

**Тонкие корни – как важная часть  
экологических процессов в лесных экосистемах**

**Елизавета Станиславовна Суслопарова**, инженер

**Научный руководитель – Семён Владимирович Брянин**, кандидат биологических наук  
Институт геологии и природопользования Дальневосточного отделения РАН,  
Амурская область, Благовещенск, Россия, [elizaveta.susloparova@gmail.com](mailto:elizaveta.susloparova@gmail.com)

**Аннотация.** Обобщены и систематизированы результаты научных исследований о функциональных показателях, продуктивности тонких корней. Рассмотрены методы исследования тонких корней.

**Ключевые слова:** тонкие корни, биомасса, лесные экосистемы, отпад, азот, углерод, морфологические признаки тонких корней

**Thin roots as an important part of ecological processes in forest ecosystems**

**Elizaveta S. Susloparova**, Engineer

**Scientific advisor – Semyon V. Bryanin**, Candidate of Biological Sciences

Institute of Geology and Natural Management of Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Amur region, Blagoveshchensk, Russia, [elizaveta.susloparova@gmail.com](mailto:elizaveta.susloparova@gmail.com)

**Abstract.** The results of scientific research on functional indicators and productivity of thin roots are summarized and systematized. Methods of investigation of thin roots are considered.

**Keywords:** thin roots, biomass, forest ecosystems, decay, nitrogen, carbon, morphological features of thin roots

Несмотря на развитие методов исследований, подземная часть лесных экосистем остаётся мало изученной. Тонкие корни составляют малую часть растительного сообщества, но при этом играют важную роль в экологических процессах, таких как круговорот углерода и азота [1, 2], транспорт питательных веществ [3] и стабильности почвы [4]. Несмотря на это, многие исследования, посвящённые тонким корням, до сих пор ограничиваются только их биомассой, в то время как морфологические признаки до сих пор слабо изучены.

*Задачами работы служит обзор и анализ накопленной информации о функциях тонких корней в лесных экосистемах, методах их исследования, морфологических признаках, характеризующих продуктивность тонких корней (удельная длина корней, плотность корневой ткани и плотность длины корней).*

К тонким относят корни диаметром от 0,5 до 2 мм, их доля часто не превышает 2 % общей биомассы экосистемы. Тонкие корни преимущественно выполняют функцию поглощения питательных веществ, которое осуществляется неразветвленными окончаниями корней [5]. Растения могут увеличивать доступность к питательным веществам из почвы, за счёт выделения корневого экссудата [4, 6, 7]. Другой стратегией для улучшения поглощения питательных веществ из почвы является увеличение удельной длины корня (SRL) [5, 8]. Это позволяет растениям получать необходимые питательные вещества с большей площади поверхности, чем за счёт увеличения массы [5]. Древесные корни в холодных лесах, где почвы характеризуются замедленными типами минерализации [9], часто образуют симбиотические ассоциации с грибами (эктомикоризы) [5, 10]. За счёт развитого мицелия увеличивается поглощающая поверхность корня, что повышает поступление в растение воды и питательных веществ [9].

Благодаря быстрому круговороту тонких корней, они являются одним из основных

механизмов накопления углерода в лесных почвах [11], и более чем 40–50 % ежегодно поступающей первичной продукции может располагаться в подземной части лесных экосистем [12]. При способности тонких корней к накоплению углерода и питательных веществ в лесных экосистемах, они играют особую роль в холодных лесах, где большая часть растительного опада приходится на корни [13]. По данным Persson [13] и Vogt [14], тонкие корни способны ежегодно вносить до 80 % органического углерода в почву, благодаря быстрому росту и разложению.

Тонкие корни являются важным источником азота в почве. Содержание азота в них зависит от вида семейства растения, типа корневых симбиозов, местообитания и типа экологической стратегии [2]. Поскольку тонкие корни являются резервуаром минерального азота, то при их отпаде в почву привносится азота от 2 до 50 кг/га<sup>-1</sup>, в зависимости от типа лесного насаждения [1, 15, 16,]. В тонких корнях лесных пород, где преобладает эктомикориза, из-за большой массовой доли мицелия обычно больше азота, чем в корнях трав, где преобладает эндомикориза [2, 17]. В целом тонкие корни с более высоким содержанием азота имеют более короткий жизненный период [18].

Морфологические признаки тонких корней, такие как плотность, диаметр корней, разветвленность, число окончаний влияют на эрозионную устойчивость [19, 20, 21]. На увеличение агрегатной стабильности почвы могут также влиять выделяемые корнями экссудаты. Они содержат полисахариды и белки, которые склеивают минеральные частицы [22]. Помимо экссудатов, для стабилизации почвенных агрегатов важно взаимодействие корней с почвенной биотой, в первую очередь с грибным мицелием. С помощью их обширной сети, почва связывается посредством внеклеточных полисахаридов и белков [23].

В настоящее время существуют множество методов изучения морфологических признаков корневых систем, которые делятся на полевые и лабораторные. В полевой практике часто используются методы монолитов и миниризонотроны [1]. Среди лабораторных различают рентгеновскую томографию [24], метод количественной оценки на основе ДНК [25], электрохимическую импедансную спектроскопию [26], использование планарных оптодов [27] и т. д. Наиболее распространённым и доступным методом в настоящее время, является сканирование корней в жидкой среде с помощью программно-аппаратного комплекса WinRhizo (Regent instruments Canada INC).

**Заключение.** Лесные экосистемы отличаются высоким разнообразием от монодоминантных до многовидовых лесов. В таких условиях тонкие корни также отличаются высокой вариабельностью. Учитывая огромную роль тонких корней во всех экосистемных процессах, необходимо развитие методов их изучения. Создание в будущем базы данных, характеризующей морфологические признаки тонких корней разных видов растений, позволит спрогнозировать влияние внешних факторов на функционирование экосистем.

#### Список источников

1. Разгулин С. М., Воронин Л. В. Роль тонких корней деревьев в цикле азота в бореальных лесах // Лесоведение. 2018. № 3. С. 225–235.
2. Факторы содержания углерода и азота в тонких корнях растений среднего Урала / А. А. Бетехина, А. Ганем, О. А. Некрасова [и др.] // Экология. 2021. № 2. С. 83–92.
3. Fine root decomposition, nutrient mobilization and fungal communities in a pine forest ecosystem / A. Li, T. J. Fahey, T. E. Pawlowska [et al.] // Soil Biology and Biochemistry. 2015. Vol. 83. P. 76–83.
4. Bardgett R. D., Mommer L., De Vries F. T. Going underground: root traits as drivers of ecosystem processes // Trends in Ecology and Evolution. 2014. Vol. 12. P. 692–699.
5. Comas L. H., Eissenstat D. M. Patterns in root trait variation among 25 co-existing North American forest species // New Phytologist. 2009. Vol. 182. P. 919–928.
6. Bengtson, P., Barker J., Grayston S. J. Evidence of a strong coupling between root exudation, C

and N availability, and stimulated SOM decomposition caused by rhizosphere priming effects // *Ecology and Evolution*. 2012. Vol. 2. P. 1843–1852.

7. Rhizosphere priming: a nutrient perspective / F. A. Dijkstra, Y. Carrillo, E. Pendall, J. A. Morgan // *Frontiers in Microbiology*. 2013. Vol. 4.

8. Eissenstat D. M. On the relationship between specific root length and the rate of root proliferation – a field study using citrus rootstocks // *New Phytologist*. 1991. Vol. 118. P. 63–68.

9. Карпечко А. Ю. Влияние несплошной рубки на тонкие корни и микоризные окончания ели обыкновенной // *Лесоведение*. 2018. № 2. С. 23–32.

10. Growth depression in mycorrhizal citrus at high-phosphorus supply – analysis of carbon costs / S. B. Peng, D. M. Eissenstat, J. H. Graham [et al.] // *Plant Physiology*. 1993. Vol. 101. P. 1063–1071.

11. Bryanin S., Abramova E., Makoto K. Fire-derived charcoal might promote fine root decomposition in boreal forests // *Soil Biology and Biochemistry*. 2018. Vol. 116. P. 1–3.

12. Влияние пожаров на запасы корней и подземного детрита в горнотаежных лиственничниках Прибайкалья / Л. В. Мухортова, Л. В. Кривобоков, Т. М. Харпухаева, Б. Б. Найданов // *Лесоведение*. 2015. № 4. С. 282–292.

13. Persson H. A. The high input of soil organic matter from dead tree fine roots into the forest soil // *International Journal of Forestry Research*. 2012. Vol. 12. P. 1–9.

14. Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species / K. A. Vogt, D. J. Vogt, P. A. Palmiotto [et al.] // *Plant and Soil*. 1996. Vol. 187. P. 159–219.

15. Орлов А. Я. Значение отмирающих сосущих корней деревьев в круговороте веществ в лесу // *Журнал общей биологии*. 1966. № 1. С. 40–47.

16. Разгулин С. М. Минерализация азота в почвах бореальных лесов // *Лесоведение*. 2008. № 4. С. 57–62.

17. Langley J. A., Hungate B. A. Mycorrhizal controls on belowground litter quality // *Ecology*. 2003. Vol. 9. P. 2302–2312.

18. Reich P. B. The world-wide “fast-slow” plant economics spectrum: a traits manifesto // *Ecology*. 2014. Vol. 102. P. 275–301.

19. Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review / G. Gyssels, J. Poesen, E. Bochet, Y. Li // *Progress in Physical Geography*. 2005. Vol. 29. P. 189–217.

20. Desirable plant root traits for protecting natural and engineered slopes against landslides / A. Stokes, C. Atger, A. G. Bengough, T. Fourcaud // *Plant Soil*. 2009. Vol. 32. P. 1–30.

21. Planting density influence on fibrous root reinforcement of soils / K. W. Loades, A. G. Behgough, M. F. Bransby, P. D. Hallet // *Journal of Ecological Engineering*. 2010. Vol. 36. P. 276–284.

22. Root- and microbial-derived mucilages affect soil structure and water transport / S. Czarnes, P. D. Hallet, A. G. Bengough, I. M. Young // *European Journal of Soil Science*. 2000. Vol. 51. P. 435–443.

23. Rillig M. C., Mummey D. L. Mycorrhizas and soil structure // *New Phytologist*. 2006. Vol. 171. P. 41–53.

24. Developing X-ray Computed Tomography to non-invasively image 3-D root systems architecture in soil / S. J. Mooney, T. P. Pridmore, J. Helliwell, M. J. Bennet // *Plant soil*. 2012. Vol. 352. P. 1–22.

25. Ecosystem rooting depth determined with caves and DNA / R. B. Jackson, L. A. Moore, W. A. Hoffmann [et al.] // *Proceedings National Academy of Sciences USA*. 1999. Vol. 96, P. 11387–11392.

26. Electrical Impedance Spectroscopy and Roots / T. Repo, Y. Cao, R. Silvennoinen, H. Ozier-Lafontaine. In: *Measuring roots – an updated approach*. Berlin : Springer, 2012. P. 25–49.

27. Blossfeld S., Gansert D. The use of planar optodes in root studies for quantitative imaging. In: *Measuring roots – an updated approach*. Berlin :Springer, 2012. P. 83–92.