

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ ТОПОЛЯ НОВОБЕРЛИНСКОГО В ТЕХНОЗЕМАХ С РАЗНОЙ СТРАТИГРАФИЕЙ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОГО ЭДАФИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

О. М. Масюк

Дніпропетровський національний університет

ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ КОРНЕВОЇ СИСТЕМИ ТОПОЛІ НОВОБЕРЛІНСЬКОЇ В ТЕХНОЗЕМАХ З РІЗНОЮ СТРАТИГРАФІЄЮ В УМОВАХ ОБМЕЖЕНОГО ЕДАФІЧНОГО ПРОСТОРУ

Дослідження кореневої системи тополі новоберлінської в різних едафічних умовах дають підстави зробити висновок, що вони тонко реагують на стратиграфію та потужність відсіпки технозему. Маса коренів розподіляється по профілю едафотопу нерівномірно. Найбільш активно освоюється верхній 30-сантиметровий шар ґрунту. У горних породах, розташованих між ґрунтовою масою та шахтною породою, корені розвиваються краще в горизонтах з більш легким гранулометричним складом. На глибині 10–30 см у шахтній породі проходить нижня межа розповсюдження коренів. Участь активних коренів у загальній кореневій масі в зонах контакту двох субстратів з різним гранулометричним складом значно зростає в порівнянні із середніми частинами горизонтів.

Ключові слова: рекультивовані землі, тополя, кореневі системи, продуктивність.

A. N. Masyuk

Dnipropetrovsk National University

PECULIARITIES OF THE DISTRIBUTION OF A ROOT SYSTEM OF A POPLAR NOVOBERLINSKIY IN MANSOIL WITH DIFFERENT STRATIGRAPHY IN CASE OF THE LIMITED SPACE

While investigating the root system of poplar novoberlinskiy it was found that this system has strong reaction on a stratigraphy and a thickness of the mansoil. Distribution of the root system is not the same in different horizons. The mass of the root system in upper 30 cm of mansoil is the biggest. The bottom 10-20 cm of shaft soil is the limit of root distribution. Root system is much more active in case of the two substrates appearance, than in the middle of the horizons.

Key words: land reclamation, poplar, root systems, productivity.

Изучение роста и развития корневых систем древесных пород в различных условиях произрастания необходимо для комплексной оценки состояния древостоя, так как освоенное ими жизненное пространство, выраженное в архитектонике и количественной характеристике, является реакцией насаждения на лимитирующие факторы жизни растения, связанные с эдафотопом.

Изучением корневых систем древесных и кустарниковых пород в чистых и смешанных насаждениях природных и искусственных биогеоценозов в естественных условиях занимались многие исследователи (Рахтеенко, 1963; Колесников, 1974; Калинин, 1983; Белова, 1999). Однако поведение подземных органов растений в техноземах изучено недостаточно, исследования, как правило, были связаны с ранними стадиями становления древостоя (Травлев, 1988; Зверковский, 1988; Баранник, 1988; Масюк, 1989, 1990, 1991).

Целью наших исследований было определение параметров корневых систем тополя сорта новоберлинский и выявление характера распределения корней в зависимости от стратиграфии и мощности отсыпки технозема в условиях степной зоны Украины.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования были насаждения тополя новоберлинского, полученного от искусственного скрещивания тополя пирамидального с тополем лавролиственным

(*populus pyramidalis* × *populus laurifolia*) на Львовском селекционном пункте (оригинатор Н. С. Крупей).

Наблюдения за ростом и развитием 16-летних насаждений тополя новоберлинского проводились на постоянных пробных площадях, заложенных на пяти вариантах рекультивированных земель экспериментально-опытных участков лесной рекультивации Днепропетровского национального университета в Западном Донбассе. Конструкции эдафотопов были созданы в результате технического этапа рекультивации, когда на фитотоксичную шахтную породу (продукт угледобывающей промышленности), вынесенную на дневную поверхность в отвалы, отсыпалась почвенная масса чернозема обыкновенного и вскрышные горные породы в разной последовательности и мощности. Ниже приводится описание вариантов (стратиграфия сверху вниз), определяющих разные лесорастительные условия для изученных тополевых насаждений. Вариант 1–30 см – почвенная масса суглинистого чернозема обыкновенного (ПМЧО), вовлекались горизонты Н и Н_р, 50 см – красно-бурый суглинок (СГ), 80 см – древнеаллювиальные супесь (СП) и песок (П), глубже – шахтная порода (ШП); вариант 2–30 см – ПМЧО, 80 см – П, глубже – ШП; вариант 3–30 см – ПМЧО, 60 см – древнеаллювиальные СП, 60 см – глины (Г), глубже – ШП; вариант 4–40 см – ПМЧО, 30 см – красно-бурый СГ, 40 см – П, глубже – ШП; вариант 5–55 см – древнеаллювиальная СП, глубже – ШП.

Особенности строения корневых систем изучали методами бура, среза и монолитов (Красильников, 1960; Колесников, 1972; *Bohm*, 1979).

Количественный учет подземной части растений осуществлялся буровым методом и методом монолитов. Отбор образцов производили ручным буром с диаметром 78 мм через каждые 10 см на всю мощность эдафотопов, включая верхний слой шахтной породы до нижней границы проникновения корней с 10-кратной повторностью взятия образцов. Из извлеченного грунта выделялись корни путем отмывки с разделением их на фракции: тонкие – с диаметром менее 1 мм, полускелетные – от 1 до 2 мм и скелетные – свыше 2 мм. Этот метод позволил получить данные об объеме, массе, длине и поверхности подземных органов, об их распределении в различных слоях техноземов, определить насыщенность корнеобитаемого слоя корнями. Объем корней определялся ксилометрическим методом. Длина, боковая поверхность корней и корненасыщенность эдафотопов определялись расчетным методом. Параллельно отбирались монолиты размером 20×20 см на всю корнеобитаемую мощность.

Для изучения особенностей роста и распределения корневых систем использовался траншейный метод: вертикальный разрез через подземную часть растения с раскапыванием, описанием и зарисовкой обнаженных на стенке ямы (траншеи) подземных органов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Корневой системой тополя новоберлинского на первом варианте за 16 лет накоплено 17,46 т/га абсолютно сухой массы (*таблица*). Масса наиболее активных корней толщиной меньше 1 мм составила 15 % от общей корневой системы. Объем, занимаемый корнями, составил 70,3 м³/га, поверхность, отражающая площадь всасывающей поверхности корней, – 192630 м²/га, общая длина корней – 62029 км/га. Средняя корненасыщенность эдафотопов – 0,41 %.

Сопоставляя между собой подземные биогеогоризонты насаждения, можно заключить, что максимальное количество корней сосредоточено в верхней части эдафотопов. Это можно объяснить несколькими причинами; во-первых, корневая система тополя – поверхностного типа, и даже в естественных благоприятных для него условиях до 50 % подземной фитомассы развивается в верхнем 30–50-сантиметровом слое (Рахтеенко, 1952); во-вторых – благоприятными водными, температурными, физико-химическими свойствами черноземной массы и высоким содержанием гумусовых веществ.

В нижней части технозема зарегистрирована большая относительная продуктивность (в пересчете на единицу объема субстрата) корней по сравнению со средней ее частью и больший относительный объем корней. Это объясняется, с одной стороны, очень плотным сложением суглинистого горизонта и недостаточной его аэраци-

ей, с другой стороны, наличием в этом горизонте нескольких слоев разного гранулометрического состава, что позволяет накапливать дополнительные запасы влаги, в виде капиллярно-подвешенной и капиллярно-подпертой, в контактных зонах разных прослоев. В условиях лучшей влагообеспеченности формируется большее количество корней и изменяется соотношение между отдельными фракциями (*рисунок*).

Профильное изменение подземной фитомассы тополя новоберлинского в техноземах, т/га абсолютно сухой массы

Глубина, см	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5
0–10	2,97	6,47	6,87	4,29	7,60
10–20	3,54	3,87	5,99	3,35	2,53
20–30	3,25	3,73	7,22	2,81	4,50
30–40	0,96	3,50	6,80	1,76	0,40
40–50	0,75	1,21	1,78	1,28	1,86
50–60	0,42	1,19	1,49	0,63	0,38
60–70	0,42	0,34	1,11	0,96	0,21
70–80	0,19	0,21	1,82	0,98	
80–90	0,88	1,09	1,49	0,69	
90–100	1,03	0,50	0,57	0,48	
100–110	0,34	1,36	0,46	1,38	
110–120	0,50	0,23	1,15		
120–130	0,42	0,36	0,27		
130–140	0,38	0,25	0,73		
140–150	0,86				
150–160	0,36				
160–170	0,21				
всего	17,46	24,31	37,75	18,61	17,48

Освоение шахтной породы идет низкими темпами. Факторами, уменьшающими интенсивность роста и развития корней в ней, являются высокая плотность сложения грунта и высокие концентрации солей в почвенном растворе. Даже если влажность почвы соответствует полевой влагоемкости, всасывание воды корнями может почти полностью прекратиться, особенно отрицательно влияет наличие токсичных для молодых корней солей хлоридов и сульфатов (Калинин, 1991).

Кроме того, было определено соотношение между фракциями корней менее 1 мм и более 1 мм для всего эдафотопы. Было установлено, что в пределах контактных зон (между породами разного гранулометрического состава) до 23–44 % возрастает относительное участие фракции тонких корней по сравнению со средней частью слоя (8–16 %).

Корневой системой тополя новоберлинского на втором варианте накоплено 24,31 т/га абсолютно сухой массы. На массу активных корней (толщиной меньше 1 мм) приходится 24 % от общей подземной массы древостоя. Объем, занимаемый корнями, составил 83 м³/га, поверхность корней – 255790 м²/га, общая длина корней – 86239 км/га. Корненасыщенность эдафотопы – 0,59 %.

В ПМЧО сосредоточено 58 % всей массы корней древостоя, из которых основную часть составляют крупные скелетные корни. В этом горизонте корненасыщенность (по объему) в 3 раза больше, чем в песке, и в 17 раз больше, чем в шахтной породе. Верхняя часть эдафотопы является местом наиболее активного развития корневой системы с самым интенсивным круговоротом веществ и энергии. При снижении общей продуктивности корней в нижних горизонтах возрастает участие тонких корней от 18 % в черноземной массе до 29 % в песке и до 55 % в шахтной породе.

Горизонтальные скелетные и полускелетные корни максимально сконцентрированы в ПМЧО, частично входят в верхнюю часть песка. От них отходят вертикальные корни, которые осваивают песчаную толщу только в местах нахождения

включений и повышенного содержания влаги. Вертикальные корни проходят в верхний 10-сантиметровый слой шахтной породы, где не получают дальнейшего развития. В породе от них отходят тонкие корни, проникающие на глубину до 30 см. Они подвергаются сильному угнетению со стороны процессов, протекающих в шахтной породе.

Участие тонких корней в средних частях эдафических слоев колеблется от 15 % в подгоризонте темноокрашенного песка до 27 % в подгоризонте белого песка. Наибольшее содержание активных корней – в зонах перехода черноземной массы в песок (34 %) и белого песка в темный (до 70 %), а также в верхней части шахтной породы (65–67 %).

Корневой системой тополя новоберлинского на третьем варианте накоплено 37,75 т/га абсолютно сухой массы. На долю активных тонких корней приходится 19 % от общей корневой массы. Корневая система занимает объем 72 м³/га при поверхности 213420 м²/га и общей длине 70605 км/га. Средняя насыщенность эдафотопы корнями – 0,51 %.

Максимальная масса корней находилась в верхней части эдафотопы. Их количество превышало нижележащие горизонты в 1,4 (супесчаный) и 6,3 раза (глинистый). В нем формировались горизонтально расположенные скелетные корни, которые легко проходят в супесчаный слой. Вертикальные ответвления 2-го и 3-го порядков отходили от корней горизонтальной ориентации и заканчивались корневыми мочками, обволакивающими находящиеся в супеси глинистые включения. Корневые мочки образуют огромную всасывающую поверхность корней, которые выполняют основную функцию, связанную с поглощением воды и почвенного раствора. Продвижение корня в глинистом субстрате сопровождалось большими трудностями, связанными с тяжелым гранулометрическим составом и высокой плотностью сложения, отразившимися на фракционном и биометрическом состоянии корней. Так, в данном горизонте были в наличии только две фракции – диаметром 1–2 мм и менее 1 мм. Отмечается превосходство тонких корней по массе, объему, поверхности и длине над полускелетными корнями. Неблагоприятные условия проникновения корней, наблюдаемые в глинистом слое и подтвержденные самым низким процентом корненасыщенности (0,14), не позволили корневой системе тополя освоение шахтной породы.

Участие тонких корней в формировании подземной части древостоя возрастает по профилю сверху вниз от 11,8 % в черноземе до 20,7 % в супеси и до 55,5 % в глине. Причем в контактных зонах пород с разным гранулометрическим составом наблюдается увеличение доли тонких корней в 1,4–2,1 раза (местами в 4,9 раза).

Корневой системой тополя новоберлинского на четвертом варианте накоплено 18,61 т/га абсолютно сухой массы. На фракцию тонких корней приходится 30 % от общей массы корней. Объем, занимаемый корнями, составил 55,7 м³/га, при этом поверхность – 176300 м²/га, а общая длина – 57308 км/га. Корненасыщенность эдафотопы – 0,51 %.

Максимальное количество корневой массы, которая была представлена скелетными и полускелетными корнями горизонтальной ориентации, сконцентрировано в верхнем гумусовом горизонте. По всем биометрическим показателям корней он превосходит остальные горизонты эдафотопы. В тяжелосуглинистый слой проникали только вертикальные корни, отходящие от горизонтальных. В суглинистом горизонте корни сильно деформируются за счет очень высокой плотности сложения, плохой аэрации, сухости субстрата и тяжелого гранулометрического состава. Они имеют сильноугнетенный вид, уплощены, локализуются в местах включений (почвенной массе, песке) и трещинах в форме корневых мочек. Этим объясняется низкая продуктивность и корненасыщенность данного горизонта.

В песчаном слое происходит увеличение массы корней в 1,23 раза, их объема – в 2,1 раза (с колебанием по фракциям в 1,6–4,2 раза), боковой поверхности – в 2 раза, длины – в 1,8 раза и корненасыщенности – в 1,6 раза. Бедность субстрата компенсировало наличие в песке включений глин и суглинков, более рыхлое сложение и большие запасы продуктивной влаги.

В шахтной породе наличие корней незначительное, в основном корни мертвые, остальные маложизнеспособные, сильноугнетенные.

Участие тонких корней возрастает вниз по профилю от 23 % в верхнем слое до 34 % в среднем и до 50 % в нижнем. Имеет место увеличение доли тонких корней в зонах контактов черноземной массы и суглинка, суглинка и песка, песка и шахтной породы.

Корневой системой тополя новоберлинского на пятом варианте накоплено 17,49 т/га абсолютно сухой массы. Объем, занимаемый корнями, равен 21,6 м³/га, их боковая поверхность – 74970 м²/га, а длина – 26751 км/га. Общая корненасыщенность эдафотопы – 0,31 %. Скелетные и полускелетные корни составили 89 % от общей массы подземных органов.

Рассмотрев профильное распределение корней и их архитектуру, можно отметить, что в супесчаном субстрате максимальное количество корней сосредоточено в верхнем 30-сантиметровом слое и составляет 84 % от массы подземной части древостоя. Слой мощностью 30 см является наиболее насыщенным, что подтверждается не только показателями массы и объема, но и распределением основных скелетных корней по эдафотопу. Анализ соотношения крупных (с диаметром более 1 мм) и тонких корней (с диаметром менее 1 мм) позволил выделить два минимума для доли тонких корней на глубине 20–30 см и 40–50 см. Здесь участие их снижается до 4 % по сравнению с выше- и нижележащими 10-сантиметровыми прослоями (15–26–33 %). Это объясняется двухъярусностью корневой системы. В первый ярус входят скелетные и полускелетные корни, располагающиеся в слое 20–30 см, а отходящие от них тонкие корни осваивают близлежащее пространство. Второй ярус представлен полускелетными корнями (диаметром 1–2 мм), которые являются вертикальным продолжением скелетных корней, отходящих от корней горизонтальной ориентации верхнего яруса. Второй ярус размещается непосредственно над шахтной породой. Часть полускелетных корней (0,38 т/га) проникает в выветренную шахтную породу и осваивает ее тонкими корнями (0,21 т/га). Однако неблагоприятные физические и химические свойства шахтной породы отрицательно сказываются на росте и развитии корневой системы в ней, что подтверждается низкими биометрическими показателями корней, угнетенностью их внешнего вида и ранним отмиранием. Другая часть полускелетных корней располагается в горизонтальном направлении над шахтной породой, осваивая своими тонкими корнями верхний близлежащий слой супеси и верхний слой шахтной породы.

Исследуя корневую систему тополя новоберлинского в разных эдафических условиях, можно заключить, что она обладает высокой экологической пластичностью, т. е. способна изменять свое строение под влиянием факторов окружающей среды.

На всех вариантах корневая система была поверхностного типа, основная масса ее сформирована крупными скелетными придаточными корнями, располагающимися в верхнем 30-сантиметровом слое почво-грунта и тянущимися в горизонтальном направлении далеко за пределы проекции кроны дерева. Активная часть корневой системы в верхней части рекультивационного слоя представлена хорошо развитыми боковыми корнями второго, третьего и больших порядков, различного диаметра, растущих в самых разных направлениях и образующих густые переплетения. Наиболее тонкие корни (толщиной до 1 мм) составляют в верхнем слое около 15 % от общей массы корней в нем (10,5–22 %). Корненасыщенность верхнего слоя в 2–5 раз больше, чем во всей корнеобитающей толще.

В рекультивационный слой из горных пород, расположенный между черноземной массой и шахтной породой, проникают скелетные корни второго и третьего порядков, имеющие вертикальную ориентацию, и, как правило, в виде слабоветвящихся тяжелей, проникающие до границы с шахтной породой. Боковые тонкие корни, ответвляющиеся от вертикальных корней, изменяют свою форму и поведение в зависимости от гранулометрического состава грунта и его сложения.

В суглинках корней очень мало, они тонкие, уплощенные, развивающиеся в пространствах между структурными отдельностями субстрата, в трещинах и в ходах,

оставленных отмершими корнями и землероющими животными. Корненасыщенность суглинистых слоев самая низкая (им уступает только шахтная порода).

В супесях и песках корней больше, они имеют в поперечнике округлую форму, более мягкие, с обилием корневых волосков; эти корни, как правило, также имеют вертикальную ориентацию. Характерно, что вокруг включений (комков каолиновой глины, тяжелого суглинка, кусочков шахтной породы) в песчаных слоях тонкие корни образуют густые сплетения. Вероятно, включения являются в песке источником макро- и микрокомпонентов, которыми беден песчаный субстрат. Корненасыщенность песчаных и супесчаных слоев в 2 раза выше, чем суглинистых.

Итак, корневая система тополя разделяется на два яруса – верхний (до глубины 30–40 см) и нижний (до шахтной породы). Средняя продуктивность верхнего яруса в 4 раза превышает продуктивность нижнего.

Нижний ярус может разделяться в зависимости от стратиграфии на два – три биогеогеографических горизонта. Хотя корненасыщенность и подземная продуктивность древостоя в горных породах значительно ниже, но благодаря большой мощности этого слоя (80–130 см) здесь накапливается значительная часть корневой массы (от 34 до 47 %), а по боковой поверхности корни нижнего яруса немного превосходят корни верхнего яруса (на 4–10 %), за исключением одного варианта. В песчаных и супесчаных слоях корневая поверхность в 1,5–3 раза больше, чем в суглинистых и глинистых.

Жизненный объем корневой системы не превышает 0,5–1,6 м в глубину, так как на этом уровне проходит граница шахтной породы, обладающая фитотоксичными свойствами. В верхней ее части (2,5 см) заканчиваются ветвления вертикальных корней, залегающих в вышележащем слое. Очень редко вертикальные скелетные корни проникают в шахтную породу глубже, чем на 30 см. Однако основная часть тонких корней здесь имеет угнетенный вид и быстро отмирает.

Проследив соотношение фракции тонких корней к общей корневой массе через каждые 10 см почво-грунта, выявлена общая закономерность для корневой системы тополя: в зонах контакта двух слоев разного гранулометрического состава (черноземная масса – песок, суглинок – песок, супесь – глина) доля тонких корней возрастает в 2,5–6,2 раза по сравнению с вышележащими и нижележащими субстратами.

ВЫВОДЫ

1. Корневая система тополя новоберлинского обладает высокой пластичностью, то есть способна тонко реагировать на изменения окружающей среды. В эдафотопках со слоистой искусственно создаваемой стратиграфией биогеоценотические горизонты выделяются в пределах каждого рекультивационного слоя, так как в каждом из них (в виду различия состава и свойств) складывается свое, только ему присущее биокосное взаимодействие.

2. Масса корней распределяется по профилю эдафотопки неравномерно. Наиболее активно осваивается верхний 30-сантиметровый слой почво-грунта, где сосредоточено более 50 % всех корней, что характерно как для суглинистой черноземной массы, так и для горных пород.

3. В условиях Западного Донбасса шахтная порода обладает фитотоксичными свойствами (высокая плотность сложения, повышенное содержание солей, низкие показатели кислотности) и оказывает угнетающее действие на корни, проникающие в нее. На 10–30-сантиметровой глубине в шахтной породе проходит нижняя граница распространения корней.

4. Высокая плотность грунта, образующаяся в результате некачественно проведенного технического этапа рекультивации, является лимитирующим фактором в многоструктурных эдафотопках для роста и развития корневой системы древесных растений.

5. Горные породы легкого гранулометрического состава (пески, супеси) более пригодны для освоения корневыми системами тополя благодаря лучшим показателям физических свойств, а наличие глинистых включений в породе является дополнительным источником питания для древостоя.

6. Участие активных корней (диаметром менее 1 мм) в общей корневой массе в зонах контакта двух субстратов с разным гранулометрическим составом значительно возрастает по сравнению со средними частями слоев за счет накопления дополнительных запасов влаги, представленных капиллярно-подвешенной и капиллярно-подпертыми формами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Баранник Л. П.** Биоэкологические принципы лесной рекультивации. – Новосибирск: Наука, 1988. – 88 с.
- Белова Н. А.** Естественные леса и степные почвы (экология, микроморфология, генезис) / Н. А. Белова, А. П. Травлеев. – Д.: ДГУ, 1999. – 348 с.
- Зверковский В. Н.** Особенности развития корневых систем древесных пород в условиях различной стратиграфии искусственных почво-грунтов рекультивируемых шахтных отвалов Западного Донбасса // Мониторинговые исследования лесных экосистем степной зоны, их охрана и рациональное использование. Межвуз. сб. – Д.: ДГУ, 1988. – С. 129-137.
- Калинин М. И.** Формирование корневых систем деревьев. – М.: Лесн. пром-сть, 1983. – 151 с.
- Колесников В. А.** Методы изучения корневой системы древесных растений. – М.: Лесн. пром-сть, 1972. – 152 с.
- Красильников П. К.** Методика изучения подземных органов деревьев, кустарников и лесных сообществ при полевых геоботанических исследованиях // Полевая геоботаника. – М.: Л.: АН СССР, 1960. – С. 448-473.
- Масюк А. Н.** Тополь черный как пионерная культура при освоении рекультивированных земель в Западном Донбассе // Экологические аспекты охраны и рационального использования биологических ресурсов. – Д.: ДГУ, 1989. – С. 33-40.
- Масюк А. Н.** Структурно-функциональная организация насаждений облепихи крушиновидной // Антропогенные воздействия на лесные экосистемы степной зоны. – Д.: ДГУ, 1990. – С. 101-112.
- Масюк А. Н.** Особенности накопления энергии и зольных веществ в биогеогоризонтах тополя новоберлинского на рекультивированных землях // Кадастровые исследования степных биогеоценозов Присамарья Днепропетровского, их антропогенная динамика и охрана. – Д.: ДГУ, 1991. – С. 147-156.
- Рахтеенко И. Н.** Корневые системы древесных и кустарниковых растений. – Минск: Изд-во АН БССР, 1963. – 138 с.
- Травлеев А. П.** Биогеоценологический покров Западного Донбасса, его техногенная динамика и оптимизация / А. П. Травлеев, В. А. Овчинников, В. Н. Зверковский и др. – Д., 1988. – 72 с.
- Bohm W.** Methods of studying root systems. – Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 1979. – 188 p.

Надійшла до редколегії 15.05.08