 16.10) и 118 (с 07.05 по 02.09), 2004 г. – 165 (с 29.04 по 10.10) и 117 (с 09.05 по 03.09), 2005 г. – 164 (с 06.05 по 17.10) и 127 (с 08.05 по 11.09), 2006 г. – 163 (с 15.04 по 24.09) и 128 (с 08.05 по 12.09) дней соответственно. Среднегодовые показатели – 142 (с 06 по 26.09) и 96 (с 29.05 по 01.09) дней соответственно [14]. Период вегетации начинался в конце апреля-начале мая, что близко к среднегодовому дате, но заканчивался на две-три недели позже. Только в 2006 г. среднесуточные температуры воздуха выше +5 °С наступили значительно раньше, в середине апреля, а закончился период вегетации в соответствии с многолетней нормой 24 сентября. Следовательно, вегетационный период все четыре года наблюдений был длиннее среднегодовой нормы на 3.0-3.5 недели. Период с температурами воздуха +10 °С и выше, соответствующий активной жизнедеятельности растений, начинался 7-9 мая и заканчивался 2-12 сентября, т.е. был продолжительнее среднегодовой нормы на 20-30 дней. Ежемесячные суммы эффективных температур составляли в мае 280-360, июне-августе – от 330 до 620, сентябре – 245-295 °С. В сумме за сезон эта величина достаточно стабильная и равна 1965/2075 °С. Ежемесячные суммы активных температур колеблются в мае от 180 до 265 °С, июне-августе – 260/615 °С, сентябре – 90-190 °С. Сумма активных температур за сезон изменяется в пределах 1620-1780 °С (рис. 1).

Но необходимо отметить, что регулярно в мае-июне в разгар начала жизнедеятельности растений с затокном холодного арктического воздуха наступает резкое похолодание. Вегетация замирает (период вегетации прерывается). Среднесуточная температура воздуха в эти дни опускается до +3...+4 °С, минимальная – до -2.0...-4.0 °С. Среднесуточные температуры воздуха ниже +10 °С могут быть в любой месяц теплого времени года.

Галенко Эльмира Пантелеймоновна – к.г.н., с.н.с. отдела лесобиологических проблем Севера. E-mail: galenko@ib.komisc.ru. Область научных интересов: экология леса, фитоклимат, биологическая продуктивность таежных лесов европейского Северо-Востока.

Влияние температуры воздуха на жизнедеятельность растений

В условиях европейского Северо-Востока ведущим фактором в продукционном процессе лесных фитоценозов является тепло, сезонная динамика которого обуславливает вариабельность роста и формирования надземных и подземных вегетативных и репродуктивных органов растений. В разные годы [2] установлено, что ростовые процессы в вегетативных органах надземной части у ели начинаются при сумме положительных температур воздуха 190-230 °С, почек – 230-260 °С, раскрытия почек (роста хвой) – 300-400 °С. Пробуждение и рост подземных органов сосны и ели происходит при сумме температур воздуха 270-400 °С. Коэффициент корреляции между приростом побегов и среднесуточной температурой воздуха в первой половине вегетации равен 0.61-0.74. Резкие понижения средних суточных температур до +5 °С и ниже в начале периода вегетации неоднократно вызывали снижение интенсивности ростовых процессов, что приводило к значительному отставанию общего сезонного прироста побегов хвойных. Особенно сильно на жизнеспособность ели влияют отрицательные температуры воздуха, вызывая массовое отмирание молодых побегов. Энергичный рост надземных органов протекает обычно во второй половине июня–начале июля. Довольно тесная связь ($R = 0.56-0.63$) имеется и между приростом деревьев в диаметре и среднесуточной температурой воздуха. Весеннее пробуждение почек хвойных совпадает с периодом устойчивого перехода температуры воздуха через +5 °С. Понижение температуры воздуха до -5 °С даже на 2-4 ч вызывает снижение жизнеспособности пыльцы до 30 % [17].

В условиях средней тайги процессы фотосинтеза у сосны и ели начинаются в апреле при температуре воздуха +3 °С, фотосинтетическая активность продолжается около шести месяцев. Максимальные скорости ассимиляции этих пород отмечены в июле при наиболее благоприятном сочетании температурных и световых условий. Коэффициенты корреляции между фотосинтетической активностью хвой сосны и ели и температурой воздуха равны 0.67-0.87 в суточной и 0.61-0.74 – в сезонной динамике [14, 17]. Температура воздуха оказывает значительное влияние на транспирацию и водный дефицит хвойных [2, 17]. Следовательно, жизнедеятельность растений адаптирована к умеренным температурам, превалирующим в течение вегетационного периода [1].

Принимая во внимание особенности ростовых процессов вегетативных и репродуктивных органов ели в зависимости от экологических факторов, проведен ана-

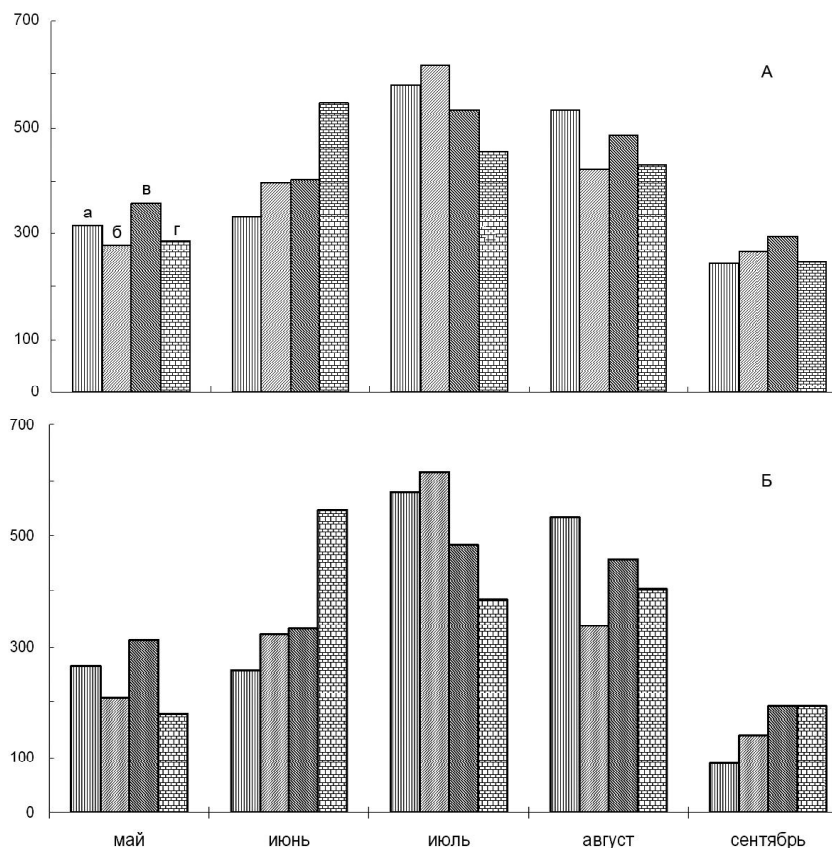


Рис. 1. Суммы эффективных (+5 °С и более; А) и активных (+10 °С и более; Б) температур воздуха в 2003-2006 гг. (а-г).

лиз данных по температуре воздуха выше +5 и +10 °С в 2003-2006 гг. (см. таблицу), что позволило определить вероятность встречаемости температур воздуха ниже +5 °С (прерывание периода вегетации) и выше +10 °С (наиболее благоприятные условия для жизнедеятельности растительности). Так, среднесуточную температуру воздуха ниже +5 °С не наблюдали только в июле и августе. В июне вероятность ее повторения составляла 0/17, сентябре – 13/37 и октябре – 48-97 %. Среднесуточные температуры воздуха выше +10 °С возможны в июне на 60-67, июле – 77-100, августе – 68-100, сентябре – 10-40 и октябре – 0-10 %. Необходимые суммы температур воздуха в 2003, 2004 и 2006 гг. наступили в III декаде мая – для начала роста побегов, на три-пять дней позже – для пробуждения почек и 25 мая – 5 июня – для их раскрытия и начала роста хвой. Исключением был 2005 г., когда соответствующие

Месяц	Количество дней со среднесуточной температурой воздуха выше +5 °С (+10 °С)			
	Количество дней			
	с 14.05 по 20.10.2003 г.	с 21.05 по 24.10.2004 г.	с 14.05 по 25.10.2005 г.	с 09.06 по 31.10.2006 г.
Май	15 (15)	11 (11)	18 (18)	–
Июнь	26 (18)	25 (18)	30 (20)	22 (18)
Июль	31 (31)	31 (31)	31 (31)	31 (31)
Август	31 (31)	31 (31)	31 (26)	31 (23)
Сентябрь	26 (3)	19 (7)	27 (12)	22 (11)
Октябрь	16 (3)	5 (0)	16 (5)	1 (0)
Сезон	145 (101)	122 (88)	153 (112)	106 (83)

Примечание: прочерк – не определяли.

условия для ростовых процессов вегетативных органов древесных наблюдались на 5-10 дней раньше обычных сроков.

Суточный ход температуры воздуха в летний день

В качестве примера рассматриваются ясный, пасмурный дни и день с переменной облачностью в июле 2006 г. (рис. 2). Ясный день характеризуется одним максимумом в 15-16 ч. и одним минимумом температуры в 3-4 ч. Интенсивное повышение температур начинается с восходом Солнца (4.00-4.30 ч) и продолжается до 8-9 ч. Затем рост температуры воздуха идет меньшими темпами. Интенсивное понижение температуры происходит с 18-19 ч (высота Солнца 20° и более) до 22-23 ч. В пасмурный день температура воздуха повышается в дневные часы на 3-5 °С с максимальными значениями в 14-16 ч. К 18 ч она снижается практически до минимальных величин и держится на этом уровне вечер, ночь и утро. В день с переменной облачностью продолжительность периода с относительно стабильной повышенной температурой длится с 8-9 до 22-23 ч без четкого определенного максимума.

Суточная амплитуда колебания температуры изменялась от 4.8 °С в пасмурный день до 10.7 °С – в день с переменной облачностью и до 15.8 °С – в ясный день. Иначе говоря, при изменении условий облачности («пасмурно»–«переменно»–«ясно») амплитуда суточного колебания температуры воздуха изменяется в два-три раза.

Сезонная динамика температуры воздуха

В течение сезона (май-сентябрь) среднесуточную температуру воздуха наблюдали в диапазоне: май-июнь – от -1 до +24, июль-август – +7...+25 и сентябрь – +1...+17 °С. В то же время абсолютные минимумы температуры воздуха в отдельные часы суток 2003-2006 гг. составляли в мае от -2.5 до -3.3, июне – от -0.7 до +5.2, июле – от +4.5 до +7.8, августе – от +0.5 до +8.7 и сентябре – от -1.2 до -2.5 °С. Максимальные температуры поднимались в мае до 30, июне-августе – 31-32, сентябре – 22-23 °С.

Вертикальные профили среднесуточной температуры воздуха в древесном пологе

Как закономерность, следует отметить повышение среднесуточной температуры воздуха с высотой в пологе ельника чернично-сфагнового при любом типе погоды. Наиболее существенно (на 2.5-4.4 °С) увеличение температуры воздуха происходит в малооблачную погоду. В дни с переменной облачностью в кроновом пространстве воздух теплее, чем у поверхности земли на 0.2-1.1, в пасмурную погоду – на 0.3-0.8 °С.

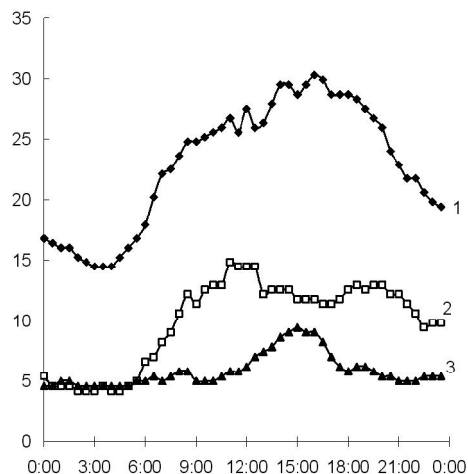


Рис. 2. Суточный ход температуры воздуха (°С) в ельнике чернично-сфагновом средней подзоны тайги при ясной (1), переменной (2) и пасмурной (3) погоде в 2006 г. – 10, 7 и 23 июля соответственно. По горизонтальной оси указано время суток.

облачные дни в пологом пространстве имеет место инверсионный тип фитолимата. Максимальные температуры воздуха отмечают в верхней половине крон.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев В.А. Световой режим леса. Л., 1975. 225 с.
2. Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера / Отв. ред. К.С. Бобкова, Э.П. Галенко. СПб.: Наука, 2001. 278 с.
3. Бобкова К.С., Богданова Т.Л. Сезонная динамика роста корней сосны и ели // Экология роста и развития сосны и ели на северо-востоке европейской части СССР. Сыктывкар, 1979. С. 46-53. – (Тр. Коми филиала АН СССР; № 44).
4. (Бобкова К.С.) Эколого-физиологические основы продукционного процесса хвойных фитоценозов на Севере / К.С. Бобкова, Э.П. Галенко, В.В. Тужилкина, С.Н. Сенькина. Сыктывкар, 1989. 28 с. – (Сер. Науч. докл. / Коми НИЦ УрО АН СССР; Вып. 213).
5. Бобкова К.С., Патов А.И. Сезонная динамика роста побегов и корней // Эколого-биологические основы повышения продуктивности таежных лесов европейского Севера. Л., Наука, 1981. С. 93-102.
6. Веретенников А.В. Физиология растений. Воронеж, 2002. 272 с.
7. Выхристюк М.М. Фитоклимат прибрежных лесов северного Байкала. Новосибирск, 1980. 216 с.
8. Галенко Э.П. Фитоклимат и энергетические факторы продуктивности хвойного леса европейского Севера. Л.: Наука, 1983. 129 с.
9. Галенко Э.П., Бобкова К.С., Швецов С.П. Температурный режим почвы чернично-сфагнового ельника средней тайги // Лесной журн., 2008. № 3. С. 19-28.
10. Галенко Э.П. Радиационный режим в заболоченном старовозрастном ельнике подзоны средней тайги // Лесоведение, 2010. № 5. С. 20-30.
11. Елагин И.Н. Сезонное развитие сосновых лесов. Новосибирск, 1976. 230 с.
12. Золотокрылин А.Н. Радиационно-тепловой режим как фактор продуктивности еловых и сосновых насаждений в подзоне смешанных лесов: Автореф. дис. ... канд. географ. наук. М., 1975. 37 с.

13. Коренные еловые леса Севера: биоразнообразие, структура, функции // Отв. ред. К.С. Бобкова, Э.П. Галенко. СПб.: Наука, 2006. 337 с.

14. Справочник по климату СССР. Вып. I, ч. II. Температура воздуха и почвы. Л.: Гидрометеоздат, 1965. 340 с.

15. Туманов И.И. Физиология закаливания и морозостойкости растений. М.: Наука, 1979. 352 с.

16. Цветков В.Ф. Этюды экологии леса. Архангельск, 2009. 354 с.

17. Эколого-биологические основы повышения продуктивности таежных лесов европейского Севера // Отв. ред. А.В. Веретенников. Л.: Наука, 1981. 232 с. ❖

ЮБИЛЕИ

Поздравляем **Римму Николаевну Алексееву** с 75-летием! Римма Николаевна родилась в г. Сыктывкар в семье служащих. В 1953 г. закончила среднюю школу и поступила на географический факультет Ленинградского государственного университета. В 1958 г. была принята на работу в отдел энергетики и водного хозяйства Коми филиала АН СССР в качестве старшего лаборанта, затем — младшего научного сотрудника. В этот период она специализировалась по разведке торфяных месторождений. Позднее была переведена в лабораторию геоботаники и систематики растений и проходила обучение в заочной аспирантуре при Коми филиале АН СССР. В 1975 г. в Ленинградском университете на кафедре биогеографии успешно защитила диссертацию по теме «Типы болот в бассейне средней Печоры и закономерности их размещения», представленную на соискание ученой степени кандидата географических наук. С 1985 г. по 2010 г. работала в отделе лесобиологических проблем Севера в должности старшего научного сотрудника. Римма Николаевна опубликовала 140 научных работ, в том числе девять авторских и коллективных монографий. Она участвовала в многочисленных экспедициях с целью обследования различных типов болот на территории Республики Коми.

За научные достижения Римма Николаевна была награждена медалью «Ветеран труда», почетными грамотами УрО РАН, администрации г. Сыктывкар. За цикл работ по охране болот ей было присвоено звание лауреата государственной премии Республики Коми.

Мы поздравляем Римму Николаевну со знаменательной датой и желаем крепкого здоровья, семейного счастья и благополучия!

* * *

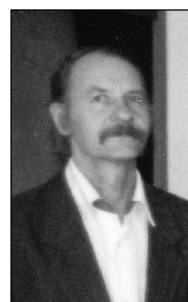
Поздравляем **Виктора Владимировича Алексеева** с 70-летием! Трудовая деятельность Виктора Владимировича началась в 1958 г. на Адмиралтейском заводе в Ленинграде, куда он поступил на работу судосварщиком после окончания ФЗО. После демобилизации в 1968 г. из рядов Советской Армии он работал в Ленинградском объединенном авиаотряде Северного управления гражданской авиации. В 1971 г. судьба занесла его в Сыктывкар, в Институт биологии Коми филиала АН СССР, где он был принят сначала на должность препаратора лаборатории геоботаники, затем на должность старшего лаборанта лаборатории лесоведения и лесоводства, старшего лаборанта-исследователя отдела лесобиологических проблем Севера.

Трудовая деятельность Виктора Владимировича в Институте биологии связана прежде всего с изучением лесных сообществ и электронной микроскопией. При его непосредственном участии были получены первые электронные снимки клеток и клеточных органелл хвойных растений, сотни микрофотографий вошли в диссертационные и монографические работы нескольких поколений сотрудников отдела.

В 1986 г. Виктор Владимирович одним из первых отправился в составе комплексной экспедиции в зону Чернобыльской аварии и продолжал ездить в этот район еще несколько лет. За добросовестный и многолетний труд он был награжден медалью «Ветеран труда», медалью «За спасение погибавших», Почетной грамотой УрО РАН. В 2000 г. Виктор Владимирович решил уйти на пенсию, однако через некоторое время вернулся и продолжает по сегодняшний день трудиться в родном Институте.

От всей души поздравляем с юбилеем Виктора Владимировича, который всегда был надежным и незаменимым помощником для всего коллектива нашего отдела. В этот знаменательный день мы желаем ему доброго здоровья, семейного благополучия, любви и заботы близких ему людей!

Коллектив отдела лесобиологических проблем Севера



**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО ОБМЕНА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ:
ГЕОМЕТРИЯ И ВНУТРЕННИЕ ИСТОЧНИКИ ТЕПЛА**

Введение

Взаимодействие растения с потоками энергии, реализуемое в форме теплопередачи, является одним из важнейших факторов, определяющих его жизнедеятельность. Не случайно, как правило, именно температура выступает в роли независимой переменной или параметра при исследовании различных процессов как на уровне отдельного организма, так и на уровне сообществ [12, 21, 23]. Использование математических моделей дает возможность количественного описания указанного взаимодействия.

В основе таких моделей лежит дифференциальное уравнение теплопроводности, решение которого позволяет найти зависимости, характеризующие тепловое взаимодействие любого физического тела со средой [3, 4, 11, 19]. Однако при решении конкретной задачи, чтобы получить однозначный ответ, необходимо задать ряд условий: геометрическую форму и размеры тела, потоки тепла или распределение температуры на границах тела, начальное распределение температуры внутри тела. В данной статье на примере ели рассматриваются некоторые аспекты выбора геометрической модели, а также проблема, связанная с внутренними источниками тепла древесного растения. Решив дифференциальное уравнение теплопроводности для древесного растения, можно получить некоторую модель теплового обмена [20]. Очевидно, что свойства такой модели будут зависеть от геометрической модели, которая сопоставляется растению как физическому телу, обладающему размерами и формой.

Сложность структуры дерева предполагает множество различных способов ее описания в зависимости от требований, предъявляемых к модели [13, 15-18, 22]. Общая идея существующих на сегодняшний день подходов к этой проблеме состоит в том, что архитектура растения может быть описана как иерархическая разветвленная система, состоящая из набора архитектурных единиц. Для целей моделирования теплового обмена дерева наиболее подходят простейшие описания, где архитектура древесного растения определяется только геометрической организацией структур-

ных элементов различного типа и формы. Базовая геометрическая модель структурного элемента в таких описаниях – это параметрическая модель, описывающая его форму. Структурные элементы древесных растений в бореальных средах обитания хорошо аппроксимируются, например, конусом и усеченным конусом [25]. Выделив только самую существенную для настоящего рассмотрения форму, упростим данную модель и будем рассматривать древесный ствол как конус. К стволу крепятся ветви, которые моделируются аналогично главному стволу (рис. 1).

Моделируя тепловое взаимодействие объекта со средой при выборе геометрической формы тела, иногда целесообразно мысленно изменить истинную форму тела. Такого рода изменения формы тела применяются для упрощения исходной модели. Существует два способа: деформация при неизменном объеме тела и изменение его объема. Изменение объема применяют в тех случаях, когда источники тепла на границе или внутри тела не оказывают существенного влияния на температуру точки или области тела, включенных в модель, и, следовательно, эти источники и части тела могут быть исключены из рассмотрения [5]. Такие границы и части тела можно назвать пассивными. Граница рассматривается как пассивная, если температура и градиент температуры на ней за расчетный интервал времени остаются неизменными [5].

Если на основе выбранной нами геометрической модели попытаться выделить пассивные границы в тепловой модели древесного растения, то, вероятно, при заданной погрешности измерения температуры у конуса, моделирующего вершину ствола или ветвей, существует такой радиус, что температура в любой точке поперечного сечения, проведенного через этот радиус, будет равна температуре среды. Очевидно, что температура любой точки конуса, расположенной между данным сечением и вершиной конуса, также будет равна температуре среды. Таким образом, поперечное сечение, представляющее собой основа-



С. Тарасов

ние конуса, можно рассматривать как пассивную границу, а сам конус может быть исключен из рассмотрения. В качестве параметра естественно использовать радиус основания конуса. Для определенности будем называть такой радиус критическим.

Очевидно, что сокращение числа и разнообразия форм структурных элементов, используемых при моделировании геометрической формы дерева, благоприятно отразится на модели теплового взаимодействия. Во-первых, это ведет к сокращению числа моделирующих структурных

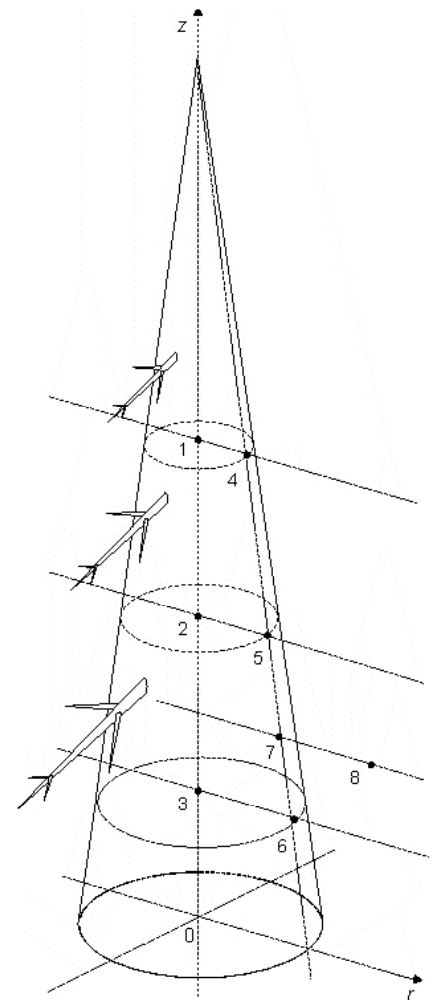


Рис. 1. Упрощенная геометрическая модель древесного растения. Геометрическая ось ствола совмещена с осью z цилиндрической системы координат, начало координат совмещено с переходом корневой системы в ствол. Цифрами 1-8 обозначена схема расположения точек измерения температуры.

Тарасов Сергей Иванович – м.н.с. отдела лесобихологических проблем Севера. E-mail: tarasov@ib.komisc.ru. Область научных интересов: *лесная экология, хвойные, теплообмен.*

элементов, так как в качестве основного структурного элемента может быть взят только усеченный конус. Во-вторых, в зависимости от величины радиуса основания пассивного конуса часть ветвей и вершину можно исключить из рассмотрения. В-третьих, при небольшой разнице радиусов верхнего и нижнего оснований, усеченный конус может быть сведен к цилиндру, что существенно упрощает решение дифференциального уравнения теплопроводности для дерева. Практическое подтверждение существования такой пассивной границы и оценка конкретных значений критического радиуса могут быть получены из эксперимента. Если измерить температуру ствола древесного растения в точках, расположенных на оси ствола на некоторых специальным образом выбранных расстояниях, то мы получим зависимость температуры ствола от радиуса ствола. Сравнивая полученные значения с температурой окружающей среды, можно определить те радиусы, при которых температура на оси ствола равна температуре среды. Максимальный радиус, при котором данное условие еще выполняется, будет соответствовать пассивной границе.

При построении любой тепловой модели не менее важна информация о наличии или отсутствии у тела, являющегося одним из объектов моделирования, внутренних источников тепла. Известно, что растения обладают способностью к утилизации солнечной энергии и последующему ее преобразованию в химическую энергию органических соединений, а затем и в тепловую энергию [21, 23]. Очевидно, что соотношение мощности присутствующих растению внутренних источников тепла и мощности внешних источников будет иметь решающее значение при выборе модели. Одним из возможных практических способов, позволяющих определить степень влияния внутренних источников на температурное поле древесного растения, является следующий опыт. Если параллельно с экспериментом по измерению температуры живого дерева провести эксперимент по измерению температуры в соответствующих точках на оси ствола сухого дерева, близкого по своим размерам и форме живому дереву, то по сходству или различию данных, полученных в первом и втором случае, можно судить о влиянии процессов жизнедеятельности на распределение температуры в древесном растении.

Таким образом, цель данной работы – проверить на практике: 1) можно ли в древесном растении выделить структурные части, температура которых будет равна мгновенной температуре окружающей среды; 2) различаются ли температурные поля живого и сухого деревьев ели.

Объекты и методы

Эксперимент проводился на базе Ляльского лесозоологического стационара Института биологии Коми НЦ УрО РАН (62°17' с.ш., 50°40' в.д.), расположенного на юге Княжпогостского района Республики Коми. В качестве объектов эксперимента на координатной постоянной пробной площади ППП-4 были выбраны живая (высота – 4.03 м, диаметр на высоте 1 м – 0.046 м) и сухая (соответственно 2.45, 0.044 м) ели. Согласно лесоводческо-таксационному описанию, ППП-4 соответствует ельнику черничному [2].

В ствол каждого дерева внедряли по три датчика температуры на глубину 1-3 см по определенной схеме (рис. 1). Глубину внедрения датчиков выбирали равной радиусу ствола (10-30 мм) на соответствующей высоте: для живого дерева – 2.73, 1.43, 0.13 м, для сухого дерева – 1.79, 1.15, 0.36 м соответственно. Также для каждого дерева измеряли температуру воздуха на высоте 1.5 м от перехода корневой системы в ствол на расстоянии 5 см от внешней поверхности коры и температуру поверхности коры на этой же высоте. Общее число датчиков (точек измерения температуры) равнялось 16. Объекты исследования располагались под покровом основного полога древостоя, поэтому влияние радиационной составляющей на теплообмен не учитывали. Значения радиальных координат (r_p) точек измерения температуры в соответствие со схемой (рис. 1) для живого и для сухого деревьев составили r_1, r_2 и $r_3 = 0, r_7 = 50, r_8 = 80$ мм. Конструкция и методика установки датчиков температуры описана ранее [7]. Геометрические размеры корпуса датчика температуры и соотношение теплопроводностей материала корпуса и среды (древесины), температуру которой измеряли, соответствуют требованиям, предъявляемым к измерениям подобного рода, и позволяют считать, что погрешность, обусловленная тепловой проводимостью корпуса датчика температуры, много меньше погрешности измерения [1,]. Датчики температуры сопрягали с персональным компьюте-

ром с помощью автоматизированной системы сбора данных (АССД). Предел абсолютной погрешности АССД составил $\theta(P) = \pm 0.6$ °С. Опрос датчиков проводился через 5 мин. круглосуточно. Дата начала эксперимента – 03.08.04 г., дата окончания – 12.10.04 г.

В эксперименте были получены независимые и равноточные наблюдения температуры в виде дискретных во времени случайных последовательностей (рис. 2):

$$T_p = \{T_{pn}^{0 \leq n \leq N; 1 \leq p \leq P}\}$$
 где $T_{pn} = T(\tau_n, r_p)$ – мгновенная температура, τ_n – время, r_p – радиальная координата точки измерения температуры, P – число точек измерения температуры ($P = 10$); данные, полученные для точек 4, 5 и 6, при обработке не использовали), N – число отсчетов времени.

Число полученных для каждой точки измерения отсчетов N равно 20150. При анализе рядов количество отсчетов выбиралось равным степени числа 2: $N = 2^q$, где q – натуральное число, что обусловлено методикой обработки данных. Практически, $N = 2^{14} = 16384$. В качестве аппроксимирующей модели исходных временных рядов (4) была выбрана модель вида

$$T_p = \{\hat{T}_{pn} + \delta_{pn}^{0 \leq n \leq N; 1 \leq p \leq P}\}$$
 где $\hat{T}_{pn} = \{\hat{T}_{pn}^{0 \leq n \leq N; 1 \leq p \leq P}\}$ – мгновенная температура, $\delta_{pn} = \{\delta_{pn}^{0 \leq n \leq N; 1 \leq p \leq P}\}$ – стохастическая компонента или шум.

Согласно теоретическим предположениям для структурных частей древесного растения, радиус основания которых меньше некоторого критического радиуса, при заданной погрешности измерения температуры мгновенные значения температуры в любой точке ствола в любой момент времени должны совпасть с мгновенными значениями температуры воздуха. С другой стороны, априори предполагается равенство мгновенных температур стволов живого и сухого дерева. Очевидно, что в случае справедливости гипотезы о независимости теплового обмена древесного растения от физиологических процессов мгновенные значения температуры живого и сухого стволов совпадут для всех точек наблюдения в любой момент времени. Это дает основания для совместного сравнения всех полученных в эксперименте температурных рядов. Отличие какого-либо температурного ряда от других будет свидетельствовать о несправедливости выдвинутых предположений.

Задачу сравнения рядов можно сформулировать как N гипотез о равенстве в каждый момент времени

математических ожиданий ординат случайных последовательностей T_p или $H_0: E(T_{1n}) = \dots = E(T_{pn}), \bar{\mu} = 0, N$. Однако взаимная зависимость значений любого временного ряда не дает возможности применения стандартного ANOVA во временной области. Вейвлет-преобразование позволяет решить эту проблему, одновременно снижая размерность ряда [9, 10, 14]. Практически проверка гипотез осуществлялась в вейвлет-пространстве по методике [8], основанной на эквивалентности оценок статистических характеристик случайного процесса, полученных по одной реализации и по ансамблю, а также линейности операции разложения по ортонормированному базису.

Результаты

Верификация нулевой гипотезы в пространстве вейвлетов сводится к однофакторному дисперсионному анализу выборок, образованных коэффициентами разложения исходных температурных рядов T_p . Результаты ANOVA, представляющие собой значения F -критерия для всех коэффициентов разложения полиномов, аппроксимирующих случайные последовательности T_p , приведены в графическом виде на рис. 3а-в. Критическое значение критерия $F_{кр(\alpha; k_1; k_2)}$ рассчитывалось для уровня значимости $\alpha = 0.05$ и степеней свободы $k_1 = (P - 1) = 9$ и $k_2 = P(Q - 1) = 147447 \approx \infty$, где $Q = N/2$.

На основании полученных результатов можно сделать следующий вывод: поскольку величина критерия F меньше $F_{кр(0.95; 9; \infty)}$ для всех рассматриваемых коэффициентов разложения с одинаковыми индексами m и k (рис. 3а-3в), то отвергнуть нулевую гипотезу о равенстве выборочных средних коэффициентов разложения аппроксимирующих полиномов нет оснований. Для температурных рядов во временной области это означает, что различие между оценками математических ожиданий ординат функций T_p при $1 \leq p \leq P$ в любой момент времени мало и сопоставимо с влиянием случайных возмущений. Тогда можно полагать, что рассматриваемые последовательности T_p являются реализациями одного случайного процесса и за оценку мгновенной температуры среды в любой точке измерения r_p и в любой момент времени τ_n можно принять неслучайную функцию $\bar{T} = \{\bar{T}_n\}_{0 \leq n \leq N}$, реконструированную по коэффициентам разложения, определяемым как среднее соответствующих коэффициентов аппроксимирующих по-

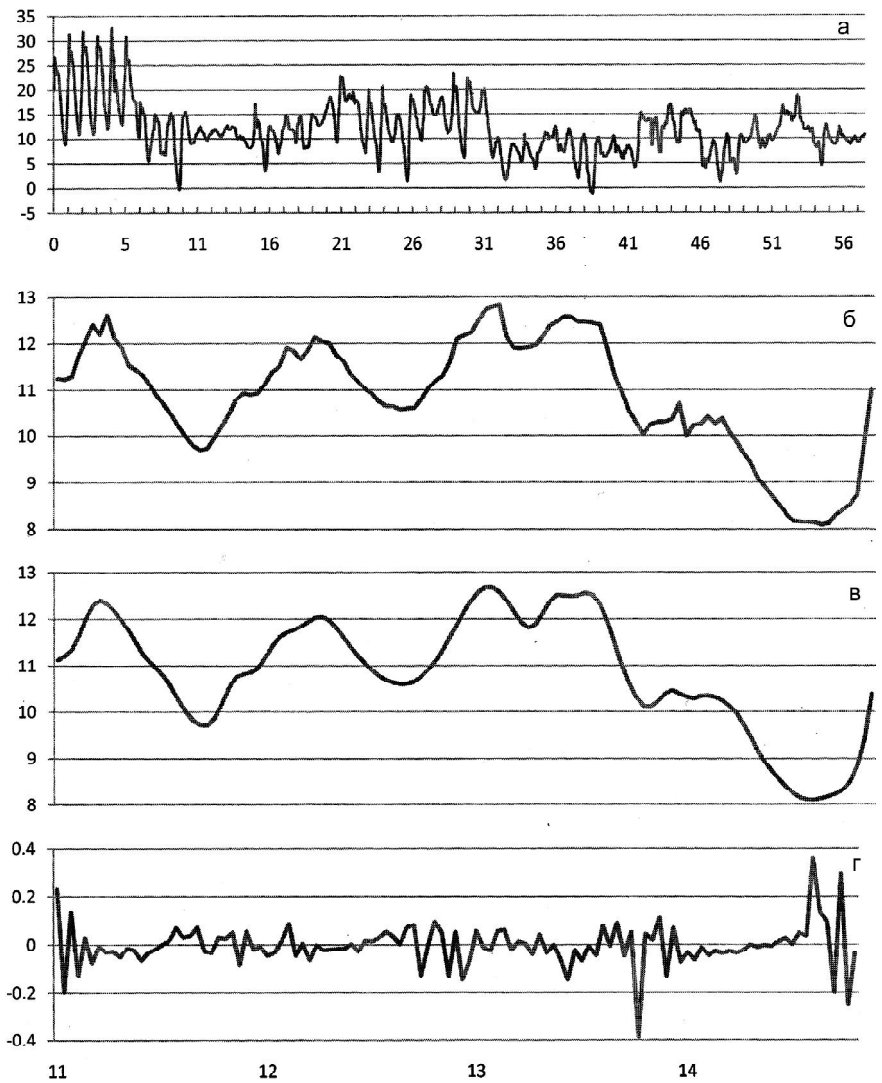


Рис. 2. Пример температурного ряда, полученного в эксперименте: а – исходный ряд $T_1 = \{T_{1n}\}_{0 \leq n \leq 16384}$ и его компонент: б – исходный ряд T_1 ; в) аппроксимирующий ряд \hat{T}_{1n} ; г – шумовая компонента δ_{1n} . Здесь и далее: по горизонтали – время, сут., по вертикали – температура, °С.

линомов $\{\hat{T}_{pn}\}_{0 \leq n \leq N, 1 \leq p \leq P}$ с 1 по $m - 1$ уровень. Тогда для любого p справедливо

$$T_p = \bar{T} + \delta,$$

где $\delta = \{\delta_n\}_{0 \leq n \leq N}$ – шумовая компонента, такая, что $\delta_n \sim N(0, \delta^2)$.

Рассматривая каждое значение полученных рядов как результат однократного измерения, можно получить границы доверительного интервала случайной погрешности результата измерений, которые в данном случае определяются как [6]

$$D(P) = K[\theta(P) + \epsilon(P)],$$

где K – коэффициент, значение которого для доверительной вероятности $P = 0.95$ равно 0.76; $\epsilon(P)$ – доверительные границы случайной погрешности измерения, которые вычисляются по формуле $\epsilon(P) = Z_{P/2} \cdot s_T$, ($Z_{P/2}$ – значение $P/2$ точки нормированной функции Лапласа, $Z_{0.95/2} = 2$; s_T^2 – оценка генеральной дисперсии σ_T^2 . Расчет, с уче-

том того, что оценка генеральной дисперсии σ_T^2 составила $s_T^2 = 0.04$ (°С)², при заданной погрешности измерительной системы $\theta(P) = \pm 0.6$ °С, дает значение $D(P) = \pm 0.57$ °С.

Таким образом, для любого значения любой полученной в эксперименте случайной последовательности $T_p = \{T_{pn}\}_{0 \leq n \leq N}$ с доверительной вероятностью $P = 0.95$ выполняется

$$\bar{T}_n - D(P) \leq T_{pn} \leq \bar{T}_n + D(P),$$

или

$$\bar{T}_n - 0.57 \text{ °С} \leq T_{pn} \leq \bar{T}_n + 0.57 \text{ °С}.$$

Полученные результаты позволяют говорить о том, что в условиях проведенного эксперимента для всех наблюдавшихся точек среды и стволлов мгновенная температура не зависит от координаты точки измерения и описывается одной и той же детерминированной функцией T (рис. 4).

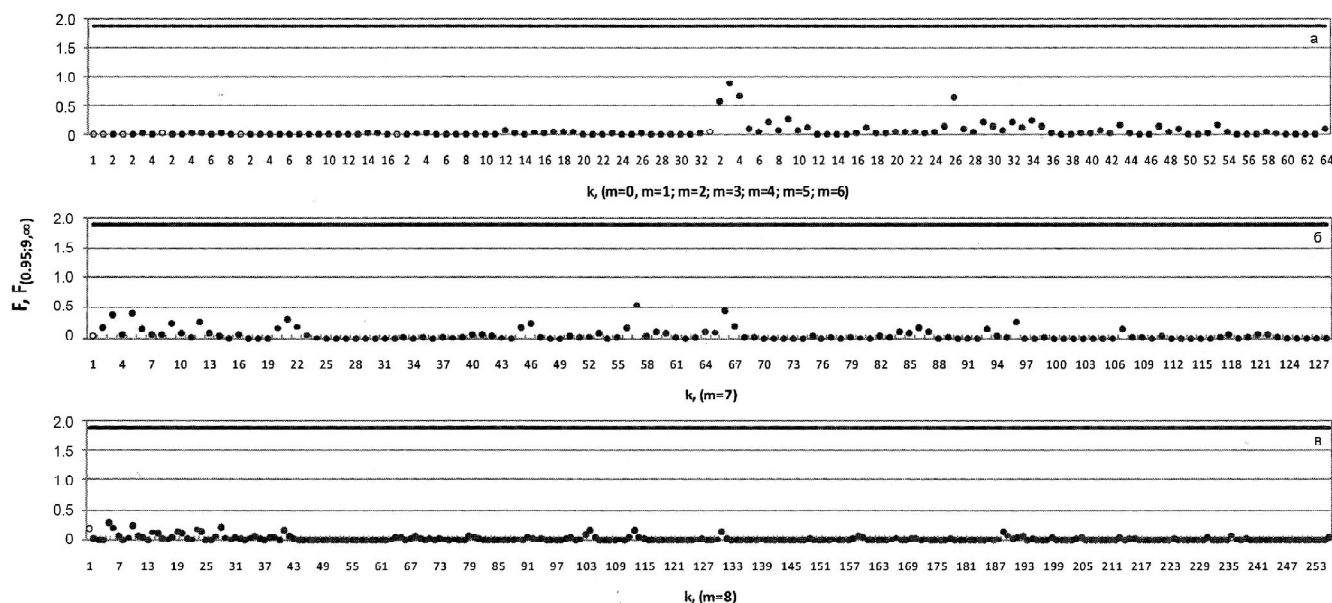


Рис. 3. Верификация гипотезы о равенстве выборочных средних совокупностей коэффициентов разложения с одинаковым индексом k в зависимости от уровня разложения m . Приведены значения $F_{\alpha; (k_1; k_2)}$ и F для выборок, образованных коэффициентами разложения, где m ($1 \leq m \leq 8$) – номер уровня разложения, k – номер коэффициента разложения: а – значения $F_{\alpha; (0.95; 9; \infty)}$ и F для выборок, образованных коэффициентами разложения уровней 1-6; б – значения $F_{\alpha; (0.95; 9; \infty)}$ и F для выборок, образованных коэффициентами разложения уровня 7; в – значения $F_{\alpha; (0.95; 9; \infty)}$ и F для выборок, образованных коэффициентами разложения уровня 8.
 Условные обозначения: сплошная черная линия – табличное значение критерия, ● – наблюдаемые значения критерия, маркером ○ отмечено значение F , соответствующее коэффициенту разложения с индексом $k = 1$ на каждом уровне разложения m .

Обсуждение

В ходе эксперимента установлено, что мгновенные значения температуры окружающей среды (воздуха) и температур, измеренных в точках, расположенных на геометрической оси стволов живого и сухого деревьев ели, совпадают в пределах расширенной неопределенности результата измерения, обусловленной его инструментальной (приборной) и случайной составляющими, как для живого, так и для сухого дерева.

Во-первых, это означает, что распределение температуры ствола живого дерева ели не отличается от распределения температуры ствола сухого дерева, определяемого в данном рассмотрении как неживой объект. Следовательно, мощность внутренних источников тепла ели пренебрежимо мала по сравнению с внешними источниками тепла и не оказывает существенного влияния на температурное поле ели. Результат не является неожиданным, если учесть, что у древесных растений отсутствуют внутренние источники энергии, мощность которых была бы сравнима с мощностью такого источника энергии, как Солнце. Таким образом, моделируя тепловой обмен дерева ели, можно полагать, что его температурное поле полностью определяется взаимодействием с окружающей средой.

Во-вторых, опыт показал, что у ели можно выделить пассивные в тепловом отношении структурные элемен-

ты, температура которых не отличается от температуры окружающей среды. К таким структурным элементам относятся ветви, вершины стволов. Так как максимальный радиус, для которого проводились измерения температуры, ограничен геометрическими размерами применявшихся датчиков температуры и равен 0.03 м, то можно утверждать, что для любой структурной части ели, имеющей радиус основания по крайней мере меньший либо равный этому значению, ее мгновенная температура будет равна температуре окружающей среды. Равенство температуры ветвей и вершины ствола позволяет считать, что температура в любой точке дерева ели на начальных стадиях развития (подрост) до достижения им определенных размеров (радиус основания ствола 0.03 м) будет равна температуре среды. Вероятно, что тепловой обмен древес-

ных растений, имеющих схожие физиологические параметры и произрастающих в подобных климатических условиях, не отличается от теплообмена ели.

Полученные выводы находятся в согласии с концепцией, рассматривающей древесные растения как пойкилотермные организмы, и позволяют утверждать, что обмен энергией в форме тепла между окружающей средой и древесным растением может описываться теми же закономерностями, что и теплообмен между средой и объектами неживой природы. В целом, результаты эксперимента не противоречат предложенной теоретической модели теплообмена древесного растения [7]. Согласие теории и эксперимента свидетельствует об оправданности применения физических методов при исследовании процессов теплообмена древесных растений, а

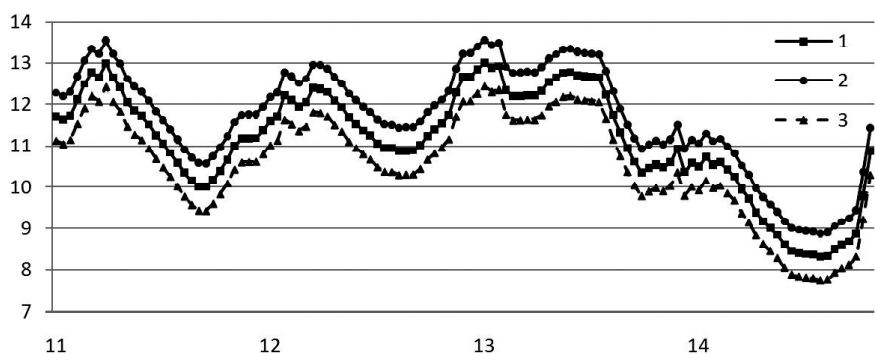


Рис. 4. Температурный ряд, построенный как среднее всех полученных в эксперименте рядов: 1 – усредненный температурный ряд T ; 2, 3 – границы доверительного интервала $D(P)$. Приведена часть ряда.

также и других пойкилотермных организмов. В частности, экспериментальное подтверждение того, что температура структурных частей дерева, имеющих характерный размер, меньший либо равный критическому радиусу, совпадает с температурой среды, переводит данный факт из области допущений, которые были приняты при построении теоретической модели [7], в область утверждений. При решении дифференциального уравнения теплопроводности для древесного растения это позволяет исключить из рассмотрения ветви, корни, верхнюю часть ствола и аппроксимировать древесное растение усеченным конусом.

ЛИТЕРАТУРА

1. (Аш Ж.) Датчики измерительных систем / Ж. Аш и др. В 2-х книгах. М.: Мир, 1992. Кн. 1. 480 с.
 2. Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера / Под ред. К.С. Бобковой, Э.П. Галенко. СПб.: Наука, 2001. 278 с.
 3. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. М.: Наука, 1964. 487 с.
 4. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высш. школа, 1967. 599 с.
 5. Пехович А.И., Жидких В.М. Расчеты теплового режима твердых тел. Л.: Энергия, 1976. 351 с.
 6. Рекомендации по метрологии. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСОЕИ): Измерения прямые однократные. Оценка погрешности и неопределенно-

сти результата измерения (Р 50.2.038-2004). М., 2004.

7. Тарасов С.И. Тепловой обмен ели сибирской в условиях средней подзоны тайги. Сыктывкар, 2003. 96 с.
 8. Тарасов С.И., Урнышев А.П. Метод сравнения случайных последовательностей. Сыктывкар, 2010. 24 с. – (Сер. Новые науч. методики / Коми НЦ УрО РАН; Вып. 64).
 9. Abramovich F., Bailey T.C., Sapatinas T. Wavelet analysis and its statistical applications // Statistician, 2000. Vol. 49, pt. 1. P. 1-29.
 10. Angelini C., Vidakovic B. Some novel methods in wavelet data analysis: wavelet ANOVA, F-test shrinkage and G-minimax wavelet shrinkage. 2002. 20 p. – (Istituto per le Applicazioni del Calcolo «Mauro Picone»; Rapporti Tecnici RT 256/02).
 11. Bejan A. Heat transfer handbook. New Jersey, 2003. 1480 p.
 12. Campbell G.S., Norman J.M. Introduction to environmental biophysics. N.-Y.: Springer, 2000. 286 p.
 13. Courbet F., Houllier F. Modelling the profile and internal structure of tree stem. Application to *Cedrus atlantica* (Manetti) // Ann. Forest Sci., 2002. Vol. 59. P. 63-80.
 14. Cuevas A., Febrero M., Fraiman R. An ANOVA test for functional data // Computational statistics data analysis, 2004. Vol. 47. P. 111-122.
 15. Fleurant C., Duchesne J., Raimbault P. An allometric model for trees // J. Theoretical Biol., 2004. Vol. 227. P. 137-147.

16. Godin C. Representing and encoding plant architecture: A review // Ann. Forest Sci., 2000. Vol. 57. P. 413-438.
 17. Godin C., Costes E., Sinoquet H. A method for describing plant architecture which integrates topology and geometry // Ann. Bot., 1999. Vol. 84. P. 343-357.
 18. (Лазарева Г.Г.) Mathematical modeling of plant morphogenesis / G.G. Lazareva, V.V. Mironova, N.A. Omelyanchuk et al. // Numerical analysis and applications, 2008. Vol. 1, № 2. P. 123-134.
 19. Lienhard IV J.H., Lienhard VJ.H. A heat transfer textbook. Cambridge, MA: Phlogiston Press, 2008. 749 p.
 20. Mercer G.N., Weber R.O. Modeling heating effects // Plant disturbance ecology / Eds. E.A. Johnson, K. Miyani-shi. London: Acad. Press, 2007. P. 371-395.
 21. Pallardy S.G. Physiology of woody plants. Elsevier Inc., 2008. 454 p.
 22. Prusinkiewicz P. Modeling of spatial structure and development of plants: a review // Sci. Horticulturae. 1998. Vol. 74. P. 113-149.
 23. Taiz L., Zeiger E. Plant physiology. N.-Y., 2010. 690 p.
 24. (Tavener J.P.) Industrial measurements with very short immersion / J.P. Tavener, D. Southworth, D. Ayres et al. – (Isotherm. Technology Ltd. – lab@isotech.co.uk).
 25. Weber J., Penn J. Creation and rendering of realistic trees // Proc. Ann. Conf. Ser. Acm Siggraph.: Computer Graphics, 1995. P. 381-394. ❖

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЛИСТЬЕВ БРУСНИКИ И ЧЕРНИКИ В ЕЛЬНИКАХ ЧЕРНИЧНЫХ В УСЛОВИЯХ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВЫБРОСАМИ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В связи с активным воздействием на окружающую среду техногенной деятельности человеческого сообщества очень важно исследовать роль химических компонентов биосферы, входящих в арсенал средств, обеспечивающих процессы жизнедеятельности, в частности, растений [3]. Необходимым составляющим компонентом лесного мониторинга является химический мониторинг [9]. Исследования содержания химических элементов в различных органах растений показали его высокую изменчивость в зависимости от вида и возраста растения, региональных климатических особенностей, сезонного развития и лесорастительных условий место-



Е. Робакидзе



Н. Торлопова

произрастания [1, 8, 10]. Кроме климатических и биотических факторов, на химический состав растительных тканей оказывает воздействие разнообразные вещества-загрязнители выбросов промышленных производств. Хроническое загрязнение лесных экосистем газообразными токсикантами и пылевыми выбросами, содержащими разнообразные соединения металлов, приводит к постепенному накоплению отдельных элементов в почве и в дальнейшем в органах растений [2, 5, 12].

В среднетаежной зоне Республики Коми крупнейшим источником промышленных выбросов в воздушный бассейн является целлюлозно-бумажное

Робакидзе Елена Александровна – к.б.н., н.с. отдела лесобиологических проблем Севера. E-mail: robakidze@ib.komisc.ru.
 Торлопова Надежда Валерьяновна – к.б.н., с.н.с. этого же отдела. E-mail: torlopova@ib.komisc.ru.
 Область научных интересов: лесная экология, аэротехногенное загрязнение, мониторинг.

предприятие ОАО «Монди Сыктывкарский ЛПК» (СЛПК). Его основными поллютантами являются оксиды углерода, азота, серы, сероводород, сероорганические соединения, минеральная пыль, содержащая карбонаты и сульфиды кальция и натрия. В последние годы суммарное количество выбросов – около 20 тыс. т/год, что в 1.4 и 1.6 раза ниже, чем в 2004 и 1998 г. [13] соответственно.

Целью данной работы является оценка изменений химического состава листьев брусники и черники – доминирующих кустарничков еловых фитоценозов – в условиях воздушного загрязнения СЛПК.

Исследования проводили в ельниках черничных, расположенных на разном расстоянии от источника загрязнения – СЛПК. Заложены пробные площадки (ПП): контрольный участок (фоновый) ПП 4 находится на расстоянии 50 км и четыре загрязненные ПП 37, 33, 35 и 36, расположенные к северо-востоку на расстоянии 3.5, 4.3, 5.3 и 10.0 км соответственно от источника эмиссии в направлении доминирующей составляющей региональной розы ветров. Первоначальный подбор объектов проведен по таксационным описаниям выделов и планам лесонасаждений. Выбор экспериментальных участков для проведения исследований предусматривал их сопоставимость по основным лесорастительным свойствам почв и таксационным характеристикам насаждений, расположенных в зоне воздействия выбросов и фонового района [7]. Дехромацию листьев растений кустарничкового яруса на экспериментальных участках учитывали на площадках размером 50×50 см в 30 повторностях [6]. Для химического анализа были собраны листья брусники и черники (средний образец из 10 повторностей на каждой ПП). Химический анализ проводили в аккредитованной экоаналитической лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН по аттестованным методикам количественного химического анализа (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.511257). Валовое содержание элементов минерального питания (калий, кальций, магний, фосфор, марганец, железо, натрий, алюминий) в растительных образцах определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-анализатор, Германия).

Ельники черничного ряда (*Piceetum myrtillosum*) произрастают на типичных подзолистых суглинистых почвах. Древостои спелые, разновозрастные, разновысотные, невысокой продуктивности (запас изменяется от 213 до 372 м³/га), в основном V класса бонитета. Ярусность не выражена, так как ель представлена несколькими возрастными генерациями. Древесный ярус образует ель сибирская (*Picea obovata*), в составе часто присутствуют сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) и береза повислая (*Betula pendula*), реже – осина (*Populus tremula*) и пихта сибирская (*Picea abies*). Редкий подлесок состоит из можжевельника (*Juniperus communis*), ивы (*Salix* sp.), рябины (*Sorbus aucuparia*) и шиповника иглистого (*Rosa acicularis*). Равномерно расположенный по площади подрост представлен в основном разновозрастной елью (2.0-4.3 тыс. экз./га).

Количество видов растений (с древесными и подлеском) в исследуемых еловых фитоценозах зоны техногенного действия СЛПК варьирует от 15 до

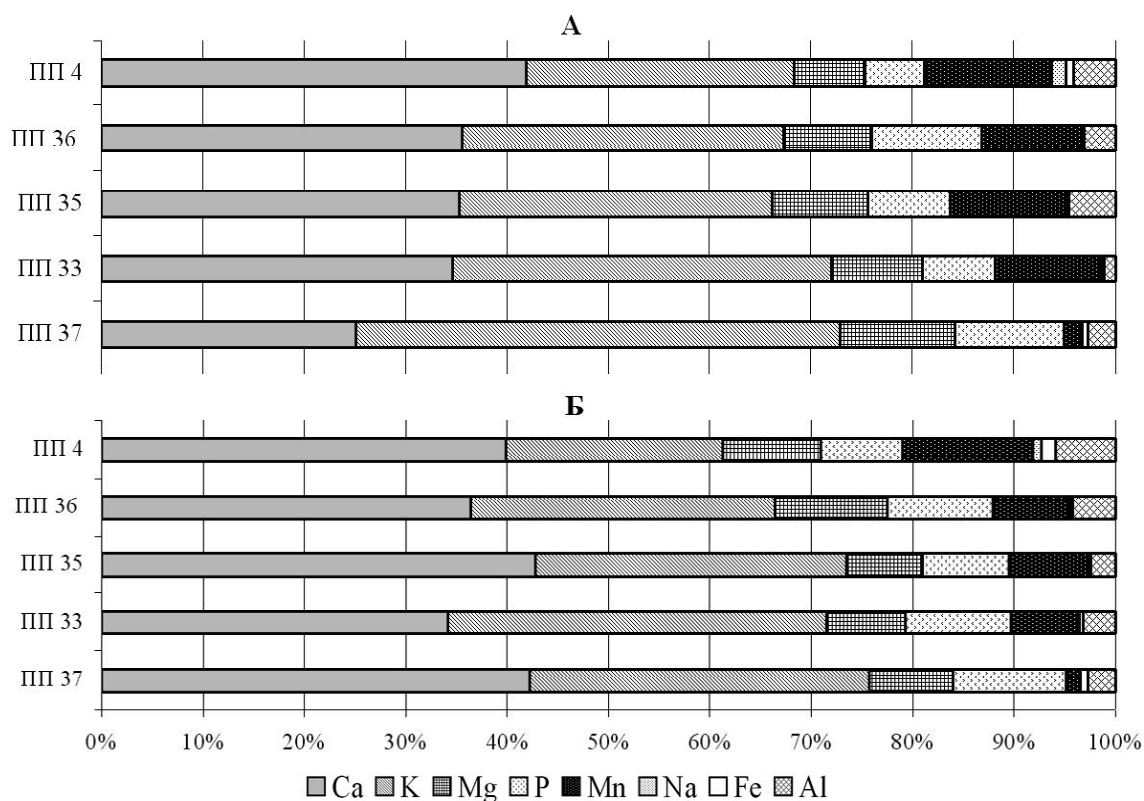
24, что в 1.4-2.2 раза меньше, чем в фоновом районе. На ПП экспериментальных ельников зоны загрязнения количество видов травянистых растений в 1.8-2.8 раз, а мхов – в 1.2-1.8 раза меньше, чем на ПП фонового района. Встречаемость и обилие наиболее распространенного мха *Pleurozium schreberi* в 2.5-3.0 раза выше, чем на фоновой ПП. С приближением к источнику эмиссии снижается встречаемость майника, марьянника и ожики вплоть до полного их исчезновения (ПП 37). Оценка сходства растений напочвенного покрова с помощью коэффициентов Жаккара (см. таблицу) показала значительное сходство флоры на контрольном (ПП 4) и экспериментальных (ПП 33, 35 и 36) участках ельников ($J = 0.50, 0.46$ и 0.56 соответственно), за исключением экспериментального участка ПП 37 ($J = 0.15$), расположенного в 3.5 км от источника эмиссии.

Изучение жизненного состояния растений-доминантов травяно-кустарничкового яруса показало воздействие выбросов целлюлозно-бумажного производства на листья черники и брусники. Поврежденность листьев рассматриваемых видов кустарничков увеличивается в два раза по сравнению с фоновым районом и составляет для черники и брусники 24-34 и 8-15 %. Причем по мере удаления от СЛПК поврежденность черники усиливается, а брусники уменьшается. У исследуемых кустарничков наблюдаются пожелтение и побурение листьев, появление на них точечных некрозов вплоть до разрушения тканей. Это происходит, видимо, из-за нарушения их обменных процессов [11]. Визуальную оценку состояния брусники и черники дополнили определением химического состава листьев этих кустарничков.

Поступление поллютантов в листья черники и брусники происходит при техногенном воздействии за счет поверхностного загрязнения, а также фолитарного и почвенного поглощения. В листьях черники, произрастающей в ельниках фоновой территории, зольные элементы составляют 0.83 % массы сухого вещества. В еловых насаждениях загрязненной зоны накопление зольных элементов листьями черники идет более интенсивно (от 2.54 до 3.04 % массы сухого вещества) и превышает контрольные величины в среднем в три раза. Содержание зольных элементов в листьях брусники фоновых участков несколько выше, чем черники, и составляет 1.19 % массы сухого вещества. В еловых насаждениях загрязненных участков зольность листьев брусники выше контроля в 1.3 раза и изменяется от 1.44 до 1.79 %. В составе зольных элементов в листьях черники и брусники во всех исследуемых нами ельниках доминируют кальций и калий, на долю которых приходится около по 30-40 % (см. рису-

Степень сходства растений напочвенного покрова ельников (коэффициент Жаккара)

Номер пробной площадки	33	35	36	4
37	0.30	0.31	0.27	0.15
33		0.43	0.48	0.50
35			0.58	0.46
36				0.56



Структура зольного вещества листьев черники (А) и брусники (Б) в ельниках черничных на контрольной (ПП 4) и загрязненных (ПП 33, 35-37) пробных площадях.

нок). Значительное участие в структуре зольного вещества занимают магний, фосфор и марганец.

На основе полученных данных выявлена следующая закономерность: по мере удаления от источника эмиссии в листьях черники уменьшается содержание магния (от 0.30 до 0.06 % массы сухого вещества), калия (от 1.28 до 0.22), фосфора (от 0.29 до 0.05) и железа (от 0.015 до 0.006). В листьях брусники (см. рисунок) также отмечается достоверное уменьшение концентрации калия (от 0.53 до 0.25 %), фосфора (от 0.18 до 0.09) и магния (от 0.23 до 0.12). Для кальция такой закономерности не выявлено – он относительно малоподвижен. Водорастворимый кальций находится в молодых частях растения, а нерастворимые карбонаты, фосфаты и ацетаты кальция откладываются в старых частях в виде инкрустаций [4]. Калий и фосфор участвуют в процессах детоксикации, и более высокое их содержание в листьях кустарничков загрязненной территории свидетельствует о корреляции между этими элементами и жизнестойкостью растений. Фосфорные соединения играют главную роль в энергетическом обмене (АТФ). Калий и магний влияют, прежде всего, на гидратацию коллоидов протоплазмы. Магний (в виде хелата) и калий являются кофакторами многочисленных ферментов.

В листьях растений большая часть железа локализована в хлоропластах, оно является активатором и составной частью ферментов. Отмечено относительно высокое содержание натрия в листьях брусники (0.011 %) и черники (0.012 %) в фоновых ельниках. Натрий не считается жизненно необходимым элементом, однако, он часто составляет значительную долю золы растений [5]. При удалении от лесопромышленного комплекса в листьях кустарничков

происходит достоверное накопление таких элементов, как марганец (от 0.02 до 0.15 % у брусники, от 0.05 до 0.41 % у черники), а у брусники – алюминий (от 0.04 до 0.07 %). Относительно малоподвижный марганец стимулирует образование хлорофилла и фотосинтез. Рост растений во многом определяется поступлением из почвы макро- и микроэлементов в течение вегетационного периода, а поступление элементов зависит от их запаса и доступности. На распределение химических элементов оказывает влияние не только загрязнение воздуха и почвы, но и индивидуальная изменчивость химического состава растений.

В заключение следует отметить, что в результате аэротехногенного воздействия целлюлозно-бумажного производства в ельниках сокращается количество видов растений напочвенного покрова, увеличивается поврежденность листьев кустарничков.

Мониторинг в еловых сообществах черничных типов в условиях аэротехногенного воздействия СЛПК показал изменения химического состава листьев брусники и черники. Сравнительный анализ минерального состава листьев кустарничков показывает увеличение их зольности за счет повышения содержания в листьях черники калия, фосфора, магния и железа, в листьях брусники – калия, фосфора и марганца.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобкова К.С. Биологический круговорот азота и зольных элементов в сосновых биогеоценозах // Эколого-физиологические основы продуктивности сосновых лесов европейского Севера. Сыктывкар, 1993. С. 127-148.
2. Бусько Е.Г. Трансформация сосновых лесов Беларуси под воздействием антропогенных факторов. М.: Наука, 1995. 88 с.

3. Елин Е. С. Фенольные соединения в биосфере. Новосибирск, 2001. 118 с.

4. Лир Х., Польстер Г., Фидлер Г.-И. Физиология древесных растений. М., 1974. 420 с.

5. Лукина Н.В., Никонов В.В. Поглощение аэротехногенных загрязнителей растениями сосняков на северо-западе Кольского полуострова // Лесоведение, 1999. № 6. С. 34-41.

6. Меннинг У.Д., Федер У.А. Биомониторинг загрязнения атмосферы с помощью растений. Л., 1985. 143 с.

7. Методы изучения лесных сообществ. СПб., 2002. 240 с.

8. Морозова Р.М. Минеральный состав растений лесов Карелии. Петрозаводск, 1991. 97 с.

9. (Никонов В.В.) Методология и опыт реализации системы химического мониторинга лесов во-

сточной Фенноскандии / В.В. Никонов, Н.В. Лукина, Р.Т. Карабань и др. // Биологические основы изучения, освоения и охраны животного и растительного мира, почвенного покрова восточной Фенноскандии: Матер. междунар. конф. Петрозаводск, 1999. С. 185-186.

10. Прокушкин С.Г. Минеральное питание сосны. Новосибирск, 1982. 189 с.

11. Робакизде Е.А., Бобкова К.С. Накопление углеводов в разновозрастной хвое ели сибирской // Физиология растений, 2003. Т. 50, № 4. С. 1-8.

12. Чуваев П.П., Кулагин Ю.З., Петко Н.В. Вопросы индустриальной экологии и физиологии растений. Минск: Наука и техника, 1973. 54 с.

13. Экологический отчет 2008. Mondi Сыктывкарский ЛПК. – (<http://www.mondigroup.com>). ❖

ФЛОРА СОСУДИСТЫХ РАСТЕНИЙ БОЛОТ СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ЛУЗА

Относительно неблагоприятные условия болот ограничивают возможность произрастания многих растений. Однако соответствующие показатели среды значительно варьируют как по сезонам, так и на болотах разных типов и разных природных зон. Благодаря этому флористический состав болот довольно разнообразен. В то же время флора болот различных типов довольно специфична. Изучение флористического состава является неотъемлемым компонентом при классификации, анализе болотной растительности и болот в целом. Многие растения болот являются индикаторами экологических условий [5, 6, 13]. Анализ структуры флоры болотного массива в комплексе с растительностью и торфяной залежью позволяет охарактеризовать современную стадию развития болота, его историю и проследить связь между ними. До настоящего времени отсутствуют обобщенные данные о флоре болот России в целом, однако отдельные регионы в этом отношении изучены достаточно полно. Наиболее исследованными северными болотными флорами являются флоры Карелии [9, 10], северо-запада [3, 6] и тундровой зоны [3, 14] европейской России и Западной Сибири [11]. Остаются неизученными или требуют более детального изучения огромные площади болот, в том числе и болота южных районов Республики Коми.

В результате проведенного обследования 12 естественных болот юго-запада Республики Коми выявлено 102 вида высших сосудистых расте-



Н. Гончарова

ний. Близкие цифры приводятся в работах А.В. Кравченко [8] для флоры болот национального парка «Водлозерский», В.К. Антипиным с коллегами [1] для природного парка «Кожозерский» Архангельской области и М.С. Боч и В.И. Василевичем [4] для Печоро-Илычского заповедника Респуб-

лики Коми. Флоры болот более крупных территориальных единиц – Карелии, северо-запада европейской России – составляют от 24 до 28 % региональных флор [6, 10, 11]. Все виды растений исследованных болот относятся к 38 семействам, что составляет 40.8 % семейств флоры средней подзоны тайги. По количеству видов наиболее богатыми являются семейства *Superaceae*, *Ericaceae*, *Roaceae*, *Orchidaceae*, *Salicaceae* и *Rosaceae*, каждое из них включает от 5 до 19 видов. Остальные семейства имеют не более трех видов. Для бореальных флор в целом [16] и для болот в частности [6] доля ведущих 10 семейств не превышает 60 %. Таксономическая структура флоры изученных болот существенно отличается от подзональной флоры средней тайги, где первое место занимает семейство *Asteraceae* [12, 15]. По числу видов ведущие места занимают роды *Carex* (12 видов), *Salix* (5), *Dactylorhiza* (4), ниже следуют *Eriophorum* (3) и *Vaccinium* (3), восемь родов представлены двумя видами каждый – *Oxycoccus*, *Betula*, *Drosera*, *Calamagrostis*, *Equisetum*, *Galium*, *Stellaria* и *Utricularia*, большинство же родов (*Trichophorum*, *Bistorta*, *Chamaedaphne*, *Comarum*, *Ledum* и др.) – одним видом. Географическая структура

флоры является важным показателем ее специфичности, в то же время позволяет выявить черты сходства и различия с флорами болот других географических областей и выяснить возможные пути ее формирования. Во флоре исследованных болот выявлено пять широтных групп растений (см. таблицу). Ведущей группой исследованного района, как и средней тайги, в целом, являются виды бореальной широтной группы (более 80 % видов). Несмотря на то, что изученные болота находятся на границе с южной тайгой, доля северных широтных элементов на них составляет около 9 %. В средней тайге северная группа включает 8.4 % видов, причем в основном это виды холодных болотных экотопов. Более суровые (холодные) условия и короткий вегетационный период болотных экотопов ограничивают распространение на них видов южной широтной группы. Группа плюризональных видов (5 %) не играет существенной роли в сложении растительного покрова болот, за исключением *Equisetum fluviatile*, доминирующего в некоторых топяных сообществах окраек болот. Повышение роли видов северных и снижение – южных групп по сравнению с неболотными флорами отмечено во многих работах, посвященных исследованиям болот бореальной зоны [2, 6, 8, 9]. По характеру долгого простирания преобладают виды с широким ареалом – циркумполярные и евразийские (см. таблицу). Ведущее положение видов с обширной областью распространения отмечено также для болот европейской [6, 9] и азиатской [11] частей Евразии. На исследованных болотах циркумполярные виды с евразийским

и евросибирским распространением в сумме составляют 90.3 %, что существенно выше, чем во флоре средней тайги (61.3 %). Имеет место незначительное участие во флоре болот видов с европейским и почти европейским ареалом (например, *Salix aurita*, *Sorbus aucuparia*, *Stellaria nemorum*), что связано с положением района в восточной части Европы, где ослабевает влияние европейской флоры. В то же время и видов азиатской группы на болотах крайне мало. Их суммарная доля составляет всего 4 % общего числа видов. Сходные данные получены Т.Г. Ивченко [7] для болот Ильменского государственного заповедника, расположенного в предгорьях восточного макросклона Южного Урала. Космополиты и биполярные виды единичны. В целом, географическая структура флоры болот по сравнению со средней тайгой упрощена, для нее характерно преобладание бореальных видов с широкими ареалами.

Одними из наиболее значимых экологических факторов, определяющих видовой состав и структуру растительного покрова болот, являются обильное увлажнение и трофность субстрата. На болотах есть участки как с действительно постоянным обильным увлажнением в течение всего сезона (топи, мочажины), так и с переменным (гряды, кочки). Кроме того, при разделении видов по отношению к влажности субстрата прослеживается связь с ценотической приуроченностью вида. По отношению к фактору увлажнения были выделены шесть групп растений (см. таблицу). Довольно много во флоре исследованных болот мезофитов и близких к ним гигромезофитов – 22.5 и 27.5 % соответственно. По ценотической приуроченности виды этих групп заметно отличаются. Одни из них как правило «случайные», произрастают по окрайкам, в приостровных топях, другие приурочены к повышениям микрорельефа. Растения, относящиеся к группе мезогигрофитов, доминируют на слабо обводненных коврах и повышениях болот. Гигрофиты – виды окраинных топей, болотных ручьев, ключей и обводненных мочажин. На изученных болотах доля этих групп составляет почти 50 %. Гидрофитов мало (3 %), например, *Lemna minor*, *Naumburgia thyrsoiflora* приурочены к небольшим медленнотекущим ручьям некоторых болот, а *Utricularia vulgaris* отмечен в очень обводненных мочажинах, где вода стоит на поверхности. По уровню обеспеченности ми-

Аннотированный список сосудистых растений (102 вида) болот в бассейне среднего течения реки Луза

Название вида	1	2	3	4	5
<i>Abies sibirica</i> Ledeb.	Б	ЕС	ГМ	ОМт	Л
<i>Alnus incana</i> (L.) Moench.	Б	ЕС	ГМ	Мт	Л
<i>Andromeda polifolia</i> L.	Б	Ц	МГ	От	Бл
<i>Angelica sylvestris</i> L.	Б	ЕС	М	Мт	Л
<i>Betula nana</i> L.	ГА	Е	МГ	От	Бл
<i>B. pubescens</i> Ehrh.	Б	ЕА	М	ОМт	Л
<i>Bistorta major</i> S.F.Gray	Б	Ц	М	Мт	Лг
<i>Calamagrostis neglecta</i> (Ehrh.) Gaertn.	Б	Ц	Г	Мт	ЛгБл
<i>C. purpurea</i> (Trin.) Trin.	Б	Ц	М	Мт	Л
<i>Calla palustris</i> L.	Б	Ц	Г	Мт	Бл
<i>Caltha palustris</i> L.	Б	Ц	Г	МЕт	ВБл
<i>Carex chordorrhiza</i> Ehrh.	Б	Ц	Г	ОМт	Бл
<i>C. cinerea</i> Poll.	Б	Ц	Г	Мт	Лг
<i>C. diandra</i> Schrank	Б	Ц	МГ	Мт	Бл
<i>C. dioica</i> L.	Б	ЕС	МГ	Мт	Бл
<i>C. globularis</i> L.	Б	ЕА	ГМ	ОМт	ЛБл
<i>C. lasiocarpa</i> Ehrh.	Б	Ц	Г	ОМт	Бл
<i>C. limosa</i> L.	Б	Ц	Г	ОМт	Бл
<i>C. nigra</i> (L.) Reichard	Б	ВА-ЕА	МГ	Мт	Лг
<i>C. pauciflora</i> Ligf.	Б	Ц	ГМ	От	Бл
<i>C. paupercula</i> Michx.	Б	БП	Г	ОМт	Бл
<i>C. rostrata</i> Stokes	Б	Ц	Г	Мт	Бл
<i>C. vesicaria</i> L.	Б	ЕС	Г	МЕт	ВБл
<i>Chamaedaphne calyculata</i> (L.) Moench	Б	Ц	МГ	От	Бл
<i>Cicuta virosa</i> L.	Б	ЕА	Г	МЕт	ВБл
<i>Comarum palustre</i> L.	Б	Ц	Г	Мт	Бл
<i>Crepis paludosa</i> (L.) Moench	БН	Е	ГМ	Мт	ЛБл
<i>Dactylorhiza fuchsii</i> (Druce) Soo	Б	ЕС	ГМ	Мт	ЛБл
<i>D. hybridensis</i> (Wilmott.) Aver.	Б	ЕС	ГМ	Мт	ЛБл
<i>D. incarnata</i> (L.) Soo	Б	ЕА	ГМ	Мт	ЛБл
<i>D. maculata</i> (L.) Soo	Б	ЕС	ГМ	Мт	ЛБл
<i>D. traunsteineri</i> (Saut.) Soo	Б	ЕА	МГ	Мт	ЛБл
<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) Beauv.	Б	Ц	М	МЕт	Лг
<i>Dianthus superbus</i> L.	Б	ЕА	М	ОМт	Лг
<i>Drosera anglica</i> Huds.	Б	Ц	Г	ОМт	Бл
<i>D. rotundifolia</i> L.	Б	Ц	МГ	От	Бл
<i>Dryopteris carthusiana</i> (Vill.) H.P. Fuchs	Б	Ц	М	Мт	Л
<i>Eleocharis palustris</i> (L.) Roem. et Schult.	Б	Ц	Г	Ет	ВБл
<i>Empetrum nigrum</i> L.	ГА	Ц	М	От	ЛБл
<i>Epilobium palustre</i> L.	Б	Ц	МГ	МЕт	Бл
<i>Epipactis palustris</i> (L.) Crantz	Б	ЕС	ГМ	Мт	ЛБл
<i>Equisetum fluviatile</i> L.	ПЛ	Ц	Г	МЕт	ВБл
<i>E. sylvaticum</i> L.	Б	Ц	М	Мт	Л
<i>Eriophorum gracile</i> Koch	Б	Ц	Г	Мт	Бл
<i>E. polystachion</i> L.	Б	Ц	МГ	Мт	Бл
<i>E. vaginatum</i> L.	ГА	Ц	МГ	От	Бл
<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim.	Б	ЕС	ГМ	МЕт	Лг
<i>Frangula alnus</i> Mill.	БН	ЕА	МГ	Мт	ЛБл
<i>Galium palustre</i> L.	Б	Ц	Г	МЕт	ЛгБл
<i>G. uliginosum</i> L.	Б	ЕА	ГМ	ОМт	ЛгБл
<i>Geranium sylvaticum</i> L.	Б	ЕС	М	М	Л
<i>Juniperus communis</i> L.	Б	Ц	КМ	ОМт	Л
<i>Lathyrus vernus</i> (L.) Bernh.	БН	ЕС	М	Мт	Л
<i>Ledum palustre</i> L.	Б	Ц	ГМ	От	Бл
<i>Lemna minor</i> L.	ПЛ	КСМ	ГД	МЕт	В
<i>Ligularia sibirica</i> (L.) Cass.	Б	ЕА	М	От	ЛБл
<i>Listera ovata</i> (L.) R.Br.	Б	Ц	ГМ	Мт	Л
<i>Luzula pilosa</i> (L.) Willd.	Б	Ц	М	Мт	Л
<i>Lysimachia vulgaris</i> L.	Б	ЕА	МГ	МЕт	Л
<i>Maianthemum bifolium</i> (L.) W.P.Schmidt	Б	ЕА	М	ОМт	Л
<i>Melampyrum pratense</i> L.	Б	ЕА	М	ОМт	ЛгЛ
<i>Menyanthes trifoliata</i> L.	Б	Ц	Г	Мт	ВБл
<i>Milium effusum</i> L.	БН	Ц	М	Мт	Лг
<i>Moneses uniflora</i> (L.) A. Gray	Б	Ц	М	ОМт	Л
<i>Naumburgia thyrsoiflora</i> (L.) Reichenb.	Б	Ц	ГД	Мт	ВБл
<i>Orthilia secunda</i> (L.) House	Б	Ц	ГМ	ОМт	Л
<i>Oxalis acetosella</i> L.	БН	Ц	М	Мт	Л
<i>Oxycoccus microcarpus</i> Turcz. ex Rupr.	ГА	Ц	ГМ	От	Бл
<i>O. palustris</i> Pers.	Б	Ц	МГ	ОМт	Бл
<i>Pedicularis sceptrum-carolinum</i> L.	Б	ЕА	МГ	Мт	ЛгБл
<i>Phalaroides arundinacea</i> (L.) Rausch.	Б	Ц	МГ	МЕт	Лг
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	ПЛ	КСМ	Г	Ет	ВБл
<i>Picea obovata</i> Ledeb.	Б	ЕС	ГМ	ОМт	Л

Окончание таблицы

Название вида	1	2	3	4	5
<i>Pinus sylvestris</i> L.	Б	ЕА	ГМ	ОМт	Л
<i>Pyrola rotundifolia</i> L.	Б	Ц	М	Мт	Л
<i>Poa palustris</i> L.	Б	Ц	МГ	МЕТ	Лг
<i>Rhynchospora alba</i> (L.) Valh	Б	Ц	Г	От	Бл
<i>Ribes nigrum</i> L.	Б	Е-С	МГ	ОМт	Л
<i>Rosa acicularis</i> Lindl.	Б	Ц	М	Мт	Л
<i>Rubus chamaemorus</i> L.	ГА	Ц	ГМ	ОМт	Бл
<i>Rumex acetosella</i> L.	Б	Ц	М	МЕТ	Лг
<i>Salix aurita</i> L.	Б	Е	ГМ	МЕТ	ЛБл
<i>S. caprea</i> L.	Б	ЕА	ГМ	Мт	Л
<i>S. cinerea</i> L.	Б	ЕА	ГМ	Мт	ЛБл
<i>S. lapponum</i> L.	ГА	ЕА	ГМ	Мт	Бл
<i>S. myrtilloides</i> L.	Б	ЕА	Г	ОМт	Бл
<i>Saxifraga hirculus</i> L.	ГА	Ц	Г	Мт	Бл
<i>Scheuchzeria palustris</i> L.	Б	Ц	Г	ОМт	Бл
<i>Scirpus sylvaticus</i> L.	Б	ЕА	Г	МЕТ	В
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	Б	Е	М	ОМт	Л
<i>Stellaria crassifolia</i> Ehrh.	ГА	Ц	Г	Мт	ЛгБл
<i>Stellaria nemorum</i> L.	Н	Е	ГМ	ОМт	Л
<i>Thelypteris palustris</i> Schott	Б	Ц	Г	МЕТ	ЛБл
<i>Thyselinum palustre</i> (L.) Rafin.	Б	ЕС	Г	М	ЛгБл
<i>Trichophorum alpinum</i> (L.) Pers.	Б	Ц	МГ	МЕТ	Бл
<i>Trientalis europaea</i> L.	АБ	Ц	ГМ	От	Л
<i>Utricularia minor</i> L.	ПЛ	Ц	Г	Мт	В
<i>U. vulgaris</i> L.	ПЛ	Ц	ГД	Мт	В
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	Б	Ц	ГМ	ОМт	Л
<i>V. uliginosum</i> L.	ГА	Ц	ГМ	От	ЛБл
<i>V. vitis-idaea</i> L.	Б	Ц	М	ОМт	Л
<i>Viola epipsila</i> Ledeb.	Б	ЕС	ГМ	ОМт	Л

Примечание: 1) Долготные группы: БП – биполярная, ВА-ЕА – восточноамериканско-евразийская, Е – европейская, ЕА – евразийская, ЕС – европейско-сибирская, Ц – циркумполярная, КСМ – космополитная; 2) Широтные группы: Б – бореальная, БН – бореально-неморальная, ГА – гипоарктическая, Н – неморальная, ПЛ – плюризональная; 3) Экологические группы по отношению к увлажнению: Г – гигрофитная, ГД – гидрофитная, ГМ – гигромезофитная; КМ – ксеромезофитная, М – мезофитная, МГ – мезогигрофитная; 4) Экологические группы по отношению к трофности субстрата: Ет – евтрофная, Мт – мезотрофная, МЕТ – мезоевтрофная, От – олиготрофная, ОМт – олигомезотрофная; 5) Ценоотические группы: В – водная, ВБл – водно-болотная, Бл – болотная, Л – лесная, ЛБл – лесно-болотная, Лг – луговая, ЛгБл – лугово-болотная, ЛгЛ – лугово-лесная.

неральными элементами болота очень разнообразны. Отражением этих различий является градиент трофности (poor-rich gradient). Он определяется концентрацией питательных веществ и кислотностью и варьируется от крайне бедных и кислых (олиготрофных) до очень богатых щелочных (евтрофных). Следует отметить, что понятие «очень богатые условия питания» болот является условным и не соответствует понятию богатства для неболотных местообитаний [17]. Традиционно в болотоведении болотные массивы и их участки разделяются по типу водного питания на олиго-, мезо- и евтрофные. Кроме того, выделяют переходные группы (например, мезоолиготрофы). Каждому типу соответствует определенный видовой состав растений, хотя многие из них способны произрастать в широком диапазоне экологических условий. Для анализа приуроченности растений болот к определенной трофности субстрата были использованы шкалы Раменского, все виды были разделены на пять групп (см. таблицу). В крайне бедных и бедных условиях

способны произрастать около 40 % видов (олиго-, олигомезотрофы). Преимущественно это растения олиготрофных болот, питание которых осуществляется за счет атмосферных осадков. В то же время распространение *Betula nana*, *Chamaedaphne calyculata*, *Scheuchzeria palustris* и некоторых других видов не ограничивается олиготрофными условиями. Они встречаются, и иногда довольно обильно, на мезо- и даже евтрофных участках, что говорит об их евритрофности. Меньше видов (19 %) предпочитают субстрат, богатый минеральными веществами (ев-, мезоевтрофы): например, *Cicuta virosa*, *Epilobium palustre*, *Saxifraga hirculus*. Такие условия характерны для минеротрофных и ключевых участков или болот. Основу же флоры составляют мезотрофные виды (42), например, *Carex rostrata*, *Cotnamum palustre*, *Eriophorum polystachion* и др. Эти растения отмечены нами произрастающими совместно с олиготрофными, реже с евтрофными видами, что говорит о широте их экологической амплитуды по отношению к условиям трофности субстрата.

В целом, деление болотных видов на группы трофности является довольно условным, а принадлежность вида к той или иной группе говорит о пределе бедности субстрата, в котором вид способен произрастать.

Современная флора болот, согласно И.Д. Богдановской-Гиеней [2], является результатом перехода на болота видов из разных местообитаний. В ее состав входят виды, отличающиеся по степени приуроченности к болотным местообитаниям. Некоторые из них являются типично болотными растениями, произрастающими почти исключительно на болотах на протяжении всего ареала (облигатные гелофиты), другие сохранили связь с болотами только в определенных частях ареала (факультативные гелофиты). Часть растений, встречающихся на болотах, являются случайными. На изученных болотах преобладают болотные, лесные и лесоболотные виды, в сумме они составляют более 70 % флоры (см. таблицу). Доля первых составляет 27.5 %, из них почти половина – верные болотные растения, остальные относятся к факультативным. Следует отметить, что в районе исследований большинство факультативных гелофитов приурочены исключительно к болотным местообитаниям, т.е. являются облигатными для данного района. Обращает на себя внимание значительное участие во флоре болот представителей лесной и лесно-болотной групп (29.4 и 14.7 % соответственно), что говорит о тесной связи растительности болот с окружающими их лесными местообитаниями. Меньше выражена связь исследованных болот с луговыми (луговые – 9.8, лугово-болотные – 4.9 %) и водными (водно-болотные – 7.8, водные – 3.9%) экотопами, в сумме менее 30 % флоры.

Таким образом, проведенный анализ показал, что основу флоры исследованных болот составляют облигатные мезоолиготрофные виды. Она имеет бореальный, ярко выраженный гигрофильный характер и хорошо отличается от лесной, луговой и других флор. Специфичность флоры болот, как и ее отличие от региональной флоры в целом, объясняется особенностями болотных местообитаний. Это то общее, что объединяет флору исследованных болот с флорами болот других регионов. Своеобразие флоры исследованных болот связано с их географическим положением и типологическим разнообразием болотных массивов.

ЛИТЕРАТУРА

1. (Антипин В.К.) Болота существующих и проектируемых особо охраняемых территорий западной части Архангельской области / В.К. Антипин, М.А. Бойчук, Т.Ю. Дьячкова и др. // Поморье в Баренц-регионе. Экономика, экология, культура: Матер. междунар. конф. Архангельск, 2000. С. 12-13.
 2. Богдановская-Гиензф И.Д. О происхождении флоры бореальных болот Евразии // Материалы по истории флоры и растительности СССР. М.-Л., 1946. Вып. 2. С. 425-468.
 3. Боч М.С. О классификации болотной растительности (на примере сфагновых топей северо-запада РСФСР) // Бот. журн., 1986. Т. 71, № 9. С. 1182-1192.
 4. Боч М.С., Василевич В.И. Болота верховьев рек Печоры и Илыча (Северное Предуралье) // Болота европейского Севера. Структура, генезис, динамика. Петрозаводск, 1980. С. 42-75.
 5. Боч М.С., Мазинг В.В. Экосистемы болот СССР. Л., 1979. 186 с.

6. Боч М.С., Смагин В.А. Флора и растительность болот северо-запада России. СПб., 1993. 225 с.
 7. Ивченко Т.Г. Флористический состав, структура и особенности распределения растительных сообществ болот низкогорной части южного Урала (на примере Ильменского заповедника) // Болотные экосистемы севера Европы: разнообразие, динамика, углеродный баланс, ресурсы и охрана: Матер. междунар. симпоз. Петрозаводск, 2006. С. 99-111.
 8. Кравченко А.В. Флора болот природного парка «Кожозерский» (Архангельская область) // Болотные экосистемы севера Европы: разнообразие, динамика, углеродный баланс, ресурсы и охрана: Матер. междунар. симпоз. Петрозаводск, 2006. С. 129-144.
 9. Кузнецов О.Л. Анализ флоры болот Карелии // Бот. журн., 1989. Т. 74, № 2. С. 153-167.
 10. Кузнецов О.Л. Структура и динамика растительного покрова болотных экосистем Карелии: Автореф. дис.

... докт. биол. наук. Петрозаводск, 2006. 53 с.
 11. Лапшина Е.Д. Флора болот юго-востока Западной Сибири. Томск, 2003. 296 с.
 12. Мартыненко В.А. Флора северной и средней подзон тайги европейского Северо-Востока: Автореф. дис. ... докт. биол. наук, Екатеринбург, 1996. 34 с.
 13. Ниценко А.А. Краткий курс ботаники. М., 1967. 148 с.
 14. Ребристая О.В. Сосудистые растения болотных сообществ полуострова Ямал // Сиб. экол. журн., 2000. № 5. С. 585-598.
 15. Сергиенко В.Г., Груздев Б.И. О растительности и флоре окрестностей г. Лузы (Кировская обл.) // Региональные флористические исследования (межвузовский сборник). Л., 1987. С. 120-138.
 16. Толмачев А.И. Введение в географию растений. Л., 1974. 240 с.
 17. Rydin H., Sjors H., Lofroth M. Mires // Acta Phytogeogr. Suec., 1999. Vol. 84. P. 91-112. ❖

СТРОЕНИЕ, СОСТОЯНИЕ ДРЕВОСТОЕВ И ЕСТЕСТВЕННОЕ ВОЗОБНОВЛЕНИЕ В ОСТРОВНЫХ МАССИВАХ СОСНЯКОВ ЛИШАЙНИКОВЫХ ЛЕСНОГО ЗАКАЗНИКА «СУЛА-ХАРЬЯГИНСКИЙ»

Особенностью сосняков лишайниковых является их высокая пожарная опасность и сравнительно слабая устойчивость к антропогенным нагрузкам. Данные типы сообществ на границе лесной зоны Печорского Заполярья заслуживают особого внимания. Среди обширных тундровых территорий они создают очень ценные лесные «оазисы». Необходимо также иметь в виду то, что сосна в таких условиях может произрастать только на прогреваемых песчаных почвах [7]. Крупные, изолированные участки насаждений представляют научный интерес для изучения биоразнообразия растений на Крайнем Севере.

Объектом исследования явились изолированные лесные массивы боров лишайниковых на северной границе лесной зоны, расположенные в междуречье Сула-Харьяга бассейна р. Печора. Они занимают площадь 5300 га. Было проведено маршрутное обследование территории с закладкой согласно общим нормативным требованиям (ОСТ 56-69-83) пробной площади (66°54'16" с.ш., 52°04'15" в.д. WGS 1984). Сбор и анализ материала проводили по классическим методикам, применяемым в лесоводстве и лесной таксации. Тип леса определяли по В.Н. Сукачеву, С.В. Зонну [12], анализ таксационных материалов выполнен по лесотаксационному справочнику [6]. На пробной площади проведен сплошной



А. Манов

перечет деревьев с измерением окружности ствола на 1.3 м. Для определения средней высоты древостоя измеряли высоту у 25 деревьев. Возраст древостоя определяли по кернам, взятым у шейки корня у 15 деревьев сосны и 5-10 деревьев сопутствующих пород. В процессе камеральной работы статистическую обработку проводили согласно методическим рекомендациям И.И. Гусева [4]. Описание жизненного состояния деревьев в сосновом фитоценозе проводили в соответствии с методикой, основанной на визуальной оценке состояния дерева, используемой в международной программе-методике ICP-Forests [15]. Согласно [15] выделяют следующие состояния: 0 класс – здоровое дерево (нет внешних признаков повреждения кроны и ствола, любые повреждения хвои <10 % по отношению ко всей массе ассимиляционного аппарата не сказываются на состоянии дерева); I класс – слабо поврежденное дерево (повреждение по одному или сумме всех признаков составляет 11-25 %); II класс – средне поврежденное дерево (26-60 % повреждений); III класс – сильно поврежденное (отмирающее) дерево (61-99 % повреждений); IV класс – отмершее дерево (100% повреждений). Отмершие деревья делятся на IVa (свежий сухостой) и IVб (старый сухостой – нет хвои, постепенно опадают ветви и кора). Старый сухостой практически не влияет на повреж-

Манов Алексей Валерьевич – к.с.-х.н., и.о. м.н.с. отдела лесоботанических проблем Севера. E-mail: manov@ib.komisc.ru. Область научных интересов: структура и динамика роста древостоев, дендрохронология, ГИС-технологии в лесоведении и лесном хозяйстве, математическое моделирование лесных экосистем.

Лесоводственно-таксационная характеристика сосняка лишайникового

Состав древостоя	Порода	Возраст, лет	Плотность* деревьев, экз. га ⁻¹		Сумма площадей сечения, м ² га ⁻¹	Запас* древесины, м ³ га ⁻¹		Диаметр, см	Высота, м
9С1Б ед. Лц	Сосна	65-90	1625	58	17.3	94	1	11	9
	Береза	55-60	150	0	1.0	14	0	9	7
	Лиственница	65-200	17	0	0.3	2	0	14	8
	Всего		1792	58	18.6	110	1		

* Приведены величины показателей для растущих (сухих) деревьев.

денность древостоя в целом, но при расчете необоснованно снижает его жизненное состояние, поэтому при анализе жизненного состояния учитывался только свежий сухостой [2].

Для оценки жизненного состояния древостоя рассчитывали индекс его поврежденности по формуле средневзвешенного класса повреждения составляющих древостой деревьев, предложенной А.С. Алексеевым [1], причем для получения более точных результатов за основу брали не число деревьев разных классов повреждения, а их стволовой запас [2]:

$$I = \frac{\sum_{i=0}^4 i \cdot v_i}{V}$$

где I – индекс поврежденности древостоя, балл; i – номера классов повреждения деревьев, баллы от 0 до 4; v_i – стволовой запас древесины деревьев i -го класса повреждения, м³ га⁻¹; V – общий запас древостоя, м³ га⁻¹. С учетом величины индекса поврежденности древостой классифицировали по А.С. Алексееву [1] на следующие категории: здоровый древостой (0-0.5), ослабленный древостой (0.6-1.5), сильно ослабленный древостой (1.6-2.5), отмирающий древостой (2.6-3.5) и сухостой (>3.6).

Проведен сплошной переучет подроста. К подросту относили древесные растения высотой более 0.25 м и диаметром до 6 см на высоте 1.3 м. Учитывали общее количество деревьев, их высотную структуру и состояние. Во всех фитоценозах определяли состав возобновления по породам. Подрост подразделяли на здоровый, усыхающий и сухой [8].

Близость Баренцева моря к объектам исследования (менее 200 км), частая смена воздушных масс, поступающих с Арктики, делают климат региона холодным и влажным с непостоянной погодой. По данным станции ГМС «Усть-Цильма», находящейся в пределах исследуемой лесорастительной подзоны, климат района характеризуется как умеренно континентальный. Среднегодовая температура воздуха составляет -2.0 °С. Период с отрицательными температурами длится 6.5-7.0 месяцев. Средняя температура января -16.9, июля +14.2 °С. Продолжительность безморозного периода – 85 дней. Вегетационный период длится 119 дней, период активного роста растительности – около 65 дней. Сумма температур выше +5 °С – 1250, выше +10 – 920 °С. Баланс влаги в районе положительный. Средняя сумма осадков за год – 646 мм. В теплый период года (апрель-октябрь) выпадает более 65 % осадков. Продолжительность залегания снежного покрова составляет около 6.5 месяцев (с 25 октября по

9 мая), его средняя высота 50-60 см. Почвы промерзают в среднем на 81 см [10, 11].

Отмечено [9], что в Восточно-Европейской при-тундровой лесорастительной области, где располагаются изучаемые сосняки лишайниковые, почвы характеризуются низкой теплообеспеченностью. Средняя годовая температура на поверхности песчаной почвы составляет -1.3...-2.8 °С. Устойчивое промерзание начинается в октябре, оттаивание – мае-июне. Наилучшее прогревание здесь наблюдается в июле-августе и верхние слои этой толщи прогреваются до 9-15 °С. В целом почвы бедны элементами минерального питания, особенно азотом. Реакция их среды кислая [5].

Исследуемые островные массивы сосновых боров лишайниковых представлены производными фитоценозами. Им присуща малая сомкнутость древесного полога, небольшая полнота и средняя высота древостоев, относительно большая протяженность крон по стволу. Невысокое положение солнца и большая продолжительность его сияния летом (16-24 ч) обуславливают своеобразный радиационный режим фитоценозов. В зимний период температурные условия под пологом древостоев мало отличаются от условий открытого пространства. Они формируют смешанные по составу простые по форме условно разновозрастные древостои. Только отдельные экземпляры хвойных деревьев, не попавшие в рубку и не подвергшиеся воздействию огня при пожаре, достигают 200-летнего возраста. При доминировании в составе древостоя сосны (*Pinus sylvestris* L.) всегда присутствует береза (*Betula pubescens* Ehrh.), реже лиственница (*Larix sibirica* Ledeb.) и ель (*Picea obovata* Ledeb.).

Сосняк лишайниковый (табл. 1) располагается на относительно пологом участке. Древостой одноярусный, смешанный по составу, низкопродуктивный (V класс бонитета). Возраст деревьев колеблется от 55 до 90 лет. Отдельные экземпляры лиственницы, попавшие в переучет, достигают 200 лет. Абсолютная полнота древостоя равна 18.6 м² га⁻¹, запас древесины растущих деревьев – 110 м³ га⁻¹. Число деревьев сосны в древостое составляет 1625 экз. га⁻¹, остальные породы (береза, лиственница) не превышают 10 % от всех живых деревьев. Сухостой сосновый, представлен в основном тонкомерными деревьями. Валеж также состоит из тонкомерных деревьев сосны первой стадии гниения. Часто встречаются сохранившиеся пни деревьев (96 шт. га⁻¹) после рубки древостой в 20-40-х годах прошлого столетия. Подрост из сосны, березы, лиственницы и ели имеет состав 8С2Б ед. Лц, Е. Подлесок

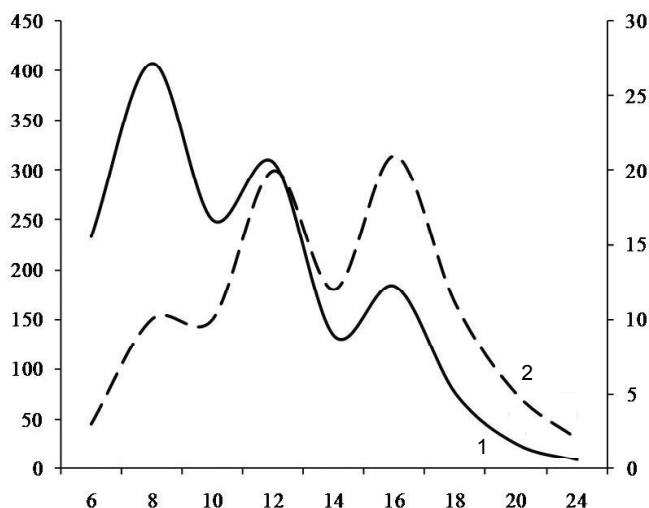
Таблица 2

Статистика рядов распределения деревьев сосны (верхняя строка) и березы (нижняя строка) по ступеням толщины в сосняке лишайниковом

$M \pm m_M$	σ	CV	A	E	p	t_1
10.9 ± 0.3	3.8	34.5	0.64	-0.20	2.4	40.5
8.6 ± 0.6	2.7	31.9	1.06	0.65	7.5	13.3

Примечание: M – средний диаметр, см; m_M – основная ошибка среднего диаметра, см; σ – среднее квадратичное отклонение от среднего диаметра, см; CV – коэффициент вариации, %; A – асимметрия (мера косости); E – эксцесс (мера крутости); p – точность опыта, %; t_1 – достоверность среднего значения.

отсутствует. Травяно-кустарничковый ярус с проективным покрытием 10-20 % состоит из брусники и плауна годичного. Мохово-лишайниковый покров сплошной, сформирован пятнами зеленого мха *Pleurozium schreberi* (Brid.), *Mnium* sp. и кустистыми лишайниками *Cladonia rangiferina* (L.) Web., *Cladonia sylvatica* (L.) Hoffm., *Cladonia alpestris* (L.) Rabenh. Согласно И.В. Забоевой [5], почвы сосняков лишайниковых в подзоне крайнесеверной тайги представлены иллювиально-гумусово-железистыми подзолами.



Распределение деревьев (1) и запасов древесины (2) в сосняке лишайниковом. По горизонтали: ступени толщины, см. По вертикали: плотность деревьев, экз. га⁻¹ (слева) и запас древесины, м³ га⁻¹ (справа).

Строение древостоя сосняка лишайникового. Из анализа распределения деревьев по толщине (табл. 2) следует, что среднее значение диаметров сосны равно 10.9 ± 0.3 см, т.е. от 10.6 до 11.2 см (при вероятности 0.68), а березы – 8.6 ± 0.6 см (при вероятности 0.94). Коэффициент вариации для сосны составляет 34.5, для березы – 31.9 %. Согласно статистическим методам [13], деревья сосны и березы в исследуемом древостое имеют большую изменчивость.

Высокая амплитуда колебания диаметров определяется наличием толстомерных деревьев, хотя количество их невелико. По данным Б.А. Семенова с соавт. [9], в условно одновозрастных древостоях сосняков Крайнего Севера коэффициент вариации диаметра деревьев изменяется от 21.3 до 41.3 %.

Асимметрия рядов распределения деревьев сосны по диаметру положительная (правая ветвь кривой, начиная от среднего диаметра, больше левой) и составляет A = +0.64. По И.И. Гусеву [4] такое распределение деревьев имеет среднюю положительную косость. Береза также представлена положительной асимметрией, равной A = +1.06, что означает большую положительную косость в распределении деревьев по диаметру. Эксцесс распределения деревьев сосны по диаметру отрицательный (E = -0.20), березы – положительный (E = +0.65). При отрицательном значении эксцесса кривая имеет низковоершинное приплюснутое строение. При положительном значении эксцесса кривая имеет высоковершинное строение, а деревья густо сгруппированы около среднего значения.

Формирование рассматриваемого древостоя происходило после условно сплошной рубки, когда на лесосеке после рубки оставляли фаутные и большие деревья. Это привело к преобладанию в древостое в настоящее время одного поколения деревьев. Три пика распределения деревьев по диаметру, вероятно, характеризуют заселение вырубki сосной в три этапа (см. рисунок). Возможно, связано это с семенными годами сосны на Крайнем Севере. Так, И.Б. Белецким [3] для сосняков Кольского полуострова установлено, что интервалы между урожаями шишек с хорошим качеством семян бывают через 4-7 лет. Согласно В.Ф. Цветкову и Б.А. Семенову [14], в лишайниковых и брусничных типах сосняков притундровой подзоны после уничтожения основного поколения деревьев (пожарами, рубками) могут усиливаться признаки формирования ступенчатой структуры древостоя, связанной с редкими урожаями и задержками прорастания семян.

Жизненное состояние деревьев. В древостое исследуемого сосняка лишайникового встречаются деревья с искривленными стволами у основания, количество таких деревьев около 1 %. Доля двухвершинных сосен составляет 2 % общего числа учетных деревьев в древостое. Остолоп и валеж на пробной площади представлены сосной по одному экземпляру. Сухостойные деревья, состоящие из тонкомерной сосны, составляют 3 %. На долю здоровых деревьев в древостое приходится 82 %.

Количество средне и сильно поврежденных деревьев составляет соответственно 10 и 4 %. Усыхающие деревья занимают менее 1 %. Согласно методике [1], рассчитанной по данным классов повреждения [15], исследованный древостой является здоровым (индекс поврежденности составил 0.3).

Возобновительный процесс под пологом сосняка. Проведенный нами анализ естественного возобновления в сосняке лишайниковом показывает, что под пологом дре-

Таблица 3
Характеристика растущего подроста сосны (верхняя строка) и березы (нижняя строка) в сосняке лишайниковом

Состав	Плотность, тыс. шт. га	$M \pm m_M$	σ	CV	p	t_1
8С2Б ед. Е, Лц	2.0	1.40±0.04	1.57	112.5	2.8	35.6
		1.61±0.05	2.7	61.4	3.0	32.9

Примечание: M – средняя высота, м; m_M – основная ошибка средней высоты, м; σ – среднее квадратичное отклонение от средней высоты, м. Остальные обозначения те же, что и в табл. 2.

Таблица 4

Количество и качество подроста сосны (С), лиственницы (Лц), березы (Б) и ели (Е) в сосняке лишайниковом

Категория крупности	Плотность подроста, шт. га ⁻¹												Всего
	здоровый				сомнительный				сухой				
	С	Б	Лц	Е	С	Б	Лц	Е	С	Б	Лц	Е	
Мелкий (до 0.5 м)	758	25	0	0	50	0	0	0	33	0	0	0	866
Средний (0.6-1.5 м)	259	141	0	0	50	84	0	0	50	25	16	0	625
Крупный (выше 1.6 м)	142	151	8	8	341	8	0	0	283	8	8	0	957
Итого	1159	317	8	8	441	92	0	0	366	33	24	0	2448

востоя развивается подрост в количестве 2.0 тыс. шт. га⁻¹ (табл. 3). На долю живого соснового подроста приходится 80 %. Высота его весьма вариабельна. Так, при среднем значении высоты сосны 1.40 ± 0.04 м коэффициент вариации равен 112.5 %, береза при средней высоте 1.61 ± 0.05 м имеет вариацию 61.4 %.

Доля участия здорового подроста в составе возобновления деревьев равна 61 %, в том числе сосны – 47 %. Сомнительный и сухой подрост составляет 39 % общего количества. У сосны преобладает здоровый подрост мелкой категории крупности (0.76 тыс. шт. га⁻¹), березы – здоровый средней и крупной категорий крупности (0.14 и 0.15 тыс. шт. га⁻¹ соответственно) (табл. 4).

Сомнительный и сухой подрост представлен в основном сосной крупной категории высоты (0.34 и 0.28 тыс. шт. га⁻¹ соответственно), что, видимо, определяется корневой конкуренцией за минеральное питание [7].

Таким образом, островные сосняки лишайниковые, произрастающие на границе лесной зоны Печорского Заполярья, формируют условно разновозрастные, здоровые и относительно продуктивные древостои. В 90-летнем возрасте запас древесины сосны достигает 94 м³га⁻¹. Возобновление сосны удовлетворительное – 1.6 тыс. шт. га⁻¹. Отмечается усыхание соснового подроста крупной категории.

Выражаю благодарность проф. К.С. Бобковой за помощь в работе над рукописью статьи и инж. А.И. Патову за помощь в сборе полевого материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев А.С. Мониторинг лесных экосистем. СПб.: 1997. 116 с.
 2. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение, 1989. № 4. С. 51-57.

3. Белецкий И.Б. Плодоношение сосны на Кольском полуострове. Исследование и рекомендации производству. Мурманск, 1968. 132 с.

4. Гусев И.И. Моделирование экосистем. Архангельск, 2002. 112 с.

5. Забоева И.В. Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар, 1975. 344 с.

6. Лесотаксационный справочник для северо-востока европейской части СССР (нормативные материалы для Архангельской, Вологодской областей и Коми АССР). Архангельск, 1986. 558 с.

7. Листов А.А. Боры-беломошники. М., 1986. 181 с.

8. Побединский А.В. Изучение лесовосстановительных процессов. М.: Наука, 1966. 64 с.

9. Семенов Б.А., Цветков В.Ф., Чибисов Г.А., Елизаров Ф.П. Притундровые леса европейской части России (природа и ведение хозяйства). Архангельск, 1998. 332 с.

10. Справочник по климату СССР. Ч. II. Температура воздуха и почвы. Вып. I. Архангельская и Вологодская обл., Карельская и Коми АССР. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 340 с.

11. Справочник по климату СССР. Ч. IV. Влажность воздуха, осадки, снежный покров. Вып. I. Архангельская и Вологодская обл., Карельская и Коми АССР. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 342 с.

12. Сукачев В.Н., Зонн С.В. Методические указания к изучению типов леса. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 144 с.

13. Тюрин А.В. Основы вариационной статистики в применении к лесоводству М.-Л., 1961. 103 с.

14. Цветков В.Ф., Семенов Б.А. Сосняки Крайнего Севера. М., 1985. 116 с.

15. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forest. Hamburg-Prague, 1994. 177 p. ❖



КОНФЕРЕНЦИИ



XX МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ «ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ»
 (Солнечный Берег, Болгария, 4-8 июня 2011 г.)

к.б.н. Н. Торлопова

Симпозиум «Экология и безопасность» ежегодно организует и проводит Болгарская академия наук, Союз ученых Болгарии, фонд «Наука и образование» для международной кооперации ученых по фундаментальным и прикладным направлениям: экология воздуха, почвы и воды; энергия, климат и глобальная безопасность; экология человека – здоровье и без-

опасность; гражданская оборона и борьба со стихийными бедствиями. Девиз XX симпозиума – «Для более чистого и более безопасного мира». Официальный язык в текущем году –

опасность; гражданская оборона и борьба со стихийными бедствиями. Девиз XX симпозиума – «Для более чистого и более безопасного мира». Официальный язык в текущем году –

только английский, хотя ранее можно было делать доклады на болгарском и русском языках. Были представлены образовательные и академические учреждения, исследовательские и коммерческие организации. В работе симпозиума приняли участие около 100 ученых, студентов и аспирантов из Бахрейна, Беларуси, Болгарии, Германии, Греции, Италии, Испании, Латвии, Литвы, Нидерландов, Польши, России, Румынии, Сербии, Словакии, Турции, Узбекистана, Франции, Чехии, Хорватии и США. Среди докладов были пленарная лекция, 20 секционных докладов и 53 стендовые презентации.

Широкая тематика симпозиума включала актуальные проблемы экологии и безопасности, такие как моделирование и прогнозирование атмосферных явлений, изменений климата, снижения влияния процессов и катастроф природного и антропогенного происхождения на урбозкосистемы, в том числе лесных пожаров, оползней. Большое внимание было уделено современным проблемам экологического мировоззрения и образования. На пленарном заседании Д. Сираков, профессор Национального института по метеорологии и гидрологии БАН, представил доклад о моделировании загрязнения воздуха. Совместный проект 11 организаций основан на изучении проблем после извержения вулкана в Исландии в 2010 г. Проведено сравнение разных моделей с реальной картиной распространения вулканических выбросов. Показана целесообразность функционирования сети центров по прогнозированию распространения выбросов, особенно вулканической пыли.

Секционные доклады имели разнообразную тематику. Несколько докладов было посвящено утилизации отходов пищевого, текстильного, горнодобывающего и химического произ-

водств. Это и экоремедиация отвалов с тяжелыми металлами, гидролиз алкольного и хлебопекарного производств, утилизация углекислого газа с помощью водорода, очистка вод от органических красителей с помощью природного сорбента вулканического происхождения клиноптилолита. Также были представлены результаты мониторинга окружающей среды, влияния лесных пожаров на дальнейшее лесовосстановление и на состояние здоровья людей, оптимальные условия выращивания важнейших агрокультур, экология паразитов рыб в связи с загрязнением водной среды.

На секции II крупным методическим докладом о долговременном экологическом комплексном мониторинге биотического разнообразия и абиотической неоднородности лесных водосборных бассейнов, основанном на теории индикаторов, отличились наши коллеги профессор Н. Игнатова и С. Дамианова из Лесотехнического университета в Софии. На основе долговременных экспериментов профессор К. Ганев с соавторами из Национального института геофизики, геодезии и географии БАН представил доклад о динамике состава атмосферы Балканского региона. Акцент сделан на формировании, превращениях и перемещениях воздушных масс с загрязняющими примесями. Устный доклад Н. Торлоповой с соавторами на тему «Накопление химических элементов в снежном покрове под пологом старовозрастных ельников средней тайги» был посвящен изучению вклада зимних осадков в поступление питательных элементов под полог таежных лесов.

Статьи по теме докладов опубликованы в научном журнале «International Scientific Publications» («Международные научные публикации»), изданном на CD-Rom и размещенном в Ин-

тернете (www.science-journals.eu), что позволяет авторам представить результаты своих исследований широкому кругу ученых из разных стран, не только участникам симпозиума.

Анализ выступлений показал, что в Европе развито межорганизационное и международное сотрудничество, что позволяет всесторонне изучить объект или явление, повысить результативность научных исследований. Прогнозирование и управление на основе учета большого массива вводных данных более эффективно. Немногие из российских докладов сделаны на основе совместных исследований, даже внутри страны. Перспективными направлениями в Европе являются всесторонние исследования влияния изменений климата на выращивание агрокультур, вопросы продовольственной безопасности. Не утрачивают своей актуальности проблемы загрязнения окружающей среды и очистки промышленных отходов. В связи с распространением лесных пожаров в Европе большое внимание уделяется изучению их последствий, влияния на природу и здоровье человека и выработке способов скорейшего лесовосстановления.

В связи с вышеуказанными перспективными направлениями положительным примером может являться плодотворное сотрудничество между научными организациями и органами управления в области экологии катастроф. Координатор симпозиума И. Геннов предложил ввести Институт биологии Коми НЦ УрО РАН в список организаторов в связи с многолетним участием его сотрудников в работе симпозиума.

Финансирование поездки осуществлялось по программе эквивалентного безвалютного обмена между РАН и БАН и за счет гранта РФФИ 11-04-08117-з.



ИНФОРМАЦИЯ



ИННОВАЦИЯ – ЭТО НОВОЕ ИЛИ ДАВНО ИЗВЕСТНОЕ СТАРОЕ?

Ц. Зильберг

Девяностые годы прошлого столетия характерны тем, что в русский язык хлынуло большое количество иностранных слов и понятий. Их заимствовали из переводимых книг по экономике, фи-

нансам, управлению и т. д. Стали заменять русские слова и понятия на иностранные, большей частью необоснованно, и часто вопреки здравому смыслу. Например, слово «организатор» заменили словом

«менеджер». Чем, скажите, второе лучше первого? Понятное слово «анализ» заменили на непонятное «мониторинг». Кстати, это слово у меня ассоциируется со словами «мораторий» и «крематорий». То же самое случилось и со словом «инновация». Английское слово «инновация» – это то же самое, что и русское слово «новое», «новшество». «Новое», «новшество», «нововведение» давно вошли в законодательные акты и устную речь. Слова «инновация» ни в одном законодательном документе нет. Но это слово кому-то понравилось своей звучностью и пошло оно гулять по всем изданиям, в СМИ и устной речи. В этом не было бы большой беды, но его настолько растиражировали, каждый выступающий и пишущий непременно его использует, и у людей сложилось мнение, что «инновация» – это что-то особенное, отличное, ранее не известное. Некоторые выступающие признаются, что не представляют, что оно обозначает, тем не менее, его употребляют. Из вышесказанного ясно, что «инновация» не является чем-то новым, а это всего лишь перевод на английский язык слов «новое», «новшество», «нововведение» и использовать нужно именно эти слова и понятия.

Все новое рождается в результате творческого труда людей, их интеллектуальной деятельности. Древние люди это уже понимали и создавали орудия и приспособления, которые помогали им выжить. Каждой эпохе соответствует свой уровень знаний, свой уровень нового. Чем выше уровень цивилизации, тем выше уровень результатов творческого труда людей. Новые знания, новые решения преобразуют мир и дают людям новые возможности, к примеру, как компьютеры и сотовая связь изменили жизнь людей в XX и XXI вв.

Самыми важными из новшеств являются открытия и изобретения. Открытия совершают ученые, они являются основой для познания мира, его законов. Изобретения часто создаются на основе открытий и благодаря им, и они являются результатом творческого труда людей в различных областях науки и техники. Таких людей принято называть изобретателями. Однако, профессии «изобретатель» нет ни в одном перечне профессий и должностей. Тем не менее, тысячи людей занимаются изобретательством профессионально. Сейчас в мире действует около 60 млн патентов на изобретения, в России около 5 млн. Недаром ученых и изобретателей называют «золотым фондом страны». 200 лет назад была создана «Патентная система защиты интеллектуальной деятельности людей». Основы этой системы действенны и наше время.

Каждая страна имеет свое национальное законодательство, защищающее интеллектуальную деятельность жителей этой страны. Все национальные законодательства опираются на международные договоры, объединяющие национальные и международные интересы. В соответствии с ними любой иностранный изобретатель пользуется в любой стране тем же правом, что и граждане данной страны. В 1967 г. была создана Всемирная организация



Ц. Зильберг

интеллектуальной собственности (ВОИС), членами которой является большинство стран мира. Весь мир ежегодно 26 апреля отмечает Международный день интеллектуальной собственности. В основу деятельности ВОИС положено более 30 международных договоров по защите интеллектуальной собственности. Основу национального законодательства России составляют несколько законов, в том числе Патентный закон РФ и Закон об авторском праве и смежных правах. С 1 января 2008 г. все законы объединены в одном документе – четвертой части Гражданского кодекса Российской Федерации, раздел VII «Права на результаты интеллектуальной деятельности и средства индивидуализации».

Есть необходимость разъяснить, что такое «интеллектуальная собственность». Интеллектуальный объект становится интеллектуальной собственностью, если он защищен действующим законодательством. Новшества, созданные интеллектуальным трудом, подразделяют на два вида объектов:

- объекты патентного права (изобретения, полезные модели, промышленные образцы, товарные знаки, селекционные достижения);

- объекты авторского права – программы для ЭВМ, базы данных, топологии интегральных схем; произведения науки, культуры и искусства – научные, литературные, музыкальные и музыкально-драматические произведения, хореографические произведения и пантомимы, произведения живописи, скульптуры, произведения декоративно-прикладного и сценографического искусства. К смежным правам относятся права исполнителей песен, стихов, музыки и иных произведений литературы, искусства или народного творчества, а также права режиссера-постановщика спектакля и дирижера.

На первый вид объектов выдаются охранные документы – патенты. Второй вид объектов не требует регистрации и возникает в силу создания произведения, зафиксированного на любом виде носителей информации. Программы для ЭВМ, базы данных, топологии интегральных микросхем являются особыми объектами, на них по заявлению правообладателя могут выдаваться охранные свидетельства государственного образца. Новшества разделяются по новизне на мировую и местную. Мировая новизна требуется для изобретений, полезных моделей, промышленных образцов и товарных знаков, местная – для рационализаторских предложений. К сожалению, рационализаторские предложения как объект интеллектуальной собственности исключены из законодательства. Тем не менее, рационализаторы есть и не могут не быть на любом предприятии. Есть предприятия, где рационализаторские предложения учитываются, рационализаторов вознаграждают.

Примером может служить Сыктывкарский лесной институт, где рационализаторами являются и преподаватели, и студенты. Студентам выдают удостоверения и выплачивают вознаграждение. Коми республиканский совет Всероссийской организации изобретателей и рационализаторов (ВОИР) рас-

смачивает и выдает рационализаторам удостоверения, защищающие их авторские права.

Необходимо обратить внимание на одно важное положение: любой новый проект должен содержать решения, защищенные патентами или свидетельствами. В противном случае научно-техническое решение подпадает только под действие авторского права. В каждой стране есть патентное ведомство, занимающееся охраной интеллектуальной собственности и выдачей охранных документов. В России – это Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (РОСПАТЕНТ), в структуру которой входит Федеральный институт промышленной собственности (ФИПС), который выдает охранные документы. Охранные документы имеют разные сроки действия (это отдельная тема). За получение охранных документов взимается пошлина (это тоже отдельная тема).

В Республике Коми за последние годы получено около 700 патентов на изобретения, более 100 патентов на полезные модели, около 50 патентов на промышленные образцы и более 300 свидетельств на товарные знаки. Среди авторов есть много молодых людей, что очень радует.

В защите интеллектуальных объектов есть несколько этапов. Первый этап – разработка объекта, защита и получение охранного документа. Чаще всего на этом этапе авторам помогают патентоведы, они проводят патентные исследования, патентный поиск и оформляют заявки на получение охранного документа. Помощь авторам оказывают и сотрудники Центра патентно-технической информации при Национальной библиотеке Республики Коми. Ее патентный фонд комплектуется с 1960 г. и насчитывает около 2 млн единиц хранения на бумажных и электронных носителях. Второй этап включает изучение конъюнктуры, возможности реализации разработки. Эти два этапа доступны разработчикам. Что же касается третьего, самого главного этапа – реализации, здесь у изобретателей возникают трудности.

В настоящее время нет государственных структур, занимающихся реализацией новшеств, государство не финансирует эту деятельность. Самостоятельно изобретатели не могут сами реализовывать свои разработки, особенно индивидуальные изобретатели. Государство щедро финансирует предпринимателей, хотя они работают в основном на себя. Изобретатели, работающие для общества, лишены такой поддержки. Некоторые изобретатели вынуждены становиться предпринимателями, чтобы реализовать свои разработки. Классическим примером изобретателя-предпринимателя является американец Томас Альва Эдисон – автор более 1000 изобретений и владелец 1019 патентов. Для реализации своих идей Эдисон много работал, строил фабрики и заработанные деньги тратил на реализацию изобретений. Он зарабатывал миллионы, но богатым человеком так и не стал, зато реализовал свои идеи, чем очень гордился. Еще один пример – владелец фирмы «Microsoft» Билл Гейтс – свое богатство заработал не продажей бриллиантов и недвижимости, а своим умом. Он с 14 лет начал заниматься программированием.

Предпринимательской деятельностью у нас в республике занялся доктор биологических наук, заведующий лабораторией биохимии и биотехнологии Института биологии Коми научного центра Владимир Володин. Для реализации научной разработки «Экдистероидосодержащие фармакологические препараты», разработанной группой ученых под его руководством, было создано ООО «Комибioфарм», где организовано опытное производство по выпуску препарата «Серпистен», обладающего общеукрепляющим и противолучевым действием и регулирующего обмен веществ, углеводный и липидный обмен. Разработка удостоена Золотой медали на XIV Московском салоне «Архимед». Этой разработкой заинтересовались многие фирмы. Авторы этой разработки добились успеха. Но какой ценой? Время и силы, потраченные на реализацию разработки, лишили возможности ученых заниматься своим главным делом – научным творчеством. Поэтому я считаю, что ученые, изобретатели не должны заниматься реализацией своих разработок. Это государственное дело и для их реализации государство должно создавать специальные структуры, полностью их финансируя.

Ведь реализация изобретений приносит стране огромную прибыль, как это происходит во многих странах мира. Давно пора внести профессию «изобретатель» в перечень профессий и должностей с достойной оплатой.

Изобретатели – люди, наделенные уникальными способностями, должны иметь возможность заниматься творческим трудом, ведь они работают на будущее. Без этого не может быть движения вперед.

Недаром существует изречение «ни одно великое произведение, ни одно великое изобретение не было создано ради денег».

Я люблю изобретателей за их бескорыстие и преданность своему делу. Лучшая награда для них – это видеть свое детище осуществленным и приносящим пользу людям. Поэтому их труд должен оцениваться государством по достоинству.

Научно-технический прогресс постоянно совершенствует окружающий нас мир. В связи с этим требуются новые решения, новые достижения. Разум человека способен решать любые задачи, преодолевать любые трудности. Следовательно, изобретатели были, есть и будут всегда нужны обществу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зильберг Ц.И. Вернем рационализаторскому предложению его статус // Патенты и лицензии, 2002. № 1. С. 7-9.
2. Зильберг Ц.И. 26 апреля – Международный день интеллектуальной собственности // Mercurius (Торгово-промышленная палата Республики Коми), 2003. № 3. С. 7-8.
3. Зильберг Ц.И. В Республике Коми возрождается техническое творчество // Патенты и лицензии, 2004. № 4. С. 49-51.
4. Зильберг Ц.И. Законодательство новое – вопросы старые // Патенты и лицензии, 2010. № 2. С. 41-43.