

УДК 574.42

РОЛЬ КОРНЕВЫХ СИСТЕМ *PINUS SYLVESTRIS* L. ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ВТОРИЧНЫХ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ НА ВЫРУБКАХ НА КОЛЬСКОМ СЕВЕРЕ

© 2024 г. В. Т. Ярмишко

ФГБУН Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН,
ул. проф. Попова, 2, Санкт-Петербург, 197376 Россия
Email: vasilyarmishko@yandex.ru

Поступила в редакцию 23.11.2023 г.

После доработки 04.01.2024 г.

Принята к публикации 04.01.2024 г.

Исследовалась роль корней и корневых систем *Pinus sylvestris* L. при формировании вторичных сосняков на вырубках Кольского Севера. Установлено, что у сеянцев сосны на нарушенных территориях корневая и побеговая системы формируются достаточно быстро. Уже в I-ом классе возраста проявляются характерные морфологические признаки корневых систем, площади питания деревьев начинают налагаться друг на друга. Основная масса корней (80–85%) сосредоточивается в верхнем 20-сантиметровом слое почвы. Выявлена линейная связь таксационных показателей деревьев с массой корневых систем. Проведенные исследования показали, что формирование лесных сообществ сосны обыкновенной на вырубках Кольского Севера, их устойчивость и продуктивность находятся в прямой зависимости от степени развития отдельных корней и корневых систем в целом.

Ключевые слова: зеленомошно-лишайниковые леса, вырубки, сосна обыкновенная, корни, радиальный рост, микориза, Кольский Север.

DOI: 10.31857/S1026347024040102, **EDN:** VHDFJW

Интенсивное индустриальное развитие Кольского Севера (Мурманская обл.) сопровождается нарастанием освоения лесных ресурсов с применением современной лесозаготовительной технологии, часто не обеспечивающей сохранения молодых поколений леса. Наряду с упомянутыми воздействиями значительный вклад в дестабилизацию лесных экосистем вносят лесные пожары, ветровалы, а также вспышки насекомых-вредителей и болезней. Вследствие этого сокращаются площади продуктивных лесов, нарушается их устойчивость, ослабляются экологические функции лесных экосистем в целом.

Северотаежные леса, сформированные хвойными породами на подзолистых почвах, достаточно устойчивы к суровым природным условиям существования. Однако они чрезвычайно чувствительны к воздействию таких антропогенных факторов, как рубки, пожары, промышленное атмосферное загрязнение, которые нередко приводят к их деградации (Лукина, Никонов, 1993; Ярмишко, 1997; Цветков, 2002; Черненко, 2002; Проблемы экологии..., 2005; Динамика..., 2009; Ярмишко, Игнатова, 2019, 2021; Евдокимов, Ярмишко, 2023 и др.).

Известно, что жизненное состояние, устойчивость и продуктивность вида во многом зависят

от развития и жизнедеятельности корней, роль которых весьма разнообразна. Корневая система является основным органом, служащим для прикрепления растений к почве, обеспечения их устойчивости в сообществе и получения питательных веществ и воды из почвы. Кроме того, она служит местом запаса пластических веществ и синтеза ряда веществ, играющих большую роль в метаболизме растений.

Характер развития и состояние подземных органов во многом объясняет эколого-биологические особенности растений, их приуроченность к определенным условиям местообитаний, способность конкурировать с другими видами (Рысин, Рысина, 1987; Ярмишко, Цветков, 1987; Зайцев, 2008 и др.). Некоторые авторы отмечают, что сосна обыкновенная может приспосабливаться к различным экологическим условиям, развивая как глубоко проникающую, так и поверхностную корневую систему (Лашинский, 1981; Бобкова, 1987; Persson, 1987; Hanisch, Kilz, 1990; Helmisaari *et al.*, 2000 и др.). Пластичность является одной из особенностей корневой системы сосны обыкновенной. Произрастая в широком диапазоне почвенно-гидрологических условий, сосна достаточно активно приспосабливается к их особенностям,

изменяя в определенных пределах свои морфологические характеристики (Ярмишко, Игнатьева, 2021). Для формирования корневой системы важное значение имеет мощность корнеобитаемого слоя почвы, которая может ограничиваться избыточным увлажнением и близким залеганием плотных пород или ортштейновых горизонтов.

Основная цель настоящей работы состояла в изучении и оценке роли корневых систем сосны обыкновенной в формировании вторичных сосновых лесов на вырубках в условиях Кольского Севера.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования лесов на Кольском Севере проводились с 1981 по 2021 гг. на постоянных пробных площадях (ППП), заложенных, главным образом, в возобновившихся лесных сообществах на вырубках (рис. 1). Принадлежность сообществ, имеющих

разную степень нарушенности, к одному типу леса устанавливалась по положению в ландшафте, по составу растительности, характеру почвообразующих пород и типу почв. Большая часть (75%) ППП — была заложена в так называемых фоновых районах, где лесные сообщества не подвержены влиянию антропогенных факторов, включая промышленные эмиссии.

Сосновые леса на территории районов исследований распространены в средних частях северных и восточных склонов холмов, реже на относительно ровных участках моренных равнин, сложенных песчаными завалуненными ледниковыми и водноледниковыми отложениями. Для сообществ этой группы характерны Al-Fe-гумусовые подзолистые почвы с толщиной подстилки 3–5 см и содержанием гумуса в иллювиальном горизонте до 2–3%.

Древесный ярус лишайниковых и зеленомошнелишайниковых сосновых лесов образован сосной обыкновенной — *Pinus sylvestris* L с небольшим

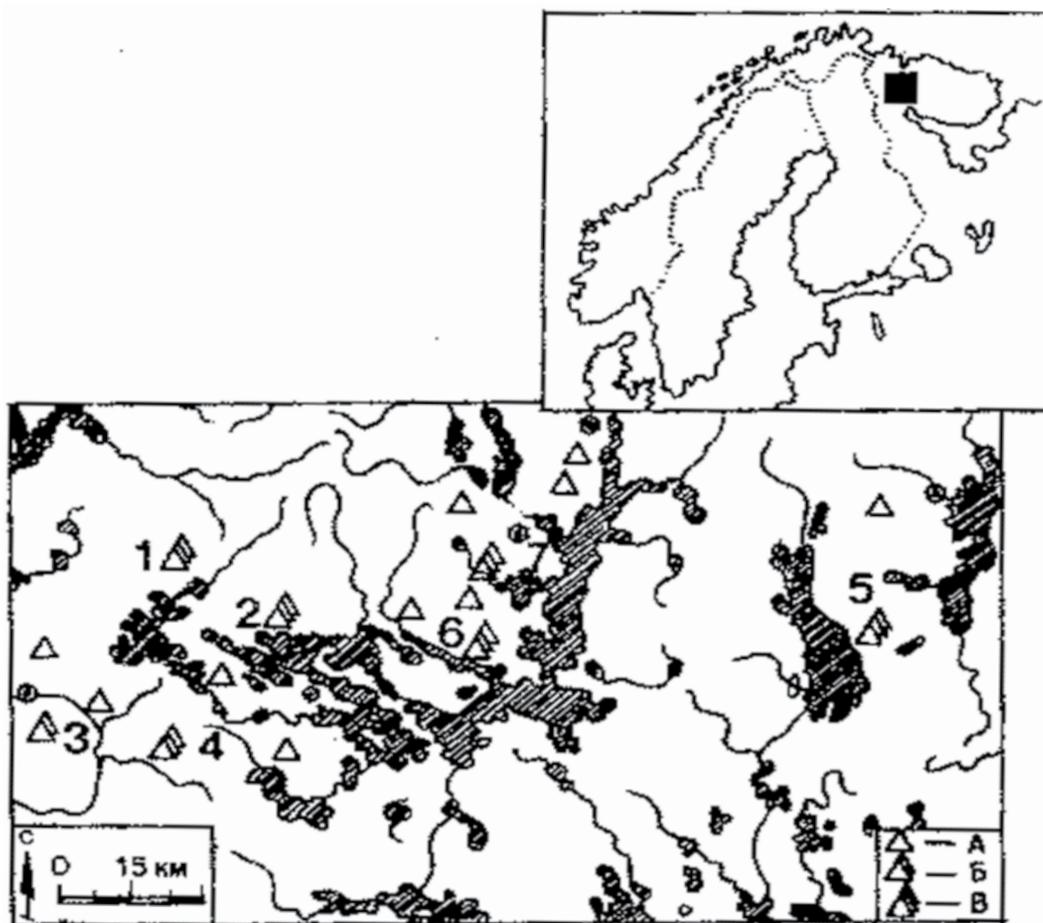


Рис. 1. Схема размещения постоянных пробных площадей (ППП) в сосновых лесах на Кольском Севере. Основные районы исследований: 1 – Ливский; 2 – Мавринский; 3 – Ено-Ковдорский; 4 – Уполокшский; 5 – Ловозерский; 6 – Чунозерский; 7 – Мончегорский. Расположение пробных площадей: А – одиночное; Б – группой из 3–5 ППП; В – группой из 5 и более ППП на небольшой территории.

Таблица 1. Краткая характеристика древесного яруса лесных сообществ на ППП в 4 районах на Кольском полуострове в период интенсивных полевых исследований (1995 г.).

№№ пробных площадей	Тип леса	Состав древесного яруса	Средние таксационные характеристики древесного яруса (древостоя) исследуемых лесных сообществ					Полнота	Бонитет	Давность пожара, лет
			Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Количество деревьев, шт./га	Запас древесины, м ³ /га			
1. Ено-Ковдорский район исследований										
1	С. лишайниковый	10 С	45	9.7	10.9	$\frac{702}{12}$	$\frac{36.7}{0.2}$	0.3	V	65
2	С. зеленомошнолишайниковый	10 С+Б	220	10.4	15.6	$\frac{595}{115}$	$\frac{76.2}{6.9}$	0.4	V _a	–
3	С. зеленомошнолишайниковый	10 С	50	9.9	11.2	$\frac{2600}{134}$	$\frac{44.6}{4.3}$	0.5	V	65
2. Мавринский район										
4	С. лишайниковый	10 С, I ярус 10 С, II ярус	300 120	17.2 12.5	33.3 14.0	88 24	$\frac{86.9}{14.9}$	0.3 0.3	V V _a	130
5	С. лишайниковый	10 С+Б	35	6.8	6.1	$\frac{3048}{0}$	$\frac{26.9}{0}$	0.5	IV–V	40
6	С. лишайниковый	10 С	50	10.0	11.4	$\frac{1378}{11}$	$\frac{44.3}{0.1}$	0.4	V	60
3. Углокшеский район										
7	С. лишайниковый	10 С	50	6.9	5.5	$\frac{7150}{150}$	$\frac{63.0}{0.4}$	0.7	V	50–60
8	С. лишайниковый	10 С	250	10.0	19.0	$\frac{289}{36}$	$\frac{40.1}{4.7}$	0.3	V ₆	–
9	С. лишайниковый	10 С+Б	40	7.0	9.8	$\frac{990}{26}$	$\frac{21.3}{0.5}$	0.3	V	50
4. Ловозерский район										
10	С. зеленомошно-лишайниковый	10 С	50	9.6	8.0	$\frac{4299}{27}$	$\frac{126.4}{0.7}$	0.8	IV	–
11	С. лишайниковый	10 С	210	12.8	26.0	$\frac{295}{9}$	$\frac{115.5}{1.8}$	0.5	V _a	90
12	С. чернично-вороничный	10 С	50	8.0	6.4	$\frac{6815}{22}$	$\frac{126.7}{0.1}$	1.0	V	–

участием березы пушистой *Betula pubescens* L, иногда с единичной примесью ели сибирской *Picea obovata* L (табл. 1). Древесный ярус исследуемых северотаежных сосновых лесов отличается разреженностью, низкой сомкнутостью крон, низкими таксационными характеристиками (высота, диаметр, сумма площадей сечений).

Основу травяно-кустарничкового яруса сосновых лесов формируют *Vaccinium myrtillus* L., *Vaccinium vitis-idaea* L., *Empetrum hermaphroditum* Hagerup. Общее проективное покрытие яруса составляет в среднем около 30%. В напочвенном покрове зеленомошно-лишайниковых сосняков в зависимости от давности пожара в разных соотношениях представлены виды родов *Cladonia*, *Cladina* и *Pleurozium schreberi*.

Подбор и закладка ППП выполнялись по общепринятым (ГОСТ 16128-70) и подробно описанным в литературе методикам (Моисеев, 1971; Ярмишко, 1997; Санитарные правила..., 1998; Методы..., 2002 и др.). Размер ППП определялся в значительной мере густотой эдифицирующей синузии (древостоя) исследуемых сообществ. Мы исходили из того, чтобы на ППП, расположенных в молодых и средневозрастных сосняках, было не менее 200 деревьев с диаметром стволов 4 см и более на высоте 1.3 м от корневой шейки. На ППП учету подлежали все особи, имеющие высоту более 1.5 м. По периферии пробной площади отграничивались рабочие зоны, где выполнялись все экспериментальные работы: почвенные разрезы, спиливание и разделка моделей, укусы растительности для определения фитомассы напочвенного покрова, изучения подземных органов растений и выборка из почвы корней модельных деревьев для определения их массы.

Анализ существующих методов изучения корневых систем показывает, что ни один из рассмотренных методов (Методы..., 2002), взятый отдельно, не позволяет в полной мере охарактеризовать строение, развитие и жизненное состояние корневых систем древесных и кустарниковых видов растений. Для получения объективных данных целесообразно применять одновременно несколько методов, дополняющих друг друга. На основе использования существующих методов нами предложен комплексный метод исследования подземных органов древесных растений. Неоднократно проверенный в лесных сообществах метод дает достаточно полное представление о развитии корешков у проростков, о росте и строении корней разных древесных пород в лесных насаждениях (Методы..., 2002).

Некоторые способы учета корней сводятся к раскопкам площадей в пределах средних проекций крон или по средним площадям питания (Молчанов, Смирнов, 1967; Родин и др., 1968), путем ограничения при раскопках определенных площадей (Орлов, 1967; Якушев, 1968) или путем полной раскопки

корневой системы исследуемой модели (Лашинский, 1981; Калинин, 1983, Ярмишко, Цветков, 1987).

При решении задачи по оценке запасов фитомассы на каждой ключевой пробной площади в рабочей зоне были подобраны по 5–9 модельных деревьев сосны. Исследования мы начинали с детального описания и измерения надземных органов исследуемых растений и затем приступали к горизонтальной раскопке корневых систем, обнажая в первую очередь корни около ствола на глубину 25–30 см. Поверхностная раскопка всей корневой системы позволяет установить радиус распространения корней в горизонтальной плоскости, определить длину основных корней, характер их ветвления, площадь питания дерева и особенность использования площади в целом. Затем спиливали дерево, описывали, обмеряли и разделяли его по 1-метровым секциям по фракциям (сухие ветви, живые ветви без хвои и охвоенные, ствол). Потом приступали к постепенному извлечению всей корневой системы из почвы, разделяя корни на мелкие (1–3 мм), средние (3–10 мм) и толстые (>10 мм). Извлеченные и разделанные на части по крупности корни взвешивали, одновременно отбирая образцы на определение абсолютно-сухого веса. Отдельно фиксировали в спирт-глицериновой смеси тонкие проводящие и сосущие корни с микоризными окончаниями для лабораторных исследований и определения типа микориз. Изучение тонких корней сосны обыкновенной с микоризными окончаниями проводили по имеющимся методикам (Шубин, 1973; Семенова, 1980; Hanish, Kilz, 1990).

Изучение радиального прироста скелетных корней сосны выполнено по методике, опубликованной в коллективной монографии (Методы..., 2002) с использованием прибора для измерения ширины годичных слоев древесины (Ярмишко, 1983).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследуя сосновые леса VII–XVII классов возраста на Кольском п-ове, мы обратили внимание на отсутствие под их пологом подроста. Дело в том, что в таких сообществах сформирован мощный живой напочвенный покров из лишайников и мхов, препятствующий прорастанию попадающих на него семян, в которых зародыш может сохраняться в течение длительного времени от воздействия неблагоприятных условий окружающей среды. Однако, попадая на поверхность минерализованной почвы, лишенной напочвенного покрова в результате механизированных лесозаготовок или низовых пожаров, семя прорастает в проросток, который дает начало развитию молодого растения. Причем, у проростков сосны обыкновенной просматривается только стержневой корень и несколько боковых ответвлений.

У всходов сосны обыкновенной на вырубке, где резко ослаблена конкуренция за свет в надземной части и питательные вещества в подземной сфере, достаточно быстро происходит нарастание корневой и побеговой систем.

В процессе развития корневой системы молодых растений меняется физиологическая и структурно образовательная роль ее отдельных компонентов. Так, доля участия главного корня в общей длине корневой системы к концу периода вегетации снижается. На ранних этапах органогенеза стержневой корень и боковые окончания всходов имеют корневые волоски, выполняющие роль сосущих корней. По мере их роста эндодерма пробковеет и корни начинают выполнять, главным образом, скелетную и проводящую функции.

Основная масса боковых корней сосны на начальных этапах формирования распространяется в подстилке и в верхнем минерализованном слое почвы (глубиной до 10 см), который обладает наилучшими физическими свойствами и аэрацией, содержит основные запасы питательных веществ, а также интенсивнее прогревается в начале вегетации.

У молодых растений корни распределяются по глубине проникновения главного корня более равномерно. Однако и здесь большая часть боковых корней разрастается в горизонтальном направлении и часто их размеры по радиусу во много раз превышают размеры кроны (Ярмишко, Цветков, 1987).

В молодых, формирующихся после внешних нарушений, сосняках лишайниковых и зелено-лишайниковых наблюдается интенсивный рост и развитие надземных органов деревьев, и формирование их корневых систем. Причем эти процессы протекают синхронно. В ходе исследований установлена тесная линейная связь

таксационных показателей деревьев с массой их корневых систем в древостоях II класса возраста (рис. 2).

Исследуемые участки сосновых древостоев характеризуются маломощными, в разной степени завалунными почвами с выраженным уплотненным горизонтом, образованным ортштейновыми линзами, оглееными прослойками, скоплением камней. Уплотненный горизонт, отличающийся отсутствием монолитности, представляет собой определенные препятствия для проникновения корней вертикальной ориентации вглубь почвы. Корни сосны при этом развиваются присущими этой древесной породе темпами лишь в пределах слоя почвы, ограниченного снизу уплотненным горизонтом. Так, например, в местах скопления крупных камней или близко расположенного к поверхности почвы уплотненного ортштейнового горизонта, главный (стержневой) корень сосны сильно редуцирован или просто отсутствует (рис. 3).

В других случаях, при достижении препятствия в почве главный корень приостанавливает свой рост или меняет направление с вертикального на горизонтальное. На разрастающиеся толстые боковые корни опирается вся масса надземной части дерева и эти корни, в большинстве своем, обеспечивают механическую устойчивость деревьев в вертикальном положении (рис. 3).

Анализируя радиальный прирост скелетных корней сосны обыкновенной не трудно заметить, что в возрасте до 10 лет наблюдается достаточно тесная связь между приростом в вертикальной плоскости как вверх от анатомической оси, так и вниз ($r = 0.91$; $n = 10$; $P < 0.05$).

По мере увеличения надземной массы и достижением корней уплотненных горизонтов почвы, прирост по направлению от анатомической оси

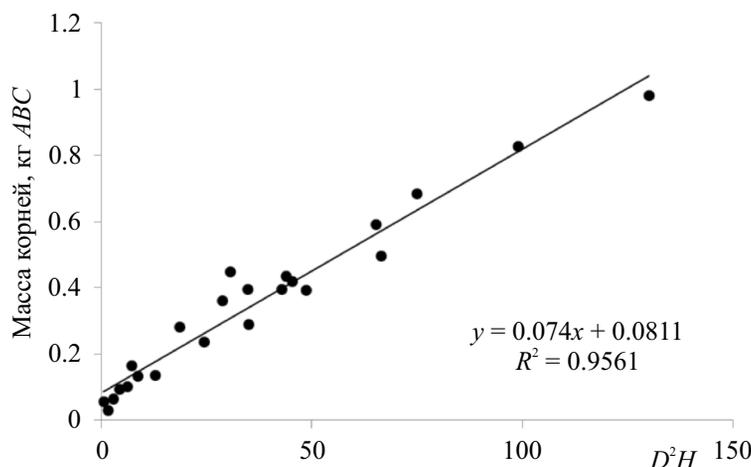


Рис. 2. Аппроксимация зависимости массы корней сосны обыкновенной в древостоях II класса возраста на Кольском полуострове от таксационных характеристик деревьев (D^2H). По вертикали – масса корней в кг АСВ, по горизонтали произведение квадрата диаметра на высоту модельных деревьев.

вниз замедляется, а в отдельных случаях прекращается формирование годичных колец. При этом прирост корней вверх от анатомической оси, наоборот, интенсифицируется (рис. 4). В целом, в рассматриваемых условиях роста и развития корневой системы, наблюдается отрицательная связь ($r = -0.33$; $n = 21$; $P < 0.05$) между приростом скелетных корней в вертикальной плоскости (вверх и вниз от анатомической оси). Более того, прирост корня в вертикальном направлении от анатомической оси вниз фактически приостанавливает свой рост (рис. 4).

Следует отметить, что на Кольском Севере не последнее место в жизни растений вообще и в размещении корней на сухих песчаных и супесчаных подзолах в частности, принадлежит теплообеспеченности корнеобитаемых горизонтов почвы. В этих условиях, где практически отсутствуют уплотненные слои почвы, радиальный

прирост молодых скелетных корней наблюдается практически с одинаковой интенсивностью по всем исследованным радиусам (вверх от анатомической оси, вниз, а также в восточном и западном направлениях). При этом существует достаточно тесная связь между приростом древесины скелетных корней в вертикальной плоскости вверх и вниз от анатомической оси ($r = 0.84$; $n = 20$; $P < 0.05$).

На щебнисто-каменистых почвах в древостоях III–IV классов возраста формируются отдельные скелетные корни сосны обыкновенной не эллипсовидной формы сечения, а напоминающие досковидные корни у растений в тропиках. При таком сечении вертикальные стороны корня на значительном, по сравнению с поперечным диаметром, расстоянии располагаются почти параллельно.

В сосняках черничниках главный стержневой корень дерева часто, начиная с глубины 0.4–0.5 м,



Рис. 3. Корневая система сосны обыкновенной III класса возраста, сформированная на подзолистой почве с мощным нижним подстилающим орштейновым горизонтом, содержащим железистые образования, представляющие собой мелкие рассеянные конкреции или крупные гнезда, нередко переходящие в пластообразные формы.

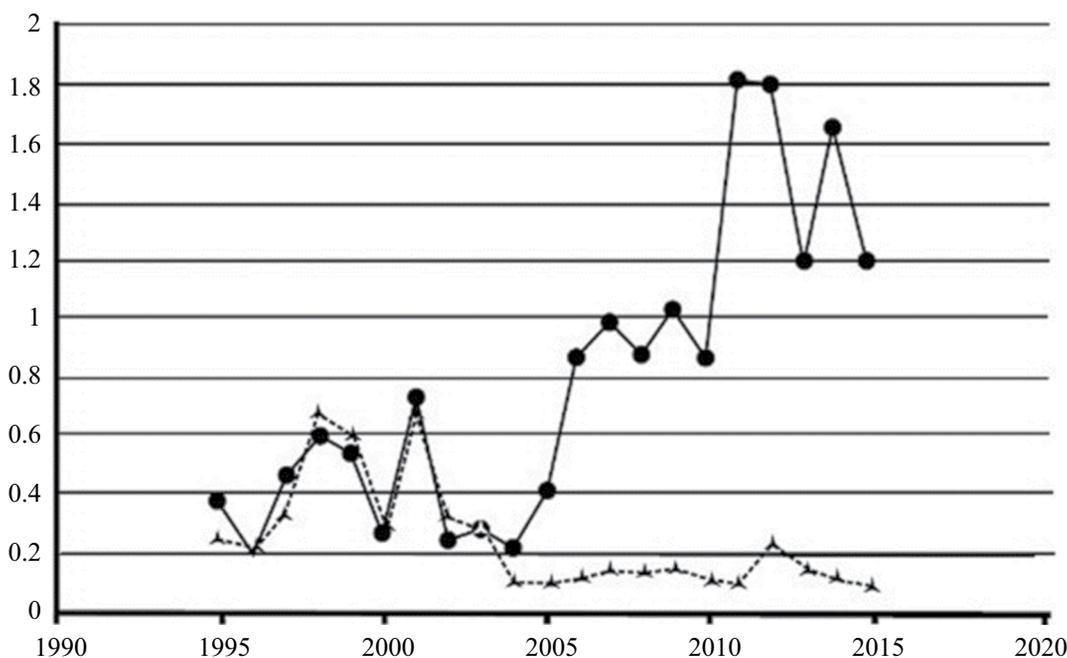


Рис. 4. Динамика радиального прироста скелетных корней сосны об. II класса возраста, произрастающей на щебнисто-каменистых почвах на Кольском Севере. По вертикали – прирост древесины корня в мм, по горизонтали – годы, сплошная линия – прирост скелетного корня от анатомической оси вверх; пунктирная линия – прирост скелетного корня от анатомической оси вниз.

изменяет направление роста и поднимается в вышележащие слои почвы, где гидротермический и воздушный режимы более благоприятны (Цветков, Семенов, 1985). Более глубокие слои почвы в сосновых древостоях на Кольском полуострове осваиваются боковыми корнями главного корня или вертикальными ответвлениями от горизонтальных корней, которые проникают вглубь, используя ходы старых корней, щели и трещины в уплотненных горизонтах. Длина главного корня в пределах скелетной части (с диаметром не менее 10 мм) лишь в двух случаях превышала 1 м. У подавляющего большинства исследованных деревьев сосны обыкновенной III–IV классов возраста она колеблется в пределах от 0.1 до 0.6 м.

Скелетные корни отходящие от корневой шейки и стержневого корня в количестве 5–6, нередко 8–10 шт./дерево, распространяются в горизонтальной плоскости. На расстоянии 20–30 см от ствола ветвятся на корни следующего порядка, которые, в свою очередь, образуют ряд более мелких корней, имеющих многочисленные ответвления, переплетающиеся и заканчивающиеся густой сетью тонких сосущих корешков. Нами установлено, что наибольшее количество боковых корней (II-го порядка) формируется у сосны обыкновенной в сосняках лишайниковых на подзолистых почвах (4–12 шт./дерево).

Интенсивное ветвление корней (до 9 порядков) создает очень разветвленную густую корневую систему, причем площади питания деревьев, несмотря даже на разреженность древостоев в условиях Кольского Севера, налагаются друг на друга. Вблизи ствола горизонтальные скелетные корни находятся на глубине 20–25 см, иногда до 30 см. Затем с удалением от ствола они поднимаются к поверхности почвы и располагаются в перегнойно-аккумулятивном или подзолистом горизонтах (Ярмишко, 1997).

Исследования тонкой физиологически активной части корневой системы сосны показали, что сосущие корни располагаются преимущественно на проводящих корнях диаметром менее 1 мм последнего и предпоследнего порядков ветвления, покрыты грибным чехлом и образуют достаточно разветвленную сеть корней.

На исследованных участках древостоев встречаются относительно большие количества микоризных грибов из родов *Cortinarius*, *Boletus*, *Sarcodon*, *Lactarius* и др. (Ярмишко, 1997). По мнению В.И. Шубина (1973), все они являются хорошими микоризообразователями в сосновых лесах Мурманской области. Проводящие и размещенные на них сосущие корни толщиной менее 1 мм представляют собой постоянно обновляющуюся часть корневой системы (Heikureinen, 1959; Орлов, 1967; Бобкова, 1987; Forest condition..., 2000). Длина у них составляет в среднем 15 см, а прирост за год варьирует в пределах от 3 до 5 см. Некоторые

исследователи (Саляев, 1961; Lyer *et al.*, 1980; Gorissen *et al.*, 1991) отмечают, что характер и форма ветвления микоризных окончаний определяют вид растения. Однако вклад отдельных видов в образование микориз на корнях сосны определить пока чрезвычайно сложно. Лишь очень немногие из них можно установить по внешнему виду микоризы (Hanisch, Kilz, 1990).

По форме различают простые, вильчатые, коралловидные окончания и “ведьмины шары” (Саляев, 1961; Шубин, 1973; Семенова, 1980; Hanisch, Kilz, 1990). В условиях Кольского Севера чаще встречаются окончания первой-третьей формы. Клубневидная форма микоризных окончаний характерна для сосущих корней сосны, развитых на торфяных почвах сфагновых типов фитоценозов (Бобкова, 1987). По мере роста мелких проводящих корней на них формируются сосущие и тонкие ростовые корни последних порядков ветвления. Сосущие корни сосны вне зависимости от формы имели длину, не превышающую 8 мм, а диаметр от 0.2 до 0.6 мм. Наиболее часто встречаются микоризные окончания диаметром 0.3–0.4 мм. Продолжительность роста и время жизни у них весьма различны. В исследованных нами сосняках микоризные корни размещались на сосущих корнях сосны в большинстве случаев единично и на них преобладала простая вильчатая и реже коралловидная форма микориз (по классификации Л.А.Семеновой, 1980). Меньшее распространение имеют другие формы микориз, и они приурочены чаще всего к полусгнившим пням и упавшим стволам деревьев, где имеются запасы питательных веществ и влага. С увеличением глубины почвы число микоризных корней на единицу проводящего корня уменьшается.

Проведенные исследования в сохранившихся еще сосновых лесах III–IV классов возраста с разной интенсивностью загрязнения воздуха и почвы показали, что на фоне разнообразных изменений и нарушений роста и развития корней у сосны сохраняется генетически унаследованный тип корневой системы даже в условиях достаточно сильного загрязнения. В начале наших наблюдений было замечено, что в условиях слабых уровней аэротехногенного загрязнения корни сосны реагируют на поступление в почву токсикантов как на удобрения, образуя на сосущих корнях целые колонии (микопласты) сосущих корней с микоризными окончаниями. В дальнейшем, по мере накопления в почве серы и соединений тяжелых металлов, эти микопласты повреждаются и корни с микоризами отмирают.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Характер строения и степень развития корневых систем сосны обыкновенной, а также распространение их в почве определяются биологическими

свойствами этой древесной породы и факторами окружающей среды. В лишайниковых и зелено-мошно-лишайниковых сообществах на таежных подзолистых почвах Кольского Севера корневая система сосны проявляет высокую пластичность по отношению к эдафическим условиям. Во всех исследованных сообществах она образует поверхностную корневую систему. Основная масса (до 85%) крупных и мелких корней на дерново-подзолистых почвах сосредоточена в верхнем 20-сантиметровом слое почвы. Сеть же тонких корней, куда входит основная масса активно всасывающих корней, концентрируется в верхнем 10-сантиметровом слое почвы, где более интенсивно протекают все биохимические процессы.

Сосна обыкновенная формирует характерные морфологические особенности корневых систем уже к 10–12 годам. С возрастом принципиальных изменений в их строении не наблюдается — происходит лишь увеличение морфометрических характеристик корней и их массы. Установлена линейная связь таксационных показателей деревьев с массой корневых систем в древостоях I–II классов возраста. Подобная зависимость сохраняется и у древостоев более старшего возраста.

На сухих песчаных и супесчаных подзолах, где практически отсутствуют уплотненные слои почвы, кроме глубоко уходящих корней разрастаются многочисленные поверхностные корни сосны обыкновенной. Радиальный прирост древесины молодых скелетных корней наблюдается практически с одинаковой интенсивностью по всей окружности годовичных слоев (вверх от анатомической оси, вниз и в стороны).

Уплотненный горизонт, отличающийся отсутствием монолитности, представляет собой определенные препятствия для проникновения корней вертикальной ориентации вглубь почвы. При этом генетический тип строения корневой системы сосны обыкновенной деформируется. Корни сосны при этом развиваются присущими этой древесной породе темпами и особенностями лишь в пределах неуплотненного слоя почвы. Интенсивность радиального прироста древесины скелетных корней по направлению вверх от анатомической оси в 3 раза выше, чем по направлению вниз. Не редки случаи, когда по мере достижения уплотненных горизонтов почвы и увеличения массы надземной части сосны обыкновенной формирование годовичных слоев древесины у скелетных корней в нижней части (по направлению от анатомической оси вниз) прекращается.

В формировании лесных сообществ на вырубках и жизнедеятельности сосны обыкновенной важнейшую роль играют физиологически активные корни. В основном они обеспечивают растение водой и минеральной пищей и принимают деятельное участие в синтезе новых органических соединений.

Срок жизни активных корней в течение года меняется и зависит от биологических особенностей вида и степени увлажнения почвы. Недостаток влаги сильно сокращает количество и продолжительность жизни активных корней.

Интенсивное ветвление корней (до 9 порядков) создает очень разветвленную густую корневую систему, причем площади питания деревьев, несмотря даже на разреженность древостоев в условиях Кольского Севера, налагаются друг на друга уже в I классе возраста. Исследования тонкой физиологически активной части корневой системы сосны показали, что сосущие корни располагаются преимущественно на сосущих, реже на проводящих, корнях диаметром менее 1 мм последнего и предпоследнего порядков ветвления, покрыты грибным чехлом и образуют достаточно разветвленную сеть корней. Микоризные корни размещаются, в большинстве случаев, единично с преобладанием простой вильчатой и реже коралловидной форм. Меньшее распространение имеют другие формы микориз, и они приурочены чаще всего к полусгнившим пням и упавшим стволам деревьев.

Локализованной связи между отдельной частью корневой системы и кроной дерева не существует. Любая корневая мочка способна питать разные участки кроны. Интенсивность поступления питательных веществ в ветки кроны определяется энергией их роста.

В сохранившихся еще молодых древостоях в районах слабого атмосферного загрязнения почвы соединениями серы и тяжелых металлов корни сосны обыкновенной реагируют как на мелиорирующий эффект (удобрения), образуя целые колонии сосущих корешков с микоризными окончаниями. Со временем, по мере насыщения почвы загрязнителями, физиологически активные корни с микоризами постепенно отмирают.

Проведенные исследования позволили заключить, что формирование лесных сообществ сосны обыкновенной на вырубках на Кольском Севере, их устойчивость и продуктивность находятся в прямой зависимости от степени развития отдельных корней и корневых систем в целом. Рост и развитие корней в свою очередь обуславливаются экологическими факторами окружающей среды и биологическими свойствами этой древесной породы.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания по плановой теме «Коллекции живых растений Ботанического института им. В.Л. Комарова (история, современное состояние, перспективы использования)», регистрационный номер: 122011900031-0.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бобкова К. С.* Биологическая продуктивность хвойных лесов Европейского Северо-Востока. Л.: Наука. 1987. 156 с.
- Динамика лесных сообществ Северо-Запада России* /В.Т. Ярмишко, И. Ю. Баквал и др. Отв. редактор В. Т. Ярмишко. СПб.: ВВМ. 2009. 276 с.
- Евдокимов А. С., Ярмишко В. Т.* Структура древесного яруса лесных сообществ центральной части Кольского полуострова, формируемая при снижении аэротехногенной эмиссии// Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Том 31 № 1. С. 115-126.
<http://doi.org/10.22363/2313-2310-31-1-116-1206>.
- Зайцев Г. А.* Адаптация корневых систем хвойных древесных растений к экстремальным лесорастительным условиям. Автореферат диссертации на соиск. степени доктора биол. наук. Тольятти, 2008. 45 с.
- Калинин М. И.* Формирование корневой системы дуба. М. 1983. 152 с.
- Лащинский Н. Н.* Структура и динамика сосновых лесов Нижнего Приангарья. Новосибирск, 1981. 272 с.
- Лукина Н. В., Никонов В. В.* Состояние биогеоценозов Севера в условиях техногенного загрязнения. Апатиты. 1993. 134 с.
- Методы изучения лесных сообществ. СПб.: НИИ химии СПбГУ. 2002. 240 с.
- Моисеев В. С.* Таксация молодняков. Л. 1971. 343 с.
- Молчанов А. А., Смирнов В. В.* Методика изучения прироста древесных растений. М.: Наука. 1967. 100 с.
- Орлов А. Я.* Метод определения массы корней деревьев в лесу и возможность учета годичного прироста органической массы в толще лесной почвы. Лесоведение. 1967. № 1, с. 44-70
- Проблемы экологии растительных сообществ Севера. СПб: ООО «ВВМ». 2005. 450 с.
- Родин Л. Е., Ремезов Н. П., Базилевич Н. И.* Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: 1968. 143 с.
- Рысин Л. П., Рысина Г. П.* Морфоструктура подземных органов лесных травянистых растений. М.: Наука. 1987. 207 с.
- Саляев Р. К.* Изучение физиологически активной части корневых систем у главнейших древесных пород таежной зоны. Автореф. диссерт. канд. биол. наук. Петрозаводск, 1961. 20 с.
- Санитарные правила* в лесах Российской Федерации (Утв. приказом Федеральной службы лес. хоз-ва России от 15.01.1998 г.) М. 1998 № 10. 18 с.
- Семенова Л. Ф.* Морфология микоризы сосны обыкновенной в спелых лесах// Микоризные грибы и микоризы лесообразующих пород Севера. Петрозаводск: Кар. фил. АН СССР. 1980. С. 103–132.
- Цветков В. Ф., Семенов Б. А.* Сосняки Крайнего Севера. М.: Агропромиздат. 1985. 116 с.
- Цветков В. Ф.* Сосняки Кольской лесорастительной области и ведение хозяйства в них. Архангельск: Изд-во Арханг. гос. тех. ун-та. 2002. 380 с.
- Чернышкова Т. В.* Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение. М.: Наука. 2002. 191 с.
- Шубин В. И.* Микотрофность древесных пород: значение при разведении леса в таежной зоне. Л., 1973. 264 с.
- Якушев Б. И.* Рост и взаимодействие корневых систем древесных и травянистых растений / Эколого-физиологические особенности взаимоотношений растений в растительных сообществах. Минск. 1968. С. 91–123.
- Ярмишко В. Т.* Прибор для измерения годичных колец деревьев // Ботан. журн. 1983. Т. 68. №10. С. 1428–1430.
- Ярмишко В. Т., Цветков В. Ф.* Строение, запасы и распределение в почве корневых систем растений в сообществах сосновых молодняков Кольского полуострова// Бот. журнал. 1987. Т. 2. № 4. С. 496–505.
- Ярмишко В. Т.* Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. СПб.: Изд-во НИИ химии СПбГУ. 1997. 210 с.
- Ярмишко В. Т., Игнатьева О. В.* Многолетний импактный мониторинг состояния сосновых лесов в центральной части Кольского полуострова // Изв. РАН. Серия биологическая. 2019. № 6. С. 658–668.
- Ярмишко В. Т., Игнатьева О. В.* Сообщества *Pinus sylvestris* L. в техногенной среде на европейском Севере России: структура, особенности роста и состояние // Сибирский лесной журнал. 2021. № 3. С. 44–55.
- Forest Condition in a Changing Environment. The Finnish Case /Ed. Eino Mälkönen). Kluwer Acad. Publ. 2000. 380 p.
- Gorissen B. A., Joosten N. N., Jansen A. E.* Effects of ozone and ammonium sulphate on carbon partitioning to mycorrhizal roots of juvenile Douglas fir // New Phytol. 1991 V. 119. p. 243–250.
- Hanisch B., Kilz E.* Waldschaden erkennen. Fichte und Kiefer. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer. 1990. 334 p.
- Heikureinen L.* Der Würzelaufbau in Michwalder auf entwässerten Moorboden// Acta Forest Fenn. 1959. Bd. 67. H 2. P. 24–28.

- Helmisaari H.-S., Lehto T., Makkonen K.* Fine roots and soil properties // *Forest Condition in a Changing Environment. The Finnish Case* (Ed Eino Mälkönen). Kluwer Acad. Publ. 2000. P. 203–217.
- Lyear J. G., Corey R. D., Wilde S. A.* Mycorrhizae facts and fallacies // *Agricult.* 1980. V. 6. № 8 P. 213–220.
- Persson H.* Root dynamics in a young Scots pine stand in central Sweden // *Oikos.* 1987. V. 30. P. 508–519.
- Yarmishko V. T., Evdokimov A. S.* Spatial structure of recuperating lichen-green pine forests in the Central part of the Kola Peninsula (Russia) // *Journal of Technical and Natural Sciences.* 2019. V. 2. № 11. P.35–39.

The role of root systems of *Pinus sylvestris* L. during the formation of secondary pine forests in deforestation in the Kola North

© 2024 V. T. Yarmishko

*V.L. Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences,
Prof. Popova, 2, St. Petersburg, 197376 Russia
@E mail: vasilijarmishko@yandex.ru*

The role of the roots and root systems of *Pinus sylvestris* L. in the formation of secondary pine forests in the cuttings of the Kola North was studied. It has been established that in pine seedlings in disturbed areas, root and shoot systems are formed quite quickly. Already in the I-th grade of age, characteristic morphological signs of root systems appear, the feeding areas of trees begin to overlap each other. The bulk of the roots (80–85%) is concentrated in the upper 20-centimeter soil layer. A linear relationship between the taxation indicators of trees and the mass of root systems has been revealed. The conducted studies have shown that the formation of forest communities of Scots pine in the cuttings of the Kola North, their stability and productivity are directly dependent on the degree of development of individual roots and root systems as a whole.

Keywords: moss-lichen forests, deforestation, Scots pine, roots, radial growth, mycorrhiza, Kola North.