

Министерство образования и науки Российской Федерации
Уральский федеральный университет первого Президента России Б.Н. Ельцина
Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова
Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН
Институт экологии растений и животных УрО РАН
Русское ботаническое общество
Национальная академия микологии
Санкт-Петербургское микологическое общество

БИОРАЗНООБРАЗИЕ И ЭКОЛОГИЯ ГРИБОВ И ГРИБОПОДОБНЫХ ОРГАНИЗМОВ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ

Материалы Всероссийской конференции с международным участием
Екатеринбург, 20–24 апреля 2015 г.

Екатеринбург
Издательство Уральского университета
2015

УДК 582.28(063)
Б636

*Издание осуществлено при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований
(грант № 15-04-20160)*

Редакционная коллегия:

ответственный редактор – заслуженный деятель науки РФ,
доктор биологических наук, проф. *В. А. Мухин*
доктор биологических наук, проф. *А. Е. Коваленко*
доктор биологических наук, проф. *А. В. Кураков*
доктор биологических наук *Д. В. Веселкин*
доктор биологических наук *А. Г. Ширяев*
кандидат биологических наук, доц. *А. Г. Пауков*
кандидат биологических наук, доц. *А. С. Третьякова*
кандидат биологических наук *О. С. Ширяева*

Биоразнообразие и экология грибов и грибоподобных организ-
Б636 мов северной Евразии : материалы Всерос. конф. с международ. уча-
стием. Екатеринбург, 20–24 апреля 2015 г. Екатеринбург : Изд-во Урал.
ун-та, 2015. – 324 с.

ISBN 978-5-7996-1438-6

В сборнике представлены материалы докладов участников Всероссийской конференции с международным участием «Биоразнообразие и экология грибов и грибоподобных организмов северной Евразии», в которых рассматривается широкий круг вопросов, касающихся биологического разнообразия, экологии, биохимии, цитофизиологии, генетики грибов и грибоподобных организмов, а также биоразнообразия, экологии лишайников и лишенофильных грибов в экосистемах северной Евразии. Значительное число докладов посвящено вопросам биоразнообразия и экологии фито- и энтомопатогенных грибов, использованию грибов в биотехнологии.

Книга предназначена для широкого круга специалистов – биологов и генетиков, микологов и экологов, фитопатологов и микробиологов, биотехнологов, а также для студентов и преподавателей университетов, сельскохозяйственных, педагогических, медицинских и лесохозяйственных вузов.

УДК 582.28(063)

STRUCTURE AND FLUORESCENCE ACTIVITY OF CONIFEROUS ECTOMYCORRHIZAE IN THE NORTH

Summary. Ectomycorrhizae play important role in functioning of forest ecosystems where they are also one of the major carbon sinks. Physiological activity of vital cells in ectomycorrhizae was studied by using fluorescein diacetate (FDA) and fluorescence microscopy. Fluorescence activity of ectomycorrhizal mantels depends on physiological state of trees and species composition of fungi. Ectomycorrhizal root tips of Siberian spruce (*Picea obovata*) and Scotch pine (*Pinus sylvestris*) were sampled in different boreal forest sites in European part of Russia (the Komi Republic) during one growing season. Tissue fluorescence activity was estimated for nine ectomycorrhizal types of Scotch pine and for seven ectomycorrhizal types of Siberian spruce. Certain differences occurred among

ectomycorrhizal types in FDA-hydrolysing activity of the different tissue layers of mycorrhizae: cortex, hyphal mantel, Hartig net and stele. All main tissues of coniferous ectomycorrhizae with plectenchymatous mantels of type A were characterized by higher fluorescence activity. Fluorescence intensity of fungal mantels in ectomycorrhizae of types B-, E-, F-, G- and N was lower, but their stele indicated intermediate activity. Low activity of all tissues except for stele was registered in ectomycorrhizae of O-, Q- and RS-types, so these types were classified as inactive ectomycorrhizae. Highest fluorescence of ectomycorrhizae was recorded in period of their maximum growth in seasonal dynamics. Insignificant quantity of ectomycorrhizae with low activity was found during all the observation season.

И. А. Сморкалов, Е. Л. Воробейчик

Институт экологии растений и животных УрО РАН
г. Екатеринбург, Россия
e-mail: ivan.a.smorkalov@gmail.com

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ДЫХАНИЯ ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКИ В ГРАДИЕНТАХ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ*

Почвенное дыхание – важнейший компонент цикла углерода наземных экосистем, определяемый метаболической активностью почвенной микрофлоры, корневых систем растений и почвенной фауны. При измерении *in situ* этот показатель интегрально характеризует интенсивность продукционных и деструкционных процессов [7]. В лесных экосистемах основной вклад (60–70 %) в микробиальное дыхание вносят почвенные грибы [1].

Выбросы медеплавильных заводов – один из наиболее сильных видов промышленного загрязнения: содержащиеся в них тяжелые металлы губительны и для микрофлоры, и для растений. Поэтому актуален вопрос о закономерностях изменения почвенного дыхания в

градиентах загрязнения выбросами этих предприятий.

В почвенной микробиологии дыхание чаще всего оценивают в лабораторных условиях в образцах почвы, из которой удалены корни; большинство работ, связанных с изучением влияния загрязнения, базируется на таких *ex situ*-оценках, которые характеризуют только микробиальную активность минеральных горизонтов. В немногочисленных исследованиях влияния загрязнения на *in situ*-интенсивность потока CO₂ обнаружено как его снижение, так и отсутствие изменений [6, 8]. В 2010 г. мы не обнаружили снижения (за исключением участка техногенной пустоши) интенсивности общей эмиссии CO₂ из почвы в градиентах загрязне-

ния выбросами двух медеплавильных заводов на Среднем и Южном Урале, хотя концентрации металлов были повышены на несколько порядков величины [4].

Учитывая комплексную природу почвенного дыхания и противоречивость результатов, очевидна необходимость его разделения на компоненты как по агентам (дыхание корней и микроорганизмов), так и по локализации (дыхание подстилки и минеральных горизонтов). Нам известна единственная работа, в которой для природных экосистем, подверженных сильному промышленному загрязнению, почвенное дыхание разделили на дыхание подстилки и минеральных горизонтов [2]. Поэтому мы провели специальное исследование, целью которого был анализ закономерностей изменения дыхания лесной подстилки (и – косвенно – основных ее минерализаторов – почвенных микромицетов) в градиентах промышленного загрязнения.

Работы проведены возле двух крупных предприятий цветной металлургии – Среднеуральского (СУМЗ; елово-пихтовые леса) и Карабашского (КМЗ; березовые леса) медеплавильных заводов. Для каждого градиента выбрали по 10 участков (на удалении от 1 до 32 км от завода): в районе СУМЗа они располагались в одном направлении (к западу от завода), КМЗ – в двух (к северу и югу). На каждом участке было заложено по 3 пробные площади. Почвенное дыхание и дыхание подстилки измеряли в вегетационные сезоны 2011–2013 гг. (в 10 точках на площадь). Всего выполнено 4200 измерений на 60 площадях.

Интенсивность общей эмиссии измеряли закрытым динамическим камерным методом (SR1LP (Qubit Systems, Канада), 8100A (Li-Cor biosciences, USA)). Дыхание подстилки определяли по оригинальной методике [3]. Количество корней оценивали ручной выборкой из проб почвы и подстилки, отобранных в 2011 г. (всего около 1000 проб). Для статистической обработки использовали параметрический корреляционный, нелинейный регрессионный и трехфакторный ковариационный анализ. Во всех случаях учетной единицей считали пробную площадь.

Полученные нами абсолютные величины общей эмиссии (в среднем на пробную пло-

щадь за 3 года) в районе СУМЗа составили (в $\text{мг CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ час}^{-1}$) 653–1218 на фоновой территории, 613–1118 – на буферной, 460–729 – на импактной; в районе КМЗ – 723–1351, 669–1349, 455–685 и 20–41 на фоновой, буферной, импактной территориях и техногенной пустоши соответственно. Эти значения (исключая, дыхание на пустоши, которая по показателям эмиссии сопоставима с полярными и аридными пустынями) близки к значениям, которые обычно регистрируют для лесов умеренных широт.

Ковариационный анализ показал, что интенсивность общей эмиссии CO_2 , так же как и эмиссии из минеральной части профиля, значимо уменьшалась с увеличением загрязнения, хотя разница между крайними частями градиента загрязнения (т. е. фоновой и импактной территориями) была небольшой (всего 1,5–1,8 раза). Лишь на участке техногенной пустоши эмиссия была в 35 раз меньше фонового уровня.

В районе СУМЗа диапазон эмиссии из подстилки составлял (в $\text{мг CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ час}^{-1}$) 183–526, 208–655, 173–508; КМЗ – 100–348, 152–322, 87–212 для фоновой, буферной и импактной территории соответственно. В противоположность общей эмиссии, данный параметр практически не менялся в градиенте загрязнения. В хвойных лесах эмиссия CO_2 из подстилки составляла 30–60 % от общей эмиссии и была в среднем в 1,8 раз выше, чем в лиственных, где она составляла 17–32 % от общей эмиссии.

Закономерен вопрос о причинах стабильности эмиссии CO_2 из подстилки в градиентах загрязнения. Если учесть, что при приближении к источникам выбросов происходит 3–4-кратное увеличение запаса подстилки, то стабильность ее дыхания может объясняться снижением удельной дыхательной активности, т. е. дыхания единицы массы субстрата. Действительно, удельная дыхательная активность подстилки очень тесно связана с уровнем загрязнения (коэффициент линейной корреляции равен 0,60–0,73, $p < 0,001$), а разница для этого параметра между импактной и фоновой территориями была существенно больше (3,5–15 раз) разницы для общей эмиссии. Соответственно поток CO_2 из тонкой подстилки на фоновой территории равен потоку из мощ-

ного слоя плохо разложившихся растительных остатков на импактной.

Если принять во внимание, что запас корней в подстилке значительно меньше вклада подстилки в общую эмиссию CO₂ (в хвойном лесу корней в подстилке было всего 7–10 % от их общего запаса, в лиственном – еще меньше (2–5 %)), то можно уверенно говорить, что основной источник потока CO₂ из данного горизонта – это метаболизм микроорганизмов, минерализующих растительные остатки (в основном грибов). Тогда столь выраженное снижение удельной активности может быть объяснено негативной реакцией микрофлоры на повышенное содержание тяжелых металлов, что хорошо согласуется с неоднократно продемонстрированными в лабораторных экспериментах негативными эффектами металлов.

Данные о запасе корней интересны и сами по себе. Так, запас корней в минеральных горизонтах (в слое 0–20 см) снижался с увеличением загрязнения только в одном районе (КМЗ), но даже в этом случае разница между импактной и фоновой территориями была невелика (всего 1,6 раза); запас корней в подстилке практически не менялся в обоих градиентах. Этот результат достаточно неожиданен, поскольку ингибирующее действие тяжелых металлов на рост корней считается общеизвестным. Однако это мнение базируется на материалах одновидовых лабораторных экспериментов и не подкреплено натурными наблюдениями в многовидовых сообществах; скорее всего, отсутствие

выявленного снижения запаса корней при приближении к источнику выбросов связано с компенсаторными реакциями в фитоценозе – увеличением густоты подроста и разрастанием толерантных к загрязнению видов травяно-кустарничкового яруса (в первую очередь злаков) в ответ на изреживание древостоя. Косвенно в пользу этого объяснения свидетельствует то, что такие процессы документированы в обоих районах исследования для наземной биомассы, причем они более выражены именно вблизи СУМЗа, но не КМЗ, что как раз соответствует разнице трендов изменения запаса корней [5].

Таким образом, причина относительной стабильности дыхания лесной подстилки в градиентах загрязнения становится понятной из сопоставления трендов изменения ее удельной дыхательной активности и запаса: имеет место взаимодействие двух разнонаправленных процессов – с одной стороны, под действием загрязнения происходит уменьшение обилия и/или активности микроорганизмов, минерализующих подстилку (что проявляется в уменьшении удельной дыхательной активности), а с другой – увеличение ее запаса (из-за торможения деструкционных процессов). Косвенно в пользу именно такой интерпретации свидетельствует небольшое содержание корней в подстилке, позволяющее считать эмиссию CO₂ из нее почти исключительно связанной с микробным дыханием.

Список литературы

1. Ананьева Н. Д., Полянская Л. М., Стольникова Е. В., Звягинцев Д. Г. Соотношение биомассы грибов и бактерий в профиле лесных почв // Изв. РАН. Сер. Биологическая. 2010. № 3. С. 308–317.
2. Кадулин М. С., Копчик Г. Н. Эмиссия CO₂ почвами в зоне влияния горно-металлургического комбината «Североникель» в Кольской Субарктике // Почвоведение. 2013. № 11. С. 1387–1396.
3. Сморкалов И. А. Определение интенсивности дыхания подстилки in situ: новые вопросы // Экология: теория и практика : материалы Всерос. конф. молодых ученых. Екатеринбург: Изд-во «Гощицкий», 2013. С. 101–102.
4. Сморкалов И. А., Воробейчик Е. Л. Почвенное дыхание лесных экосистем в градиентах загрязнения среды выбросами медеплавильных заводов // Экология. 2011. № 6. С. 429–435.
5. Усольцев В. А., Воробейчик Е. Л., Бергман И. Е. Биологическая продуктивность лесов Урала в условиях техногенного загрязнения: исследование системы связей и закономерностей. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2012. 365 с.
6. Kozlov M. V., Zvereva E. L., Zverev V. E. Impacts of point polluters on terrestrial biota: Comparative analysis of 18 contaminated areas. Dordrecht: Springer, 2009. 466 p.
7. Luo Y., Zhou X. Soil respiration and the environment. Burlington: Acad. Press, 2006. 316 p.
8. Ramsey P. W., Rillig M. C., Feris K. P. et al. Relationship between communities and processes: new insights from a field study of a contaminated ecosystem // Ecology Letters. 2005. Vol. 8, № 11. P. 1201–1210.

PATTERNS OF CHANGES OF FOREST LITTER RESPIRATION IN GRADIENTS OF INDUSTRIAL POLLUTION

Summary. The effect of industrial pollution on the total CO₂ emission from the soil surface and the forest litter (measured *in situ*) in the areas of impact of Middle Ural Copper Smelter (spruce-fir forests) and Karabash Copper Smelter (birch forests) has been studied. Measurements were carried out in the middle of the 2011–2013 growing seasons at 60 plots. Contamination has little influence on the overall CO₂ emissions (the difference between the background and impact areas is 1.5–1.8 times, a significant decrease was observed only at the industrial barren) and has almost no effect on the emission from the forest litter. At the same time, the specific respiratory activity of the litter (respiration of a unit mass of substrate) is closely

related to the level of pollution, and the difference between the impact and background areas is substantially greater (3.5–15 times). Comparison of the litter contribution to the total emission of CO₂ (30–60 % in coniferous forests, and 17–32 % in hardwood) and the root reserve (7–10 % and 2–5 %, respectively) allows to interpret respiration of litter as being mainly microbial. Stability of carbon dioxide fluxes from the forest litter in a gradient of pollution is due to the interaction of two counter-vailing processes: reduction of specific respiratory activity of forest litter (due to the inhibition of microorganisms inhabiting it) and the increase of its reserve.

И. В. Ставишенко

Институт экологии растений и животных УрО РАН

г. Екатеринбург, Россия

e-mail: stavishenko@bk.ru

АФИЛЛОФОРОИДНЫЕ ГРИБЫ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ УРАЛА И ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ РАВНИНЫ*

К настоящему времени таксономическое разнообразие биоты ксилотрофных грибов, являющихся неотъемлемым компонентом лесных экосистем, все еще остается недостаточно изученным во многих регионах России, в том числе и на охраняемых природных территориях, осуществляющих стратегические функции сохранения и поддержания биоразнообразия.

К началу XXI века ксилотрофные грибы развивающейся сети особо охраняемых природных территорий (ООПТ) бореальной зоны Урала и Западной Сибири оставались слабо изученными или совсем не исследованными [1–3]. С целью изучения видового разнообразия и современного состояния комплексов ксилотрофных грибов естественных таежных экосистем Урала и Западно-Сибирской равнины в

период с 1991 по 2014 гг. на ООПТ и в районах различного антропогенного воздействия были проведены микологические исследования, охватившие Свердловскую область, приграничную территорию Пермского края и Ханты-Мансийский Автономный округ.

В целом по материалам собственных исследований, а также после ревизии собранной коллекции, насчитывающей около 7000 образцов, на всех изучаемых территориях выявлено 569 видов и 1 разновидность афиллофороидных ксилотрофных грибов, относящихся к 17 порядкам, 59 семействам, 219 родам. Полученные данные существенно дополняют сведения о видовом разнообразии региональных микобиот. 61 вид грибов указан по литературным данным [1, 4–10].

© Ставишенко И. В., 2015