

УДК 674.032.475.4

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.1.55

КОРНЕВАЯ СИСТЕМА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРОТАЕЖНОЙ ЗОНЫ

© *О.Н. Тюкавина, канд. с.-х. наук, доц.*

В.Н. Евдокимов, канд. биол. наук, доц.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: olga-tukavina@yandex.ru

Сосна обыкновенная может приспосабливаться к различным экологическим условиям, развивая как глубоко идущую, так и поверхностную корневую систему. Данные о строении и развитии корневых систем сосны позволяют повысить эффективность лесокультурных, лесохозяйственных и гидротехнических мероприятий в лесопарковом хозяйстве, выявить опасные и аварийные деревья. Устойчивость деревьев связана с распределением скелетных корней в плоскости и их размерами. Поэтому целью исследования являлось изучение структуры корневой системы сосны в Архангельском лесничестве (Архангельская область). Исследования по изучению строения корневой системы сосны проводились в сосняках лишайниковом, мохово-лишайниковом, черничном и долгомошном. Корневую систему подроста и деревьев сосны изучали путем частичного или полного освобождения ее от почвы. Установлено, что в сосняке лишайниковом формируется полноценно развитый стержневой корень. В остальных типах леса стержневой корень имеет резко сбежистую форму (форму «редьки») или не развивается. У зрелых деревьев в сосняке черничном, долгомошном, мохово-лишайниковом четко выраженный стержневой корень отсутствует. В процессе взросления дерева он переходит в хорошо развитые горизонтальные корни или принимает горизонтальное направление. До 10-летнего возраста корневая система подроста развивается одинаково в различных типах леса. В более старшем возрасте происходит дифференциация структуры и параметров корневой системы в зависимости от условий произрастания. Превышение доли вертикальных корней после 10-летнего возраста указывает на наличие патологии корневой системы или нижней части ствола. Мощность корнеобитаемого слоя в сосняке черничном больше, но проникновение вглубь вертикальных корней и радиус скелетных корней преобладают в сосняке лишайниковом. Следовательно, устойчивость наземной части деревьев в сосняке лишайниковом формируется за счет развития стержневого и скелетных корней, в сосняке черничном – в результате значительной разветвленности как вертикальных, так и горизонтальных корней. Высокая вероятность вывала деревьев в сосняке долгомошном связана не только с поверхностной корневой системой, но и с патологией ее развития.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, корневая система, стержневой корень, скелетные корни.

Сосна обыкновенная является одной из основных лесообразующих хозяйственно-ценных древесных пород северных регионов. На территории Архангельской области сосна имеет большую площадь распространения. Сосняки приурочены главным образом к песчаным отложениям, склонам холмов

и занимают около $\frac{1}{4}$ покрытых лесом площадей. К сухим условиям произрастания тяготеют сосняки лишайниковые и брусничные, характерные для маломощных и среднемощных песчаных и супесчаных подзолов с глубоким залеганием грунтовых вод. Сосняки черничные распространены на подзолах маломощных и среднемощных песчаных и супесчаных, подстилаемых суглинками с удовлетворительными дренажными условиями. Сосняки долгомошные и сфагновые ассоциированы с торфянистыми, торфяно-глеевыми и торфяно-верховыми подзолами, подстилаемыми водоупорными суглинками [5]. Корневая система сосны очень пластична. Благодаря этому она может приспосабливаться к различным экологическим условиям, развивая как глубоко идущую, так и поверхностную корневую систему. На легких почвах, которые для произрастания сосны наиболее благоприятны, развиваются корни как горизонтальной, так и вертикальной ориентации. Основная масса тонких всасывающих и проводящих корней находится в верхних горизонтах почвы. Якорные корни могут уходить на значительную глубину, заканчиваясь там метлообразными разветвлениями [14]. Якорные корни в большинстве случаев формируются с 25...30 лет [3]. Мощную корневую систему со слабо развитым стержневым корнем, но исключительно сильно развитыми боковыми корнями, располагающимися на небольшой глубине параллельно поверхности на песчаных почвах, отмечает ряд авторов [3, 7–9, 13, 14, 16, 17]. На заболоченных почвах и верховых болотах сосна формирует типично поверхностную корневую систему. Вертикальные корни отсутствуют, некоторые скелетные корни заканчиваются своеобразными пучками, «лапами», с многочисленными живыми и отмершими корнями [1, 2, 4]. В сосняках черничных формируется мощная корневая система с развитым стержневым («редькой») и боковыми корнями. Большая масса корней всех фракций сосредоточена в самой верхней части почвенного профиля, но в небольшом количестве они распределены по всему почвенному профилю [14]. В условиях достаточного увлажнения почвы, при уменьшении уровня ее потенциального плодородия, сосна образует менее интенсивную стержневую часть корневой системы, но существенно увеличивает вертикальные ответвления от горизонтальных корней, позволяющие более интенсивно использовать верхние наиболее плодородные слои почвы по всей глубине их залегания [6].

Пластичность корневой системы может выражаться через степень изменения ее структуры. Под структурой корневой системы понимается соотношение трех категорий корней: горизонтальных, стержневых, вертикальных ответвлений от горизонтальных корней [6]. Соотношение данных групп корней показывает устойчивость дерева к ветровалу, его резистентность к различным факторам среды, адаптивность и способность к регенерации. В зависимости от выполняемой функции корни подразделяются на скелетные и тонкие (менее 3 мм). Основным фундаментом дерева является корневая лапа. Она располагается от шейки корня в радиусе до 6 его диаметров. Корни этой зоны имеют форму клиньев и переходят в скелетные корни, имеющие цилиндриче-

скую форму. Эти группы корней выполняют механическую функцию по удержанию дерева в почве, поэтому для выявления аварийных деревьев необходимо определять радиус распространения скелетных корней, равномерность их распределения вокруг ствола дерева. Всасывающие корни образуются как на длинных горизонтальных корнях, так и на вертикальных, но основная их часть располагается на тонких (менее 1 мм) проводящих корнях, представляющих систему последнего порядка ветвления [1]. Тонкие корни (менее 3 мм) повышают интенсивность использования занятого объема почвы и формируют зону почвенного питания растения. Основная масса тонких корней сосредоточена в верхнем 20-сантиметровом слое почвы при различных условиях произрастания [1, 6, 12, 14, 19]. С возрастом дерева увеличивается интенсивность ветвления корней, т. е. повышается плотность корней в верхнем слое почвы и увеличивается площадь корневого питания. Следовательно, радиус распространения тонких корней больше радиуса распространения скелетных корней. Радиус корней, обеспечивающих механическую устойчивость дерева, будет меньше радиуса корневого питания. В зависимости от поставленных задач необходимо определять зону корневого питания дерева. Это связано с трудоемкими кропотливыми исследованиями с применением микроскопа по методикам А.Я. Орлова [10, 11], И.Н. Рахтеенко [13] или достаточно определить радиус скелетных корней путем поверхностной раскопки по ходу корней. При раскопках желательно учитывать тонкие корешки сосны без волосков, корневые мочки темно-коричневого цвета, отходящие веерообразно, и скелетные корни светло-коричневого цвета с длинными шелушащимися чешуйками покровной ткани.

Данные о строении и развитии корневой системы сосны позволяют повысить эффективность лесокультурных, лесохозяйственных и гидротехнических мероприятий. В лесопарковом хозяйстве и насаждениях города важна правильная оценка опасных и аварийных деревьев. Устойчивость дерева связана с распределением скелетных корней в плоскости и их размерами. Поэтому исследования корневых систем деревьев актуальны и востребованы.

Изучением корневых систем занимались многие ученые. Большинство работ относятся к более южным районам лесной зоны. В условиях северотаежной подзоны корневая система деревьев изучена недостаточно.

Целью исследования являлось изучение структуры корневой системы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) в северотаежной подзоне на примере Архангельского лесничества Архангельской области.

Исследования по изучению строения корневых систем сосен проводили в сосняках лишайниковом, мохово-лишайниковом, черничном и долгомошном. Сосняки чистые с примесью березы, в сосняке черничном – с примесью березы и ели. Полнота древостоев составляла 0,6, средний возраст 60...80 лет. Почвы в сосняке лишайниковом и мохово-лишайниковом песчаные свежие, в сосняке черничном – слабоподзолистые, иллювиально-железистые, супесчаные на моренном суглинке, в сосняке долгомошном – супесчаные влажные на су-

глинке. В каждом типе леса подбирали модельные деревья разного возраста, у которых полностью или наполовину освобождали корневую систему от почвы.

В сосняке лишайниковом у сосны хорошо развиваются корни горизонтальной и вертикальной ориентации. Корневая система с развитым стержневым корнем есть и у подростка, и 150-летних деревьев. Из рассмотренных типов леса только в сосняке лишайниковом отмечается стержневой корень у деревьев в возрасте зрелости [15]. К.С. Бобкова [1] так же указывала на формирование сосной стержневой корневой системы на песчаных почвах. Вероятно, это является особенностью сосны, произрастающей в подзоне средней тайги. В остальных типах леса стержневой корень имеет резко сбежистую форму (форму «редьки») или не развивается. У зрелых деревьев в сосняке черничном, долгомошном, мохово-лишайниковом четко выраженный стержневой корень отсутствует. В процессе взросления дерева он переходит в хорошо развитые горизонтальные корни или принимает горизонтальное направление.

До 10 лет длина стержневого корня у подростка одинакова при различных условиях произрастания и составляет около 10 см (рис. 1).

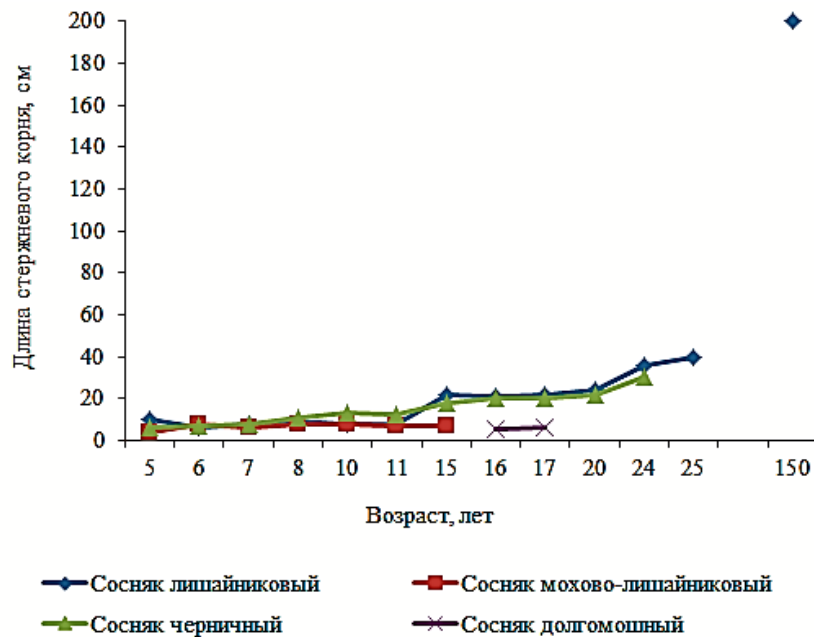


Рис. 1. Развитие стержневого корня сосны с возрастом

В более старшем возрасте темпы развития стержневого корня различаются. В сосняке долгомошном стержневой корень или не формируется, или не превышает 10 см. С возрастом в данных условиях увеличивается масса горизонтальных корней и корней меньших порядков. Стержневой корень не формируется у подростка с искривленным стволиком в области шейки корня. Стволик

располагается сначала горизонтально, а потом занимает вертикальное положение. Вероятно, это связано с выжиманием подроста на влажных почвах. Так как нижняя часть молодого стволика находится в постоянном контакте с почвой, на нем начинает формироваться совокупность вертикальных корней. Горизонтальные корни тоже формируются, но исключительно в направлении первичной корневой системы. Неравномерность расположения корней вокруг ствола способствует ветровалу деревьев. Следовательно, ветровал сосны в долгомошном типе леса связан в основном не с поверхностной корневой системой, а с неравномерностью расположения скелетных корней.

Особенностью развития корневой системы сосны в сосняке мохово-лишайниковом является интенсивное развитие горизонтальных корней. От горизонтальных корней отходят вертикальные корни. Такая корневая система позволяет улавливать атмосферные осадки и использовать верхние наиболее плодородные слои почвы. Устойчивость деревьев будет зависеть от протяженности горизонтальных корней и равномерности их распределения вокруг ствола.

В сосняке черничном формируется мощная корневая система за счет большого количества (более 7) отходящих от шейки корня скелетных корней с интенсивным ветвлением. От горизонтальных корней отходят не только сильно ветвящиеся корни больших порядков, но и вертикальные. Стержневой корень на глубине 20 см переходит в горизонтальное положение, но крупные вертикальные ответвления от скелетных корней проникают на глубину до 2 м.

У подроста до 10 лет корневая система осваивает верхний слой почвы мощностью до 20 см. Но горизонтальные корни отмечаются лишь в верхнем 10-сантиметровом слое почвы (см. таблицу). С возрастом деревьев проникновение отдельных вертикальных корней вглубь происходит интенсивнее в сосняке лишайниковом по сравнению с сосняком черничным: в молодом возрасте – в 2,5 раза, в зрелом возрасте – в 1,5 раза (рис. 2). Однако мощность корнеобитаемого слоя почвы выше в сосняке черничном (рис. 3). Под корнеобитаемым слоем почвы в данном исследовании понимается область интенсивного ветвления основных корней, без учета тонких корней и всасывающих. С 20 лет корневая система сосны в черничном типе леса интенсивно использует весь освоенный корнями почвенный профиль, это связано с благоприятными водным и воздушным режимами и наличием питательных веществ. Многие авторы отмечают, что корневая система интенсивно развивается, ветвится в благоприятных условиях, особенно при наличии питательных веществ. Неравномерное распределение питательных элементов в почве может приводить к скученности корней в зонах с лучшими условиями [18]. Следовательно, на распределение корней относительно корневой шейки влияют качественные характеристики почвы и наличие препятствий для развития корней. Препятствиями могут быть более плотные горизонты, включения [1, 12, 14], а в городской среде – антропогенные объекты [19]. В связи с множественностью факторов, влияющих на развитие корневой системы, можно лишь предполагать о типе корневой системы, наиболее распространенном в конкретных условиях, но нельзя прогнозировать ее количественные характеристики.

Разнообразие параметров корневой системы в пределах одного возраста для сходных лесорастительных условий представлено в таблице.

Характеристика корневой системы сосны

Возраст, лет	Глубина проникновения корней, см	Мощность корнеобитаемого слоя почвы, см	Процент от суммарной протяженности корней, %		Радиус распространения скелетных корней, см
			вертикальных	горизонтальных	
<i>Сосняк лишайниковый</i>					
5	17	7	30	70	6
6	8	8	17	83	13
6	29	7	43	57	7
8	19	7	20	80	11
11	14	10	17	83	13
15	42	14	12	88	30
25	50	18	12	88	48
25	60	13	9	91	50
150	200	45	–	–	400
<i>Сосняк мохово-лишайниковый</i>					
2	3	3	57	43	3
3	11	11	82	18	4
5	8	4	53	47	14
6	11	9	10	90	14
7	13	5	48	52	10
10	17	6	38	62	90
15	6	6	7	93	11
180	120	50	–	–	260
<i>Сосняк черничный</i>					
5	12	12	28	72	7
10	11	11	33	67	8
10	17	9	12	88	15
20	30	30	13	87	20
24	16	16	2	98	30
110	150	150	–	–	300
<i>Сосняк долгомошный</i>					
16	12	12	63	37	5
17	10	10	24	76	30
20	16	16	12	88	30
20	30	30	51	49	30
20	10	10	6	94	8
25	16	10	0	100	30
150	20	20	–	–	100

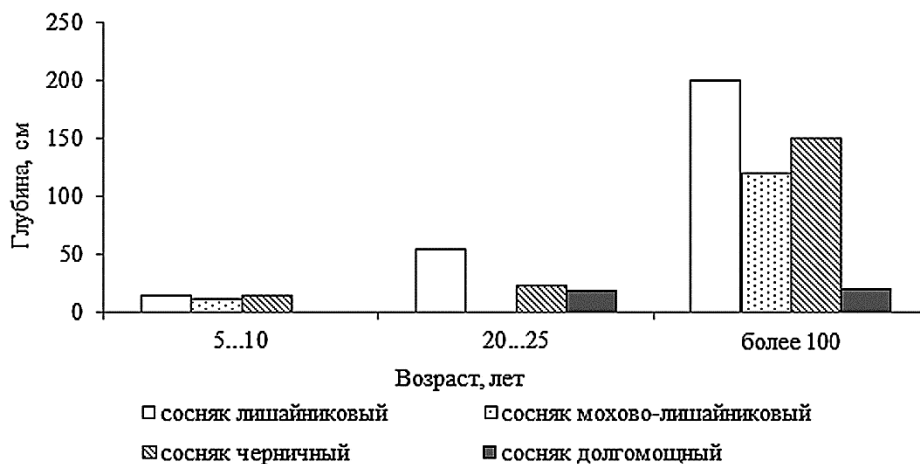


Рис. 2. Глубина проникновения корней сосны в разных условиях произрастания

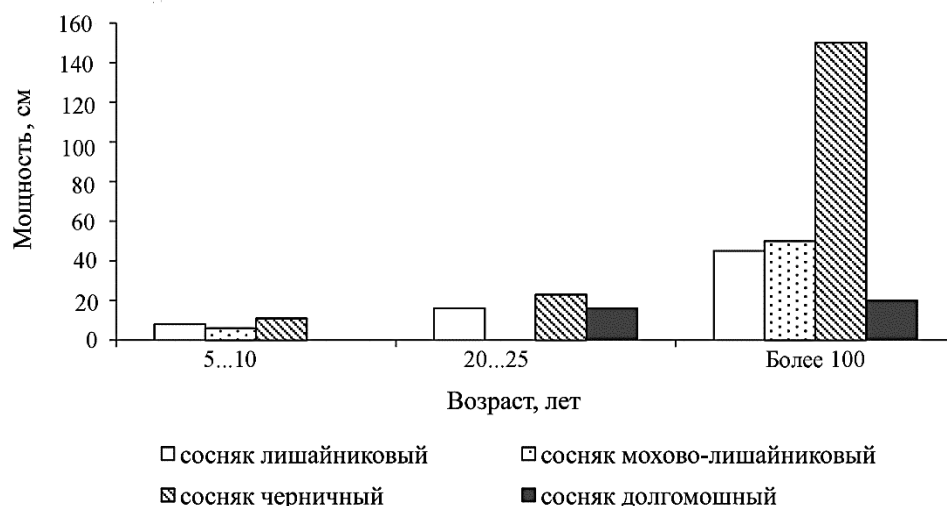


Рис. 3. Мощность корнеобитаемого слоя почвы в разных типах леса

В сосняке долгомошном корневые системы деревьев не проникают глубже 20 см, но этот слой почвы осваивается ими интенсивно.

Во всех рассматриваемых типах леса протяженность горизонтальных корней выше, чем вертикальных (см. таблицу). Однако на примере сосняка мохово-лишайникового можно отметить, что до 5 лет у подростка идет формирование стержневого корня. В этот период протяженность вертикальных корней в 1,5 – 4,5 раза больше горизонтальных. Затем происходит развитие горизонтальных корней и соотношение суммарных длин вертикальных и горизонтальных корней выравнивается, начинает доминировать последняя группа.

Если после 5 лет преобладают вертикальные корни, то это означает наличие патологии в развитии корневой системы или стволика у подростка. Так, в сосняке мохово-лишайниковом у 5- и 7-летнего подростка преобладание вертикальных корней связано с односторонним (флагообразным) развитием корневой системы. Причины могут быть разнообразные: от корневой конкуренции с взрослыми деревьями, лучшие участки почвы по минеральному питанию до наличия включений в почве, преград для развития корневой системы. Так как горизонтальные корни развиваются неравномерно относительно шейки корня, подрост укореняется вертикальными корнями. В сосняке долгомошном у 16- и 20-летнего подростка преобладание вертикальных корней связано с искривлением нижней части стволика, поэтому часть вертикальных корней отходит от шейки корня и даже от нижней части ствола.

В рассматриваемых насаждениях у сосны от шейки корня отходят 4–6 скелетных корней, в сосняке черничном – до 8. Наибольший радиус распространения основных скелетных корней отмечен в сосняке лишайниковом и составляет 4 м, в сосняке черничном – 3 м, в сосняке долгомошном – 1 м. При изучении радиуса распространения основных скелетных корней у деревьев в возрасте более 100 лет измеряли длину корня до толщины 1 см, т. е. радиус зоны, отвечающей за стабильность наземной части дерева.

Таким образом, в сосняке лишайниковом у сосны формируются полноценно развитые стержневые корни. До 10-летнего возраста корневая система подростка развивается одинаково в различных типах леса. Превышение доли вертикальных корней после 10-летнего возраста указывает на наличие патологии корневой системы или нижней части ствола. Мощность корнеобитаемого слоя в сосняке черничном больше, чем в других типах леса. Но проникновение вглубь вертикальных корней и радиус скелетных корней преобладают в сосняке лишайниковом. Следовательно, устойчивость наземной части деревьев в сосняке лишайниковом формируется за счет развития стержневого и скелетных корней, в сосняке черничном – в результате значительной разветвленности как вертикальных, так и горизонтальных корней. Высокая вероятность вывала деревьев в сосняке долгомошном связана не только с поверхностной корневой системой, но и с патологией ее развития.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобкова К.С. Строение корневых систем древесных пород в различных типах сосновых лесов Зеленоборского стационара // Вопросы экологии сосняков Севера: тр. Коми филиала АН СССР. 1972. Вып. 24. С. 52–69.
2. Веретенников А.В. Физиологические основы устойчивости древесных растений к временному избытку влаги в почве. М.: Наука, 1968. 215 с.
3. Волкорезов В.И. Особенности строения и формирования корневых систем сосны Приокских лишайниковых боров Горьковской области // Лесн. журн. 1970. № 2. С. 14–17. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Волперский С.Э. Микрорельеф поверхности заболоченных и болотных почв и его лесоводственное значение // Влияние избыточного увлажнения почв на продуктивность лесов. М.: Наука, 1966. С. 96–111.

5. Ежов О.Н. Афиллофоровые грибы сосны обыкновенной и их значение в лесных экосистемах на территории Архангельской области. Екатеринбург: УрО РАН, 2012. 148 с.
6. Калинин М.И. Структура и пластичность корневой системы сосны обыкновенной // Лесн. журн. 1981. № 4. С. 13–16. (Изв. высш. учеб. заведений).
7. Каннер О.Г. Хвойные породы. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1954. 304 с.
8. Огиевский В.В. Влияние условий местопроизрастания на строение корневых систем в 17–20-летних культурах сосны (*Pinus silvestris* L.) Ленинградской области // Ботан. журн. 1958. Т. 43, № 11. С. 89–114.
9. Оловяникова И.Н. Корневая система сосны обыкновенной в условиях ленточных боров Прииртышья // Тр. Лаборатории лесоведения АН СССР. 1962. Вып. 4. С. 111–144.
10. Орлов А.Я. К методике количественного определения сосущих корней древесных пород в почве // Бюлл. МОИП. Отд. Биология. 1955. Т. LX, № 3. С. 78–96.
11. 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. 64–69.
12. Рахтенко И.Н. Корневые системы древесных и кустарниковых пород. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1952. 106 с.
13. Рахтеенко И.Н. Рост и взаимодействие корневых систем древесных растений. Минск: АН БССР, 1963. 254 с.
14. Рысин Л.П., Савельева Л.И. Сосновые леса России. М.: КМК, 2008. 289 с.
15. Тюкавина О.Н., Евдокимов В.Н. Особенности корневой системы сосны // Экологические проблемы Арктики и северных территорий: межвуз. сб. науч. тр. Вып. 17. Архангельск: САФУ, 2014.
16. Шиманюк А.П. Развитие корневых систем сосны в лесах // Тр. Института леса АН СССР. М.: АН СССР, 1950. С. 87–94.
17. Якушенко И.К. Влияние генезиса песков на строение корневой системы сосны // Выращивание высокопродуктивных лесов. Минск: АН БССР, 1963. С. 32–46.
18. George E., Seith B., Schaeffer C., Marschner H. Responses of *Picea*, *Pinus* and *Pseudotsuga* roots to heterogeneous nutrient distribution in soil // *Tree Physiology*. 1997. P. 39–45.
19. Plourde A., Krause C., Lord C. Spatial distribution, architecture, and development of the root system of *Pinus banksiana* Lamb. in natural and planted stands // *Forest Ecology and Management*. 2009. P. 2143–2152.

Поступила 30.12.14

UDC 674.032.475.4

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.1.55

***Pinus Silvestris* Root System in the North Taiga Zone**

O.N. Tyukavina, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

V.N. Evdokimov, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov,

Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;

e-mail: o.tukavina@narfu.ru

Pine can adapt to the different environmental conditions, developing deep and shallow root system. Data about the structure and development of pine root systems can improve the silvicultural, forestry and hydraulic treatment and identify the hazardous trees. Trees stability is related to the distribution of tree skeletal roots and their dimensions. The aim of the research was to study the pine root structure in the Arkhangelsk forestry (Arkhangelsk region). The studies of the structure of the pine root system were carried out in the lichen, moss and lichen and bilberry pine forests. The root systems of the undergrowth and pine trees were studied by its partial or complete exemption from the soil. The fully developed taproot is formed in the lichen pine forest. In other types of forests the taproot has the excurrent form (the form of a “radish”) or does not developed. The mature trees in the bilberry and moss and lichen pine forests do not have a taproot. In the process of the tree growing, it becomes a well-developed horizontal root and takes the horizontal direction. Up to 10 years of age the undergrowth root system develops identically in different types of forests. At older ages, the differentiation of structure and parameters of the root system occurs. It depends on the growing conditions. The excess of the vertical roots of a tree of more than 10-years-old indicates the diseases of a root system or a lower trunk. The vigor of the root layer in a bilberry pine forest more, but the depth penetration of the vertical roots and the radius of skeletal roots predominate in a lichen pine forest. Consequently, the tree stability in a lichen pine forest is formed due to the taproots and skeletal roots, in a bilberry pine forest – as a result of significant branching of vertical and horizontal roots. The high probability of the trees fall in a pine forest is associated not only with a shallow root system, but also with the development of its pathology.

Keywords: Scots pine, root system, taproot, skeletal roots.

REFERENCES

1. Bobkova K.S. Stroenie kornevykh sistem drevesnykh porod v razlichnykh tipakh sosnovykh lesov Zelenoborskogo statsionara [The Structure of a Tree Root Systems in Different Types of Pine Forests of the Zelenoborsk Station]. *Voprosy ekologii sosnyakov Severa: Tr. Komi filiala AN SSSR* [Questions of Ecology of Pine Forests of the North: Proc. of the Komi Branch of the Academy of Sciences of the USSR], 1972, no. 24, pp. 52–69.
2. Veretennikov A.V. *Fiziologicheskie osnovy ustoychivosti drevesnykh rasteniy k vremennomu izbytku vlagi v pochve* [Physiological Bases of Woody Plants Resistance to a Temporary Moisture Excess in the Soil]. Moscow, 1968. 215 p.
3. Volkorezov V.I. Osobennosti stroeniya i formirovaniya kornevykh sistem sosny Priokskikh lishaynikovyykh borov Gor'kovskoy oblasti [Features of the Structure and Formation of the Root Systems of Pine in the Prioksk Lichen Forests of the Gorky Region]. *Lesnoy zhurnal*, 1970, no. 2, pp. 14–17.
4. Vomperskiy S.E. Mikrorel'ef poverkhnosti zabolochennykh i bolotnykh pochv i ego lesovodstvennoe znachenie [The Surface Microrelief of Wetlands and Bog Soils and Its Silvicultural Value]. *Vliyanie izbytochnogo uvlazhneniya pochv na produktivnost' lesov* [The Effect of Excessive Soil Moisture on Forest Productivity], 1966, pp. 96–111.
5. Ezhov O.N. *Afilloforovye griby sosny obyknovennoy i ikh znachenie v lesnykh ekosistemakh na territorii Arkhangel'skoy oblasti* [Aphylophorales Scots Pine Fungi and Their Significance in the Forest Ecosystems in the Arkhangelsk Region]. Yekaterinburg, 2012. 148 p.

6. Kalinin M.I. Struktura i plastichnost' kornevoy sistemy sosny obyknovennoy [Structure and Plasticity of the Root System of Scots Pine]. *Lesnoy zhurnal*, 1981, no. 4, pp. 13–16.
7. Kapper O.G. *Khvoynye porody* [Coniferous Species]. Moscow; Leningrad, 1954. 304 p.
8. Ogievskiy V.V. Vliyanie usloviy mestoproizrastaniya na stroenie korne-vykh sistem v 17–20 letnikh kul'turakh sosny (*Pinus silvestris* L.) Leningradskoy oblasti [The Effect of Site Conditions on the Root System Structure of the 17–20 Years Old Cultures of Pine (*Pinus silvestris* L.) in the Leningrad Region]. *Botan. zhurn.*, 1958, vol. 43, no. 11, pp. 89–114.
9. Olovyannikova I.N. Kornevaya sistema sosny obyknovennoy v usloviyakh lentochnykh borov Priirtysh'ya [The Root System of Scots Pine in the Irtysh Pine Forests]. *Tr. Laboratorii lesovedeniya AN SSSR* [Proc. of the Laboratory of Forest Sciences of the Academy of Sciences of the USSR]. Moscow, 1962, iss. 4, pp. 111–144.
10. Orlov A.Ya. K metodike kolichestvennogo opredeleniya sosushchikh korney drevesnykh porod v pochve [By the Method of Quantitative Determination of Absorbing Tree Roots in the Soil]. *Byull. MOIP. Otd. Biologiya* [Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological Series], 1955, vol. LX, no. 3, pp. 78–96.
11. Orlov A.Ya. Metod opredeleniya massy korney derev'ev v lesu i vozmozhnost' ucheta godichnogo prirosta organicheskoy massy v tolshe lesnoy pochvy [Method for Determining the Mass of the Tree Roots in a Forest and Inventory of the Annual Increment of Organic Mass in the Depth of Forest Soil]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1967, no. 1, pp. 64–69.
12. Rakhtenko I.N. *Kornevye sistemy drevesnykh i kustarnikovykh porod* [The Root Systems of Woody and Shrubby Species]. Moscow; Leningrad, 1952. 106 p.
13. Rakhtenko I.N. *Rost i vzaimodeystvie kornevykh sistem drevesnykh rasteniy* [The Growth and the Interaction of the Root Systems of Woody Plants]. Minsk, 1963. 254 p.
14. Rysin L.P., Savel'eva L.I. *Sosnovye lesa Rossii* [Pine Forests of Russia]. Moscow, 2008. 289 p.
15. Tyukavina O.N., Evdokimov V.N. Osobennosti kornevoy sistemy sosny [Features of the Pine Root System]. *Ekologicheskie problemy Arktiki i severnykh territoriy: mezhvuz. sb. nauch. tr.* [Ecological Problems of the Arctic and Northern Territories: Interacademic Proc.]. Arkhangelsk, 2014, iss.17.
16. Shimanyuk A.P. Razvitie kornevykh sistem sosny v lesakh [Development of Pine Root Systems in the Forests]. *Tr. Instituta lesa AN SSSR* [Proc. of Institute of Forest of the Academy of Sciences of the USSR]. Moscow, 1950, pp. 87–94.
17. Yakushenko I.K. Vliyanie genezisa peskov na stroenie kornevoy sistemy sosny [The Influence of Sand Genesis on the Structure of the Pine Root System]. *Vyrashchivanie vysokoproduktivnykh lesov* [Growing of High-Productive Forests]. Minsk, 1963, pp. 32–46.
18. George E., Seith B., Schaeffer C., Marschner H. Responses of *Picea*, *Pinus* and *Pseudotsuga* Roots to Heterogeneous Nutrient Distribution in Soil. *Tree Physiology*, 1997, pp. 39–45.
19. Plourde A., Krause C., Lord C. Spatial Distribution, Architecture, and Development of the Root System of *Pinus Banksiana* Lamb. in Natural and Planted Stands. *Forest Ecology and Management*, 2009, pp. 2143–2152.

Received on December 30, 2014