

## СКОРОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ И ФРАГМЕНТАЦИИ КОРЫ В БИОГЕОЦЕНОЗАХ СЕВЕРОТАЕЖНЫХ ЛЕСОВ

Шорохова Е.В.<sup>1,2</sup>, Капица Е.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова,

<sup>2</sup>Институт Леса Карельского научного центра РАН

e-mail: shorohova@ES13334.spb.edu; kapitsa@list.ru

## MINERALIZATION AND FRAGMENTATION RATES OF BARK IN PRISTINE NORTHERN BOREAL FORESTS

Shorohova E.V.<sup>1,2</sup>, Kapitsa E.A.<sup>1</sup>

We estimated bark decomposition rates and compared them to wood decomposition rates of birch, Siberian fir, Siberian pine and Siberian spruce in the northern boreal forests of Komi Republic, Russia. Estimates were made based on the mass loss of bark attached to fallen and leaning logs. The proportional rate of bark mineralization was the same for Siberian fir, Siberian pine and Siberian spruce logs – 0.040 yr<sup>-1</sup>. The mineralization rate of birch bark was 0.009 yr<sup>-1</sup>. The bark turn-over time (t<sub>95</sub>) was 302, 224, 149, 140 and 117 years for birch, fir, spruce, Siberian pine with diameter more than 41 cm, and Siberian pine with diameter less than 40 cm, respectively.

После древесины кора - вторая по важности ткань ствола дерева. Кора составляет от 10 до 20% сухого веса дерева в зависимости от породы и лесорастительных условий (Harklin, Rowe, 1971; Dietrich, 1989). После отмирания дерева все фракции биомассы вовлекаются в круговорот веществ. За последние десятилетия опубликовано много работ по исследованию процесса разложения древесины, а также факторов определяющих скорость биологической деструкции стволов в Европейской подзоне тайги (Krankina, Harmon, 1995, Næsset, 1999, Harmon et al., 2000, Yatskov et al., 2003, Mäkinen et al., 2006, Стороженко, 2007), тогда как о скорости разложения коры мало что известно. Данные о скорости биологической деструкции коры могут значительно снизить неопределенность в оценке круговоротов углерода и минеральных элементов в лесных экосистемах.

Цель данного исследования: оценить скорость и факторы, влияющие на разложение прикрепленной к крупным древесным остаткам (КДО) коры ели (*Picea obovata* Ledeb), пихты (*Abies sibirica* Ledeb.); кедра (*Pinus sibirica* DuRoi или (*Loudon*) Mayr) и березы (*Betula pubescens* Ehrh. и *B. pendula* Roth.) в коренных лесах северной подзоны тайги.

**Материалы и методы.** Исследование выполнено в 2009 в Национальном парке Югыд-Ва, Республика Коми (63°94'N, 57°89'E). Территория приурочена к северотаежной подзоне растительности (Курнаев, 1973). Среднегодовая температура составляет -3.0°C, количество осадков - приблизительно 600 мм/год. Диапазон температур между самым теплым - июлем, и самым холодным - январем равен 34.1°C. Продолжительность вегетационного периода составляет 80 дней. Образцы коры были собраны с четырех временных пробных площадей (ВПП) с абсолютно-разновозрастной структурой древостоя двух типов леса: чернично-сфагнового и хвощево-папоротникового. На всех ВПП преобладающей породой является ель, сопутствующими - пихта, кедр, береза. ВПП заложены в лесах практически не затронутых хозяйственной деятельностью.

Для исследования были собраны образцы коры со 168 крупных древесных остатков (КДО) ели, пихты, кедра и березы различной давности отмирания. Год отмирания КДО определяли дендрохронологическими методами, датируя возраст валежа по повреждению камбиального слоя соседних деревьев, образовавшегося в результате падения объекта исследования. Контролем служила кора свежего отпада (текущего или предыдущего года).

Скорость потери массы коры рассчитывали на единицу площади для 3-х метровой прикомлевой секции и верхушечной секции (выше 3-х метров) (методика разработана на основании ранее сделанных исследований: Шорохова, Капица, 2007). Площадь поверхности КДО (S, м<sup>2</sup>) вычисляли по формуле:

$$S = \pi L (R+r), (1)$$

где R и r - соответственно, радиусы основания и верхней части секции, м, L - длина секции, м.

Массу коры на единицу площади ( $M_b$ ) (удельную массу) вычисляли:

$$M_b = m/s, (2)$$

где  $m$  - масса образца коры в абсолютно-сухом состоянии ( $M_g$ ), и  $s$  - площадь образца ( $m^2$ ).

Чтобы определить общую площадь остающейся коры ( $S_f$ ), площадь поверхности ( $S$ ) умножали на процент оставшейся коры ( $f$ ). Процент оставшейся на стволе коры ( $f$ ) после потерь в результате механического повреждения и активности насекомых оценивали визуально.

Потеря масса коры ствола ( $M_{sb}$ ) была вычислена как:

$$M_{sb} = S_f M_b (3)$$

Константы разложения ( $k$ , год<sup>-1</sup>) рассчитывали на основе экспоненциальной модели (Olson, 1963) по формуле:

$$k_d = (\ln(M_{sb0}) - \ln(M_{sb}))/t, (4)$$

где  $t$  - время разложения коры, год.

Все распределения проверяли на нормальность, и в случае несоответствия приводили к нормальному путем извлечения корня или логарифмирования. Далее данные обрабатывали с использованием дисперсионного (ANOVA) и ковариационного анализов (ANCOVA) (программный пакет Statistica 6.0), теста на гомогенность Дункана - с целью установления влияния на скорость разложения коры породы, секции (прикомлевая часть и верхушечная (выше 3 м)) и диаметра (группы: <20 см; 21-40 см; >41 см).

По результатам анализа с помощью программного пакета Statistica 6.0 данные разбивали на группы. Для построения экспоненциальных кривых удельной массы коры во времени и нахождения коэффициентов регрессии использовали программу SigmaPlot 11. Расчет максимальной потери массы и времени, соответствующей потере массы на 30, 50 и 70%, проводили при помощи авторской программы.

**Результаты и их обсуждение.** Удельная масса коры зависела только от секции ствола и не зависела от породы, диаметра и взаимодействия породы и секции ( $F=0,837$ ;  $p=0,479$ ;  $F=0,795$ ;  $p=0,376$ ;  $F=0,221$ ;  $p=0,883$ , соответственно). Удельная масса коры прикомлевой секции оказалась выше по сравнению с вершинной частью ствола (Таблица 1) ( $F=6,489$ ;  $p=0,014$ ).

**Таблица 1. Удельная масса коры ствола ( $M_{b0}$ ) Мгм<sup>-2</sup> и потеря массы коры ствола ( $M_{sb0}$ ), Мг для секций 0-3 м и >3.1 м**

Высота откомля	Среднее $M_{b0}$	SE	Среднее $M_{sb0}$	SE	Количество образцов
0-3 м	$2.25 \cdot 10^{-3}$	$1.60 \cdot 10^{-3}$	$3.63 \cdot 10^{-6}$	$3.63 \cdot 10^{-6}$	33
>3.1 м	$1.66 \cdot 10^{-3}$	$1.10 \cdot 10^{-3}$	$6.53 \cdot 10^{-6}$	$7.76 \cdot 10^{-6}$	33

SE-стандартная ошибка

Удельная масса всего ствола зависела от секции и диаметра КДО ( $F=6,482$ ;  $p=0,014$ ;  $F=4,928$ ;  $p=0,030$ ) не зависела от породы и взаимодействия породы и секции ( $F=0,443$ ;  $p=0,723$ ;  $F=0,260$ ;  $p=0,854$ ).

Потеря массы коры в процессе разложения зависела только от древесной породы и, согласно статистическому анализу, разделена на 2 группы: 1) береза; 2) ель, кедр, пихта ( $F=6,520$ ;  $p<0,001$ ) (Рис. 1). Влияния секции, диаметра и вида отпада (ветровал, бурелом) на скорость потери массы коры не выявлено ( $F=0,710$ ;  $p=0,399$ ;  $F=2,566$ ;  $p=0,079$ ;  $F=2,090$ ;  $p=0,126$ , соответственно).

Скорость потери массы коры всего ствола зависела от породы и диаметра (КДО с диаметром больше 41 см разлагались медленнее КДО меньших диаметров) ( $F=11,966$ ;  $p<0,001$ ;  $F=16,835$ ;  $p<0,001$ ), не зависела от вида отпада и секции ( $F=0,684$ ;  $p=0,506$ ;  $F=2,984$ ;  $p=0,085$ ). Скорость разложения коры увеличивалась в ряду: береза, пихта, ель, кедр с диаметром больше 41 см, кедр с диаметром меньше 41 см (Таблица 2).

Время потери массы коры на 95% ( $t_{95}$ ) сильно варьировало для пород и составило 302, 224, 149, 140 и 117 лет для березы, пихты, ели, кедра с диаметром >41 см и диаметром <40 см, соответственно.

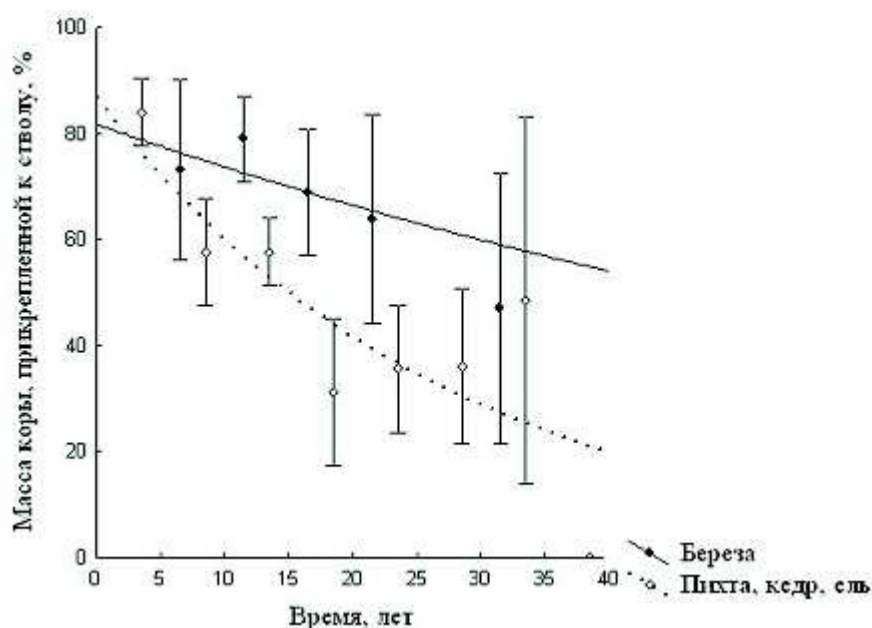


Рисунок 1. Зависимость потери массы коры, прикрепленной к стволу, от времени.

Кора ели, пихты и кедра разлагалась быстрее древесины. Скорость минерализации коры была также выше по сравнению со скоростью разложения древесины. Лишь кора березы разлагалась медленнее древесины (Таблица 2).

**Таблица 2. Параметры экспоненциальной модели, характеризующие потерю массы коры ствола и древесины,  $M_0$  - удельная масса коры  $M_{b0}$ ; масса коры всего ствола  $M_{Sb0}$  или базисная плотность древесины  $\rho_0$ , в %,  $k$  - константы разложения коры  $k_m$  или ксилолиза  $k_d$  ( $\text{год}^{-1}$ ),  $k_{100}$  - скорость разложения без и с учетом фрагментации в случае, когда разложение или фрагментация приведена к 100%,  $r^2$  - коэффициент детерминации,  $N$  - объем выборки**

	$M_0$ (SE)	$K$ (SE)	$r^2$	$N$	$k_{100}$ (SE)	$r^2$
<b>Разложение коры</b>						
Береза	81.3 (5.1)	0.009 (0.004)	0.476	34	0.013 (0.004)	0.604
Пихта, кедр и ель	86.6 (12.2)	0.040 (0.009)	0.746	132	0.043 (0.008)	0.834
<b>Разложение коры с учетом фрагментации</b>						
Береза	93.7 (6.93)	0.025 (0.005)	0.840	34	0.027 (0.004)	0.898
Пихта	59.9 (19.3)	0.034 (0.022)	0.208	39	0.053 (0.025)	0.351
Кедр, DBH < 40 см	114.8 (27.5)	0.065 (0.024)	0.662	26	0.060 (0.018)	0.742
Кедр, DBH > 41 см	120.2 (42.0)	0.054 (0.039)	0.505	9	0.048 (0.027)	0.574
Ель	75.7 (23.7)	0.051 (0.025)	0.486	58	0.059 (0.021)	0.663
<b>Биогенный ксилолиз (древесина)</b>						
Береза	109.8 (13.9)	0.032 (0.010)	0.711	34	0.029 (0.007)	0.763
Пихта	113.7 (7.1)	0.026 (0.005)	0.915	39	0.023 (0.004)	0.888
Кедр	99.1 (8.0)	0.008 (0.004)	0.353	35	0.008 (0.004)	0.353
Ель	106.0 (9.7)	0.030 (0.005)	0.824	58	0.029 (0.004)	0.864

Низкая влажность березовой коры в естественных условиях по сравнению с хвойной, а также подавление микробной активности бетулином в березовой коре (Krasutsky, 2006), являются возможными объяснениями медленного разложения березовой коры. Полученные данные подтверждаются более ранними результатами для пней (Shorohova et al., 2012), сучьев и стволовой части дерева (Harmon et al., 1986).

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (грант № 09-04-00209-а) и РНФ (15-14-10023).

#### Литература

1. Стороженко В.Г. Устойчивые лесные сообщества. Теория и эксперимент. Тула, 2007.192с.
2. Dietrich, F. (Ed.) 1989. Wood: chemistry, ultrastructure, reactions. Walter de Gruyter & Co., Berlin. 617 p.
3. Harklin, J.M. Rowe, J.W. 1971. Bark and its possible uses. USDA Forest Service Res. Note. FPL 091.56 p.

4. Harmon, M. E., Franklin, J. F., Swanson, F.J., Sollins, P. Gregory, S.V., Lattin, J.D., Anderson, N.H., Cline, S. P., Aumen, N. G., Sedell, J. R., Lienkaemper, G.W., Cromack, K. Jr., Cummins, K.W. 1986. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Adv. Ecol. Res.* 15: 133-302.
5. Harmon, M., Krankina O.N., Sexton J. 2000. Decomposition vectors: a new approach to estimating woody detritus decomposition dynamics. *Can. J. For. Res.* 30: 76 – 84.
6. Krankina, O.N., Harmon, M.E. 1995. Dynamics of the dead wood carbon pool in northern-western Russian boreal forests. *Water, Air and Soil Pollution* 82: 227-238.
7. Krasutsky, P.A. 2006. Birch bark research and development. *Natural product reports* 23: 919-942.
8. Mäkinen, H., Hynynen, J., Siitonen, J. Sievänen, R., 2006. Predicting the decomposition of Scots pine, Norway spruce and birch stems in Finland. *Ecol. Appl.* 16, 1865–1879.
9. Næsset, E. 1999. Decomposition rate constants of *Piceaabies* logs in southeastern Norway. *Can. J. For. Res.* 29: 372 – 381.
10. Shorohova E., Ignatyeva, O., Kapitsa E., Kauhanen, H., Kuznetsov, A and Vanha-Majamaa I. 2012. Stump decomposition rates after clear-felling with and without prescribed burning in southern and northern boreal forest in Finland. *For. Ecol. Manage.*, 263: 74-84.
11. Shorohova E., Ignatyeva, O., Kapitsa E., Kauhanen, H., Kuznetsov, A and Vanha-Majamaa I. 2012. Stump decomposition rates after clear-felling with and without prescribed burning in southern and northern boreal forest in Finland. *For. Ecol. Manage.*, 263: 74-84.
12. Yatskov, M., Harmon M., Krankina O. 2003. A chronosequence of wood decomposition in the boreal forests of Russia. *Can. J. For. Res.* 33: 1211-1226.

## **ПЛОДОНОШЕНИЕ МАКРОМИЦЕТОВ ПРИ ВНЕСЕНИИ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ В БЕРЕЗНЯКЕ РАЗНОТРАВНОМ**

**Шубин В.И.**

Институт леса КарНЦ РАН, forest@krc.karelia.ru

## **FRUCTIFICATION OF MACROFUNGI AS RELATED TO THE APPLICATION OF NITROGEN FERTILIZERS IN A HERB-RICH BIRCH STAND**

**Shubin V.I.**

The effect of annual (in 1974-1982) application of urea and ammonium nitrate on the fructification of macrofungi was investigated during the 1974-2011 period. Nitrogen application induced the fructification of *Paxillus involutus*, and its dominance reduced the total mushroom yield. Optimal conditions for *P. involutus* fructification were generated by the application of ammonium nitrate, whereas a higher average yield of macrofungi, similar to the yield in the control, was observed where urea was applied.

Влияние удобрений на плодоношение макромицетов интенсивно изучалось в 60–79-х годах XX века в связи с их применением в лесном хозяйстве для увеличения прироста древесины. Почти все исследования проводились в сосняках. Исключение представляет работа С.С. Веремьевой (1988), изучавшей влияние НРК в дозах от 90 до 240 кг/га действующего вещества по каждому виду удобрений в березняках черничных Костромской области. По ее наблюдениям, в год внесения удобрений урожай съедобных грибов снизился в 2–4 раза. При повторном внесении удобрений на второй год усилилось плодоношение *Paxillus involutus*, урожай которого возрастал пропорционально дозам удобрений. Продолжительность наблюдений во всех работах составляла от 2 до 5 лет. Большинство авторов считали свои выводы предварительными и указывали на необходимость проведения длительных и разносторонних исследований.

Наши исследования по влиянию удобрений на плодоношение макромицетов начаты в березняках разнотравных в 1971 г. и продолжались ежегодно до 2011 г. Березняки сформировались в конце 40-х годов XX века на заброшенных сельхозугодьях. Почва – подзол гумусово-железистый супесчаный слабокультуренный, среднеобеспеченная основными элементами питания.

Опытный участок размером 70 x 15 м был разделен на 3 делянки площадью 20 x 15 м с расстоянием между делянками 5 м. Удобрения вносили ежегодно в 1974–1982 гг. в начале июня. Макромицеты собирали регулярно с июня по октябрь, определяя их массу в свежем состоянии.