

УДК 631.4:574.42

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТОНКИХ КОРНЕЙ НА РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОСТАГРОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ В ЗОНЕ ЮЖНОЙ ТАЙГИ

Кондратова А.В., Абрамова Е.Р.

*Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск,
e-mail: kondratova.ava@gmail.com*

Агроценозы, после выведения их из сельскохозяйственного оборота, вступают в сложный процесс самовосстановления. Многочисленные исследования показывают, что залежные земли служат устойчивым стоком углерода. Большое значение в процессе накопления подземного пула углерода принадлежит тонким корням растений. Изучение морфологических признаков тонких корней различных классов диаметра в гетерогенных растительных сообществах является важным для понимания внутритрипочвенных процессов депонирования углерода. Особенно актуальны подобные исследования на последовательных стадиях постагрогенной эволюции сельскохозяйственных угодий, так как они позволяют прогнозировать накопление углерода в почвах и оценить процессы восстановления экосистемы в целом. В работе представлен сравнительный анализ морфологических признаков тонких корней с диаметром <0,5 мм и 0,5–2,0 мм на разных типах землепользования в зоне южной тайги в северной окраинной части Амуро–Зейской равнины. Дифференциация тонких корней по классам диаметров показала, что в верхнем слое почв (0–10 см) преобладают очень тонкие корни (<0,5 мм). Морфологические признаки очень тонких корней <0,5 мм в верхнем слое почвы 0–10 см подвержены наибольшим изменениям в зависимости от состояния экосистемы. На стадии залежи биомасса и длина очень тонких корней в верхнем слое почвы по сравнению с сенокосом возросла в 2,1 и 1,7 раза соответственно ($p < 0,001$). В слое почвы 10–20 см тип землепользования не оказал существенного влияния на биомассу и длину корней всех изученных классов диаметра. Удельная длина корней возрастала в ряду лес – залежь – сенокос, что свидетельствует о более интенсивном использовании объема почвы растениями сенокоса.

Ключевые слова: тонкие корни, постагрогенные экосистемы, морфологические признаки

SPECIFIC FEATURES OF FINE ROOT FORMATION AT DIFFERENT STAGES OF REGENERATION OF POSTAGROGENIC ECOSYSTEMS IN SOUTHERN TAIGA ZONE

Kondratova A.V., Abramova E.R.

*Institute of Geology and Nature Management FEB RAS, Blagoveshchensk,
e-mail: kondratova.ava@gmail.com*

Arable lands enter the complex process of self-regeneration since the moment they are abandoned. A lot of studies show us that fallow lands act as sustainable carbon stock. Fine roots of plants play a significant part in processes of carbon accumulation. To understand the subsurface carbon accumulation process, it is very important to investigate morphological traits of fine roots in heterogenic plant communities. Such investigations are most interesting at sequential stages of regeneration of postagrogenic ecosystems, as their results could be useful to predict soil carbon accumulation processes. In this study we show comparison of fine roots (<0,5 mm and 0,5–2,0 mm) morphological traits on different types of postagrogenic landscapes as well as control site in the zone of southern taiga of northern part of Amur-Zeya river plain. Differentiation of fine roots according to diameter classes shows us that very fine roots (<0.5mm) are dominated in upper (0–10 cm) soil layer. Lower soil layer (0–20 cm) proportion of very fine roots is decreasing whereas increasing on fallow land and hay-field. Morphological traits of very fine roots in upper soil layer are most prone to environmental change. At the stage of fallow lands very biomass of fine roots and their length increase by 2.1 and 1.7 consequently compared to hay-field ($p < 0,001$). At lower depth (10–20 cm) type of ecosystem did not affect fine root biomass and length of all studied diameter classes. Specific root length increased in the line forest-fallow land-hay-field, suggesting intensive soil exploitation by fine roots on hayfield.

Keywords: fine roots, postagrogenic ecosystems, morphological traits

Многочисленные исследования показывают, что залежные земли служат устойчивым стоком углерода. По данным Ю.И. Басовой и соавторов [1] в почвах различных природно-климатических зон происходит достоверное увеличение запасов органического углерода в ряду пашня – залежь – лес. Большинство работ по изучению постагрогенных ландшафтов в различных природно-климатических зонах посвящено оценке содержания углерода в почвах и растительном покрове, особенностям

изменения видового состава растительности. При этом процессам накопления углерода подземными органами растений уделяется недостаточно внимания.

Известно, что от 50 до 70% углерода почвы происходит от корней и корневых микроорганизмов [2, 3]. В некоторых экосистемах тонкие корни являются основным источником поступления органического вещества в почву. На их производство затрачивается около трети глобальной ежегодной чистой

первичной продукции [4], а органическое вещество, поступающее от разложения тонких корней, является более устойчивым по сравнению с органическим веществом от наземных органов растения [5].

Тонкие корни <2 мм играют ключевую роль в регулировании биогеохимических циклов экосистемы. Результаты исследований N. Makita и соавторов [6] показывают, что при оценке корневой биомассы и морфологических особенностей необходима более подробная классификация тонких корней <2,0 мм. Очень тонкие корни диаметром <0,5 мм могут проявлять видоспецифические черты и изменять их потенциал для поглощения питательных веществ и воды в зависимости от глубины.

Таким образом, изучение морфологических признаков тонких корней различных классов диаметра в гетерогенных растительных сообществах является важным для понимания внутрпочвенных процессов депонирования углерода. Особенно актуальны подобные исследования на последовательных стадиях постагрогенной эволюции сельскохозяйственных угодий, так как они позволяют прогнозировать накопление углерода в почвах и оценить процессы восстановления экосистемы в целом.

Цель исследования: провести сравнительный анализ морфологических признаков тонких корней растительных сообществ на последовательных стадиях восстановления постагрогенных экосистем в зоне южной тайги.

Материалы и методы исследования

Для изучения морфологических признаков тонких корней на переходной стадии самовосстановления нарушенной экосистемы в северной окраинной части Амура-Зейской равнины выбрано три фитоценоза, и заложено три учетных площадки по 50 м²: ненарушенный ценоз – лес (53°43'49,7"; 127°04'01,1"), залежь (53°43'50,1"; 127°03'53,1") и сенокос (53°44'33,4"; 127°05'37,9") (рис. 1).

Климат северной окраинной части Амура-Зейской равнины характеризуется как умеренно холодный, континентальный с муссонным характером распределения осадков, формируется в результате взаимодействия тихоокеанского муссона и сибирского антициклона. В исследуемом районе средняя многолетняя температура воздуха января минус 28,8°С, июля 19,7°С, среднегодовая минус 0,7°С.

Большую часть территории занимают бурые лесные почвы (буроземы). В це-

линном состоянии они имеют подстилку мощностью не более 3 см, обладают четкими переходами генетических горизонтов. В стадии пашни почвы характеризуются очень низким содержанием гумуса. Буроземы используются под зерновые, технические, кормовые, плодовые и овощные культуры. Ввиду интенсивного освоения земель в 1950–1970-х гг. большие площади этих почв в Приамурье были вовлечены в пашню, в 1990-е гг. заброшены из-за низкого плодородия и экономического кризиса.

Для установления продуктивности подземной части экосистемы, оценки морфологических признаков тонких корней в августе 2017 г. произведен отбор почвенных образцов в 5-кратной повторности на глубину 0–20 см с помощью металлического цилиндра с диаметром 5 см. На каждой из учетных площадок пробы отбирали в пяти точках (четыре по углам и одна в центре). На сенокосе при определении точки отбора образца выбирали площадку с типичным и ровным травостоем, на площадках «лес» и «залежь» – участки с преобладающей в данном фитоценозе растительностью.

В полевых условиях почвенный образец с корнями разделяли на слои: верхний (0–10 см) и нижний (10–20 см). Тонкие корни (<0,5 мм; 0,5–2 мм) отделяли от почвенных образцов путём промывания проточной водой под высоким давлением на сите с размером ячейки 0,25 мм. В работе анализируется биомасса, определённая после высушивания образцов живых корней до постоянного веса при температуре 40°С. Под общей биомассой корней в работе понимается масса всех тонких корней диаметром менее 2 мм. Диаметр и длина корней определены на программно-аппаратном комплексе анализа морфологии корневых систем WinRhizoRegular + STD4800 (Regent Instruments, Канада). Удельная длина корней (УДК) – длина единицы сухой массы корня, определялась как отношение длины к массе корней (м/г).

Леса северных районов Амурской области занимают 60–65% территории области [7]. Наибольшие их площади сосредоточены в Зейском (район исследования) и Селемджинском районах. Территория исследования расположена в подзоне южной тайги. Здесь широко распространены лиственнично-сосново-белоберезовые древостои (50–70% лиственницы, 10–20% сосны, 10–50% березы белой и осины). В южнотаежной подзоне, как и в средней тайге, встречаются рододендроновые, брусничные, багульниковые лиственничники.

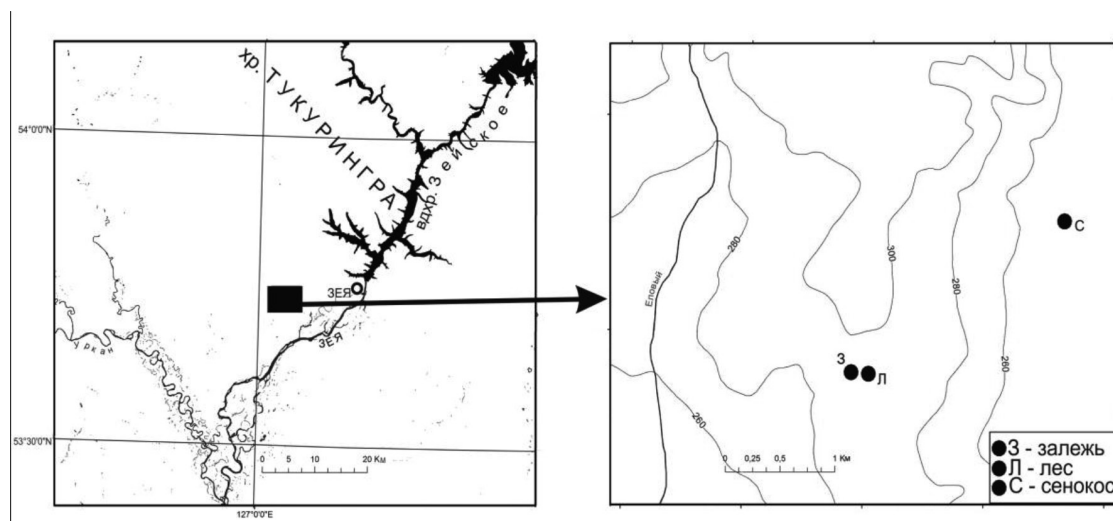


Рис. 1. Схема расположения объектов исследования (З – залежь, Л – лес, С – сенокос)

Для оценки современного состояния изучаемых фитоценозов на различных стадиях постагрогенной эволюции производили описание лесорастительных условий (древостоя, подроста, подлеска, травянисто-кустарниковой растительности).

Лесной участок (площадь 68 га), выбранный для размещения учетной площадки «лес», является типичным для региона исследований. Древостой в лесу образован березой плосколистной *Betula platyphylla* Sukacz., лиственницей Гмелина *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr. и осиною *Populus tremula* L. В кустарниковом ярусе леса преобладает рододендрон даурский *Rhododendron dauricum* L., ольховник кустарниковый *Duschekia fruticosa* (Rupr.) Pouzar. Травянистый покров состоит из майника двулистного *Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt, бруслики *Vaccinium vitis-idaea* L.

Залежь (площадь 45 га), выведена из сельскохозяйственного оборота 20 лет назад. Растительный покров образован кустарниками: ива *Salix* sp., малина Комарова *Rubus komarovii* Nakai, с преобладаем травянистых растений: тысячелистника обыкновенного *Achillea millefolium* L., осоки, полыни *Artemisia* sp., мелколепестника *Erigeron* sp., ястребинки зонтичной *Hieracium umbellatum* L., клевера люпиновидного *Lupinaster pentaphyllus* Moench и других видов.

Сенокос (площадь 58 га). На сенокосе произрастают пижма *Tanacetum* sp., одуванчик *Taraxacum* sp., хлопושка обыкновенная *Oberna behen* (L.) Ikonn., горошек *Vicia* sp.,

герань сибирская *Geranium sibiricum* L., вейник *Calamagrostis* sp., спорыш *Polygonum* sp., репешок мелкобороздчатый *Agrimonia pilosa* Ledeb., гравилат алеппский *Geum aleppicum* Jacq., лапчатка *Potentilla* sp.

Результаты лабораторных и полевых исследований обработаны методами математической статистики в программе R версия 3.3.2. Статистические различия между изучаемыми параметрами установлены при помощи дисперсионного анализа (ANOVA). Проверку гипотез на статистическую достоверность различий и значимость рассчитанных статистик осуществляли при 5%-ном уровне значимости.

Результаты исследования и их обсуждение

Общая биомасса тонких корней <2,0 мм в слое почвы 0–20 см максимальна на залежи (402 г/м²), что значимо выше по сравнению с сенокосом (259 г/м²) и лесом (295 г/м²) ($p < 0,001$). Большая часть общей биомассы сконцентрирована в верхнем слое почвы 0–10 см (рис. 2).

Дифференциация корней <2 мм на более тонкие фракции показала, что в верхнем слое почв всех исследуемых сообществ преобладают корни <0,5 мм. На стадии сельскохозяйственного использования земель (сенокос) их доля составила 73% от общей биомассы тонких корней, на залежи – 89%, в естественной экосистеме (лес) – 61%. В почвенном слое 10–20 см в лесу доля корней <0,5 мм снижается, тогда как на залежи и сенокосе возрастает.

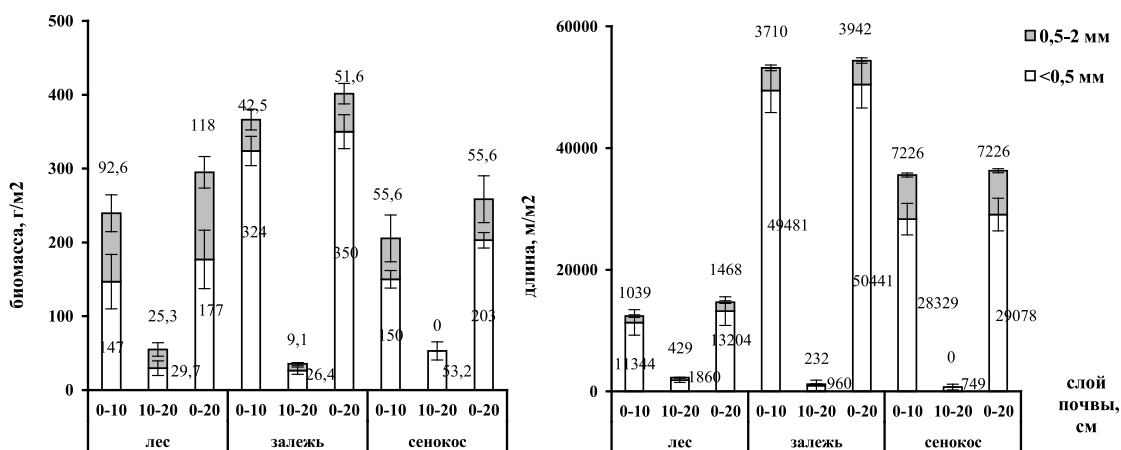


Рис. 2. Биомасса и длина тонких корней по классам диаметра (<0,5 мм и 0,5–2,0 мм) и глубине почвенного слоя (0–10 см, 10–20 см, 0–20 см), планки погрешностей отражают ошибки средних величин (n = 5)

На агроценозе (сенокос) длина корней <0,5 мм в верхнем слое почвы в 2,5 раза больше, чем в лесной экосистеме (p < 0,001), в то время как их биомасса значимо не различалась (p = 0,999). F. Brédoire и соавторы [8] отмечают, что длина тонких корней, как правило, больше на лугах, в то время как общая масса тонких корней, как правило, больше в лесах. Авторы предполагают, что это происходит за счет разницы в диаметре и/или плотности корневых тканей деревьев и трав.

Процесс трансформации нарушенных экосистем характеризуется интенсивным ростом очень тонких корней: биомасса и длина корней <0,5 мм на залежи по сравнению с сенокосом возросла в 2,1 и 1,7 раза соответственно (p < 0,001). Что, возможно, обусловлено изменением состава растительного сообщества, улучшением минерального питания за счет поступления опада.

Таким образом, наши исследования показали, что фракция тонких корней диаметром < 0,5 мм в верхнем слое почвы является наиболее чувствительной к изменению типов землепользования по сравнению с фракцией 0,5–2,0 мм, что подтверждается изменением морфологических признаков. На стадии самовосстановления нарушенных земель наблюдается интенсивное накопление биомассы корней <0,5 мм, а также увеличение их длины. В слое почвы 10–20 см тип землепользования не оказал существенного влияния на биомассу и длину корней всех изученных классов диаметра.

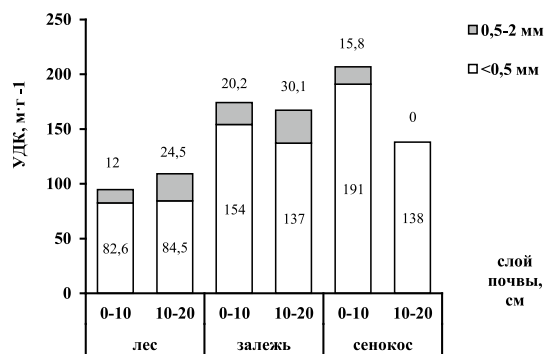


Рис. 3. Удельная длина корней по классам диаметра (<0,5 мм и 0,5–2,0 мм) и глубине почвенного слоя (0–10 см и 10–20 см)

Совместное изучение биомассы и длины корней отражает влияние условий среды обитания на развитие корней и, следовательно, на рост и развитие растительного сообщества. Удельная длина корней (УДК) является важнейшим параметром корневых систем, используемых в современной функциональной морфологии. Она показывает длину единицы сухой массы корня, оценивает затраты органических веществ, необходимых растению для образования единицы корней. В исследованиях Ф.С. Салпагаровой [9] значения удельной длины корня положительно коррелировали с содержанием азота и отрицательно с содержанием углерода в тонких корнях. Таким образом, растения с высокой удельной длиной корня образуют более «дешевые» корни, тратя на их построение меньше углерода. Увеличение УДК показывает «удешевление стоимости» корней, невысо-

кое вложение продуктов фотосинтеза в их построение.

Исследование корней <0,5 мм на уровне растительных сообществ показало, что показатель УДК в естественной лесной экосистеме зоны южной тайги в слое почвы 0–10 см составил 83 м/г (рис. 3).

Вовлечение земель в сельскохозяйственный оборот увеличило УДК в 2,3 раза ($p < 0,001$). На стадии залежи УДК снизилась до 154 м/г, однако значимость различий не подтверждена статистически ($p = 0,858$). Полученные нами данные согласуются с результатами исследований I. Prieto и соавторов [10]. Они показали, что тонкие корни в растительных сообществах на нарушенных землях трех изучаемых климатических зон (тропической, средиземноморской, горной) обладали более высокой удельной длиной корней и противоположно вели себя в менее нарушенных экологических сообществах. УДК считается показателем интенсивности использования тонкими корнями одинакового объема почвы за счёт единицы потраченной биомассы [11]. В наших исследованиях УДК возрастает в ряду лес – залежь – сенокос, что свидетельствует о более интенсивном использовании почвы растениями сенокоса. Это может быть обусловлено как снижением плодородия в условиях активного землепользования, так и составом растительного сообщества, которое состоит из травянистых видов. Мы не обнаружили значительных изменений УДК корней 0,5–2,0 мм, связанных с типом землепользования. Предположительно, корни такого диаметра менее чувствительны к изменениям условий среды.

Заключение

Таким образом, наши исследования показали, что наибольшим изменениям в зависимости от состояния экосистемы подвержены морфологические признаки очень тонких корней <0,5 мм в верхнем слое почвы. На стадии самовосстановления нарушенных земель наблюдается интенсивное накопление биомассы корней данной фракции, а также увеличение их длины, что создает благоприятные условия для роста запасов органического углерода в почве. Возрастание удельной длины корней в ряду лес – залежь – сенокос свидетельствует о более интенсивном использовании объема почвы растениями сенокоса, что может быть обусловлено как уровнем плодородия, так и составом изучаемых растительных сообществ. Тем не менее, эти вопросы, требуют дальнейшего изучения.

Исследованиями I. Prieto и соавторов [10] показано, что тонкие корни агроэкосистем залежных земель разлагаются быстрее, чем корни фоновых ненарушенных сообществ. В нашем исследовании наибольшая биомасса тонких корней выявлена на залежи, что свидетельствует о стадии активного накопления органического вещества в постагрогенной экосистеме. Поэтому в дальнейших исследованиях необходимо установить количество и качество органического вещества, поступающего в почву при разложении тонких корней в связи с изменением землепользования в зоне южной тайги.

Список литературы / References

1. Баева Ю.И., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Телесника В.М. Сравнительная оценка содержания углерода в постагрогенных почвах различных природно-климатических зон // ПЭММЭ. 2013. Т. XXVIII. № 2. С. 27–39. DOI: 10.21513/0207-2564-2017-2-27-39.
2. Baeva Yu.I., Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Telesnina V.M. Comparative assessment of carbon content in post-agrogenic soils of various natural climatic zone // PE'MME'. 2013. T. XXVIII. № 2. P. 27–39. DOI: 10.21513/0207-2564-2017-2-27-39 (in Russian).
3. Vogt K., Vogt D., Palmiotto P., Boon P., OHara J., Asbjornsen H. Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species. Plant Soil, 1996, vol. 187, no. 2, pp. 159–219.
4. Clemmensen K.E., Bahr A., Ovaskainen O., Dahlberg A., Ekblad A., Wallander H., Lindahl, B.D. Roots and associated fungi drive long term carbon sequestration in boreal forest. Science, 2013, vol. 339, pp. 1615–1618. DOI: 10.1126/science.1231923.
5. Jackson R.B., Mooney H.A., Schulze E.D. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. Proc. National Academy of Sciences United States of America, 1997, vol. 94, pp. 7362–7366.
6. Kätterer T., Bolinder M.A., Andrén O., Kirchmann H., Menichetti L. Roots contribute more to refractory soil organic matter than above-ground crop residues, as revealed by a long-term field experiment. Agric., Ecosyst, 2011, environ. 141, pp. 184–192. DOI: 10.1016/j.agee.2011.02.029.
7. Makita N., Hirano Y., Mizoguchi T., Kominami Y., Dan-noura M., Ishii H., Finér L., Kanazawa Y. Very fine roots respond to soil depth: biomass allocation, morphology, and physiology in a broad-leaved temperate forest. Ecol Res, 2011, vol. 26, pp. 95–104. DOI: 10.1007/s11284-010-0764-5.
8. Зубов Ю.П. Леса Амурской области. Благовещенск: Хабаровское книжное издательство, 1967. 16 с.
9. Zubov Yu.P. Woods of the Amur region. Blagoveshchensk: Khabarovsk book publishing house, 1967. 16 p. (in Russian).
10. Bredoire F., Nikitich P., Barsukov P.A., Derrien D., Litvinov A., Rieckh H., Rusalimova O., Zeller B. Distributions of fine root length and mass with soil depth in natural ecosystems of southwestern Siberia, Plant Soil, 2016, vol. 400, pp. 315–335, DOI: 10.1007/s11104-015-2717-9.
11. Салпагарова Ф.С., Ван Логтестайн Р., Онипченко В.Г., Ахметжанова А.А., Агафонов В.А. Содержание азота в тонких корнях и структурно-функциональные адаптации высокогорных растений // Журнал общей биологии. 2013. Т. 74. № 3. С. 190–200.
12. Salpagarova F.S., van Logtestijn R., Onipchenko V.G., Akhmetzhanova A.A., Agafonov V.A. Fine root nitrogen contents and morphological adaptations of alpine plants // Zhurnal obshhej biologii. 2013. T. 74. № 3. P. 190–200 (in Russian).
13. Prieto I., Roumet C., Cardinael R., Dupraz C., Jourdan C., Kim J.H., Maeght J.L., Mao Z., Pierret A., Portillo N., Rouspard O., Thammahacksa C., Stokes A. Root functional parameters along a land-use gradient: evidence of a community-level economics spectrum. J. Ecol. 2015, vol. 103, pp. 361–373.
14. Ostonen I., Püttsepp Ü., Biel C., Alberton O., Bakker M.R., Lohmus K., Majdi H., Metcalfe D., Olsthoorn AFM, Pronk A., Vanguelova E., Weih M., Brunner I. Specific root length as an indicator of environmental change, 2007, Plant Biosyst, vol. 141, pp. 426–442. DOI: 10.1080/11263500701626069.