

ОХРАНА ПОЧВ

УДК 502.52; 631.6.02

ИССЛЕДОВАНИЕ БИОТИЧЕСКОЙ КОМПОНЕНТЫ ПОЧВ СОСНЯКА БРУСНИЧНОГО СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ КАРЕЛИИ

К.с.-х.н. **Е.В.Мошкина**, к.б.н. **М.В.Медведева**,
к.с.-х.н. **А.Ю. Карпечко**, к.б.н. **А.В.Мамай**
(Институт леса Кар.НЦ РАН)

STUDY OF BIOTIC COMPONENT OF SOILS OF LINGONBERRY PINE IN THE MIDDLE TAIGA SUBZONE OF KARELIA

E.V.Moschkina, M.V Medvedeva, A.Y.Karpechro, A.V.Mamai

Ключевые слова: среднетаежная подзона Карелии, почвы, корневая система, микробиоценоз, дыхание почв.

Key words: middle taiga subzone of Karelia, soils, root system, microbiocenosis, soil respiration.

В работе приводятся обобщенные данные комплексных исследований биотической компоненты почв, сформировавшихся в среднетаежной подзоне Карелии. Показано, что в различных растительных микрогруппировках происходит изменение массы корней, численности микроорганизмов важнейших эколого-трофических групп, а также экофизиологических показателей микробиоты. Изменение соотношения между исследуемыми микробиологическими показателями процессов трансформации органического вещества может отличаться в различных микрогруппировках в результате изменения коренасыщенности почв. Полученные данные являются основой при проведении мониторинговых исследований, а также при планировании и проведении экспериментов, связанных с изучением корневых систем в различных аспектах.

The paper presents the generalized data of complex studies of the biotic component of soils formed in the middle taiga subzone of Karelia. It is shown that in various plant microgroups there is a change in the mass of roots, the number of microorganisms of the most important ecological and trophic groups, as well as ecophysiological indicators of the microbiota. The change in the ratio between the studied microbiological indicators of organic matter transformation processes can change in different microgroups as a result of changes in the root system. The obtained data are the basis for monitoring studies, as well as for planning and conducting experiments related to the study of root systems in various aspects.

Введение

К настоящему времени опубликовано большое количество работ, посвященных исследованию биологической активности лесных почв [1, 4, 12, 21]. Большинство исследований касается изучения отдельно микробной составляющей,

представителей мезофауны, экофизиологических показателей микробиоты, встречаются работы, в которых рассматривается компонентный состав подстилок. Последнее представляется как отдельный блок педосферы, не связанный с живой его частью [16]. Однако в природе все взаимосвязано и взаимообусловлено, микроорганизмы оказывают косвенное и прямое воздействие на фитоценоз, в то время как фитоценоз способен создавать комфортные условия для развития биоты [4]. Комплексные исследования биотической компоненты экосистемы включающей систему «корни-микроорганизмы-почва» начались сравнительно недавно. Как известно, корни играют важную роль в функционировании как отдельного дерева, так и лесных экосистем в целом. Благодаря им дерево получает питательные вещества, воду, способно закрепиться в почве. Корни участвуют в синтезе органических соединений, улучшают лесорастительные свойства почвы, обогащают ее органическими веществами. Они являются важным компонентом цикла углерода и составляют значительную долю общей биомассы в лесных экосистемах. Корни, связываясь с минеральной и биотической частью почвы способны образовывать систему, в которой все части комплиментарны. Корни являются «дирижерами» микробиологической активности, выделяя в педосферу различные метаболиты, они могут стимулировать/ингибировать микробиологическую активность, создавать пул запасных веществ [15, 17]. Однако, на фоне антропогенного воздействия возможны нарушения данной согласованной системы, а, следовательно, изменение функционирования древостоя. В этой связи необходимо проводить исследования биотической компоненты ненарушенных лесных экосистем в системе сложной триады. В связи с тем, что пространственное варьирование свойств почв определяется многими факторами, проводили исследование изменения свойств почв в различных растительных микрогруппировках. Целью исследования было изучить в основных растительных микрогруппировках сосняка брусничного отдельные составляющие биоты ненарушенных почв. Данная цель предполагала решение следующих задач: установить экофизиологические показатели микробного сообщества почв, сформировавшихся в различных растительных микрогруппировках; выявить особенности микробоценоза исследуемых почв. В настоящее время активно исследуются тонкие корни [8, 17, 22, 26], устанавливается их связь с надземной частью древостоя, разрабатываются новые методики их изучения. В ряде работ было установлено, что масса корней растений, произрастающих в неблагоприятных лесорастительных условиях, увеличивается. Напротив, с повышением плодородия почв масса корней снижается, что может отразиться на микробиально-биохимических показателях почв [8, 22, 26]. Следует отметить, что данные исследования проводились в разных типах леса на территориально разобщенных участках. В этой связи одной из задач исследования также было установление тенденции изменения массы корней на внутрибиогеоценозном уровне.

Полученные данные могут быть использованы при проведении мониторинговых исследований, а также при планировании и проведении экспериментов, связанных с изучением корневых систем в различных аспектах.

Объекты и методы исследования

Исследования проводили на одной из особо охраняемых территорий Карелии – заповеднике «Кивач», расположенном в юго-восточной части Балтийского кристаллического щита, на северо-западном побережье Онежского озера. На территории заповедника доминируют древостои, сформированные сосной обыкновен-

ной (*Pinus sylvestris* L.). Закладку пробной площади размером 50x80 м (0,40 га) осуществляли в соответствии с общепринятыми в таксации методиками. На пробной площади выделяли доминирующие микрогруппировки живого растительного напочвенного покрова (лишайниковая, брусничная, черничная, зеленомошная), в каждой из которых закладывали почвенный разрез и серию прикопок. Отбор почвенных образцов для физико-химического анализа производили из каждого генетического горизонта. Морфологическое описание почв проводили согласно общепринятой методике; почвы классифицировали в соответствии с классификацией почв России [9]. Химический анализ почвенных образцов выполнен общепринятыми методами [2].

Массу живых корней определяли методом монолитов [14, 15]. Размер образца составлял 10x10x20 см. Из монолита выбирали корни сосны диаметром до 3 мм, отдельно учитывали корни диаметром до 1 мм. После сортировки корни сушили до абсолютно сухого состояния и взвешивали.

В полевых условиях проведена оценка вклада дыхания корней в общую эмиссию диоксида углерода с поверхности почв методом интеграции компонентов [6]. Для измерения эмиссии CO₂ с поверхности почв использовали камерный метод. Концентрацию CO₂ фиксировали при помощи портативного газоанализатора на базе инфракрасного сенсора AZ 7722 (AZ Instrument Corp.).

Для микробиологических анализов были составлены смешанные почвенные образцы из 9 индивидуальных проб. Структурно-функциональную организацию микробного сообщества почв исследовали по традиционной в почвенной микробиологии методике посева разведений почвенной суспензии на твердые питательные среды [13]. Численность микроорганизмов рассчитывали на абсолютно сухие навески почвы с учетом влажности почвы и выражены числом колониеобразующих единиц (КОЕ). Актуальную целлюлолитическую активность почв устанавливали аппликационным методом в опытах *in situ*, об интенсивности процесса разрушения целлюлозы судили по убыли массы льняного полотна. Полученные данные обработаны общепринятыми статистическими методами [5] при помощи программы *Microsoft Office Excel* и программного пакета R (R Core Team, 2013).

Предоставленный материал был получен при выполнении государственного задания ИЛ КарНЦ РАН.

Результаты и обсуждение

Почвы исследуемого участка – подзолы иллювиально-железистые песчаные, сформировавшиеся на флювиогляциальных песчаных отложениях, имеют следующее морфологическое строение профиля: О-Е-BF-B1-B2-B3-BC-C. Мощность почвенной толщи до 175 см. Для них характерно формирование лесной подстилки (О) мощностью до 7 см, подзолистого горизонта (Е) до 4 см, наличие охристоржавых пятен оксида железа по всей минеральной толще. Почвы имеют высокую кислотность, верхних горизонтов, рН до 3,3. Содержание углерода в иллювиальном горизонте (BF) невысокое, что является причиной низкой активности микробного сообщества. Результаты микробиологических исследований показали, что структурно-функциональная организация микробного сообщества почв соснового древостоя является характерной для почв данного типа. Наибольшая численность микроорганизмов важнейших эколого-трофических групп выявлена в верхнем органогенном горизонте, вниз по профилю почв она резко снижается. В микробном сообществе органогенного и подзолистого горизонта почв присутствуют все изучаемые группы: копиотрофы, гидролитики, олиготрофы (рис. 1).

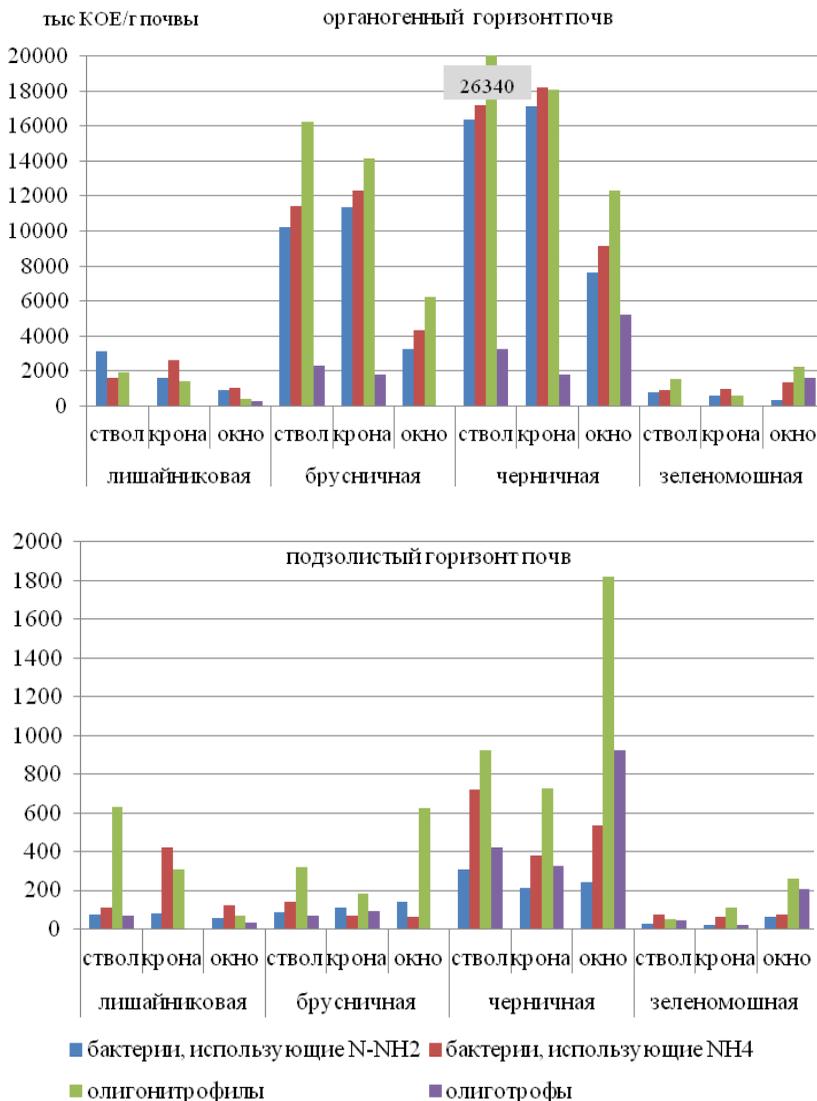


Рис. 1. Численность микроорганизмов в органогенном и минеральном горизонтах почв, сформировавшихся в различных микрогруппировках

Диапазон вариабельности их численности соответствует природному диапазону, что свидетельствует об устойчивости микробсообщества, сбалансированности происходящих в почве процессов. Исследование микробиологической активности органогенных горизонтов почв, сформированных в различных растительных

микрогруппировках, показало ее снижение в ряду ствол-крона-окно в соответствии с их пространственным распределением от лишайниковой к зеленомошной и далее к брусничной и черничной микрогруппировкам. Однако такая закономерность не была выявлена для минерального подзолистого горизонта. Особенности микробиологической активности почв, сформированных в различных микрозонах сосняка брусничного, не имеют выраженного характера и закономерности. Наиболее четкая тенденция прослеживается в изменении активности почвенных микроорганизмов в направлении от приствольного повышения до межкронового пространства. При этом более выраженные изменения выявлены для бактерий-олиготрофов, чьи трофические возможности определяются небольшим количеством субстрата в эдафической среде. В целом, в подзолистом горизонте складываются неблагоприятные условия для микрофлоры, поэтому невысокое содержание органического вещества (менее 2%) лимитирует ее активность, нивелирует «вспышку» развития микроорганизмов при прочих эдафических условиях, например, гидротермические условия.

Лишайники выступают в качестве генераторов экологических ниш для бактериальных сообществ, как внутри таллома, так и в субстрате под ним [18]. Последнее очень важно для понимания структуры почвенного континуума, формирования взаимосвязи в педоценозе. Некоторые микроорганизмы лишайниковых микрогруппировок могут получить жизненно важные компоненты с помощью других микроорганизмов, присутствующих на их слоевища, так и в окружающей среде [24, 25, 20].

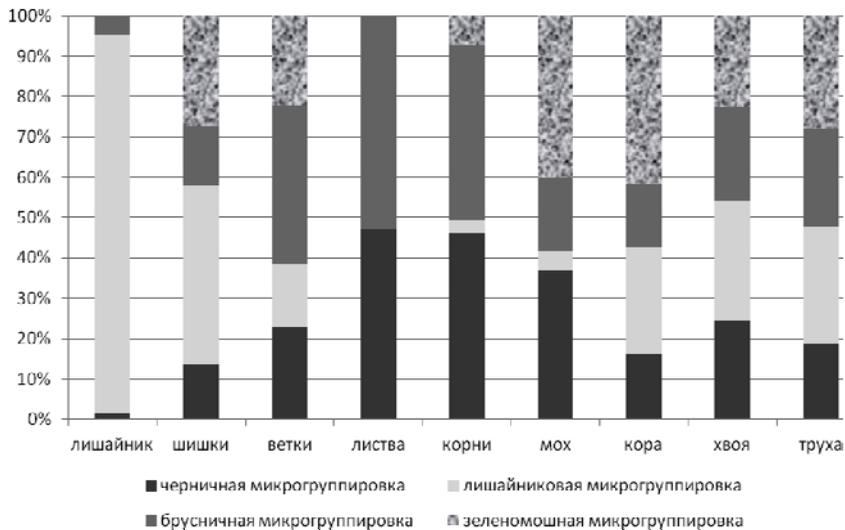


Рис.2. Состав крупнодисперсных фракции органогенного горизонта почв исследуемого биогеоценоза

Фракционный состав органогенного горизонта почв является важнейшей характеристикой свойств почв [16]. Он определяет распределение элементов минерального питания, аккумуляции ферментов в почве, активность микроорганиз-

мов, а также закрепление аэрополлютантов. От него зависит плодородие почв, а, следовательно, продукционная способность древостоя, его устойчивость к антропогенному воздействию. Фракционный состав органогенного горизонта почв при прочих равных условиях (тип древостоя, почв, почвообразующая порода, природно-климатические условия) в значительной степени определяются растительными микрогруппировками. Результаты показали, что фракционный состав массы частей растений, не утративших анатомическое строение (лишайники, шишки, корни, кора и пр.), обусловлена свойствами слагающих ее компонентов, которая отличается в каждой микрогруппировке. Так, в лишайниковой микрогруппировке, преобладают мертвые части лишайников, остатки шишек, в зеленомошной – мхи, в брусничной и черничной – корни, ветки (рис. 2.). При этом отмечается, в целом, более низкое содержание фракции «труха» в чернично-брусничной микрогруппировке, что свидетельствует о более благоприятных условиях трансформации органической мортмассы.

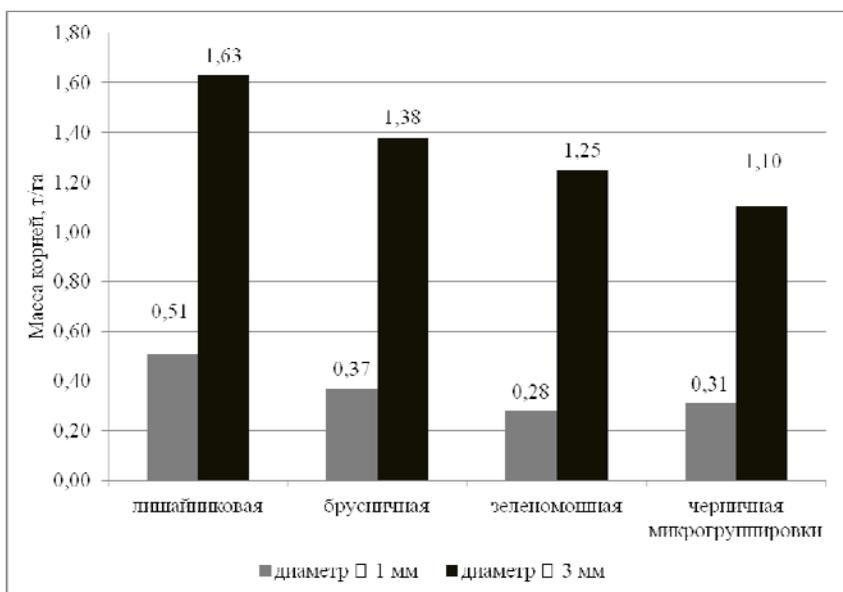


Рис.3. Изменение массы корней в слое 0-20 см почв в зависимости от микрогруппировок напочвенного покрова

Анализ массы корней диаметром до 3 мм в пределах одного выдела, относящегося к типу леса сосняк брусничный, который был разбит на отдельные микрогруппировки с различными доминантами растений живого напочвенного покрова. В пределах каждой микрогруппировки были получены данные по массе корней (рис. 3). Анализ массы корней в микрогруппировках с различными доминантами растений живого напочвенного покрова сосняка брусничного показал, что прослеживается тенденция снижения этого показателя в ряду лишайниковая – брусничная - зеленомошная – черничная. Лишайниковую микрогруппировку в рамках данного разделения соснового биогеоценоза можно отнести к наиболее бедной по плодородию почвы. Однако здесь, согласно полученным результатам,

наблюдается наивысший показатель массы корней сосны. В черничной микрогруппировке, напротив, масса корней лесообразующей породы меньше. Вышеуказанное относится к общей массе корней диаметром до 3 мм. При оценке массы корней диаметром до 1 мм получено, что их содержание также выше в лишайниковой микрогруппировке и составляет 0,51 т/га. Наименьшая их масса в зеленомошной микрогруппировке – 0,28 т/га. Различия между черничной и зеленомошной микрогруппировками незначительны. Они могут быть объяснены как точностью определения изучаемого показателя, так и большей пространственно-временной вариабельностью содержания корней данной фракции. Таким образом, была выявлена неоднородность распределения массы корней внутри биогеоценоза, индикатором которой могут выступать растения живого напочвенного покрова. Эта неоднородность должна учитываться при планировании и проведении экспериментов, связанных с изучением корневых систем в различных аспектах. Закономерности внутрибиогеоценозного распределения массы корней в целом согласуются с таковыми, полученными в указанных выше работах при изучении типов леса, отличающихся плодородием.

Продуцирование CO_2 в почве является важным интегральным показателем биологической активности почв и включает в себя гетеротрофную или микробную, а также корневую автотрофную составляющие. Биогенная эмиссия CO_2 из почвы представляет собой второй по величине поток углерода в наземных экосистемах [23, 18, 19]. По данным разных исследователей корневое дыхание составляет от 5-59 % общей эмиссии CO_2 с поверхности почв, в зависимости от типа почв и вида, произрастающей на ней растительности [6, 11]. Вклад микробного дыхания в эмиссию CO_2 из почвы разных экосистем также значительно варьирует и составляет, по разным оценкам, от 10 до 90% [21,1, 11]. Широкие пределы варьирования количества гетеротрофного и автотрофного продуцирования диоксида углерода связаны с различной чувствительностью биотической компоненты почв к температуре, влажности и составу почвенного органического вещества [6, 27]. Проведенное исследование позволило расположить почвы различных растительных микрогруппировок сосняка брусничного в ряду по убыванию вклада дыхания корней в общую эмиссию CO_2 с поверхности почв следующим образом: зеленомошная - лишайниковая – черничная - брусничная (табл. 1.). При этом абсолютные значения корневого дыхания почв исследуемых участков значимо различались (рис. 4). Наибольшая величина корневого дыхания приурочена к тем участкам, где количество корней кустарничков наибольшее (черничная и брусничная микрогруппировки). Для участков, где корней кустарничков мало или они полностью отсутствуют (лишайниковая и зеленомошная микрогруппировки) определяющую роль играет количество корней лесообразующей породы. Так, величина корневого дыхания и вклад его в общее дыхание с поверхности почв выше в лишайниковой микрогруппировке по сравнению с зеленомошной. Данная тенденция согласуется с результатами других исследователей [3]. По оценкам Д.В. Карелина с соавторами применение метода интеграции компонентов в полевых условиях может несколько занижать вклад микробного дыхания по сравнению с методом субстрат-индуцированного дыхания [7], следовательно, вклад дыхания корней (табл. 1.) может быть завышен.

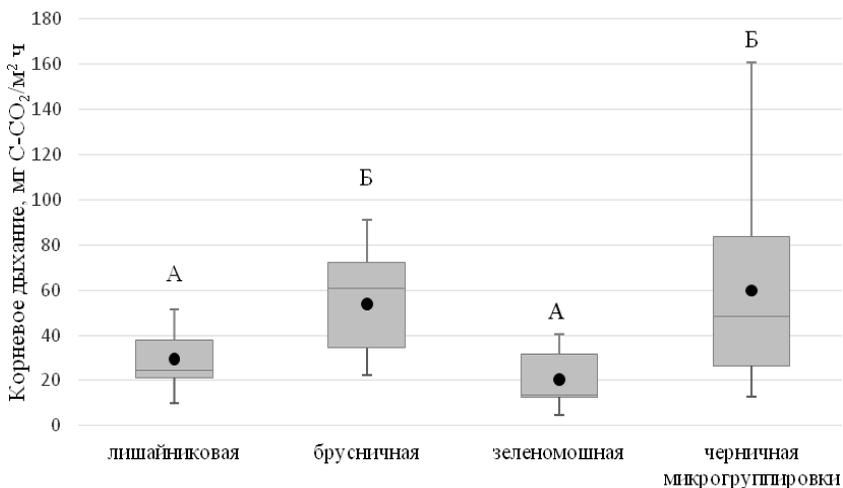


Рис. 4. Корневое дыхание почв сосняка брусничного в зависимости от типа растительных микрогруппировок. Буквами «А», «Б» показаны статистически достоверные различия значений ($p < 0,05$).

Таблица 1.

Корневое и микробное дыхание почв, мг С-СО₂/ м² ч и вклад дыхания корней в общую эмиссию диоксида углерода с поверхности почвы сосняка брусничного

Растительная микрогруппировка	Корневое дыхание	Микробное дыхание	Вклад корневого дыхания, %
Лишайниковая	29,5±3,4	74,8±5,7	28,8±3,3
Брусничная	54,0±6,1	87,5±15,1	38,5±3,6
Зеленомошная	20,5±4,3	72,0±4,6	23,5±3,8
Черничная	60,0±12,7	95,1±12,8	35,8±3,5

Полученные результаты можно использовать для оценки данных природно-климатических условий в расчетах микробиологической петли трофической цепи в качестве дополнительных характеристик к главным показателям баланса круговорота вещества в системе «почва-растение». А также для математического моделирования цикла углерода в наземных экосистемах, которое невозможно без точных данных сезонной динамики вклада дыхания корней и микроорганизмов в общий поток углерода в виде CO₂ с поверхности почв.

Список использованных источников

1. *Ананьева Н. Д., Сусьян Е. А., Рыжова И. М., Бочарникова Е. О., Стольникова Е. В.* Углерод микробной биомассы и микробное продуцирование двуокиси углерода дерново-подзолистыми почвами постагрогенных биогеоценозов и коренных ельников Южной тайги (Костромская область) // Почвоведение. 2009, № 9. С. 1109–1116.
2. *Аринушкина Е. В.* Руководство по химическому анализу почвы. Уч. пособие для ВУЗов по спец. «агрохимия и почвоведение». М.: Изд-во «Московского ун-та», 1970. 487с.
3. *Гончарова О. Ю., Матышак Г. В., Бобрик А. А., Тимофеева М. В., Сефилян А. Р.* Оценка вклада корневого и микробного дыхания в общий поток CO₂ из торфяных почв и подзолов севера Западной Сибири методом интеграции компонентов // Почвоведение, 2019, № 2, с. 234–245 DOI: 10.1134/S0032180X19020059
4. *Дмитриев Е. А.* Математическая статистика в почвоведении. М.: Издательство МГУ, 1995. 320 с.
5. *Добровольский Г.В.* Почва, микробы и азот в биосфере /Г.В. Добровольский, М.М. Умаров //Природа. 2004. № 6. С. 15-22.
6. *Евдокимов И.В., Ларионова А.А., Шмитт М., Лопес де Гереню В.О., Бан М.* Экспериментальная оценка вклада дыхания корней растений в эмиссию углекислого газа из почвы // Почвоведение. 2010. № 12. С. 1479-1488.
7. *Карелин Д.В., Почикалов А.В., Замолодчиков Д.Г., Гитарский М. Л.* Факторы пространственновременной изменчивости потоков CO₂ из почв южно-таежного ельника на Валдае // Лесоведение. 2014 № 4 С. 56–66.
8. *Карпечко А.Ю.* Влияние разреживания на коренасыщенность почвы еловых древостоев южной Карелии // Известия вузов. Лесной журнал. № 3. 2009. С. 19-25
9. Классификация и диагностика почв России / *Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова.* Смоленск: Ойкумена. 2004. 341 с.
10. *Кузяков Я.В., Ларионова А. А.* Вклад ризомикробного и корневого дыхания в эмиссию CO₂ из почвы (обзор) // Почвоведение. 2006 № 7 С. 842–854.
11. *Курганова И. Н., Лопес де Гереню В. О., Галлардо Ланчо Х. Ф., Ем К. Т.* Оценка скорости минерализации органического вещества почв в лесных экосистемах внутриконтинентального умеренного, средиземноморского и тропического муссонного климата // Почвоведение. 2012, №1. С. 82.
12. *Медведева М.В., Мамай А.В., Бахмет О.Н., Мошкина Е.В.* Микробиологические основы трансформации азот- и углеродсодержащих соединений в почвах урбанизированных территорий // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2018, №3 (172). С. 20–27. DOI: 10.15393/uchz.art.2018.122
13. Методы почвенной микробиологии и биохимии (под ред. *Д.Г. Звягинцева*) М.: МГУ, 1991. 304с.
14. *Орлов А.Я.* Метод определения массы корней деревьев в лесу и возможность учета годовичного прироста органической массы в толще лесной почвы // Лесоведение. 1967. №1. С. 64-70.
15. *Рахтеенко И.Н.* Рост и взаимодействие корневых систем древесных растений. Минск: АН БССР, 1963. 254 с.
16. *Соломатова Е. А.* Фракционный и компонентный состав лесных подстилок ельников черничных Восточной Финноскандии // Лесоведение. 2013. № 6. С. 37-46.
17. *Усольцев В.А.* В подвалах биосферы: что мы знаем о первичной продукции корней деревьев? // Эко-потенциал. 2018. №4 (24). С. 25-79.

18. Bjelland T., Grube M., Hoem S., Jorgensen S.L. et al. Microbial metacommunities in the lichen-rock habitat. *Environ Microbiol Report*. 2012.3:434–442.
19. Bond-Lamberty B., Wang C., Gower S.T. 2004 A global relationship between the heterotrophic and autotrophic components of soil respiration? // *Global Change Biology*, № 10, pp. 1756–1766.
20. Cardinale M., Grube M., De Castro JV Jr, Müller H, Berg G. Bacterial taxa associated with the lung lichen *Lobaria pulmonaria* are differentially shaped by geography and habitat//*FEMS Microbiol Lett*. 2012. 329. P.111–115.
21. Hanson P.J., Edwards N.T., Garten C.T., Andrews J.A. 2000 Separating root and soil microbial to soil respiration: A review of methods and observations // *Biogeochemistry*, № 48, pp. 115–146.
22. Helmsaari H.-S., Derome J., Nöjd P., Kukkola M. Fine root biomass in relation to site and stand characteristics in Norway spruce and Scots pine stands // *Tree Physiology*. 2007. V. 27. P. 1493–1504
23. Raich J.W., Potter C.S., Bhagawati D. Interannual variability in global soil respiration, 1980–94 // *Global Change Biology*. 2002 V. 8 P. 800–812. Wei W., Weile C., Shaopeng W. Forest soil respiration and its heterotrophic and autotrophic components: Global patterns and responses to temperature and precipitation // *Soil Biology & Biochemistry*. 2010 V. 42 P. 1236–1244.
24. Sigurbjörnsdóttir MA., Andrésson ÓS., Vilhelmsson O. Nutrient scavenging activity and antagonistic factors of non-photobiont lichen-associated bacteria: a review//*World J Microb Biot*.2016.32.68.
25. Spribille T., Tuovinen V., Resl P.et al. Basidiomycete yeasts in the cortex of ascomycete macrolichens//*Science*.2016.353.488.92.
26. Vanninen P., Mäkelä A. Fine root biomass of Scots pine stands differing in age and soil fertility in southern Finland // *Tree Physiology*. 1999. V. 19. P. 823-830.
27. Wei W., Weile C., Shaopeng W. Forest soil respiration and its heterotrophic and autotrophic components: Global pat terns and responses to temperature and precipitation // *Soil Biology & Biochemistry*. 2010 V. 42 P. 1236–1244.

Сведения об авторах

Мошкина Елена Викторовна, к.с.-х. н., н.с. лаб. лесного почвоведения ИЛ КарНЦ РАН (185910 г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11),
тел. +79535268845,
e-mail: lena_moshkina@mail.ru.

Медведева Мария Владимировна, к.б.н., доцент, с.н.с. лаб. лесного почвоведения ИЛ КарНЦ РАН (185910 г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11),
тел. +79114151944,
e-mail: mariamed@mail.ru.

Карпечко Анна Юрьевна, к.с.-х. н., н.с. лаб. Динамики и продуктивности таежных лесов ИЛ КарНЦ РАН (185910 г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11),
тел. +79114019464,
e-mail: yuvkarp@onego.ru.

Мамай Анастасия Витальевна, к.б.н., м.н.с. лаб. лесного почвоведения ИЛ КарНЦ РАН (185910 г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11),
тел. +79114050018,
e-mail: krutova_n@mail.ru.