

ЭКОЛОГИЯ

УДК 581.557.24

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКТОМИКОРИЗ: ИЗМЕНЧИВОСТЬ В СВЯЗИ С ГЛУБИНОЙ

Д. В. Веселкин

Институт экологии растений и животных УрО РАН, 620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202; denis_v@ipae.uran.ru; (343)2103858

Рассмотрены особенности формирования боковых недетерминированных корней, поглощающих корней и эктомикориз в зависимости от глубины почвенных слоев у сеянцев *Pinus sylvestris*. Наибольшая активность формирования всех органов наблюдается в верхней части субстрата – в слое 40–120 мм от поверхности почвы. Предложено представление о функциональных зонах корневых систем, в которых по-разному реализуются функции роста и поглощения. Погрешности определения разных характеристик строения корней и микоризообразования, которые могут быть связаны с неправильным отбором проб по глубине, могут быть 1.5–5-кратными и более.

Ключевые слова: корневые системы; эктомикоризы; морфогенез; плотность корней; активность микоризообразования; *Pinus sylvestris*.

Введение

Важнейшее свойство почвы как среды существования организмов – анизотропность или неоднородность условий как в горизонтальном, так и особенно в вертикальном направлениях [Карпачевский, 1981]. Вертикальная анизотропность почв выражается в закономерном градиентном изменении их физических и химических характеристик по мере увеличения глубины, т.е. по мере удаления от поверхности.

Специфичность почвенных условий предопределяет соответствующую специфику распределения и состояния биоты. В частности, в отношении корней деревьев многократно показана неравномерность их распределения по почвенному профилю с максимум плотности (корненасыщенности) на некотором удалении от поверхности (в лесах бореальной и умеренной зон, как правило, 10–40 см) и более или менее постепенным снижением количества корней по мере дальнейшего углубления. Количество такого рода данных огромно [Орлов, Кошельков, 1971; Абражко, 1973; Бобкова, 1987; Никонов, 1987; Ярмишко, 1987, 1990; Веселкин, 2002а; Зайцев, 2008; и др.], что свидетельствует об универсальности подобного распределения, но с возможностью широкой модификации актуальными экологическими условиями. На фоне объектив-

ного обилия сведений о распределении в почве интегральных параметров корневых систем (биомасса, корненасыщенности), существенно меньше информации о различиях тонких признаков строения корней на разной глубине или в разных горизонтах, хотя и известно, что такие особенности могут быть выраженными, особенно при резких контрастах условий [Орлов, Кошельков, 1971; Семенова, 1980; Веселкин, 2003]. Эктомикоризные грибы – корневые симбионты деревьев, играющие ключевую роль в их почвенном питании, – также распределены в почве неравномерно [Шубин, 1998, 2000; Tedersoo et al., 2003; Genney, Anderson, Alexander, 2006]. В бореальных лесах выделены три частично разобщенные в вертикальном измерении экологические ниши макромицетов-симбиотрофов: первая – лесная подстилка; вторая – гумусированные горизонты; третья – минеральная часть почвенного профиля [Шубин, 1998, 2000].

В настоящем сообщении на примере сеянцев сосны обыкновенной анализируются макроморфологические особенности строения недетерминированных корней, располагающихся на разной глубине. Особое внимание уделяется при этом характеристикам развития микориз. Поставленная задача актуальна с учетом двух моментов. Во-первых, подобный анализ, по нашему мнению, позволит лучше

понять механизмы морфогенеза и функционирования подземных органов, которые до настоящего времени изучены несравнимо меньше, чем механизмы формирования надземных органов. Во-вторых, задача имеет выраженную методическую составляющую, так как необходимо ясно представлять степень сравнимости оценок признаков, полученных для корней с разных глубин, из разных слоев или горизонтов.

Материал и методы

Для решения поставленной задачи проанализировано строение и микоризация корней 4-месячных особей сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), выращенных в разных вариантах вегетационного эксперимента [Веселкин, 2009а]. Сеянцы выращивались в пластиковых ящиках с перфорированным дном, которые экспонировались в неотпливаемой теплице при естественной продолжительности светового дня. Субстрат – смесь нестерилизованной дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы, песка и верхового торфа. Влажность почвы поддерживали на уровне 60% полной полевой влагоемкости. Эксперимент осуществлен как двухфакторный опыт с разной комбинацией уровней снабжения азотом и фосфором и взаимодействием факторов. Азот вносился в форме мочевины в дозах, эквивалентных внесению 0 кг/га (здесь и далее – действующего вещества) («N0»), 60 кг/га («N60»), 180 кг/га («N180»). Фосфор вносился в тех же дозах («P0», «P60», «P180») в форме двойного суперфосфата.

После выкопки 4-месячных растений у них регистрировали признаки строения боковых корней 1-го порядка, отходящих от главных корней на разной глубине, т.е. на разном расстоянии от поверхности почвы. При измерениях главные корни сеянцев были разделены на отдельные фрагменты длиной 40 мм, начиная от уровня поверхности почвы: 0–40, 40–80, ..., 280–320, 320–360 мм. На каждом таком 40-миллиметровом фрагменте регистрировали количество отходящих боковых недетерминированных корней 1-го порядка. Затем измеряли длину каждого бокового корня 1-го порядка, рассчитывали плотность расположения коротких корней 2-го порядка на боковых корнях 1-го порядка и определяли активность микоризообразования, т.е. долю коротких корней 2-го порядка, заселенных эктомикоризными грибами.

Результаты и их обсуждение

Общие результаты эксперимента в части оценки влияния разных уровней биогенных элементов на особенности строения и микоризации корней частично опубликованы [Веселкин, 2009а]. Поэтому ниже основное внимание будет уделено особенностям распределения признаков корневых систем

по слоям глубины на примере двух экспериментальных вариантов («N60P0» и «N180P60»), а эффекты биогенов будут обсуждаться в меньшей степени.

Формирование боковых недетерминированных корней

Активнее всего боковые недетерминированные (проводящие) корни 1-го порядка закладываются на глубине 40–160 мм от поверхности почвы (рис. 1а). В этом диапазоне глубин на каждых 40 мм главного корня возникает обычно 2.5–3.5 боковых недетерминированных корней 1-го порядка, в то время как на глубине более 200 мм на каждых 40 мм главных корней закладывается не более 0.5–1.0 бокового недетерминированного корня 1-го порядка. Эти различия, как и различия между двумя использованными для работы вариантами вегетационного опыта, статистически значимы (результаты двухфакторного ANOVA: $F_{\text{глубина (8;954)}} = 88.94$; $P < 0.001$; $F_{\text{вариант опыта (1;954)}} = 9.57$; $P = 0.002$; $F_{\text{глубина} \times \text{вариант (8;954)}} = 0.59$; $P = 0.791$). В среднем несколько более активное заложение боковых недетерминированных корней наблюдается при относительно меньшей обеспеченности элементами минерального питания – в варианте опыта N60P0, по сравнению с вариантом N180P60.

Длина среднего бокового недетерминированного корня 1-го порядка напротив, несколько выше при обильном снабжении биогенами, в основном за счет мощного развития корней в верхних слоях субстрата – на глубине до 80 мм (рис. 1б). Но в обоих случаях хорошо просматривается последовательное убывание размера среднего бокового корня с глубиной: от 40–50 мм в варианте N60P0 и 60–120 мм в варианте N180P60 до 10–30 мм на глубинах больше 200 мм в обоих вариантах. Все обсуждаемые различия длины среднего корня, т.е. и различия между вариантами опыта, и различия, связанные с глубиной, статистически значимы ($F_{\text{глубина (8;659)}} = 11.69$; $P < 0.001$; $F_{\text{вариант опыта (1;659)}} = 6.31$; $P = 0.012$; $F_{\text{глубина} \times \text{вариант (8;659)}} = 4.33$; $P < 0.001$).

Таким образом, в условиях вегетационного опыта у сеянцев *Pinus sylvestris* большая часть боковых проводящих корней закладывается в верхней части главного корня и здесь же, в верхних слоях субстрата, формируются в среднем наиболее длинные боковые проводящие корни.

Формирование поглощающих структур

Наряду с большим количеством и большими размерами, боковые корни, расположенные на глубинах до 80 мм, заметно лучше оснащены детерминированными поглощающими корнями, которые, к тому же, заметно активнее заселяются эктомикоризными грибами, по сравнению с более глубоко расположенными слоями субстрата (рис. 2). Различия, связанные с глубиной, высоко значимы как в отношении плотности расположения детерминированных корней ($F_{\text{глубина}}$

на (8,659) = 17.95; $P < 0.001$; $F_{\text{вариант опыта (1,659)}} = 24.98$; ($F_{\text{глубина (8,659)}} = 11.77$; $P < 0.001$; $F_{\text{вариант опыта (1,659)}} = 2.51$; $P < 0.001$; $F_{\text{глубина} \times \text{вариант (8,659)}} = 2.27$; $P = 0.021$), так и в отношении активности формирования эктомикориз ($F_{\text{глубина (8,659)}} = 11.77$; $P < 0.001$; $F_{\text{вариант опыта (1,659)}} = 2.51$; $P = 0.113$; $F_{\text{глубина} \times \text{вариант (8,659)}} = 1.16$; $P = 0.320$).

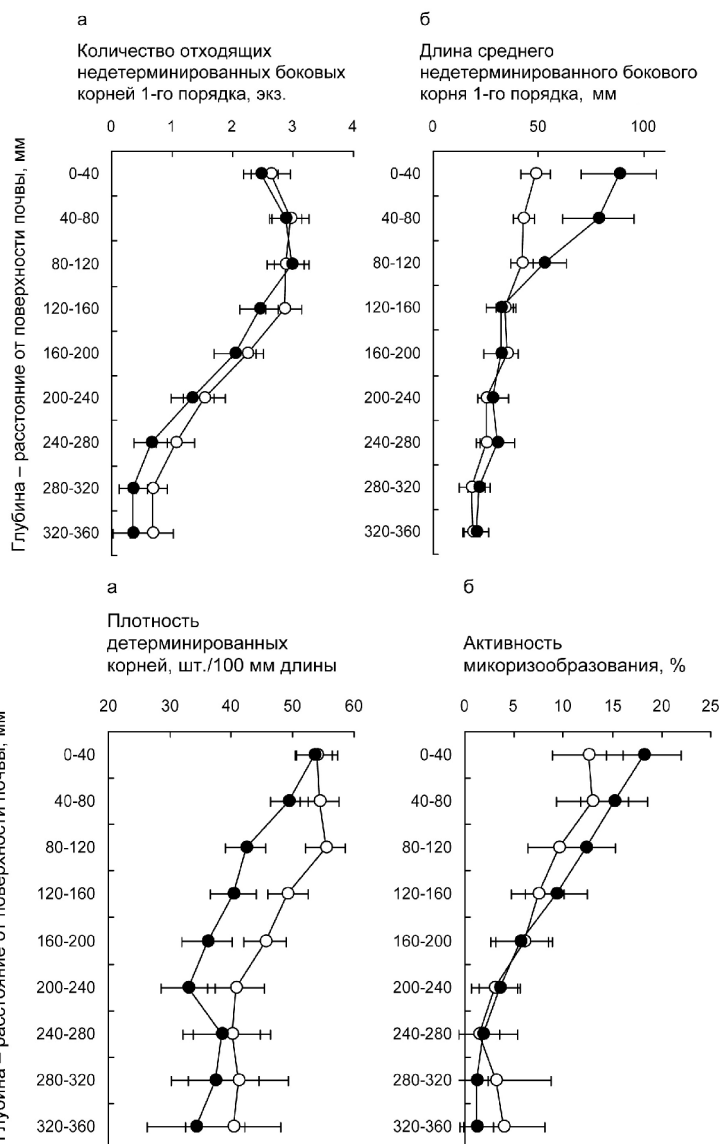


Рис. 1. Количество (а) и длина (б) недетерминированных боковых корней 1-го порядка в зависимости от расстояния до поверхности почвы у 4-месячных семян *Pinus sylvestris* в вегетационном опыте при двух уровнях внесения биогенных элементов.

Варианты опыта здесь и на рисунках 2–3: ○ – N60P0, ● – N180P60; горизонтальные линии – 95%-й доверительный интервал

Рис. 2. Плотность расположения детерминированных корней (а) и активность микоризообразования (б) в зависимости от расстояния до поверхности почвы у 4-месячных семян *Pinus sylvestris* в вегетационном опыте при двух уровнях внесения биогенных элементов. Все измерения относятся к недетерминированным боковым корням 1-го порядка

Общее количество корневых структур

Результатом интеграции рассмотренных частных реакций на уровне особи является преимущественная локализация всех структур – недетерминированных корней, коротких детерминированных корней, эктомикориз в верхних слоях субстрата (рис. 3). Изменения всех этих признаков с глубиной статистически значимы на высоких уровнях (во всех случаях $P < 0,001$). Следует отметить очень значительную контрастность абсолютных показателей развития подземных органов между верхними и нижними слоями субстрата. Так, например, суммарная длина боковых проводящих корней в верхнем (0–80 мм) слое варьирует в интервале 250–450 мм, а в слое 200–360 мм – лишь в интервале 100–

150 мм. Суммарное количество коротких корней у особи в слое субстрата 0–80 мм варьирует в диапазоне 120–260 экз., а глубже 200 мм расположены лишь 30–85 коротких корней. Суммарное количество эктомикориз у особи в слое субстрата 0–80 мм составляет 15–40 экз., а в слое 200–360 мм расположены лишь единицы (1–5) эктомикоризных корней, а иногда они вообще отсутствуют.

Функциональные зоны корневых систем

Прежде чем переходить к обсуждению изложенных фактов, отметим, что, как большинство экспериментов, опыт с разным уровнем обеспеченности биогенными элементами лишь частично моделирует естественные условия.

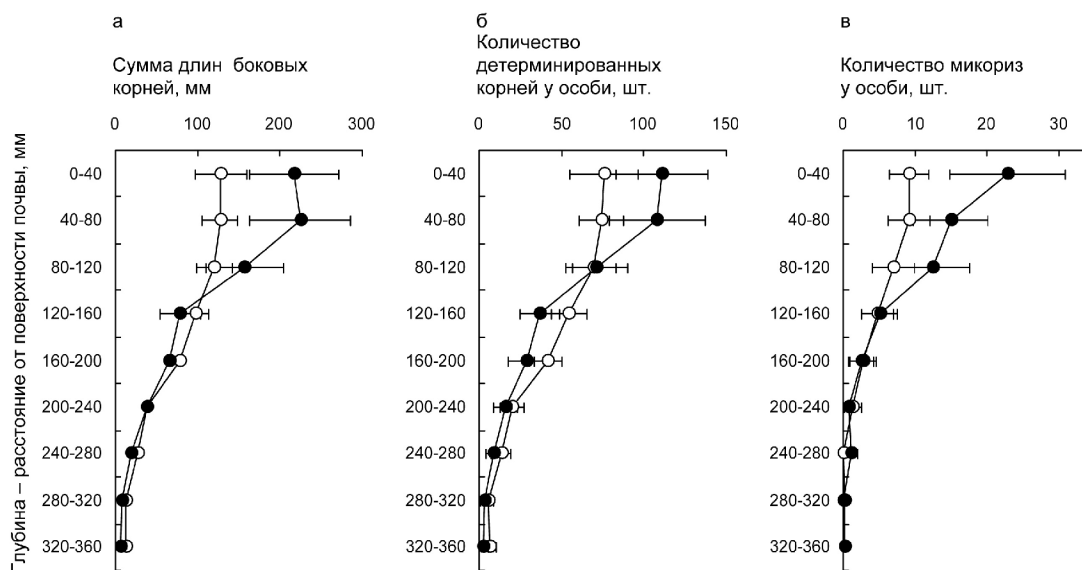


Рис. 3. Суммарная длина боковых недетерминированных корней (а), абсолютное количество детерминированных корней (б) и микориз (в) в зависимости от расстояния до поверхности почвы у 4-месячных сеянцев *Pinus sylvestris* в вегетационном опыте при двух уровнях внесения биогенных элементов. Все измерения относятся только к недетерминированным боковым корням 1-го порядка.

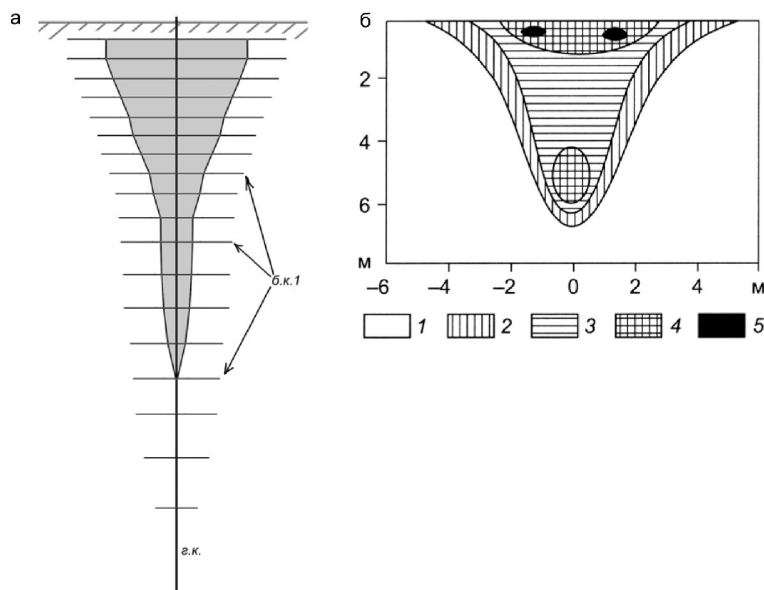


Рис. 4. Схематическое изображение функциональных зон корневой системы сеянца сосны (а) и 7-летней яблони (б).

а: серая область – «зона поглощения»; незакрашенная область распространения боковых корней – «зона роста»; г.к. – главный корень; б.к.1 – недетерминированные боковые корни 1-го порядка; б: плотность поглощающих корней: 1 – <0,05; 2 – 0,05–0,5; 3 – 0,5–2,0; 4 – 2,0–5,0; 5 – 5,0–5,5 тыс. шт./м³ [по: Ковалевский, Ковалевская, 2010]

В результате этого, например, размеры корневых систем в эксперименте в 5–15 раз (!) больше, чем у всходов сравнимого возраста из ненарушенных лесов [Veselkin, Sannikov, Sannikova, 2010] и в 2–5 раз больше, чем у однолетних сеянцев из лесных питомников [Веселкин, 2006б; 2010]. Не менее контрастно различается и активность микоризообразования. В разных вариантах опыта она практически на порядок ниже, чем в естественных лесах, и в 2–5 раз ниже, чем в питомниках. Таким образом, при экстраполяции обсуждаемых далее закономерностей на более широкий круг условий необходима известная осторожность. Еще одно

ограничение состоит в том, что наши данные лишь косвенно описывают изменчивость, связанную с глубиной, поскольку часть различий можно интерпретировать как различия между участками корневых систем разного возраста. Ясно, что участки корневых систем, расположенные глубоко или на периферии корневой системы, моложе, по сравнению с участками, расположенными ближе к поверхности почвы или ближе к главному корню.

В пределах корневой системы можно выделить функционально различные зоны, структурно состоящие из корней разных порядков (рис. 4а; соотношение размеров корней разных порядков и корней,

расположенных на разной глубине, близко к реальным). Поглощающие органы – короткие детерминированные корни и эктомикоризы – в наибольшем количестве сосредоточены в зоне, охватывающей проксимальные части главного и боковых проводящих корней. Это связано, во-первых, со снятием апикального доминирования в силу удаленности растущих кончиков корней 0 и 1-го порядков, во-вторых, прямо с фактором возраста корней, так как процесс формирования эктомикориз требует времени. Зону, охватывающую проксимальные части главного и боковых проводящих корней, можно обозначить как «зону поглощения» по наиболее характерной функции слагающих ее органов (на рис. 4а отмечена серым цветом). В зоне, включающей дистальные фрагменты главного и боковых корней, преобладающим процессом является линейный рост корней с соответствующим проявлением апикального доминирования. Поэтому ее можно обозначить как «зону роста». Подобная дифференциация участков корневых систем на основании квазифункциональных характеристик возможна с большей дробностью при условии более детальных исследований. Например, на основании количественной оценки плотности поглощающих корней возможна дифференциация объема, занимаемого корневыми системами, на несколько классов (рис. 4б).

Пространственная разобщенность проявления функций роста и поглощения позволяет предпола-

гать их частичную независимость. Такое предположение может оказаться перспективным для решения некоторых вопросов экологии растений. Например, по нашим оценкам, в условиях загрязнения тяжелыми металлами критичным для выживания всходов является обеспечение именно роста недетерминированных корней. Размер корневых систем всходов в условиях загрязнения существенно снижается притом, что формирование поглощающих корней и их трансформация в эктомикоризы происходят с фоновой интенсивностью или даже активизируются [Веселкин, 2002б, 2006а].

Выраженность вертикальной неоднородности строения корневых систем свидетельствует об ограниченности описательных возможностей подхода, апеллирующего исключительно к различиям между корнями разного порядка [Усольцев, 2007; Веселкин, 2013]. Ясно, что признаки, важные для понимания и предсказания структуры корней, не связаны только с порядком их ветвления, как, впрочем, и не связаны исключительно с положением анализируемого фрагмента в градиенте между проксимальным и дистальным полюсами. Более правдоподобным является консенсусное описание способности корней к освоению объема и эксплуатации ресурсов почвы с объединением представлений о: (1) различии между корнями разных порядков и (2) существовании функциональных зон корневых систем (рис. 5).

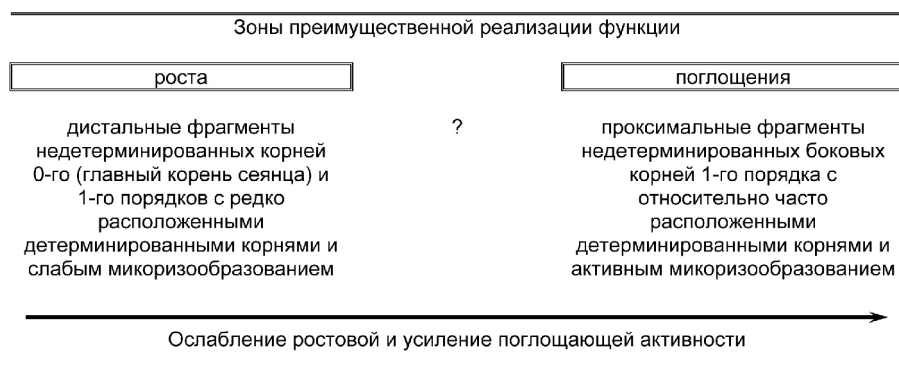


Рис. 5. Участие разных корневых структур в формировании функциональных зон корневых систем.

Вопросительный знак указывает на возможность выделения функциональных зон с промежуточными характеристиками

Последовательное разрастание корневой системы с постепенным отодвиганием зоны преимущественного размещения активных корней все дальше от основания ствола дерева – понятный и неоднократно описанный феномен [Колесников, 1962; Красильников, 1983], определяемый как акропетальный ростовой процесс [Усольцев, 2007]. Такой процесс последовательной смены функций, выражающийся в постепенном ослаблении одних функций и усилении других, носит для подземных органов универсальный характер вплоть до самых

тонких корней. В частности, он ясно подтверждается при анализе абсолютных размеров и пропорций между симбионтами в эктомикоризных корнях [Веселкин, 2009б].

Методические следствия

В методическом отношении важны следующие следствия из рассмотренных материалов.

Во-первых, на разной глубине относительные характеристики, описывающие развитие поглоща-

ющих органов, весьма существенно различаются. В большей степени это относится к такому параметру? как «активность микоризообразования», которая между разными слоями почвы различается до 3–9 раз. Более консервативной, различающейся на разных глубинах не более чем в 1.5 раза, является характеристика плотности детерминированных корней, что, вероятно, является следствием высокой автоматизации закладки боковых корней [Барлоу, Люк, 2008].

Для того, чтобы получать несмещенные оценки при сравнении разных особей или их групп по степени развития подземных органов, необходимо специально контролировать глубину отбора проб. При отсутствии такого контроля погрешности измерений могут быть весьма существенными и достигать нескольких раз. Многие методические сложности исследования корневых систем общеизвестны. Например, непростой задачей является извлечение интактных корневых мочек из верхних слоев почвы, которые в естественных условиях зачастую представляют плотную дернину. При работе в подобных условиях особенно необходимо стремиться стандартизировать глубину взятия образцов для обеспечения сопоставимости результатов.

Второе обстоятельство методического плана, заслуживающее упоминания, состоит в следующем. Основные различия между экспериментальными вариантами выращивания растений, которые рассмотрены в настоящем сообщении, проявлялись лишь в верхнем 10-сантиметровом слое субстрата. В нижележащих слоях строение корневых систем между вариантами N60P0 и N180P60 практически не различалось. Этот пример демонстрирует, что с разной глубиной изменяются не просто особенности строения корней, но и характерная амплитуда их реакций на внешние факторы. Поэтому при проведении экологических или физиологических исследований учет глубины взятых образцов корней может помочь яснее представить степень проявления исследуемых эффектов.

Заключение

С увеличением глубины почвенного слоя в корневых системах древесных растений, особенно, по видимому, у ювенильных растений, закономерно изменяются значения признаков, характеризующие ростовую и поглощающую активность. Причины этих различий обусловлены значительно автоматизированными морфогенетическими процессами. При их реализации в отдельных частях корневых систем последовательно сменяется выраженность признаков, свидетельствующих сначала о ростовой активности, а затем – о возрастающей специализации в направлении выполнения поглощающей функции.

Различия по способности формировать поглоща-

ющие корни и эктомикоризы между участками корней, расположенными на разной глубине, имеет большое методическое значение. Эти различия необходимо учитывать при планировании схем наблюдений в естественных и экспериментальных условиях для получения несмещенных оценок таких стандартных количественных характеристик микоризообразования как «плотность микориз» или «активность микоризообразования».

Библиографический список

- Абражко М.А. Закономерности распределения и фракционный состав биомассы подземных частей // Структура и продуктивность еловых лесов южной тайги. Л., 1973. С. 109–117.
- Барлоу П.В., Люк Ж. Ритмический характер морфогенеза растений на примере повторяющегося образования клеток идиобластов // Физиология растений. 2008. Т. 55. № 2. С. 163–183.
- Бобкова К.С. Биологическая продуктивность хвойных лесов Европейского Северо-Востока. Л.: Наука, 1987. 156 с.
- Веселкин Д.В. Распределение тонких корней хвойных деревьев по почвенному профилю в условиях загрязнения выбросами медеплавильного производства // Экология. 2002а. № 4. С. 250–253.
- Веселкин Д.В. Строение и микоризация корней сеянцев ели и пихты при изменении почвенного субстрата // Лесоведение. 2002б. № 3. С. 12–17.
- Веселкин Д.В. Снижение длины поглощающих корней ели сибирской и пихты сибирской в условиях загрязнения тяжелыми металлами и SO₂ // Лесоведение. 2003. № 3. С. 65–68.
- Веселкин Д.В. Морфология корневых систем и микоризообразование у ювенильных пихты сибирской и ели сибирской в условиях воздействия выбросов медеплавильного комбината // Лесоведение. 2006а. № 4. С. 52–60.
- Веселкин Д.В. Функциональное значение микоризообразования у однолетних сеянцев сосны и ели в лесных питомниках // Вестник Оренбургского государственного университета. 2006б. № 4(54). С. 12–18.
- Веселкин Д.В. Влияние уровня обеспеченности азотом и фосфором на структуру биомассы и развитие эктомикориз у всходов сосны обыкновенной // Аграрная Россия. 2009а. Спец. вып. С. 53–54.
- Веселкин Д.В. Возрастные изменения эктомикоризных корней *Abies sibirica* // Вестник Тверского государственного университета. Серия Биология и экология. 2009б. № 37. С. 119–126.
- Веселкин Д.В. Оценка влияния несимбиотических и симбиотических параметров подземных органов на развитие надземных органов всходов *Pinus sylvestris* // Экология. 2010. № 6. С. 414–419.

- Веселкин Д.В. Методические особенности оценки формирования эктомикориз: изменчивость в связи с порядком ветвления корней // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электрон. науч. журн. 2013. № 3 (7). С. 18–25.
- Зайцев Г.А. Адаптация корневых систем хвойных древесных растений к экстремальным лесорастительным условиям: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Тольятти, 2008. 39 с.
- Карпачевский Л.О. Лес и лесные почвы. М.: Лесн. пром-сть, 1981. 264 с.
- Ковалевский А.Л., Ковалевская О.М. Биогеохимия урановых месторождений и методические основы их поиска. Новосибирск: Гео, 2010. 362 с.
- Колесников В.А. Корневая система плодовых и ягодных растений и методы ее изучения. М.: Сельхозгиз, 1962. 191 с.
- Красильников П.К. Методика полевого изучения подземных частей растений: с учетом специфики ресурсоведческих исследований. Л.: Наука, 1983. 208 с.
- Никонов В.В. Почвообразование на северном пределе сосновых биогеоценозов. Л.: Наука, 1987. 142 с.
- Орлов А.Я., Кошельков С.П. Почвенная экология сосны. М.: Наука, 1971. 322 с.
- Семенова Л.А. Особенности экологии микориз сосны обыкновенной в зависимости от эдафических условий и географической широты // Микоризные грибы и микоризы лесообразующих пород Севера. Петрозаводск, 1980. С. 133–147.
- Усольцев В.А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии. Методы, база данных и ее приложения. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 635 с.
- Шубин В.И. Экологические ниши и сукцессии макромикетов-симбиотрофов в лесных экосистемах таежной зоны. I. Экологические ниши // Микология и фитопатология. 1998. Т. 32, вып. 6. С. 32–37.
- Шубин В.И. Сукцессии макромикетов-симбиотрофов в лесных экосистемах таежной зоны // Грибные сообщества лесных экосистем. М.; Петрозаводск, 2000. С. 181–206.
- Ярмишко В.Т. Корневая система как индикатор техногенного загрязнения // Ботанический журнал. 1987. Т. 72, № 3. С. 340–346.
- Ярмишко В.Т. Особенности развития корневых систем сосны // Влияние промышленного атмосферного загрязнения на сосновые леса Кольского полуострова. Л.: Наука, 1990. С. 84–94.
- Genney D.R., Anderson I.C., Alexander I.J. Fine-scale distribution of pine ectomycorrhizas and their extramatrical mycelium // New Phytologist. 2006. Vol. 170. P. 381–390.
- Tedersoo L. et al. Fine scale distribution of ectomycorrhizal fungi and roots across substrate layers including coarse woody debris in a mixed forest // New Phytologist. 2003. Vol. 159, № 1. P. 153–165.
- Veselkin D.V., Sannikov S.N., Sannikova N.S. Specific features of root system morphology and mycorrhiza formation in Scots pine seedlings from burned-out areas // Russian Journal of Ecology. 2010. Vol. 41, № 2. P. 139–146.

Поступила в редакцию 25.10.2013

Methodical features of evaluation of the ectomycorrhiza formation: variability in connection with depth

D. V. Veselkin, doctor of biology, senior scientist

Institute of Plant and Animal ecology of the Ural division of the Russian Academy of sciences, 8 Marta str., 202, Ekaterinburg, 620144; denis_v@ipae.uran.ru; (343)2103858

The article considers the formation peculiarities of lateral nondeterminate roots, absorbing roots and ectomycorrhizas depending on the depth of soil layers in *Pinus sylvestris* seedlings. The highest activity of all organs formation is observed at the top of a substrate in layer 40–120 mm from the soil surface. A representation of the functional areas of root systems in which different realized growth functions and acquisitions functions. The standard deviations in determining different characteristics of the root and mycorrhizas structure, which may be the result of incorrect selection sampling depth, may comprise 1.5–5 times or more.

Key words: : roots systems; ectomycorrhiza; morphogenesis; root density; activity of mycorrhiza formation; *Pinus sylvestris*.

Веселкин Денис Васильевич, доктор биологических наук, ст. научный сотрудник
ФГБУН Институт экологии растений и животных УрО РАН