

УДК 631.452

ЭЛЕМЕНТАРНАЯ ЕДИНИЦА ЛЕСНОГО БИОГЕОЦЕНОТИЧЕСКОГО ПОКРОВА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКОСИСТЕМНЫХ ФУНКЦИЙ ЛЕСОВ

М. А. Орлова

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

В статье дан краткий анализ концепции мозаичности лесного биогеоценотического покрова, предложена и обоснована элементарная единица, на уровне которой реализуются взаимосвязи между растительностью и почвой – элементарный биогеоареал (ЭБГА). На многочисленных примерах бореальных лесов показано, что ЭБГА является элементарным провайдером таких экосистемных функций, как формирование плодородия почв и биогеохимических циклов. На примере функции формирования плодородия почв демонстрируется, что информативными показателями, отражающими взаимосвязи «растения – почва» на уровне ЭБГА, являются динамические свойства почв (кислотность, содержание азота, доступные для биоты соединения элементов питания и др.).

К л ю ч е в ы е с л о в а: лесной биогеоценотический покров, биосферные и экосистемные функции, элементарный провайдер, элементарный биогеоареал, плодородие почв, динамические свойства.

M. A. Orlova. ELEMENTARY UNIT OF THE FOREST BIOGEOCENOTIC COVER FOR INVESTIGATION OF FOREST ECOSYSTEM FUNCTIONS

The article gives a brief analysis of the concept of the forest biogeocoenotic cover mosaic. The elementary unit for investigation of soil-plant relationships – elementary biogeorange (EBGR), is suggested and substantiated. Numerous examples from boreal forests show that EBGR is an elementary provider of ecosystem functions such as soil fertility formation and biogeochemical cycle regulation. The example of soil fertility formation is used to demonstrate that the informative parameters for soil-plant relationships at the EBGR level are the soil dynamic properties (soil acidity, nitrogen, nutrient compounds available to the biota, etc.).

K e y w o r d s: forest biogeocoenotic cover, biosphere and ecosystem functions, elementary provider, elementary biogeorange, soil fertility, dynamic properties.

В настоящее время в экологии активно развиваются представления о взаимосвязях между биоразнообразием и экосистемными функциями/услугами [Schwartz et al., 2000; Ricketts, 2004; Bunker et al., 2005; Phillpott et al., 2009]. Для оценки этих взаимосвязей необходима идентификация провайдеров («поставщиков») экосистемных функций [Kremen, 2008]. Часто в

качестве таких провайдеров рассматриваются популяции отдельных ключевых видов [Lusk et al., 2003]. Биота – это, бесспорно, индуктор всех процессов, определяющих экосистемные функции. Однако, с нашей точки зрения, элементарный провайдер той или иной функции – это элементарная единица целостного биогеоценотического покрова, включающая как био-

тические, так и абиотические компоненты во всех взаимосвязях [Лукина и др., 2010а, б; Орлова и др., 2011; Лукина, 2013; Орлова, 2013].

Растительность и почва связаны потоками энергии и вещества и совместно с животными и микроорганизмами формируют целостный лесной биогеоценотический покров, который является провайдером биосферных функций. Биогеоценотический покров – это совокупность биогеоценозов определенного участка земной поверхности или планеты в целом. На планетарном уровне биогеоценотический покров составляет биосферу [Сукачев, 1964].

Взаимодействие «биота – почва» регулирует такие биосферные и экосистемные (биогеоценотические) функции, как формирование плодородия почв, биогеохимический круговорот и др. Для оценки этих функций первостепенной задачей является развитие представлений об иерархии пространственных уровней, на которых реализуются взаимосвязи «растительность – микроорганизмы – животные – почвы», и выявление отражающих эти взаимосвязи информативных параметров [Орлова и др., 2011; Лукина, 2013; Орлова, 2013]. При этом ключевой проблемой является определение уровня элементарного провайдера экосистемных функций.

Цель данной статьи – предложить и обосновать элементарный провайдер экосистемных функций формирования плодородия лесных почв и биогеохимических циклов, выявить информативные параметры, отражающие взаимосвязи «почва – растительность».

Элементарный провайдер экосистемных функций

Широко известными базовыми концепциями мозаичности лесных биогеоценозов и их отдельных компонентов являются лесные элементарные почвенные ареалы В. М. Фридланда [1986], лесная парцелла Н. В. Дылиса [1969], ценобиотическая микрогруппировка Л. Г. Раменского [1938], тессера Ханса Йенни [Йенну, 1958], тессера Л. О. Карпачевского [1977].

Лесной элементарный почвенный ареал (ЭПА). Согласно представлениям В. М. Фридланда, в лесу распространены спорадически-пятнистые ЭПА, обладающие гомогенным почвенным фоном, который осложнен пятнами предельных структурных элементов (ПСЭ). ПСЭ не рассматриваются как элементарные почвенно-географические объекты, поскольку обязаны своим происхождением биоте; они сформированы недавними нарушениями, включая ветровалы, а также обусловлены дей-

ствием функционирующих древесных растений. Однако весь комплекс ПСЭ и «гомогенного фона» представляет собой лесной почвенный покров в сукцессионном развитии, а «гомогенный почвенный фон» отражает лишь часть почвенного лесного покрова.

Парцеллярная структура лесного биогеоценотического покрова. Н. В. Дылис обосновал целесообразность выделения уровня парцеллы – внутрибиогеоценотической единицы лесных биогеоценозов. В лесах с выраженной вывально-мозаичной структурой выделяются древесная парцелла и парцелла «окна». В настоящее время на значительных территориях доминируют таежные леса, в которых эта мозаика не выражена, часто выделяются подкороновые и межкороновые пространства лишь с некоторыми элементами вывально-мозаичной структуры. При этом следует заметить, что парцеллы не являются однородными. Так, в почвенных и растительных компонентах древесных парцелл можно различить отчетливые структуры, приуроченные к стволам деревьев, серединам и краям крон [Карпачевский, 1999; Орлова и др., 2003; Никонов и др., 2006; Лукина и др., 2008]. Почвенный и растительный компоненты парцеллы «окна» более мозаичны: можно идентифицировать заростающие мхами и кустарничками стволы вываленных ранее деревьев, пятна бугров и западин, зеленомошные, лишайниковые, мелко- и высокотравные, папоротниковые компоненты биогеоценозов, подрост древесных растений, оказывающий специфическое воздействие на почвы.

Тессера Ханса Йенни. Х. Йенни выделил тессеру как элемент ландшафта, включающий почву, растительность, почвенную биоту. За тессеру он предложил принимать единицу произвольной площади и формы, которая удобна для тех или иных целей.

Тессера Л. О. Карпачевского. Л. О. Карпачевский развивал понятие тессеры как почвенного компонента парцеллы. В пределах тессеры он выделял микрозоны: приствольная, середины и края кроны.

Ценобиотические микрогруппировки Л. Г. Раменского. Л. Г. Раменский выделял ценобиотические микрогруппировки, являющиеся результатом специфического воздействия определенных растений на внешние условия. Эти растения, «поселившись и заняв известную площадь, так сильно влияют на режимы воздушной и почвенной среды, что в значительной мере вытесняют некоторые другие виды и уживаются с видами, для которых эти – вновь созданные – условия благоприятны» [Раменский, 1971. С. 240].

Таким образом, ЭПА В. М. Фридланда отражает лишь часть почвенного лесного покрова; парцелла Н. В. Дылиса включает в себя атмосферу, растительность, почву и почвенную биоту, однако не является элементарной единицей биогеоценоза; тессера Х. Йенни включает все элементы биогеоценоза, но имеет искусственные границы; микрогруппировка Л. Г. Раменского относится к растительному компоненту; тессера Л. О. Карпачевского включает почвенный компонент.

По нашим представлениям, элементарная единица лесного биогеоценотического покрова как элементарный провайдер экосистемной функции должна отвечать трем требованиям. Эта единица должна: 1) быть неделимой, наименьшей, основной для оценки той или иной функции; 2) включать все взаимосвязанные компоненты биогеоценоза (атмосферу, почву, растительность, почвенную биоту); 3) формировать базовый уровень в иерархии пространственных единиц лесного биогеоценотического покрова.

Учитывая все изложенное, для исследования взаимосвязей «растительность – почва», регулирующих экосистемные функции, в качестве элементарной единицы биогеоценотического покрова, на уровне которой эти взаимосвязи реализуются, мы предлагаем рассматривать элементарный биогеоареал (ЭБГА). Площади, формы, а также название ЭБГА определяются по доминирующим растениям, т. е. по растительному компоненту, который соответствует понятию ценобиотической микрогруппировки Л. Г. Раменского. Идентификация и оценка вклада элементарных единиц покрова могут быть проведены на основе картографирования растительного покрова в масштабе 1:100 [Лукина и др., 2010а]. Продолжительность существования как древесных, так и межкрупных ЭБГА определяет тесноту связей между отдельными компонентами лесных биогеоценозов. ЭБГА – структурно-функциональная единица лесного биогеоценотического покрова, являющаяся элементарным провайдером экосистемных функций, таких как формирование плодородия почв, регулирование биогеохимических циклов.

Для типологии ЭБГА предлагается два уровня: 1 – типы ЭБГА, 2 – группы типов ЭБГА. Идентификация единиц первого уровня проводится на основе видов растений-доминантов. В случаях древесных ЭБГА на первом месте дается название вида древесного растения, а далее – названия видов/родов напочвенного покрова. Выделение единиц групп типов ЭБГА целесооб-

разно проводить с учетом вида-доминанта древесных растений, доминирующих жизненных форм сосудистых растений напочвенного покрова (кустарнички, травы), классов/подклассов мхов и лишайников на уровне целого отдела.

Информативные показатели взаимосвязей «растительность – почва»

Для выявления информативных показателей взаимосвязей «растительность – почва» целесообразно охарактеризовать основные механизмы влияния растений на почву. К ним относятся [Nihlgard, 1971; Карпачевский, 1977; Hobbie 1992; Lovett, 1992; Berkvist, Folkeson, 1995; Binkley, Giardina, 1998; Лукина, Никонов, 1996]:

- химическое выветривание горных пород;
- перераспределение осадков, света, тепла и элементов питания;
- поступление элементов питания с опадом (растительный опад является связующим звеном между растительностью и плодородием почв. Вследствие этого большое значение имеет понятие качества опада, которое включает два компонента: элементы питания и вторичные метаболиты – полифенолы, танины, лигнин, а в случае с деревьями также стволые и кроновые воды;
- разложение и минерализация органического вещества, формирующегося из растительных остатков разного качества;
- поглощение элементов питания;
- формирование ВПК.

Почва даже рассматривается как «расширенный фенотип растений» [Van Breemen, Fienzi, 1998]. Существование связей между составом растительных сообществ, почвенной биоты и плодородием почв на уровне биогеоценозов, которые выражаются в формировании трех типов гумуса (мор, модер и мулль), в настоящее время не может вызывать сомнений. Тип гумуса обусловлен качеством растительного опада и связанным с ним составом почвенной биоты и может изменяться в ходе эволюции и сукцессии. Открытым остается вопрос о существовании таких связей в лесных экосистемах разных типов, но со сходным типом гумуса и внутри биогеоценозов.

Наиболее информативными показателями взаимосвязей «растения – почва» как на уровне биогеоценоза, так и внутри биогеоценотических структур являются динамические показатели плодородия почв. Диагностическим критерием плодородия почв является качество опада, включающее в себя два компонента – элементы питания и вторичные метаболиты [Berg, 2000]. Различные виды растений формируют опад раз-

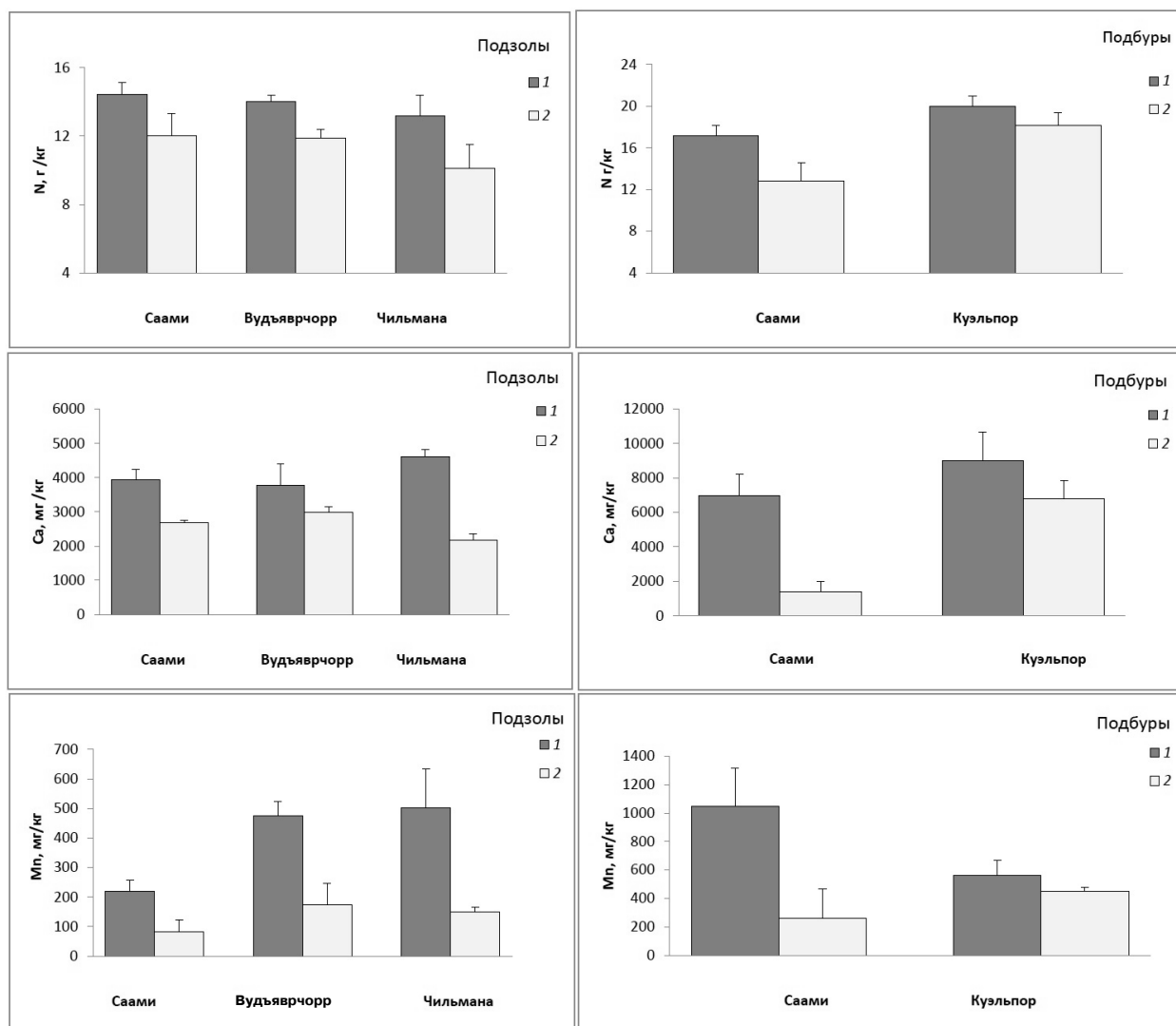


Рис. 1. Содержание азота, кальция и марганца в органогенных горизонтах (О) почв еловых лесов Хибинских гор. ЭБГА: 1 – еловый кустарничково-зеленомошный, 2 – кустарничково-зеленомошный. Содержание азота и марганца в подбурах Куэльпора показано для органогенных горизонтов ельника разнотравного, содержание кальция – для органогенных горизонтов ельника мелко травно-кустарничково-зеленомошного [Орлова и др., 2012]

личного качества. Потенциально доступными для растений формами элементов питания являются водорастворимые, обменные и часть органических соединений [Read, 1983; Орлов, 1985; Барбер, 1988; Ильин, 1991; Nasholm et al., 1998]. Содержание доступных для биоты соединений элементов питания, обусловленное влиянием опада растений разного состава, регулирует скорость разложения органического вещества: если на начальных стадиях разложения (разложение целлюлозы) накопление азота и фосфора способствует этому процессу, то на стадии лигнина данные элементы оказывают обратное воздействие из-за угнетения грибов белой гнили. При этом кальций способствует разложению органического вещества на всех стадиях из-за стимуляции роста грибов белой

гнили. Накопление марганца также оказывает стимулирующее воздействие на разложение органического вещества из-за увеличения содержания фермента Mn-пероксидазы, отвечающего за разложение лигнина.

Проведенные нами исследования лесных почв Мурманской области, северной Карелии и Республики Коми (Печоро-Ильчский заповедник) с учетом различных ЭБГА позволили получить представление о взаимосвязях между растительностью и почвами и идентифицировать новые факторы влияния растений на почву [Орлова и др., 2011, 2012, 2014; Орлова, 2013]. К таким факторам относятся не только состав опадающих органов доминирующих растений, возраст и размер деревьев, но также строение и плотность их крон.

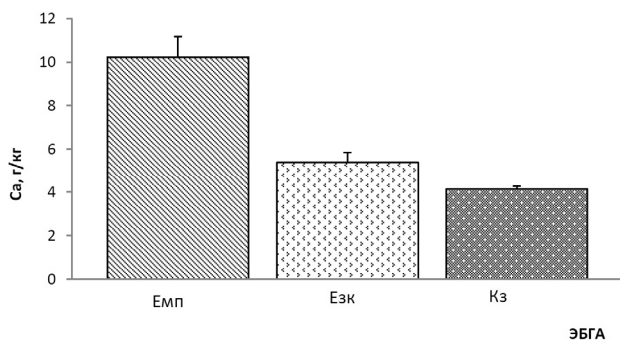


Рис. 2. Содержание доступных соединений кальция в органических горизонтах почв ельника зеленомошно-кустарничкового (Мурманская обл.). ЭБГА: Емп – еловый мертвопокровный (без растительности в напочвенном покрове, с низкой плотной кроной), Езк – еловый зеленомошно-кустарничковый (с высокой кроной), Кз – кустарничково-зеленомошный [Орлова и др., 2011]

Результаты наших исследований показали, что в лесных биогеоценозах выражена пространственная изменчивость плодородия почв, связанная с влиянием растительности [Лукина и др., 2010б]. В ельниках кустарничково-зеленомошных, широко распространенных в тайге, как на равнинных, так и на горных территориях, самыми высокими концентрациями и запасами общего азота, доступных соединений кальция и марганца характеризуются органические горизонты почв еловых кустарничково-зеленомошных ЭБГА (рис. 1) по сравнению с межкрановыми кустарничково-зеленомошными [Орлова, 2012; Orlova et al., 2013]. Объясняется это высоким содержанием малоподвижных, не способных к ретранслокации внутри дерева кальция и марганца в опадающей хвое. Нами показано, что строение крон и возраст елей также влияют на уровень накопления элементов питания и вторичных метаболитов. Органические горизонты почв ЭБГА с мертвопокровным пространством под высоковозрастными деревьями елей с низкой кроной характеризуются более высоким содержанием элементов питания по сравнению с ЭБГА, формируемыми молодой елью с высоко поднятой кроной и содержащими в напочвенном покрове кустарнички и зеленые мхи (рис. 2). Это обусловлено прежде всего количеством осадков, проникающих под ели с разным строением крон. Низкие плотные кроны пропускают значительно меньше осадков, что препятствует выносу элементов питания и вторичных метаболитов (полифенолов, танинов). К тому же интенсивность света, проникающего под такие кроны, значительно ниже, и это предохраняет от разрушения хромовые системы – полифенолы [Горбачева и др., 2006], что способствует секвестрированию азота

и других элементов питания. Сходные закономерности показаны нами на примере других позднесукцессионных видов (рис. 3), таких как пихта [Лукина и др., 2010б; Орлова, 2013].

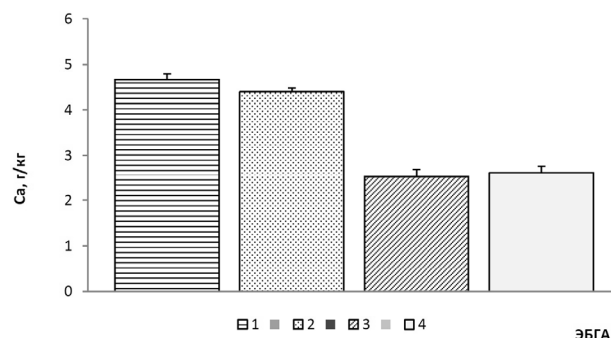


Рис. 3. Содержание кальция в органических горизонтах почв ельников папоротниковых. ЭБГА: 1 – еловый черничный середина кроны, 2 – пихтовый черничный середина кроны, 3 – кедровый мертвопокровный середина кроны, 4 – зеленомошно-черничный (Печоро-Илычский заповедник, Республика Коми)

Органические горизонты почв сосново-лишайниково-кустарничковых ЭБГА также характеризуются более высоким содержанием доступных соединений элементов питания по сравнению с лишайниковыми и кустарничково-лишайниковыми (рис. 4), однако этот эффект выражен слабее, чем в еловых и пихтовых ЭБГА. Это связано с менее плотной кроной деревьев и поступлением опада, характеризующегося более низким, по сравнению с пихтой и елью, содержанием элементов питания [Лукина и др., 2010б]. Наши исследования также показывают, что наиболее бедны элементами питания лишайниковые ЭБГА, тогда как появление бореальных кустарничков в напочвенном покрове приводит к увеличению содержания доступных соединений элементов питания.

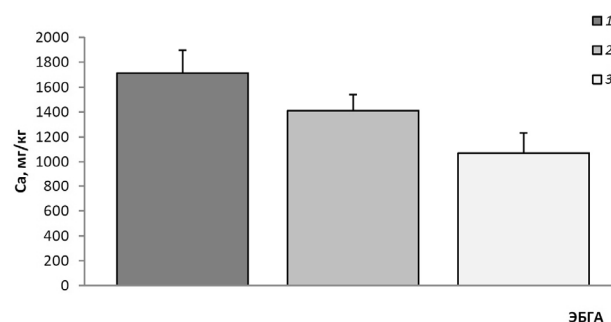


Рис. 4. Содержание доступных соединений кальция в органических горизонтах почв сосновых лесов Лапландского заповедника (Мурманская область). ЭБГА: 1 – сосновый лишайниково-кустарничковый, 2 – кустарничково-лишайниковый, 3 – лишайниковый [Орлова, 2013]

Береза также влияет на уровень плодородия почв: почвы березовых кустарничково-зеленомошных ЭБГА богаче элементами питания, чем кустарничково-зеленомошных (рис. 5), но сопоставимы с почвами разнотравных ЭБГА с более высоким содержанием элементов питания в опаде по сравнению с опадом кустарничков и зеленых мхов.

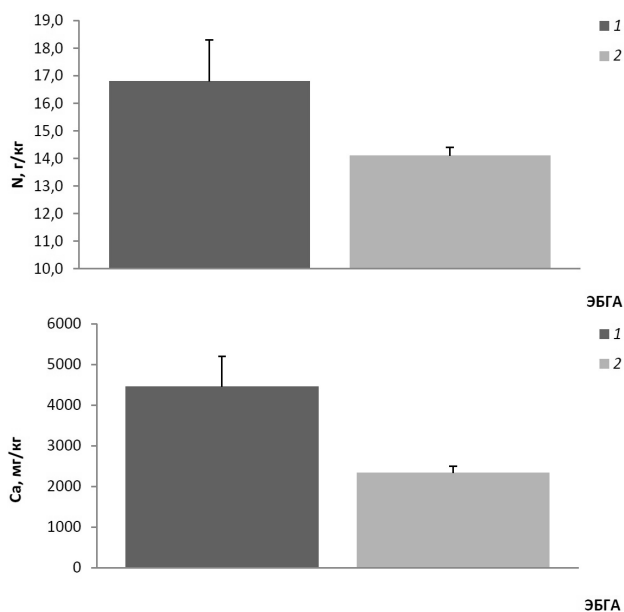


Рис. 5. Содержание азота и доступных соединений кальция в органических горизонтах почв березовых лесов (Мурманская обл.): ЭБГА: 1 – березовый зеленомошно-кустарничковый, 2 – зеленомошно-кустарничковый [Орлова, 2013]

Следовательно, динамические характеристики плодородия почв являются информативными показателями взаимосвязей «растительность – почва». Элементарной единицей лесного биогеоценологического покрова, на уровне которой эти взаимосвязи уже реализуются, является элементарный биогеоареал (ЭБГА). Органические и минеральные горизонты древесных (еловых, сосновых и березовых) ЭБГА богаче доступными для биоты соединениями элементов питания по сравнению с межкروновыми (кустарничково-зеленомошными, лишайниково-кустарничковыми и др.). Лишь высоко-травные ЭБГА сопоставимы по показателям плодородия почв с еловыми и березовыми. Это связано с качеством опада (элементами питания и вторичными метаболитами). Продолжительность существования ЭБГА древесных и межкроновых пространств определяет тесноту связей между отдельными компонентами лесных биогеоценозов.

Полученные результаты позволяют заключить, что при оценке плодородия почв и биогео-

химических циклов элементов в различных типах лесных биогеоценозов необходимо учитывать вклад ЭБГА. Широко распространенные в российской и международной практике подходы к оценке этих экосистемных функций на основе характеристики лишь части межкроновых пространств приводят к ошибкам. Так, наши расчеты показали, что запасы азота в органических горизонтах почв еловых лесов горных территорий в еловых ЭБГА в 2–6 раз выше, чем в кустарничково-зеленомошных, углерода – в 4–5 раз выше в еловых по сравнению с кустарничково-зеленомошными ЭБГА. Запасы углерода и азота в органических горизонтах сосновых ЭБГА по сравнению с кустарничково-зеленомошными выше в 2–3 раза. Такие же закономерности характерны для запасов доступных для растений элементов питания (кальция, магния, калия, марганца и др.): в среднем запасы доступных для растений элементов питания в органических горизонтах почв еловых лесов в подкروновых ЭБГА в 3–6 раз выше, чем в межкроновых. Запасы углерода, азота и доступных для растений элементов питания в органических горизонтах почв еловых лесов равнинных территорий в 1,5–3 раза выше в еловых ЭБГА по сравнению с кустарничково-зеленомошными.

Таким образом, в иерархии пространственных уровней лесного биогеоценологического покрова ЭБГА является базовой единицей, при этом иерархический ряд, по нашим представлениям, может выглядеть следующим образом: ЭБГА, парцелла, биогеоценоз, бассейн малой реки и так далее.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГК 14.515.11.0014 «Разработка научно-технических основ оценки биоразнообразия лесов и принципов системы построения его мониторинга», Гранта Президента РФ для молодых ученых МК-7008.2013.4, РФФИ № 12-04-33193-мол_а_вед, РФФИ 13-04-01644А, Программы Президиума РАН «Биологическое разнообразие».

Литература

- Барбер С. А. Биологическая доступность питательных веществ в почве. М.: Агропромиздат, 1988. 376 с.
- Горбачева Т. Т., Лукина Н. В., Артемкина Н. А. Динамика содержания полифенолов при разложении опада и подстилки в ельниках зеленомошных Кольского полуострова // Лесоведение. 2006. № 3. С. 15–23.
- Дылис Н. В. Структура лесного биогеоценоза // Комаровские чтения. М.: Наука, 1969. Т. 21. 28 с.
- Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе «почва-растения». Новосибирск: Наука, 1991. 151 с.

Карпачевский Л. О. Пестрота почвенного покрова в лесном биогеоценозе. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1977. 312 с.

Лукина Н. В. Экосистемные функции и биоразнообразие // Разнообразие и динамика лесных экосистем России / Под ред. акад. А. С. Исаева. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2013 (в печати).

Лукина Н. В., Никонов В. В. Биогеохимические циклы в лесах Севера в условиях аэротехногенного загрязнения: в 2 ч. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1996. Ч. 1. 213 с.; ч. 2. 192 с.

Лукина Н. В., Орлова М. А., Кравченко Т. В. Характеристика лесного почвенного покрова // Методические подходы к экологической оценке лесного покрова в бассейне малой реки / Л. Б. Заугольнова, Т. Ю. Браславская (отв. ред.). М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2010а. 383 с.

Лукина Н. В., Орлова М. А., Исаева Л. Г. Плодородие лесных почв как основа взаимосвязи почва – растительность // Лесоведение. 2010б. № 5. С. 45–56.

Орлов Д. С. Химия почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. 376 с.

Орлова М. А. Формирование плодородия почв – экосистемная функция лесов // Разнообразие и динамика лесных экосистем России / Под ред. акад. А. С. Исаева. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2013 (в печати).

Орлова М. А., Лукина Н. В., Смирнов В. Э., Краснов Д. А., Камаев И. О. Плодородие почв еловых лесов Хибинских гор // Почвоведение. 2012. № 6. Стр. 682–694.

Орлова М. А., Лукина Н. В., Камаев И. О., Смирнов В. Э., Кравченко Т. В. Мозаичность лесных биогеоценозов и плодородие почв // Лесоведение. 2011. № 6. С. 39–48.

Орлова М. А., Лукина Н. В., Смирнов В. Э., Исаева Л. Г. Плодородие почв березовых лесов на северном пределе распространения // Почвоведение. 2014. № 1 (в печати).

Раменский Л. Г. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель. М.; Л.: Сельхозгиз, 1938. 620 с.

Раменский Л. Г. Избранные работы. Проблемы и методы изучения растительного покрова. Л.: Наука, 1971. 334 с.

Фридланд В. М. Проблемы географии генезиса и классификации почв. М.: Наука, 1986. 243 с.

Berkvist B., Folkesson L. The influence of tree species on acid deposition, proton budgets and element fluxes in south Sweden forest ecosystems // Ecol. Bull. 1995. Vol. 44. P. 90–99.

Binkley D., Giardina C. Why do trees affect soils? The Warp and Woof of tree-soil interactions // Biogeochemistry. 1998. Vol. 42. P. 89–106.

Bunker D. E., DeClerck F. A., Bradford J. C., Colwell R., Gaden P., Perfecto I., Phillips O., Sankaran M., Naeem S. Biodiversity loss and above-ground carbon storage in a tropical forest // Science. 2005. Vol. 301. P. 1029–1031.

Hobbie S. E. Effects of plant species on nutrient cycling // Trends Ecol. Evol. 1992. Vol. 7. P. 336–339.

Jenny H. Role of the plant factor in the pedogenic functions // Ecology. 1958. Vol. 39. № 1. P. 5–16.

Kremen C. Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology? // Ecology Letters. 2008. Vol. 8. P. 468–479.

Lovett G. Atmospheric deposition and canopy interactions of nitrogen // Atmospheric deposition and forest nutrient cycling / D. Johnson and S. Lindberg (ed.) // Springer-Verlag. N.Y. 1992. P. 152–165.

Luck G. W., Daily G. C., Ehrlich P. R. Population diversity and ecosystem services // Trends Ecol. Evol. 2003. Vol. 18. P. 331–336.

Nasholm T., Ekblad A., Nordin A., Giesler R., Hogberg M. et al. Boreal forest plants take up organic nitrogen // Nature. 1998. 392. P. 914–916.

Nihlgard B. Pedological influence of spruce planted on former beech forest soils in Scania, South Sweden. Oikos. 1971. Vol. 22. P. 195–207.

Orlova M., Lukina N., Tutubalina O., Smirnov V., Isaeva G., Hofgaard F. Soil nutrient's spatial variability in forest-tundra ecotones on the Kola Peninsula, Russia // Biogeochemistry. Vol. 113. 2013. P. 283–305.

Phillpott S. M., Soong O., Lowenstein J. H., Luz Pulido A., Tobar Lopez D., Flynn D.F.B., DeClerck F. Functional richness and ecosystem services: bird predation on arthropods in tropical agroecosystems // Ecological applications. 2009. Vol. 19, № 7. P. 1558–1867.

Read D. J. The biology of mycorrhiza in the Ericales // Canad. J. Bot. 1983. Vol. 61. P. 985–1004.

Ricketts T. H. Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crops // Conservation Biology. 2004. Vol. 18. P. 1262–1271.

Schwartz M. W., Brigham C. A., Hoeksema J. D., Lyons K. G., Mills M. H. & van Mantgem P. J. Linking biodiversity to ecosystem function: implications for conservation ecology // Oecologia. 2000. Vol. 122. P. 297–305.

Van Breemen Nico, Fienzi C. Adrien. Plant-soil interactions: ecological aspects and evolutionary implications // Biogeochemistry 42: 1-19, 1998.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Орлова Мария Анатольевна
старший научный сотрудник, к. б. н.
Центр по проблемам экологии
и продуктивности лесов РАН
ул. Профсоюзная, д. 84/32, Москва,
Россия, 117997
эл. почта: dr.m.orlova@gmail.com
тел.: 84997430017

Orlova, Maria
Center for Forest Ecology and Productivity,
Russian Academy of Sciences
84/32 Profsoyuznaya St., 117997 Moscow, Russia
e-mail: dr.m.orlova@gmail.com
tel.: 84997430017