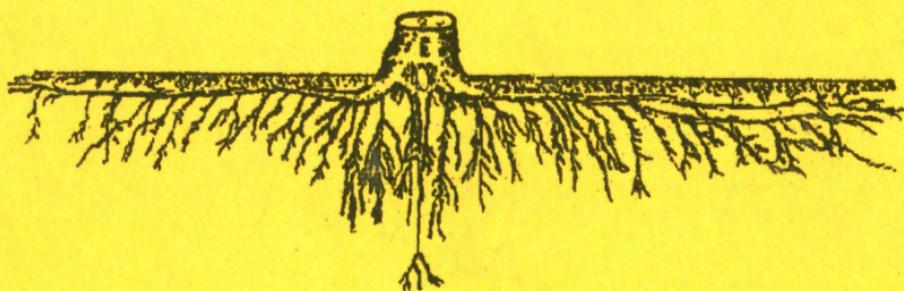


**В.А. Рожков, И.В. Кузнецова,  
Х.Р. Рахматуллоев**

**МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ  
КОРНЕВЫХ СИСТЕМ РАСТЕНИЙ  
В ПОЛЕ И ЛАБОРАТОРИИ**



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК  
ПОЧВЕННЫЙ ИНСТИТУТ ИМ. В. В. ДОКУЧАЕВА

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ЛЕСА»

В. А. Рожков, И. В. Кузнецова, Х. Р. Рахматуллоев

## МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ КОРНЕВЫХ СИСТЕМ РАСТЕНИЙ В ПОЛЕ И ЛАБОРАТОРИИ

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом  
университета в качестве учебно-методического пособия  
для студентов специальностей 250201 Лесное хозяйство,  
250203 Садово-парковое и ландшафтное строительство

2-е издание, исправленное и дополненное



Москва

Издательство Московского государственного университета леса  
2008

*Разработано в соответствии с Государственным образовательным стандартом ВПО 2000 г. на основе примерной программы дисциплины «Почвоведение»*

Рецензент: кандидат сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства и подсочки леса В. Д. Ломов

Работа подготовлена совместно с сотрудниками Почвенного института имени В. В. Докучаева РАСХН и на кафедре почвоведения МГУЛ

**Рожков, В. А.**

Р63 Методы изучения корневых систем растений в поле и лаборатории : учеб.-методич. пособие / В. А. Рожков, И. В. Кузнецова, Х. Р. Рахматуллоев. – 2-е изд. – М. : ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. – 51 с.

В новом дополненном и исправленном издании учебно-методического пособия обобщены распространенные методы изучения корневых систем древесных, кустарниковых и травянистых растений в поле и лаборатории. Пособие предназначено для студентов и аспирантов МГУЛ, а также может быть полезным для студентов и аспирантов сельскохозяйственных вузов и специалистов в области почвоведения, лесоводства, земледелия, мелиорации и физиологии растений.

УДК 581.14

© В. А. Рожков, И. В. Кузнецова,  
Х. Р. Рахматуллоев, 2004  
© ГОУ ВПО МГУЛ, 2008

## Введение

Цели и задачи изучения подземных органов растений при стационарных исследованиях могут быть весьма разнообразны. Изучение корневых систем растений и растительных сообществ является не только важным дополнением, но часто и необходимой частью исследований при решении многих теоретических и практических задач.

В почвоведении исследования корневых систем растений и растительных сообществ проводятся при изучении современных почвообразовательных процессов и режимов (влияния подземных частей растений на накопление органического вещества, на распределение и миграцию солей, на распределение влаги, на структуру и сложение почвы и т.д.), при изучении биологического круговорота элементов, а также при изучении зависимости развития корневых систем растений от особенностей свойств почвы (гранулометрического состава, плотности, влажности, состава и количества питательных веществ, скоплений извести и гипса, физико-технологических свойств почвы).

В агрономии изучение корневых систем растений используется для теоретического обоснования различных агротехнических мероприятий (определения оптимальной глубины и способов обработки почвы, глубины заделки и качества удобрений), установления наиболее рационального чередования культур в севооборотах и т.д.

В лесоводстве изучение корневых систем древесных и кустарниковых пород необходимо как при оценке лесорастительных свойств почв, так и при исследовании влияния свойств и режимов почв на развитие древесных и кустарниковых пород, при создании защитного лесоразведения, при решении вопросов о смешанных посадках древесных культур в искусственных насаждениях, при выборе вида и способа ухода за культурами и т.д.

В мелиорации изучение корневых систем представляет интерес при разработке и оценке химических и биологических приемов мелиорации почв.

В настоящее время в связи с глобальным потеплением климата важным аспектом является оценка доли корневых систем как одного из слабеющих компонентов в углеродном балансе биосферы.

В учебно-методическом пособии рассматриваются наиболее распространенные полевые и лабораторные методы изучения корневых систем растений в естественных условиях произрастания и культурных посевах и посадках. В настоящее время многие методы, которыми работают исследователи, являются модификациями или вариантами ранее разработанных методов (Ротмистрова В.Г., 1909; Модестова А.П., 1915, 1932; Качинского Н.А., 1925, 1931; Мюнца и Жерара, 1891; Уивера, 1919, 1920 и других).

Выбор метода исследования корневых систем или его модификаций зависит от задачи исследования и технических возможностей.

Методы изучения корневых систем растений в полевых условиях можно разделить на качественные или морфологические и методы количественного учета. На практике обычно применяют сочетание качественных и количественных методов изучения корневых систем растений.

При изучении корневых систем травянистых растений и древесных пород часто пользуются одними и теми же методами, иногда с небольшими изменениями.

## 1. МОРФОЛОГИЯ КОРНЯ: ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

**Корень** – один из основных органов растений семенных и высших споровых растений (кроме мхов), служащий для прикрепления к субстрату и поглощения из него воды и питательных (минеральных и органических) веществ и транспортировки их к другим частям растений. Кроме того, корень является органом первичного превращения ряда поглощаемых минеральных веществ и синтеза органических соединений (аминокислот, алкалоидов и др.), используемых другими частями растений. Корневые системы растений выделяют в окружающую среду (ризосферу) сахар, органические кислоты, соли фосфора, калия и других элементов.

Корни растений существенно отличаются по происхождению, характеру ветвления, форме, длине и, в зависимости от среды обитания растений, приобретают целый ряд специфических морфологических и физиологических особенностей. В зависимости от происхождения различают главный корень, боковые, придаточные корни и т.д.

**Главный или стержневой корень** образуется из зародыша семени. Основная его функция механическая (якорная) и функция проведения воды и питательных веществ в растение. При описании отмечается максимальная глубина его проникновения в почву, диаметр корня и его изменение с глубиной, форма корня, цвет.

**Боковые корни 1-го порядка** образуются при ветвлении главного корня, боковые корни 2-го порядка образуются при ветвлении корней 1-го порядка и т.д. Боковые корни выполняют функцию проведения воды и минеральных веществ, а также якорную (механическую) функцию. Высший порядок ветвления у большинства древесных пород не превышает шестого, но некоторые породы (ель, береза) могут образовывать ответвления седьмого-восьмого порядков.

**Придаточные корни** образуются из любых органов растений: стеблей, корневищ, листьев, клубней (только не от главного корня). Они несут обычно те же функции, что и другие корни.

**Корневой чехлик** – многослойный покров в виде колпачка образуется на конце корня, защищает его от механических повреждений при внедрении его в субстрат и является органом геотропической ориентации. Длина корневого чехлика 1–2 см. Визуально выделяется желтоватым цветом.

**Сосущие или деятельные корни** – это корни толщиной <0,5 (1) мм, длина которых не превышает нескольких миллиметров. Они являются периодически обновляющейся частью корневой системы, служащей для поглощения питательных веществ и воды. Отмирающие сосущие корни обогащают почву органическим веществом. Концентрируемые в них органические и минеральные вещества сравнительно быстро поступают в почву.

**Корневая шейка** – зона перехода от корня к стеблю, отделяющая у растений подсемядольное колено от главного корня.

**Корневые волоски** – выросты клеток поверхностной ткани молодого корня растения. Длина корневых волосков от 0,05 до 10 мм, чаще всего 0,15–2,0 мм, диаметр их 10–15 мкм. Корневые волоски поглощают из почвы воду и растворенные минеральные вещества, значительно увеличивая (иногда в 5–20 раз) всасывающую поверхность корня. Выделяют продукты обмена. Продолжительность жизни корневых волосков – несколько дней, иногда до 10–20 дней.

**Корневая мочка** – совокупность конечных разветвлений мелких проводящих корней с расположенными на них сосущими корневыми окончаниями.

**Метаморфоз у растений** – видоизменение основных органов (корня, стебля, листьев, цветов) в связи с изменением функций.

**Подземные части растений** – корни, корневища, клубни, луковицы и клубнелуковицы, обеспечивающие вегетативное размножение растений и являющиеся местами запаса питательных веществ, необходимых для нормального развития растений.

**Корневище** – подземный побег многолетних растений с утолщенным стеблем, несущий остатки отмерших листьев или специальные чешуевидные листья, почки и придаточные корни. Служит для отложения запасов питательных веществ, перенесения неблагоприятного периода, для вегетативного размножения. Корневище часто плагиотропно (растет под углом к направлению силы тяжести).

**Клубень**–видоизмененный побег растения с утолщенным стеблем и недоразвитыми листьями. В клубнях откладываются главным образом крахмал и другие углеводы. Может служить для вегетативного размножения.

**Луковица** – видоизмененный подземный или надземный побег растений, состоящий из недоразвитого (с укороченными междоузлиями) стебля дисковидной формы – донца и многочисленных тесно сближенных листьев – луковичных чешуй.

**Клубнелуковица** – подземный побег растений, похожий на луковицу, но по строению более близок к клубню.

**Микориза** – грибокорень – взаимовыгодное сожительство (симбиоз) мицелия грибов с корнями высшего растения.

**Клубеньковые бактерии** – род бактерий, образующих на корнях многих бобовых растений клубеньки, фиксирующие молекулярный азот воздуха в условиях симбиоза с растением. Обогащает почву азотом.

**Пластичность корневой системы** – способность корневой системы изменять свое строение под влиянием факторов окружающей среды.

**Регенерация корней** – восстановление массы, длины, поверхности после повреждения определенной их части. Это одна из особенностей корневых систем всех растений, обеспечивающих их высокую биологическую устойчивость.

**Срастание (смыкание) корней** – встречается чаще всего при густом стоянии. У древесных пород чаще всего срастаются корни диаметром 1–2 см.

**Геотропизм** – ростовые движения органов растений под влиянием силы земного притяжения. Геотропизм обуславливает вертикальное направление осевых органов - главного стебля вверх (отрицательный геотропизм) и главного корня вниз (положительный геотропизм).

**Мертвый покров** – слой остатков отмерших растений на поверхности почвы, на лугу, в степи. Мощность его бывает от долей сантиметров до 3см, иногда и больше.

**Дернина** – поверхностный слой почвы, переплетенный живыми и мертвыми корнями, побегами и корневищами многолетних трав. Наиболее развит в степи и на лугу.

**Аллелопатия** – влияние растений друг на друга в результате выделения ими различных веществ.

**Ризоиды** – нитевидные образования у мхов, папоротников, лишайников, некоторых водорослей и грибов.

**Ризосфера** – прилегающий к корням растений слой почвы (2–3 мм) с повышенным содержанием микроорганизмов. Микробы переводят трудно усвояемые растениями соединения в легкоусвояемые, вступают в симбиоз с растением (клубеньковые бактерии, микориза).

**Площадь питания растения** (дерева) выражается площадью проекции горизонтальных корней на поверхности почвы.

В каждом корне выделяются три зоны: **зона роста или растяжения**, расположенная за корневым чехликом, **зона всасывания или зона корневых волосков и зона боковых корней**. Длина зоны роста не превышает 15 мм, чаще 1,2–10 мм. Зона корневых волосков или зона всасывания характеризуется наличием на корнях корневых волосков. Длина зоны всасывания 1–2, см. За зоной всасывания идет зона полупроводящих и проводящих (боковых) корней. Всасывающие корни обычно белого цвета; проводящие - потемневшие, коричневые; наиболее старые, иногда отмирающие – черные.

Помимо классификации корней по функциональным признакам выделяют корни по морфологическим признакам - диаметру и глубине залегания корней. Тонкие корни древесных пород имеют диаметр меньше 1 (2) мм; диаметр полускелетных - 2,1-3 (4) мм; скелетных - больше 4,0 мм. По глубине проникновения корневых систем древесные породы делятся на следующие группы: породы с поверхностным (<60 см) укоренением; с неглубоким (60-150 см) проникновением в почву; среднеглубоким (151-300 см); глубоким (301-500 см) и очень глубоким (>500 см). Корни древесных растений могут углубляться до 10-12 м, но обычно до глубины 3-5 м.

Корневые системы культурных травянистых растений, как например, у хлебных злаков - ржи, пшеницы, овса проникают на глубину 100-150 см, у кукурузы до 150 см, у молодой люцерны в первый год жизни - на 2-3 м, у более старых растений люцерны могут достигать 10 м.

**Корневая система** - это совокупность всех корней одного растения. Соотношение в росте главного и боковых корней определяют форму и характер корневой системы. Выделяют три основных типа корневых систем: стержневую или главного корня при преобладающем росте главного корня; мочковатую - при сильном разветвлении боковых корней и слабом росте главного корня; смешанную - при одинаковом развитии главного и боковых корней. Ряд авторов дополнительно выделяет четвертый тип-тип якорных корневых систем.

У взрослых древесных растений диаметр распространения корневой системы обычно в несколько раз превышает диаметр кроны, достигая 10-18 м. Диаметр площади, занятый корневой системой одного растения, достигает у хлебных злаков 40-60 см, у кукурузы - 2-2,5 м, у тыквы - 6-8 м.

В зоне недостаточного увлажнения проявляется ярусность в расположении корней различных видов растений, произрастающих совместно на одной почве.

Развитие корневых систем зависит от среды обитания. В северной лесной зоне на подзолистых почвах, плохо аэрируемых, с высокой плотностью иллювиальных горизонтов, корневая система растений на 90 - 95 % сосредоточена в самых поверхностных слоях (10-15 см). На менее увлажненных серых лесных почвах лесостепной зоны, черноземах и каштановых почвах степной зоны корневые системы проникают глубже. На темнокаштановых почвах у хлебных злаков около 60 % корней сосредоточено в верхнем слое глубиной 15-20 см, 40 % уходит в более глубокие слои. На засоленных почвах с повышенным содержанием солей корневая система расположена близко к поверхности почвы. В зоне полупустыни и пустынь у одних растений имеются исключительно поверхностные корни, у других растений корни проникают глубоко и достигают грунтовые воды (у верблюжьей колючки до 18-28 м), у третьих-имеют корневую систему универсального типа.

## 2. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Подготовительные работы начинаются с выбора участка и объектов исследования.

Площадка для исследования целинных объектов как древесных, так и травянистых растений должна быть репрезентативной в отношении почвы, а также густоты и видового состава растительности. Для изучения корневых систем выбираются растения со среднеразвитыми надземными частями, находящимися в преобладающей на участке в данное время фазе вегетации.

В начале работ проводится общее описание выбранного участка и состава растительности – травостоя и древостоя на нем. На целинных участках одновременно производится взятие проб для учета массы надземных частей растений: травянистые растения срезаются, разбирается по видам, высушиваются и взвешиваются. Кустарники спиливаются у самой поверхности почвы. Кроме того, определяется мощность, характер и строение мертвого покрова на площадке.

Изучение подземных органов деревьев, кустарников и лесных сообществ должно проводиться на пробных площадях в наиболее характерных для изучаемого района типах леса. При необходимости для всех типов леса выбирают участки разного возраста и участки с разной интенсивностью выпаса скота. При изучении подземных органов в лесных сообществах на намеченных пробных площадках проводят таксацию древостоя (сплошной пересчет древостоя со взятием модельных деревьев). В качестве модельных выбирают средние деревья господствующих пород и средние экземпляры всех видов кустарников, встречающихся в данном растительном сообществе. Обычно отбирают среднее (типичное) дерево, которое наиболее полно отражает характер насаждения в целом. Наиболее желательный вариант заключается в отборе трех моделей, характеризующих деревья трех групп роста – лучшее, среднее и отстающее.

Дается подробная таксономическая характеристика объектов: возраст, семенное или порослевое происхождение, высота, диаметр ствола на высоте 130 см, бонитет, развитие кроны, высота ее от почвы и т.д. Затем около этих деревьев или кустарников намечаются участки для раскопок и взятия образцов почвы для количественного учета подземных органов.

После этого на миллиметровой бумаге составляется план в масштабе 1: 10, 1: 20. На план наносят изучаемые деревья и кустарники, проекции их крон, а также стволы близстоящих деревьев и кустарников с проекциями их крон. В условиях ровного местоположения траншея закладывается с севера на юг; если площадка закладывается на склоне, то траншея располагается вниз по склону. Отмечается направление склона и положение стран

света, а также место, где будут проводится раскопки, и место взятия монолитов.

При изучении корневых систем культурных растений, если целью исследования не являются взаимоотношения между культурными растениями и сорняками, следует выбирать участки, свободные от сорняков. В посевах сельскохозяйственных культур при выборе пробных площадок необходимо учитывать характер размещения растений на поверхности и ширину междурядий.

В хозяйственных посевах отчуждаемая с урожаем часть сельскохозяйственных культур учитывается на пробных площадках. На опытных делянках в зависимости от ее размера отчуждаемая часть урожая определяется или методом сплошного учета или на пробных площадках, как в хозяйственных посевах. Линейные размеры учетной площади должны соответствовать или быть кратны ширине междурядий. Размер пробных площадок для учета урожая сельскохозяйственных культур в сплошных посевах злаковых культур и многолетних трав при ширине междурядий 15 см обычно составляет 90×90 см или 150×150 см; в полях пропашных культур стороны площадок должны соответствовать 2-3-5 - кратной ширине междурядий. При этом яровые зерновые срезаются на высоте 15 см, озимые — 18 см, многолетние травы — 5 см от поверхности почвы. Количество пробных площадок зависит от пестроты почвенного покрова и однородности состояния растений в посевах, но не должно быть меньше трех. В урожае отдельно учитывается зерно, клубни, корнеплоды, початки кукурузы и корзины подсолнуха, солома, сено, используемые на силос части ботвы, листьев и т.д. На этих же площадках определяется надземная масса растений, остающаяся на поверхности почвы после уборки урожая. В случае сплошного учета урожая на мелких делянках площадь для учета поверхностных остатков зерновых и трав составляет 1–1,5 м<sup>2</sup>, а площадь учета крупных остатков пропашных и овощных культур, остающаяся на поверхности после уборки урожая, увеличивается до размеров порядка 25–100 м<sup>2</sup> и больше. В случае машинной уборки урожая проводится дополнительный учет поверхностных остатков и вносятся соответствующие поправки в результаты определений биомассы растений, полученные на пробных площадках.

При изучении биологического круговорота азота и зольных элементов необходимо отдельно определять надземную массу, остающуюся на поверхности после уборки урожая, и массу корней растений. Подробное описание выбора пробных площадок в зависимости от типов растительного покрова можно найти в работах Н.П. Ремезова, Л.Е. Родина и Н.И. Базилиевича (1963).

Изучение корней сельскохозяйственных растений в отличие от изучения их надземной массы проводится не в период уборки урожая, а во время цветения, когда корневые системы достигают наивысшего развития.

Для кустарниковых и древесных пород оптимальные сроки проведения раскопок корневых систем определяются влажностью почвы, которая должна находиться в пределах 70–80 % от наименьшей влагоемкости почвы.

Все работы по изучению корневых систем сопровождаются морфологическим описанием профиля почвы, взятием почвенных образцов для определения химических и физических свойств почв в лаборатории, изучением физических свойств почв в поле и определением влажности.

### **3. КАЧЕСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ СТРОЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ОРГАНОВ РАСТЕНИЙ**

Для морфологического изучения строения корневых систем применяется горизонтальная и вертикальная раскопки корней.

#### **3.1 Метод полной раскопки**

Сущность метода заключается в исследовании всей корневой системы путем фиксирования ее положения в пространстве при постепенном освобождении от почвы, зарисовывания освобождаемых частей и в подробном описании характера корневой системы. Пользуясь этим методом, можно получить представление о морфологии основного скелета корневой системы, характере ветвления и распределения корней в зависимости от строения почвенного профиля, радиусе, диаметре, глубине распространения корневой системы, об объеме корней и величине их поверхности, а при раскопке корневых систем растений разных видов о взаиморасположении их корневых систем. Главным недостатком метода является его большая трудоемкость.

Наиболее широко метод полной раскопки применяется при изучении подземных органов плодовых деревьев, всходов и молодых экземпляров деревьев и кустарников. Широко пользуются им и при изучении подземных органов растений, произрастающих на супесчаных и песчаных почвах и болотах.

Полное извлечение корневой системы взрослого дерева чрезвычайно сложно и трудоемко, поскольку его корни занимают значительный объем почвы. Так, корневая система сосны первого класса бонитета занимает 240–360 м<sup>3</sup> почвы.

Для раскопки взрослых деревьев с мощной корневой системой можно использовать метод, предложенный Н.П. Ремезовым. Вокруг пня срубленного модельного дерева размещается площадка, размер которой равен площади питания среднего дерева, условно равный площади проекции его

кроны. Площадку делают в форме квадрата. Вокруг нее роют траншею шириной 0,5 м и глубиной 1–1,5 м. Обнажившуюся в траншее почву делят на генетические горизонты и выбирают корни из образовавшегося монолита. Потом из ямы извлекают пень. Крупные корни очищают от почвы, промывают в проточной воде, сушат и взвешивают. Массу пня определяют отдельно.

В последнее время находят применение различные модификации метода полной раскопки, значительно сокращающие трудоемкость работ.

### **3.2 Модификация метода полной раскопки по Н.А. Качинскому**

Наиболее удачной модификацией метода полной раскопки кустарниковых и древесных пород является модификация, использованная Н.А. Качинским, при которой выделяются не все подземные органы растения, а часть подземных органов в отдельных секторах почвы (половине, четверти), но так же путем постепенного освобождения корней от почвы на полную глубину их проникновения (Качинский Н.А., 1952; Колесников В.А., 1952; Кузнецова И.В., 1966, 1984). В результате такой раскопки полностью обнажается половина (или четверть) корневой системы исследуемого растения, которая проектируется на вертикальной стенке, проходящей через центр растения.

Теоретическим обоснованием метода является положение о том, что данные по исследованию части корневой системы могут быть перенесены на всю корневую систему дерева.

В приложении № 1 приводятся описание, фотографии и рисунки корневых систем дубков и ясеня 4–7-и летнего возраста, вяза мелколистного, клена ясенелистного и разных кустарников на почвах светлокаштанового комплекса. Раскопки корневых систем выполнены методом полной раскопки в модификации Н.А. Качинского.

#### ***3.2.1 Горизонтальная раскопка корневых систем***

Начинается раскопка с изучения корней горизонтального направления, расположенных по одну из сторон исследуемого объекта.

Горизонтальная раскопка дает представление о горизонтальном простирании и диаметре корневых систем растений, характере и энергии вегетативного размножения, о специфике сосущей части корневой системы в поверхностном слое почвы, о конкурентной мощи отдельных растений. Она важна для познания структуры дернового горизонта, его мощности и прочности в связи с явлениями эрозии. Применяется при изучении корневых систем как отдельных растений, так и растительных сообществ.

В начале с помощью саперной лопатки удаляется часть почвы с поверхности до обнаружения сетки корней. В дальнейшем работа проводится с помощью отвертки, стамески, ножа, шила или пинцета. Для более детальных работ можно применять препарировальные иглы, кисточки и щетки. Раскопка начинается от корневой шейки растения к периферии. В начале с поверхности удаляют мертвый покров (подстилку). Снимают ее до начала слоя залегания корней или корневищ, очищают их от приставших к ним частиц. Переходя к почве, освобождают от нее все, даже наиболее тонкие корни, вплоть до корневых окончаний, а так же подземные органы стеблевого происхождения. Ширина раскопки соответствует радиусу распространения горизонтальных корней, длина – диаметру их распространения (рис. 1).

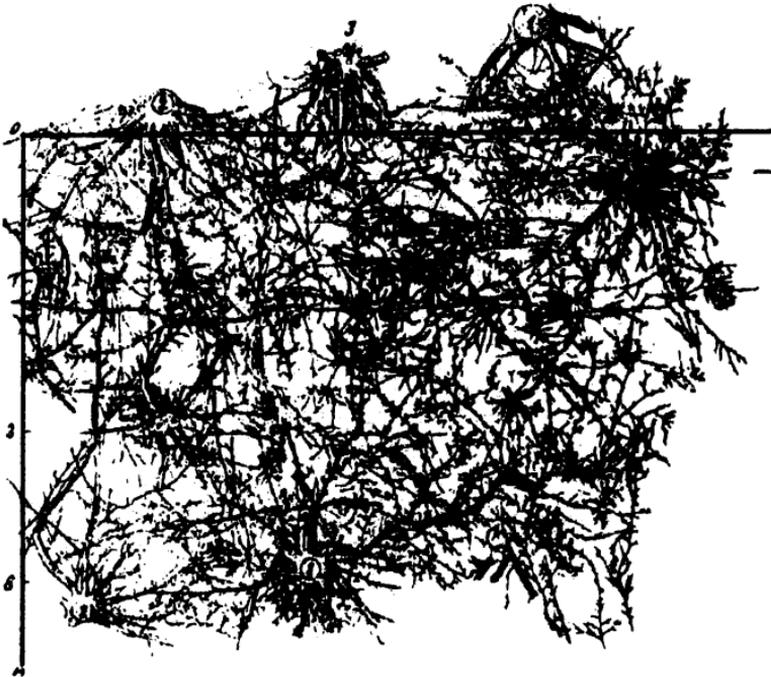


Рис.1. Горизонтальная проекция корневых систем древесных и кустарниковых пород до глубины 15–20 см. Метод полной раскопки: 1 - дуб; 2 –ясень; 3 – клен татарский; 4 – берест ( по Карандиной, 1952).

Корневые системы травянистых растений вскрываются со всей площади их распространения. Для этого достаточна прямоугольная площадка размером 50×30 или 100×60 см. После препарирования корней на глубину

10 см производится зарисовка и фотографирование корней в горизонтальной проекции. В необходимых случаях может быть рекомендована последовательная зарисовка горизонтальных корней на нескольких глубинах (например, 5, 10, 20, 30 см). О способах зарисовки см. раздел 3.4.

### ***3.2.2 Вертикальная раскопка корневых систем***

По окончании изучения строения горизонтальных корней переходят к изучению корней вертикальных. Освобожденные от земли корни специальными шпильками из тонкой проволоки прикрепляются к вертикальной стенке траншеи, проходящей через стержневой корень, с точным сохранением угла их отхождения от ствола. При раскопке пользуются теми же инструментами, как и при методе горизонтальной раскопки. Глубина раскопки, как правило, бывает на 15–20 см больше глубины проникновения корней в почву.

В отдельных случаях, при тяжелом гранулометрическом составе и пересушенности почвы, для облегчения выделения корней раскопку можно проводить после определения водопроницаемости почв методом рам или смачивая раскапываемую поверхность небольшим количеством воды.

Для откопки корневых систем в условиях полупустыни иногда используется метод увлажненных скважин. Почвы около намеченного к раскопке растения увлажняется через пробуренные буром скважины. Скважины располагаются в 20–40 см от корневой шейки и друг от друга так, чтобы границы смачивания соседних скважин смыкались.

После окончания раскопки производят подробное описание и измерение длины и диаметра корней с помощью рулетки или линейки и штангенциркуля. Затем производится зарисовка и фотографирование корней в вертикальной проекции.

На противоположной стороне изучаемого растения определяется количественное содержание корней на разных глубинах.

### **3.3 Траншейный метод**

Этот метод пригоден для изучения морфологических особенностей роста и развития корневой системы отдельных видов как травянистых, так и древесных растений, взаимоотношений между компонентами растительного сообщества и специфики расположения корней в почвенных горизонтах. Траншею располагают таким образом, чтобы её рабочая стенка проходила на расстоянии 10–15 см от ствола или центра куста растений.

Траншея имеет вид обычного почвенного разреза. Она должна быть прямоугольной с вертикальными стенками. Землю из ямы следует выбрасывать на одну сторону, противоположную передней (рабочей) стенке.

Длина траншеи зависит от размеров объекта и цели исследования : для травянистых растений обычно 1,5–2,0 м, для кустарников и деревьев до нескольких метров. В лесополосе длина траншеи должна быть не менее расстояния между двумя стволами в рядке. Траншеи располагаются вдоль и поперек полос. В горной местности траншеи располагаются вниз по склону, на равнине – передняя стенка траншеи ориентируется на солнечную сторону. Ширина траншеи должна быть порядка одного метра. Глубина траншеи, как правило, превышает на 15–20 см глубину проникновения корней в почву.

Основная стенка ямы, проходящая вблизи растений подлежащих изучению, должна быть вертикальной и гладкой. После выкопки траншеи приступают к препарированию корней. При помощи отвертки, пинцета, препарировальных иголок и жесткой кисточки осторожно очищаются от почвы выходящие на стенку ямы подземные органы. Как правило, корни растений очищаются способом сухой раскопки. Если на стенке ямы почва суха и тверда, то её можно смочить водой.

Корни освобождаются на глубину 10–15 см в направлении перпендикулярном к стенке траншеи. При более подробных исследованиях проводится вторичное углубление траншеи до плоскости, проходящей через центр ствола. В результате такой раскопки обнажается значительная часть корневой системы. Препарирование корней сопровождается подробным описанием почвенного профиля и корневых систем и заканчивается их зарисовкой и фотографированием (рис. 2 и 3).

Помимо указанного выше сухого способа раскопки корней, препарирование подземных органов растений, особенно на почвах легкого гранулометрического состава можно производить при помощи водяной струи. Наиболее удобно для этой цели использовать различные садовые опрыскиватели. При этом способе отмывки корневая система освобождается большей частью целиком. В случае отмывки корней водой дно ямы делают несколько наклонным в сторону противоположную от рабочей стенки.

Для древесных культур раскопка корней траншейным методом, также как и методом полной раскопки, проводится, как правило, совместно с методом горизонтальной раскопки, который им предшествует.

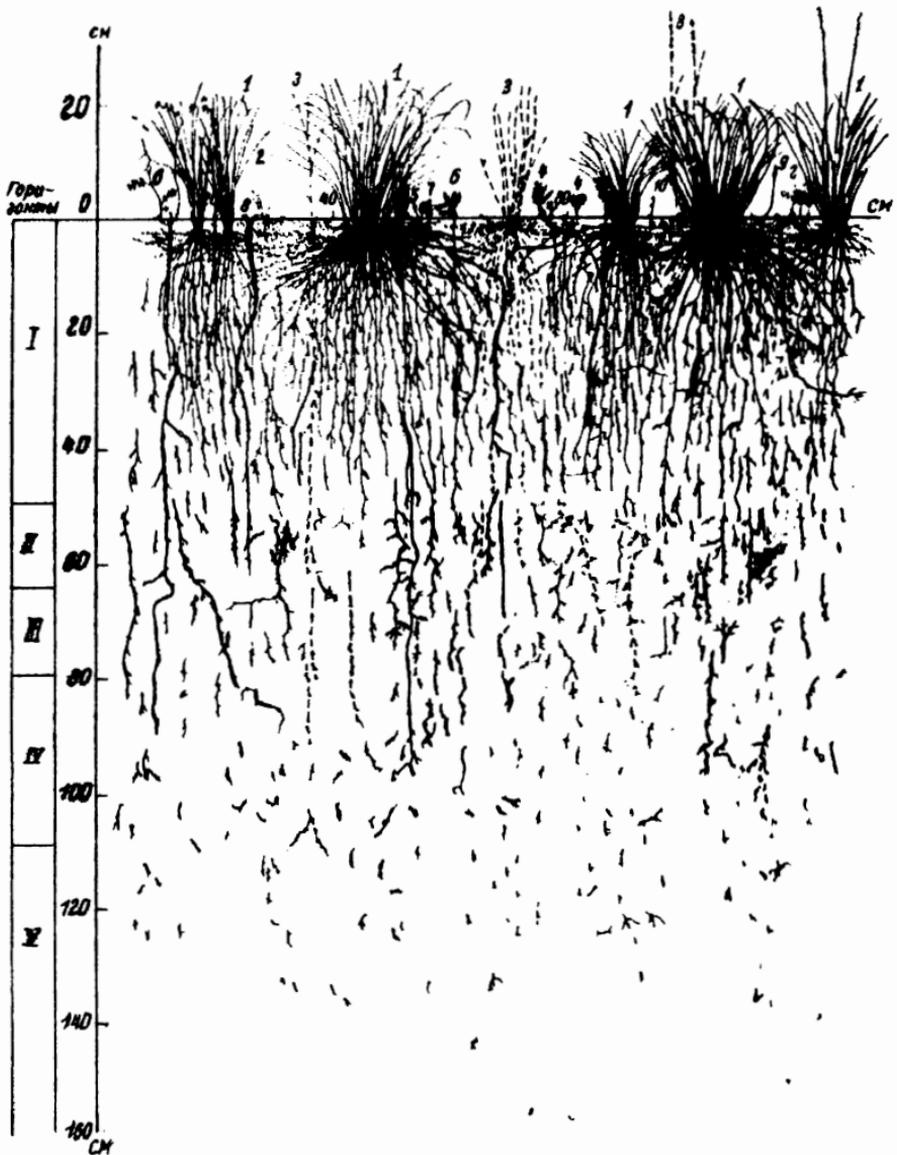


Рис.2. Ковыльная залежь. Метод траншейной раскопки. Вертикальная проекция корневых систем травянистых растений: 1 – ковыль Лессинга; 2 – типчак; 3 – пырей ползучий; 4 – полынь австралийская; 5 – козлобородник; 6 – астрагал австрийский; 7 – лапчатка распростертая; 8 – шалфей степной; 9 – бурачок пустынный; 10 – проломник удлиненный

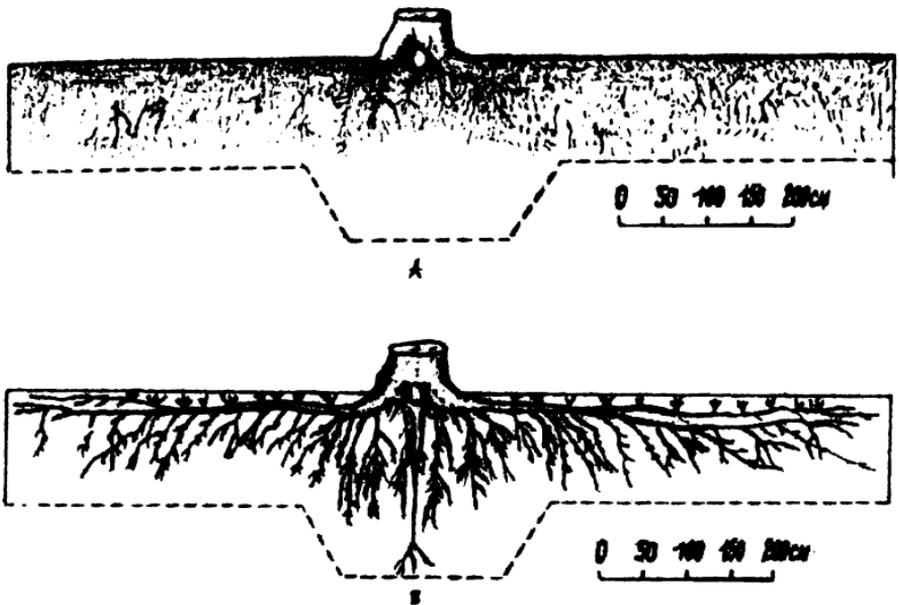


Рис. 3. Вертикальная проекция корневой системы дерева грецкого ореха. Раскопка траншейным методом: А – при обнажении ее до 5–10 см; Б – при обнажении ее до плоскости, проходящей через центр ствола (по Красильникову, 1960)

### 3.4. Описание, зарисовка и фотографирование корней

После раскопки подробно описывается морфология корневой системы, распределение корней и других подземных органов в зависимости от свойств почвенных горизонтов, изменчивость корней (их пластичность) в связи с условиями местообитания и возрастом.

Прежде всего, определяется тип корневой системы (см. раздел 1). Отмечается максимальная глубина проникновения стержневого корня в почву, диаметр корня у корневой шейки и его изменение с глубиной, форма корня, цвет, интенсивность ветвления, характер расположения на нем боковых корней.



При описании боковых корней отмечается интенсивность ветвления (сильное, среднее, слабое, не ветвятся), расположение в почве основной массы корней (поверхностное, глубинное, равномерно развивающиеся вширь и вглубь), направление корней по отношению к главному корню (горизонтальное, вертикальное, идущие под углом), радиус или диаметр распространения основной массы или единичных боковых корней, форма корней. Форма корней может быть цилиндрическая, узкоцилиндрическая или нитевидная, шнуровидная, конусовидная, веретенообразная, реповидная, клубневидная, мочковидная и т.д. Отмечается способность корней к регенерации и сростанию.

Кроме того, при описании корневых систем обращается внимание: 1) на зависимость развития корней и других подземных органов от свойств генетических горизонтов почвенного профиля: гранулометрического состава, содержания гумуса и мощности гумусового горизонта, плотности (особенно наличия уплотненных горизонтов или слоев, механически препятствующих распространению корней), солонцеватости, засоленности, глубины промачивания почвенного профиля атмосферными осадками, влажности отдельных горизонтов, уровня залегания грунтовых вод и их состава. Учитывается распределение корней и других подземных органов в вертикальной и горизонтальной проекциях, влияние подземных органов растений на противозрозионную стойкость почв.

2) Отмечаются специфические морфологические особенности отдельных корней: присутствие микоризы, клубеньковых бактерий у растений семейства бобовых, явления отрицательного геотропизма, а так же петли, изгибы корней и т.д.

3) Описывается сосущая часть корневой системы и корневые мочки, форма и типы сосущих корней (корневых окончаний).

4) Отмечаются особенности подземных частей растений стеблевого происхождения: подземные побеги, корневища, клубни, луковицы, клубнелуковицы.

Имеют значение размеры и глубина проникновения ходов отмерших корней (дрен), степень их заполнения, заполняющий материал и т.д. Отмечается взаимоотношение исследуемого растения с корневыми системами соседних растений (соприкасаются, пересекаются).

Исследуя корневую систему культурного растения и почву под ним, необходимо учитывать историю поля и непосредственных предшественников данной культуры для отделения корневых систем исследуемого растения от корней предшествующей культуры.

При изучении подземной части растительных сообществ освещаются те же вопросы, которые ставятся при изучении отдельных растений, но особое внимание уделяется влиянию сочетания деревьев и кустарников на развитие их надземных и подземных частей; выявлению почвозащитной

роли подземных органов растительных сообществ и отдельных растений и влияние их на почвообразовательные процессы.

Перечень указанных вопросов не является исчерпывающим. Это лишь основные пункты исследования, дальнейшая детализация их или наоборот сокращение зависят от цели работы.

Кроме описания корневой системы совершенно необходимым является получение документального материала - зарисовок и фотографий отпрепарированных корней.

Для зарисовки удобно использовать легкую деревянную квадратную или прямоугольную рамку 50×50, 100×100 или 50×100 см (внутренние размеры). Эта рамка тонкой проволокой или туго натянутым шпагатом разделяется на квадраты 5×5 см для зарисовки корней травянистых растений и 10×10 см для зарисовки корней деревьев. Рамку с сеткой прикрепляют на вертикальную стенку траншеи с отпрепарированными корнями или при зарисовке горизонтальных корней – на горизонтальную площадку почвы. При большом размере траншеи или горизонтальной площадки, рамка после зарисовки одного участка переносится на следующий и т.д.

Для рисования удобнее всего пользоваться миллиметровкой, прикрепленной к листу фанеры. Бумагу следует разграфить на клетки, размер которых зависит от масштаба рисунка. Масштаб зарисовки выбирается в зависимости от величины объекта, обычно: 1:2, 1:5, 1:10. Чем крупнее объект, тем меньше масштаб рисунка. При зарисовке изображение объекта переносится на бумагу по клеткам, что обеспечивает точность и значительно ускоряет работу. Для удобства вертикальные и горизонтальные ряды клеток на деревянной рамке сетки и бумаге следует пронумеровать. На рисунке фиксируются все корни, включая наиболее тонкие. Схематически изображается и вся надземная часть или контур последней. На эти же рисунки наносятся линейный масштаб и границы почвенных горизонтов с указанием их глубины. Кроме того, дается детальное описание почвы.

Зарисовку следует проводить простым карандашом или при желании отметить размещение подземных органов соседних растений - цветными карандашами.

Одновременно с рисунком для более наглядного и объективного изображения корневой системы исследуемого растительного объекта надземные и подземные части его фотографируются. При большой длине траншей фотографирование производится по частям. Темноокрашенные корни растений перед съемкой можно побелить мелом, зубным порошком или другим материалом для получения более четких снимков.

Если есть необходимость, берут образцы корней для последующего морфологического, анатомического, химического, физико-механического исследования. Для морфологического и анатомического изучения крупные образцы корней высушиваются, более мелкие гербаризируются целиком. Наиболее интересные части корней фиксируются в спирте (50–70 %) или

формалине (4 %). Можно использовать и фиксирующий раствор следующего состава: 33% спирта, 33 % глицерина, 33 % воды. Зарубежные исследователи используют или 5 % раствор формалина, или 15–20 % раствор спирта, что позволяет сохранить корни в течение нескольких месяцев при температуре 10 °С.

#### **4. КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ УЧЕТА ПОДЗЕМНЫХ ОРГАНОВ РАСТЕНИЙ**

Методы количественного учета основаны на выемке почвенных образцов определенного размера, с последующим выделением подземных органов, их отмывки от почвы и количественном учете. Эти методы не дают достаточно полного представления об особенностях строения, развития и залегания подземных частей растений, взаимоотношениях корневых систем разных растений.

##### **4.1. Метод монолитов или метод выемки образцов по почвенным горизонтам и слоям**

Этот метод был предложен Н.А. Качинским (1925), а затем модифицирован другими исследователями. Он позволяет получить данные об объеме, массе, количестве, длине и поверхности подземных органов, насыщенности почвы корнями и другими подземными органами. Наиболее полную информацию он дает о тонких корнях растений.

Как правило, при применении этого метода предварительно производится горизонтальная и вертикальная раскопки корневых систем. Однако в зависимости от цели исследования этот метод имеет и самостоятельное значение.

Наиболее удобно для взятия почвенных монолитов использовать траншею или разрез, в которых производилась зарисовка и где сохранен травяной покров. Взятие монолитов вдоль траншеи значительно облегчает работу. Перед взятием монолита стенка траншеи в местах их взятия должна быть защищена и сделана строго вертикальной.

Известно более 30 модификаций этого метода, отличающихся в зависимости от объекта и цели исследования размерами монолитов, их формой, числом повторностей, спецификой их размещения и выбором критериев оценки. Монолиты берутся обычным методом. Чаще всего их поперечное сечение составляет 25×25 или 50×50 см. Для изучения корневых систем травянистых растений методом монолитов достаточно 2–3 повторностей. В лесах и лесных насаждениях берут обычно 6 монолитов для каждой глубины: два – по концам траншеи, два – в непосредственной

близости от ствола и два – на равном расстоянии между стволом и концами траншеи.

Высота монолитов обуславливается глубиной проникновения корней. При этом берут монолиты не сразу на всю глубину корнеобитаемого слоя, а последовательно на глубину отдельных почвенных горизонтов или в зависимости от цели исследования по 5-и–10-и сантиметровым слоям.

Наиболее точно можно взять образцы при помощи специально изготовленных монолитных ящиков. При необходимости можно использовать и железные рамы (25×25 см) квадратной или округлой формы для определения водопроницаемости.

Если почва достаточно плотная (глинистая или суглинистая) и сохранение структуры почвы необязательно, пользуются предложенным М.С. Шалытом (1960) упрощенным методом послойной выемки образцов. После того как намечены почвенные монолиты, их разделяют горизонтальными плоскостями на почвенные горизонты или слои иной мощности. Затем эти части монолитов поочередно срезаются при помощи ножа и выбираются совком или лопатой. Взятая почва укладывается в мешки или ящики любого размера. В мешок вкладывается этикетка с обозначением даты, номера разреза, названия почвы и горизонта, его мощности.

Однако такой способ взятия образцов допустим только для целинных участков и подпахотных горизонтов почв полей. При учете корней в образцах пахотных почв получают завышенные результаты, в связи с наличием в почве запаханых пожнивных остатков, корней предшествующих культур и органических удобрений. Отделить их от корней изучаемых растений удастся только в ненарушенных образцах почвы при условии сохранения в целостности корневой системы растений. Поэтому корни сельскохозяйственных растений рекомендуется отмывать из неразрушенных монолитных образцов прямоугольной формы, размеры которых соответствуют или кратны ширине междурядий в посевах.

В условиях мелкоделяночных опытов рекомендуется применять прямоугольные рамы, соответствующие или кратные ширине междурядий, с последующей выемкой образцов почвы без нарушения их естественного сложения.

При определении массы корней пропашных культур с широкими междурядьями приходится брать не один, а несколько монолитов – в центре площади питания и монолиты из периферической части зоны питания растений.

Из взятых тем или иным способом почвенных образцов выделяют корни. Техника выделения описана ниже (см гл. 4. 6) .

#### 4.2. Способы отбора проб корней различными бурами

Это один из вариантов метода монолитов. Для отбора проб корней особенно на опытных делянках (в том числе в условиях мелкоделяночных опытов) используют буры различных систем и диаметров специальной конструкции – круглого, квадратного или прямоугольного сечения. Приборы квадратного сечения дают более точные данные и особенно пригодны для изучения подземной части культурных растений, в частности, для рядовой культуры. Среди специально сконструированных буров следует отметить буры Ф.М. Надъярного, К.С. Духанина, С.С. Шаина и некоторые другие. Чем больше объем образцов почвы, тем более достоверные получаются результаты, хотя отбор их и более трудоемок. Объем образца колеблется от 1000 до 5000 см<sup>3</sup>.

Широким применением пользуется бур Шаина. Обычно он имеет сечение 20×20 см при высоте 43 см и позволяет за один прием взять почвенный монолит с корнями на глубину 40 см. Бур может иметь как меньшую (15×15 см), так и большую (25×25 см) площадь сечения.

При работе с буром Шаина на делянках с выравненным травостоем рекомендуется брать не менее трех образцов; при неоднородном по высоте и степени покрытия травостоем повторность увеличивается до 5–7.

В приложении 2 описаны результаты использования бурового метода взятия проб для определения массы и объема корней в серой лесной почве на пашне и 8–10-и летней залежи.

#### 4.3. Учет деятельных (сосущих) корней по методу А.Я. Орлова

Учет деятельных (сосущих) корней древесных культур с диаметром <0,5 мм проводится по методу, описанному А.Я. Орловым (1955). По этому методу представление о содержании сосущих корней деревьев в почве можно получить при тщательной выборке их из небольших монолитов с поперечным сечением около 100 см<sup>2</sup> при помощи пинцета и препарировальных иголок с последующей отмывкой всего объема почвы на ситах с отверстиями 0,1, 0,25 и 0,5 мм. Отбирают только тонкие проводящие (сосущие) корни. Выбранные корни и остатки от промывки на мелких ситах подвергаются тщательному анализу под бинокулярной лупой при увеличении в 40 раз или под бинокулярным микроскопом при увеличении в 10–20 раз. Выделяются различные морфолого-анатомические части мелких живых корней, а так же отмершие корни и другие органические примеси. Выделенные фракции высушиваются и взвешиваются. Определяется содержание живых, отмерших корней и других фракций в каждой пробе и в среднем для каждого слоя или горизонта почвы.

Метод учёта сосущих корней монолитами небольшого объема дополняет учет крупных корней монолитами большого объема.

#### 4.4. Метод дробного учета

К ним относятся: метод «кубиков», метод «брусков» или метод «площадок», а также метод «сложного» учета М.Г. Тарановской. Методы дробного учета можно рассматривать как модификацию метода монолитов. Эти методы пригодны преимущественно для изучения корневых систем культурных растений. Подробное их описание можно найти в книге М.Г. Тарановской «Методы изучения корневых систем» (1957).

#### 4.5. Метод Часовенной

Метод состоит во взятии подземных частей травянистых растений и молодых экземпляров деревьев и кустарников в специальные металлические сетки, размер которых обеспечивает отмывку всей корневой системы. Сетки имеют размер 35×50 см с ячейками 0,3×0,4 см. Между сетками, как гербарий, помещается монолит почвы толщиной 10–14 см с корневой системой исследуемого растения. После взятия монолита почва постепенно вымывается, а между сетками остается корневая система, сохраняющая свое естественное положение. После отмывки корневой системы приступают к ее описанию, зарисовке и определяют массу подземных органов и степень насыщенности ими почвы.

#### 4.6. Техника отмывки и очистки корней от почвы при количественном методе учета

Выделение корней из почвы необходимо производить сразу же после взятия образцов, не допуская их высыхания.

Выделение корневищ, луковиц и крупных корней можно производить вручную, рассыпав исследуемый образец более или менее тонким слоем. Тонкие корни выделяется из почвы обязательно путем отмывки, так как при отборе корней вручную часть тонких корней остается в почве.

Отмывку корней можно производить разными способами: в проточной воде и в любых водоемах, с помощью шланга, путем декантации, на специальных отмывочных машинах и т.д.

Отмывку корней производят на нескольких ситах с постепенно уменьшающимся диаметром отверстий. При отмывке корней древесных пород можно пользоваться двумя металлическими ситами: верхним с диаметром отверстий 2 или 3 мм, нижним – 0,5 мм или 1 мм. Сита располагаются друг над другом. Иногда можно ограничиться одним ситом с ячейками 0,5 или 1 мм. Корни травянистых растений рекомендуется отмывать на сите с ячейками 0,25. Желательно, чтобы диаметр сит был не менее 40 см, высота бортов не менее 10 см. Однако при отсутствии специальных сит

можно использовать сита для определения структурного состава почв по методу Н.И. Саввинова. До помещения почвы с корнями на сито для отмывки весь почвенный образец предварительно размачивается в ведрах, тазах, размельчается руками и небольшими порциями переносится на сито для полного отмыwania. Из размоченной в течение нескольких часов, иногда суток, почвы корни отмываются значительно быстрее. При этом корни сельскохозяйственных растений легко отделяются от измельченных органических остатков предшествующих культур и сорняков. Корни несколько раз тщательно промывают на сите, отжимают, подсушивают фильтровальной бумагой, снабжают этикеткой и помещают в пакет.

М.Г. Тарановская (1957) рекомендует для отмывки корней предлагаемые Я. Еником приспособление (рис.4), состоящее из ведра, в котором вырезана центральная часть дна и в котором помещается два сита, из которых нижнее с отверстиями не крупнее 0,25 мм. Плоскость железного обода каждого сита должна соответствовать конической форме ведра. На обод нижнего сита желательнее надеть кольцо из плотной резины, обеспечивающее плотное прилегание сита к стенке ведра и тем самым препятствующее потере части корней. Если в поле выполнена только предварительная отмывка, в лаборатории ее заканчивают.

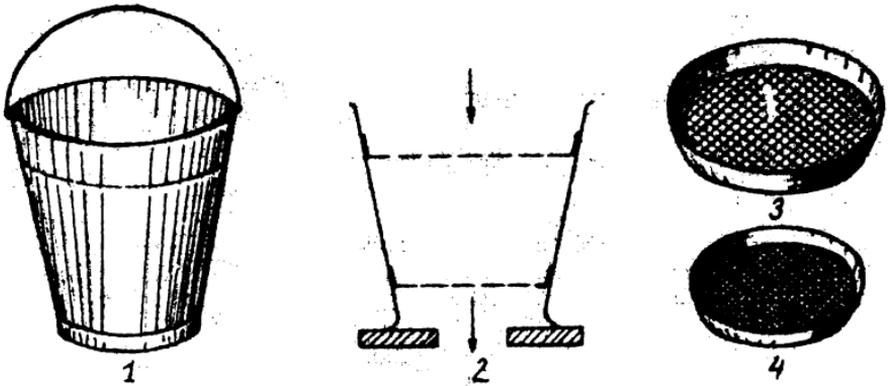


Рис. 4. Оборудование для отмывки подземных частей растений из небольших образцов почвы в полевых условиях (по Yenik, 1957).

1 - ведро, 2 - положение сит в ведре, 3 - верхнее сито, 4 - нижнее сито.

С.И. Долгов и другие исследователи предлагают проводить отделение корней от почвы без пропускания всей почвенной массы через сита. Для этого почвенные образцы замачивают в ведрах пятикратным объемом воды, осторожно разминают почвенную массу пальцами, энергично размешивают суспензию мешалкой и сливают верхнюю часть суспензии на сито. Медленно оседающие на дно корни растений переносятся с суспензией на сито, а основная масса почвы оседает на дне ведра. Приливание чистой воды, взмучивание и сливание повторяют до тех пор, пока не будут выделены самые мелкие корни. Осевшую на дно почвенную массу просматривают на чистоту от корней.

При большом количестве образцов анализируемых корней их можно сохранять в суспензии в течение 2–5 дней при 15–25 °С. Для увеличения срока хранения добавляют спирт (его концентрация не ниже 10 %) или формалин (концентрация – 4 %), что увеличивает продолжительность хранения образцов до двух месяцев.

При взятии проб корней для зольного анализа после очистки их механическим путем (отряхиванием) быстро, пока корни не потеряли тургора, отмывают их от почвы спиртом. Корни, отмываемые из монолитов обычным способом и длительное время находившиеся в воде, могут потерять часть зольных элементов, поэтому использовать их для анализа нельзя.

## **5. ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОТМЫВКИ ОБРАЗЦОВ КОРНЕЙ, И ОФОРМЛЕНИЕ РИСУНКОВ**

Полученные при отмывке образцы корней могут быть использованы для определения их объема, массы, поверхности и длины.

После того как корни отмывы, их сортируют по видам растений и подробно описывают. Кроме того, корни делят на фракции по их диаметру. Наиболее часто выделяют фракции: до 1 мм, 1–2 мм, 2–5 мм, 5–10 мм, 10–50 мм, >50 мм.

Определение диаметра корней производится с помощью штангенциркуля или лучше микрометра, а так же под микроскопом с небольшим увеличением. Каждый корень измеряется в двух-трех местах. В каждой фракции для определения диаметра нужно сделать 25–30 промеров.

Корни травянистых растений в большинстве случаев сортируют по группам: корни злаков, разнотравья, папоротников.

Определение массы и объема корней производится непосредственным измерением.

## 5.1. Определение объема корней

Объем корней по видам, фракциям или общий должен определяться сразу же на месте после отмывки. Только в случае невозможности проведения в поле эта работа может быть проделана в лаборатории. В этом случае подсохнувшие корни на несколько часов помещают в воду для того, чтобы они приняли объем, который имели в почве. Затем, когда корни набухнут и пропитаются водой, их нужно слегка отжать и осушить несколько раз фильтровальной бумагой.

Для определения объема корней удобнее всего использовать обычные мерные цилиндры. Принцип метода – измерение вытесненной из цилиндра воды при погружении в него корня. Ход работы с ними таков: берутся два одинаковых мерных цилиндра, емкость которых немного превышает объем корней. В один цилиндр наливают воду до верхней метки, а во второй, пустой, помещают корни, после чего этот цилиндр доливают из первого водой до верхней метки. При этом корни, залитые водой, тщательно перемешивают, чтобы избавиться от задерживаемых между корнями многочисленных пузырьков воздуха. Количество воды, оставшееся в первом цилиндре, и соответствует объему корней.

Определение объема живых корней можно производить с помощью объемомера переменной чувствительности Сабанина и Колосова.

Определение разницы в объемах живых корней растений, произрастающих в различных условиях среды или при разных способах обработки и посадки, является хорошим дополнительным показателем развития корневой системы и использования ею корнеобитаемого слоя почвы.

Кроме того, объем корней определяется в зависимости от цели исследования в воздушно – сухом и абсолютно – сухом состоянии.

## 5.2. Определение массы корней

Массу корней определяют в зависимости от целей исследования в сыром, воздушно-сухом и в абсолютно-сухом состоянии. Чаще всего пользуются определением воздушно-сухой массы корней. Для этого после определения объема корней их высушивают до воздушно-сухого состояния и взвешивают, тоже по фракциям или видам растений и целиком. Определив влажность воздушно-сухих корней, можно найти массу абсолютно-сухих корней. Для определения влажности отбирают по 5–10 образцов в каждой из всех выделенных по величине диаметра фракций. После сушки устанавливают средний процент влажности, а затем определяют массу корней для каждой категории крупности.

Для различных сельскохозяйственных культур часто вычисляют отношение массы корней одного растения к массе его надземной массы. От-

ношение массы корней и надземных частей растений зависит от почвенно – климатических условий. В северной влажной зоне корневая система может в 5–10 раз уступать по своей массе надземным частям растений. В южных районах масса корней по отношению к надземным частям растений возрастает. В условиях пустынь корни по массе часто в десятки раз превышают надземные части растений.

### 5.3. Определение поверхности корневой системы

Поверхность корней и их длина (по фракциям) определяется косвенным путем – с помощью формул для определения боковой поверхности и длины цилиндра.

При определении поверхности корневой системы используется формула для определения поверхности цилиндра:

$$S = \frac{4V}{D},$$

где  $S$  – боковая поверхность корней, см<sup>2</sup>;  
 $V$  – объем корней данного диаметра ( $D$ ), см<sup>3</sup>.

Для вычисления ее необходимы данные о диаметре и объеме корней отдельных фракций. По формуле вычисляют поверхность корней каждой фракции и путем простого суммирования определяют поверхность всех корней данного горизонта или слоя почвы.

### 5.4. Вычисление длины корней

Вычисление длины корней проводится сначала для каждой фракции, а затем для всего растения после того, как определены объем и поверхность корней каждой фракции, по формуле:

$$L = \frac{S}{\pi \cdot D},$$

где  $L$  – длина корней, см;  
 $S$  – поверхность, см<sup>2</sup>;  
 $D$  – диаметр, см.

Если же исследователь, не вычисляя поверхности корней, намерен ограничиться установлением общей длины корневой системы, то

необходимо определить объем и диаметр корней каждой фракции и использовать затем формулу:

$$L = \frac{4V}{\pi \cdot D^2},$$

где  $L$  – длина, см;  
 $V$  – объем, см<sup>3</sup>;  
 $D$  – диаметр, см.

Наряду с описанными выше косвенными способами определения длины корней существуют способы прямого определения длины и толщины корней.

Так, для определения длины и толщины корней П.А. Власюк и А.М. Гродзинский рекомендуют применять получение их отпечатков на светочувствительной бумаге (фотографической бумаге или «синьке») контактным способом. В дальнейшем на бумаге проводится измерение длины с помощью курвиметра – прибора, который употребляется в топографии для измерения кривых линий на карте.

Для измерения длины корней на любых глубинах Н.И. Саввинов и Н.А. Панкова предлагают следующий метод. В почвенном шурфе тщательно зачищается передняя стенка шириной 0,8–1,0 м. В нее вбиваются стальные обоймы объемом в 25 или 50 см<sup>3</sup>, распределяемые на определенных глубинах рядами. В верхнем горизонте ряды забиваются через 5 см, во втором полуметре – через 10 см, ниже – через 20 см. В верхнем слое объем обойм – 25 см<sup>3</sup>, количество – 5–6 штук; в нижних – 50 см<sup>3</sup>, количество – 8–10 штук. Образцы почвы, вырезанные обоймами, вынимаются из них, корни отмываются от почвы и наклеиваются на заранее разграфленную и покрытую клеем бумагу. Куски корешков наклеивают, приставляя их друг к другу рядами, расположенными на расстоянии 1 см. В результате получается как бы один непрерывный корень, длина которого определяется умножением числа рядов на ширину бумаги. Затем прибавляется длина боковых корней. При делении длины корней на объем монолита получается длина корней на единицу объема почвы, т.е. в мм на 1 см<sup>3</sup> или в м на 1 дм<sup>3</sup>. Для вычисления среднего диаметра корней проводят ряд поперечных линий через лист с наклеенными корнями. Средняя толщина пересеченных корней принимается за средний диаметр всех корней. Имея длину и средний диаметр корней, можно получить их поверхность для определенного объема почвы.

### 5.5. Вычисление насыщенности почвы корнями

Насыщенность почвы корнями – это отношение объема корней к объему почвы, в которой они находились, выраженное в процентах.

$$H_0 = \frac{V_k}{V_n} \cdot 100,$$

где  $H_0$  – насыщенность данного объема почвы корнями, %;  
 $V_k$  – объем корней в данном объеме почвы ( $V_n$ ), см<sup>3</sup>.

Насыщенность почвы корнями дает представление о размещении корней по почвенному профилю в относительных цифрах, что позволяет сравнивать данные разных авторов независимо от того, какого размера почвенные образцы они брали. Особенно интересны эти данные для выяснения почвозащитной и структурообразующей роли корней.

Кроме того, в отдельных случаях целесообразно вычислить процентное отношение корней в разных горизонтах, соотношение деятельных и недейтельных корней (к первым относят корни с корневыми волосками, ко вторым – лишённые последних).

В табл. 1 приложения № 2 приведен пример определения массы, объема и насыщенности серой лесной почвы корнями на пашне и залежных участках.

## 6. ГРАФИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ И ОФОРМЛЕНИЕ РИСУНКОВ

В дальнейшем для каждого разреза на основании полученных данных составляют таблицы и диаграммы, изображающие графически распределение массы, объема, величины поверхности, длины корневого системы и насыщенности почвы корнями по почвенным горизонтам или слоям. Каждая диаграмма состоит из ряда прямоугольников, высота которых соответствует мощности данного горизонта, а ширина соответственно – массе, объему, длине корней, величине поверхности или насыщенности почвы корнями на каждые 10 см этого горизонта. В верхней части диаграммы графически изображается вес надземной массы с разделением на живую надземную массу и на мертвый покров (рис.5). При составлении таблиц необходимо сделать пересчет на площадь сечением 1 м<sup>2</sup> или 1 га и соответствующую мощность слоя.

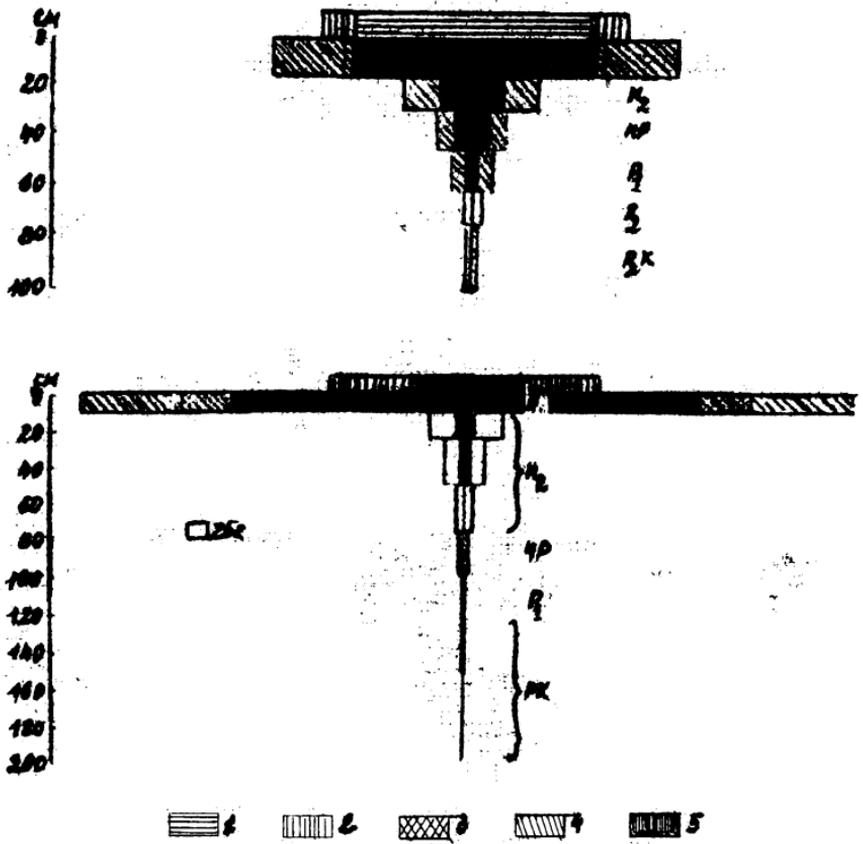


Рис. 5. Распределение массы подземных частей растений по генетическим горизонтам почвы на площади  $1 \text{ м}^2$  (по Шальгу, 1960)

А - ассоциация *Stipa lessingiana* + *Festuca sulcata* + разнотравье на южном варианте типичного среднегумусного (обыкновенного) чернозема. Б - ассоциация *Poa angustifolia* + *Koeleria gracilis* + *Achillea millefolium* + разнотравье на мощном слабовыщелоченном черноземе Курской области.

1 - живая надземная масса; 2 - мертвый покров; 3 - корневища и луковицы; 4 - мелкие корни; 5 - крупные корни.

Рисунки, выполненные в полевых условиях, в лаборатории обводятся тушью. Толстые корни следует делать сплошь черными, а не обозначить их контуры двумя линиями. Если в поле рисунок выполнен цветными карандашами, то при подготовке оригинала к фотографированию для изображения корней, принадлежащих разным растениям, можно использовать различные обозначения, например, пунктир, штриховку, заливку тушью и т.д. На рисунках должны быть нанесены: линейный масштаб и границы почвенных горизонтов с указанием их глубины. Желательно изображение на рисунке и надземной части растения в виде более или менее схематизированного рисунка или общего контура.

## **7. НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОРНЕВЫХ СИСТЕМ РАСТЕНИЙ**

Кроме перечисленных выше разрушающих методов прямых раскопок или взятия монолитов для изучения корневых систем растений, существуют неразрушающие методы исследования корневых систем растений, т.е. без предварительного их извлечения из почвы.

По своей сущности они делятся на несколько групп.

1. Методы с использованием радиоактивных изотопов (углерода, фосфора).

2. Методы с использованием нерадиоактивных индикаторов (нерадиоактивные соли лития, бора, стронция, меди).

3. Электрометрические методы, основанные на различиях электропроводности корней растений и почвы.

4. Метод культур, выращенных в вегетационных сосудах, горшках, ящиках, лизиметрах с насыпной почвой или почвенными монолитами; в водных культурах. Используется в основном при изучении первых стадий развития подземных частей растений.

5. Метод наблюдения за ростом и развитием корней растений, высаженных или уже растущих вдоль траншеи, через стенку из прозрачного материала, вставленную на глубину почвенного профиля. В дальнейшем траншея со стеклянными или из другого прозрачного материала стенками с одной или двух сторон и навесной крышей получила название ризотрона. Ризотрон позволяет проводить систематические наблюдения, отмечать последовательные стадии развития корней на стекле. Метод трудоемкий, требующий значительных материальных вложений. Недостатки метода: неизбежны отклонения от природных условий; стекла изменяют направление и скорость роста многих корней; ограниченная повторяемость.

6. Корреляционный метод. В последнее время иногда применяется так называемый корреляционный метод, суть которого заключается в определении подземной массы части растений по количественным показателям их надземных органов (массе, числу и размеру побегов, числу листьев и т.д.) на основании ранее выявленных зависимостей между параметрами подземных и надземных частей этих растений.

## ПРИЛОЖЕНИЕ № 1.

**Описание корневых систем растений**

В качестве примеров приводим описания корневых систем некоторых видов древесных и кустарниковых пород, выполненные комплексной экспедицией МГУ в Волгоградской области на трассе Государственной лесной полосы Волгоград – Элиста – Черкесск.

**Пример 1.** Цель исследования - выявить зависимость развития корневых систем дуба и ясеня от свойств почв; оценить лесорастительные свойства почв светлокаштанового комплекса Ергенинской возвышенности; определить целесообразность использования смешанных посадок дуба и ясеня в искусственных насаждениях; выявить целесообразность посадки лесных культур в зоне сухих степей в искусственно созданные понижения – лунки, обеспечивающие накопление влаги в почве, что особенно важно для этой зоны.

Раскопки корневых систем дуба и ясеня 4-х и 7-и летнего возраста были проведены на двух разновидностях светлокаштановой почвы: тяжело-суглинистой и супесчаной; солонце корковом тяжело-суглинистом и лугово-каштановой тяжело-суглинистой почве западины. Использовался вариант метода полной раскопки в модификации Н.А. Качинского. Раскопки, фотографии, зарисовки и описания корневых систем выполнены И.В.Кузнецовой.

Корневая система раскапывалась через среднеразвитое гнездо дуба и соседнее гнездо ясеня. После раскопки корни фотографировались, зарисовывались с помощью масштабной сетки (масштаб 1:10) и подробно описывались. Как видно из фотографий и рисунков, характер развития корневых систем дуба и ясеня определяется, прежде всего, почвенными условиями.

**На светлокаштановой тяжело-суглинистой почве** (рис.1, фото 1 и 2) у дубков четко выделяется стержневой корень. Боковые корни первого порядка резко дифференцированы. В верхних 30 см (бывшем пахотном горизонте) они идут почти параллельно поверхности почвы. От них отходят многочисленные боковые корни II, III и т.д. порядков и мелкие сосущие корни, которые густой сетью пронизывают горизонт. Корни темнокоричневые, оканчивающиеся небольшими (2–3 мм) белыми чехликами. Кончики корешков обильно покрыты микоризой, которая хорошо выделяется на свежем срезе почвы. Глубже 30 см боковые корни 1-го и 2-го порядков идут параллельно главному корню, почти вертикально вниз. Количество их резко сокращается. Отношение длины отдельных боковых горизонтальных корней к стержневому 1:2. Максимальная глубина распространения стержневого корня–210 см от поверхности. Радиус распространения боковых корней у дубков–100–130 см.

Такое распределение корневой системы легко объяснить стремлением растения охватить возможно большую массу почвы. В данном случае горизонтальные боковые корни используют зимне - весенние запасы влаги верхних слоев почвы и летние атмосферные осадки, проникающие неглубоко в почву. Стержневой и боковые корни уходят глубоко в почву, используя более постоянные запасы влаги нижних горизонтов.

Иной характер распространения на светлокаштановой тяжелосуглинистой почве имеют корни ясеня зеленого. Основная масса корней находится в слое 40 см. От так называемой "пятки" на глубине 15–20 см отходят боковые корни, дающие многочисленные разветвления, густо пронизывающие весь слой. Корни светложелтые, оканчиваются корневыми чехликами от 1,5 до 2,5 см в длину. От пятки отходят несколько косо идущих скелетных корней. Большая часть их доходит до 125 см. Радиус распространения корней ясеня около 1 метра.

Корни дуба и ясеня в однометровом пространстве между ними образуют густую сетку. Корни дуба проникают до середины гнезда ясеня, а единичные проходят через все гнездо и смыкаются с корнями дуба следующего гнезда.

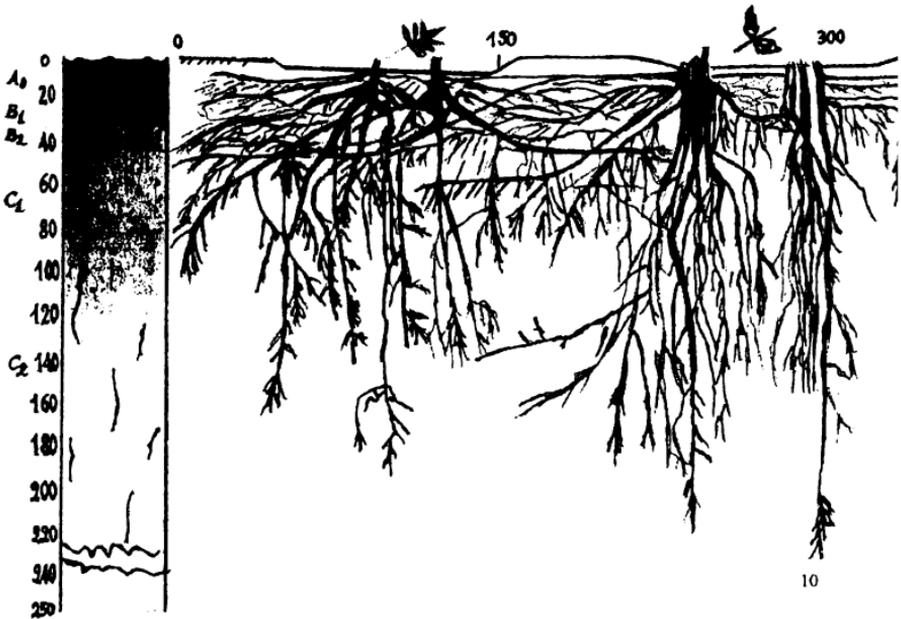


Рис. 1. Корневые системы дуба 5-ти-летнего возраста и ясеня зеленого 4-х летнего возраста на светлокаштановой тяжелосуглинистой почве.

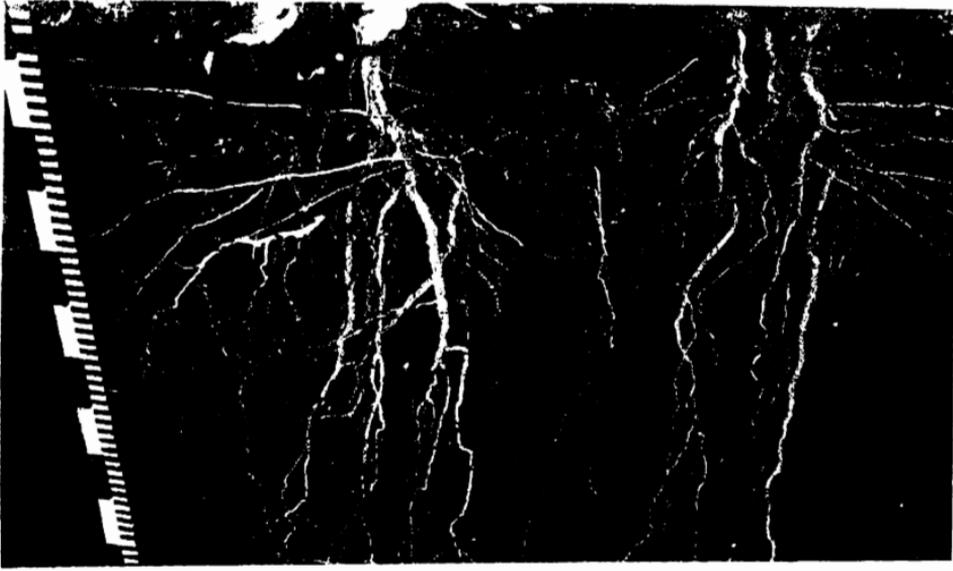


Фото 1 и 2. Корневые системы дуба 5-и-летнего возраста и ясеня зеленого 4-х-летнего возраста на светлокаштановой тяжелосуглинистой почве.

**На светлокаштановой супесчаной почве** наблюдается совершенно иной характер распространения корневых систем дуба и ясеня, связанный с особенностями почвенного профиля (фото 3, рис. 2).

Особенность этих почв состоит в наличии в супесчаной толще двадцатисантиметровой суглинистой прослойки карбонатного горизонта на глубине 80 см. Глубже идет песчаная материнская порода. Такое резкое чередование слоев разного гранулометрического состава создает подобие слоистого экрана, в котором тонкая суглинистая прослойка играет роль водоупора, над которым скапливается почвенная влага.

Именно поэтому дуб на супесчаной почве образует неглубокую (до 1 м), но хорошо разветвленную корневую систему. Стержневой корень проходит небольшой мощности горизонт белоглазки, но глубже в песок не идет. От него по всей длине отходят многочисленные боковые корни. Радиус их распространения 2–2,5 м, у единичных—3,2 м. Они соприкасаются не только с корнями ясеня, но и корнями соседнего гнезда дуба. Отношение длины боковых горизонтальных корней дуба к длине стержневого корня 2–3 : 1. В метровой толще корни распространены почти равномерно снизу доверху и такой дифференциации на горизонтальные и вертикальные боковые корни, которая наблюдается на тяжелосуглинистой разновидности, отмечено не было.

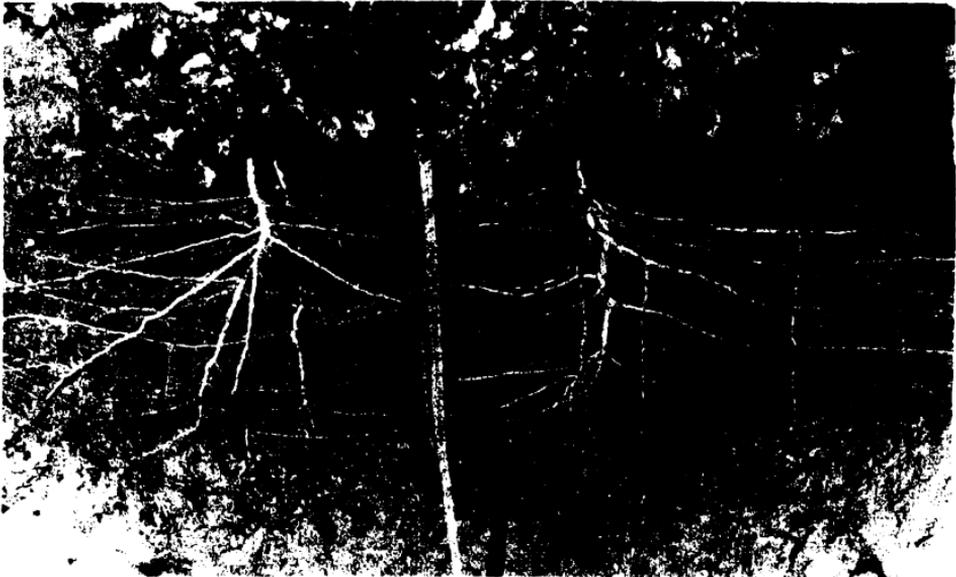


Фото 3. Корневые системы дубков 5-и-летнего возраста на светлокаштановой супесчаной почве.

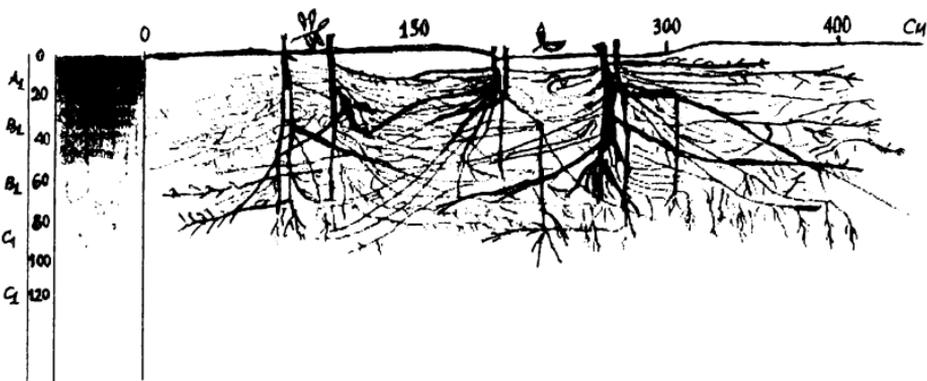


Рис 2. Корневые системы дубков 5-и-летнего возраста и ясеня зеленого 4-х-летнего возраста на светлокаштановой супесчаной почве.

Корни ясеня проникают также только до глубины 1 метра и также равномерно распределены по всей толще. Радиус распространения корней около 80 см. В этом случае мы видим прекрасный пример приспособления древесных культур к условиям их существования, пластики их природы (фото 4).



Фото 4. Явление отрицательного геотропизма корней дуба на светлокаштановой супесчаной почве. На глубине 56 см корень дуба разделяется на два, один из которых под углом  $30^\circ$  поднимается вверх до 29 см.

**На солонце** корневые системы дуба и ясеня (фото 5, рис. 3) развиты очень слабо, в основном в пределах пахотного слоя. Это связано с высокой плотностью, низкой активной порозностью и значительной засоленностью солонца, начиная с 30 см. Стержневые корни дубков на солонце сильно сбежисты по толщине, искривлены, сморщены. В горизонте В1 они имеют нитевидную форму. Наибольшая глубина распространения стержневого корня дуба – 65–75 см, радиус распространения корней – 40–50 см.

Корни ясеня на солонце расположены в верхних 25 см. Корни тонкие, почти не ветвятся. Прогноз дальнейшего развития дуба и ясеня на солонце неблагоприятный.

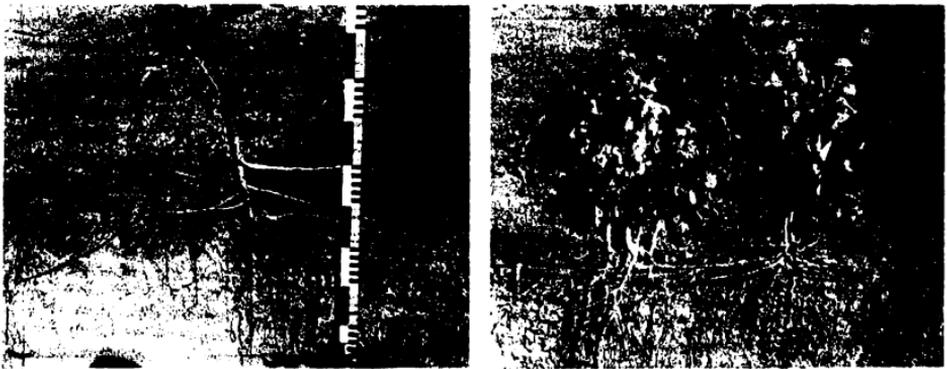


Фото 5. Корневые системы ясеня зеленого 4-х-летнего возраста и дубков 5-летнего возраста на солонце.

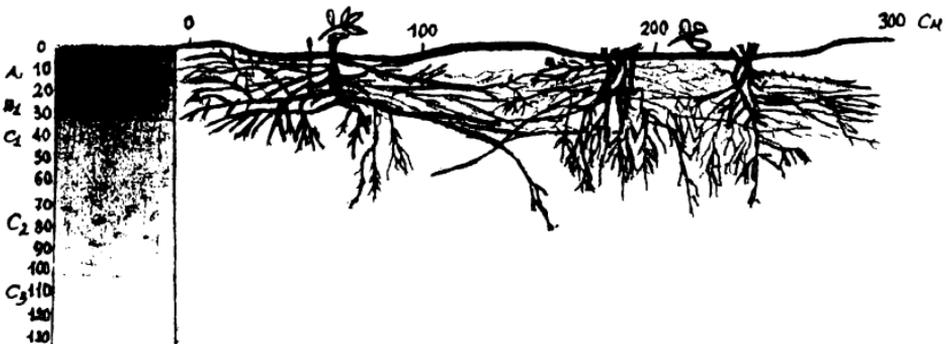


Рис 3. Корневые системы ясеня зеленого 4-х-летнего возраста и дубков 5-летнего возраста на солонце.

**Лугово – каштановые почвы западин** занимают всего 5–7 % площади почв светлокаштанового комплекса. В зоне сухих степей небольшие понижения поверхности играют огромную роль во внутреннем перераспределении влаги. Они лучше собирают весенние талые воды, воду летних ливневых осадков, зимой в них дополнительно накапливается снег. В связи с этим в лучшую сторону изменяется водный, воздушный, тепловой, солевой, микробиологический и питательный режимы почв. В понижениях поселяется луговая растительность, создаются условия для образования и накопления гумуса. Формируются почвы лугово – степного типа, отличающиеся высоким плодородием.

Корневая система дуба 7-ми летнего возраста на лугово-каштановой почве западины производственного участка Государственной лесной полосы Волгоград – Элиста – Черкесск (фото 6 и 7, рис. 4) имеет более мощное развитие по сравнению со всеми описанными выше. Стержневые корни дубков уходят в почву глубже 260 см и очень постепенно убывают в диаметре с глубиной. Диаметр стержневых корней у поверхности достигает 2,6–4,9 см; на глубине 50 см 1,0–3,7 см; на глубине 260 см – 0,52–1,5 см. В верхних 50 см, особенно в слое 0–30 см, наблюдается большое количество сосущих корней, обилие микоризы. С глубины 15–20 см от стержневых корней отходят боковые скелетные корни I -го и II -го порядков. Радиус их распространения – 150 см. От боковых горизонтальных корней II- порядка отходят многочисленные боковые корни III-его порядка, идущие вертикально вниз. Некоторые из них образуют петли, изгибы (см. фото 7). Со 160 см гранулометрический состав становится легче и на глубине 210 см появляется песчаная прослойка. На этих глубинах корни идут не строго вертикально, а часто под углом в стороны. Радиус распространения корней уменьшается до 1 метра. На глубине 260 см (глубже раскопка не проводилась) обнаружено еще много корней, диаметр самого крупного из которых составил 1,5 см.

В результате описанной выше работы и сопутствующих исследований свойств почв установлено следующее.

1. Характер развития корневых систем дуба и ясеня зеленого в светлокаштановой подзоне определяется свойствами почвы и, прежде всего, ее гранулометрическим составом, степенью солонцеватости, засоленностью почв и ее водным режимом – факторами, которые необходимо учитывать при лесных посадках в зоне сухой степи.

2. В районе исследования наиболее удовлетворительными лесорастительными свойствами обладают светлокаштановые супесчаные и тяжелосуглинистые почвы. Наиболее трудными для освоения под лесные культуры, требующими специальной мелиорации, являются солонцы. Лучшими лесорастительными свойствами обладают лугово-каштановые почвы западин. Однако, они составляют всего 5–10 % площади почв светлокаштанового комплекса.

3. Сравнительная оценка развития корневых систем дуба и ясеня на плоской пашне и в лунках показала, что луночные понижения, как одна из форм искусственного микрорельефа, обеспечивая дополнительное накопление влаги в почве и изменяя целый ряд других факторов почвенного плодородия, создает наиболее благоприятные условия для роста и развития этих древесных пород.

4. Смешанные посадки дуба - культуры, имеющей глубокую корневую систему, и ясеня, имеющего поверхностную корневую систему, могут использоваться при создании искусственных насаждений на почвах светлокаштанового комплекса.



Фото 6. Корневые системы дуба 7-и-летнего возраста на луговой каштаново-тяжелосуглинистой почве западины



Фото 7. Фрагмент корневой системы дуба на глубине 20-170 см.

**Пример 2.** Цель исследования - изучить биологические особенности вяза мелколистного как спутника других пород и как главной породы на светлокаштановой тяжелосуглинистой и супесчаной почве и солонце тяжелосуглинистом. Изучение корневой системы проводилось методом полной раскопки в модификации Н.А. Качинского. Раскопки корневых систем выполнены Мраморновой М.В. (Вадюнина А.Ф., Мраморнова М. В., 1952).

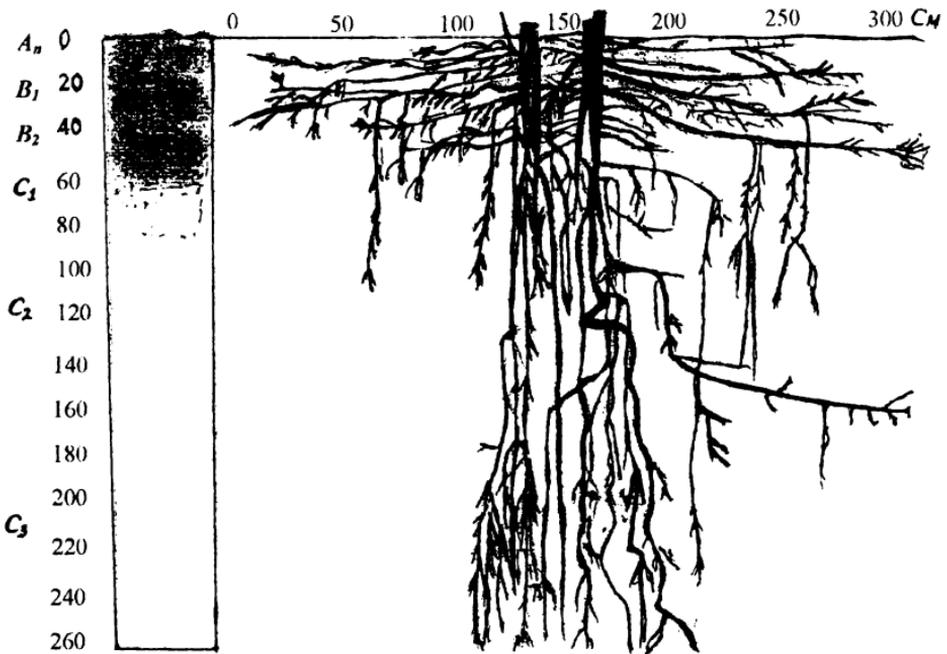


Рис 4. Корневые системы дуба 7-и-летнего возраста на лугово-каптановой тяжелосуглинистой почве западины.

Корневая система извлекалась из почвы целиком, доводилась до воздушно-сухого состояния, а затем взвешивались надземные и подземные части растений.

На светлокаштановой тяжелосуглинистой почве максимальная высота вяза мелколистного 4-х летнего возраста достигала более трех метров (фото 8). Основная масса растений имела высоту 2–3 м.

На всех почвах основной корень вяза проходит гумусовый пахотный горизонт и разветвляется на большое число горизонтальных и вертикальных придаточных корней как в поверхностном, так и глубинных горизонтах.



Фото 8. Вяз мелколистный 3-х-летнего возраста на светло-каштановой тяжелосуглинистой почве.

**На светлокаштановой тяжелосуглинистой почве** вертикальные корни вяза уходят на глубину 260–280 см. Радиус бокового разветвления корней в поверхностном горизонте составляет 300 см (рис. 5).

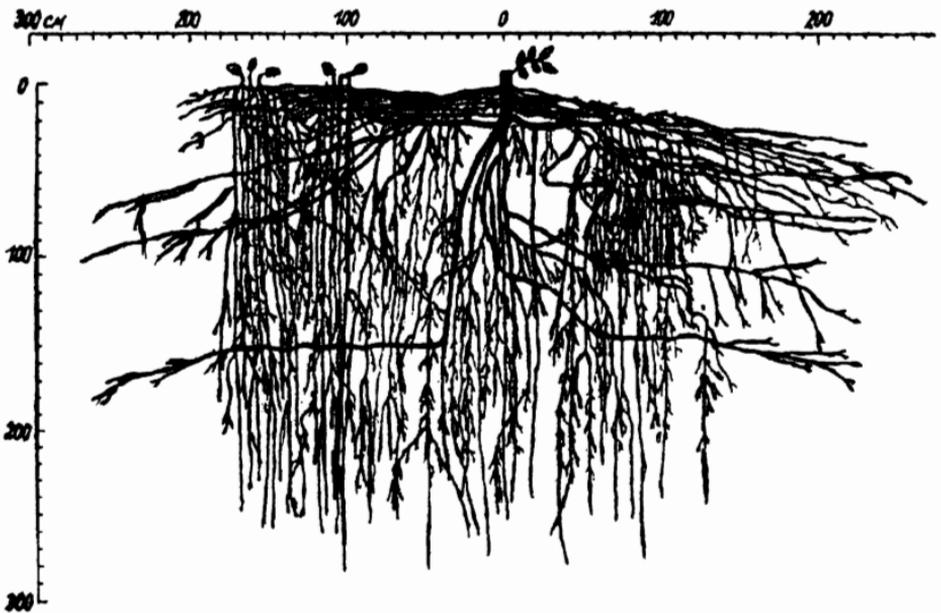


Рис. 5. Корневая система вяза мелколистного трехлетнего возраста и дуба четырехлетнего возраста на светлокаштановой тяжелосуглинистой почве.

**В светлокаштановой супесчаной почве** основная масса корней расположена в слое 0–60 см. В котором сосредоточены основные запасы влаги и пищи. Радиус бокового разветвления корней в поверхностном горизонте составляет 310–350 см (рис.6).

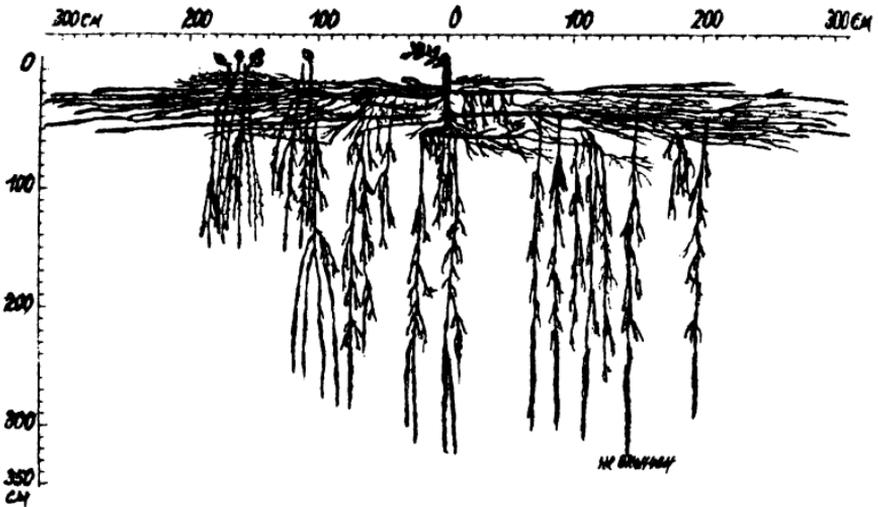


Рис. 6. Корневая система вяза мелколистного 3-летнего возраста и дуба 4-летнего возраста посадки гнездовым способом на светлокаштановой супесчаной почве.

**На солонце** радиус бокового ветвления корней достигает 2,5 м, глубина ограничивается границей залегания легкорастворимых солей (60 – 80 см), на которой как бы распластываются корни (количество солей 0,5 % от массы почвы). Прижимание корней вяза к поверхности, очевидно, связано с режимом влажности солонца, глубина промачивания которого не превышает 1 м. В целом корневая система вяза мелколистного в несколько раз больше, чем у дуба черешчатого и ясеня зеленого (рис.7).

Расчеты показали, что общий объем, охваченный корнями вяза мелколистного, на светлокаштаных почвах составляет не менее 30–54 м<sup>3</sup>. Общая длина корневой системы одного вяза мелколистного в 3-х летнем возрасте составляет на светлокаштановой тяжелосуглинистой почве 131 м, на супесчаной разновидности – 154 м, на солонце – 105 м.

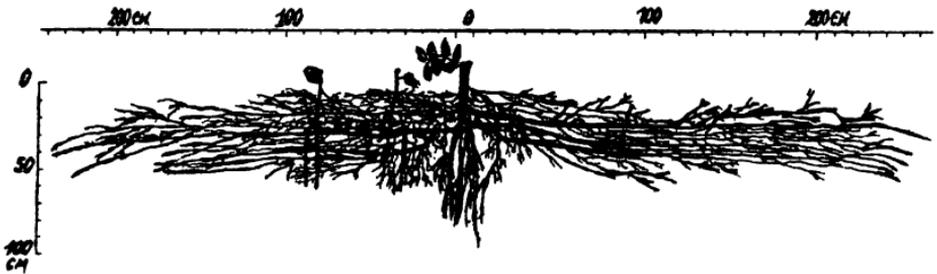


Рис. 7. Корневая система вяза мелколистного 3-летнего возраста и дуба 4-летнего возраста посадки гнездовым способом на солонце.

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы.

1. Вяз мелколистный является породой быстрорастущей, засухо- и солонцеустойчивой, соединяющий глубокое укоренение с богатым разветвлением в поверхностном и нижнем горизонтах, с охватом своими корнями большого объема почвы и может быть рекомендован как главная порода при полезащитном лесоразведении на почвах светлокаштанового комплекса.

2. Как спутник дуба вяз мелколистный не пригоден. Перехватывая воду и пищу, он угнетает его рост, особенно на супесчаных почвах.

3. По лесорастительным свойствам к вязу мелколистному исследуемые почвы располагаются в следующем порядке: светлокаштановая супесчаная, светлокаштановая тяжелосуглинистая почва, солонец.

4. Сопутствующие определения физических и химических свойств показали, что корневая система вяза мелколистного является мощным фактором улучшения физических и водных свойств почвы. Мощная корневая система вяза разрыхляет почву, увеличивает водопроницаемость и глубину ее промачивания, способствует рассолению почвы. Опад вяза при разложении обогащает почву элементами пищи.

**Пример 3.** Цель исследования - изучить роль кустарников, как один из способов биологической мелиорации солонцов. С этой целью комплексной экспедицией МГУ близ станции Тингута был заложен опыт по химической (гипсованием) и биологической (с помощью кустарников) мелиорации солонцов. Солонцы в комплексном почвенном покрове Ергеней занимают от 10 до 70 % общей площади и представлены, главным образом, среднестолбчатыми и корковыми тяжелосуглинистыми разновидностями.

Изучалось мелиорирующее действие тамарикса, скуммии, лоха, желтой акации, клена татарского и ясенелистного. Изучение корневых систем кустарников показало двухярусное распределение корней в профиле почвы. Первый ярус охватывает, главным образом, гумусовые горизонты (в зависимости от вида кустарника толщю 0–60 или 0–30 см), где сосредоточено наибольшее количество корней. Самый поверхностный слой почвы (0–10 см) в виду сильного высыхания почвы не имеет корней. Во влажный период в нем развиваются эфемерные корни, которые при высыхании отмирают. Второй ярус размещается в подсолонцовых засоленных горизонтах. Насыщенность почвы корнями и глубина их проникновения определяются биологическими особенностями кустарников. На рис. 8 и 9 приведены корневые системы тамарикса и клена ясенелистного на солонце (по Вадюниной А.Ф., 1955).

Тамарикс на солонце имеет мощную корневую систему, клен ясенелистный – слаборазвитую корневую систему. У тамарикса трехлетнего возраста корневая система более развита, чем у клена ясенелистного в пятилетнем возрасте. Тамарикс солевынослив, его корни проникают вглубь и через солевые горизонты. Боковые ответвления его корней распространены в горизонтальном направлении и имеют длину до 380 см. Вертикальные ветвления корней второго порядка проникают до 155 см. Толщина корней второго и третьего порядков варьирует от 0,3 до 1 см и более. На них формируется сеть тонких сосущих корней.

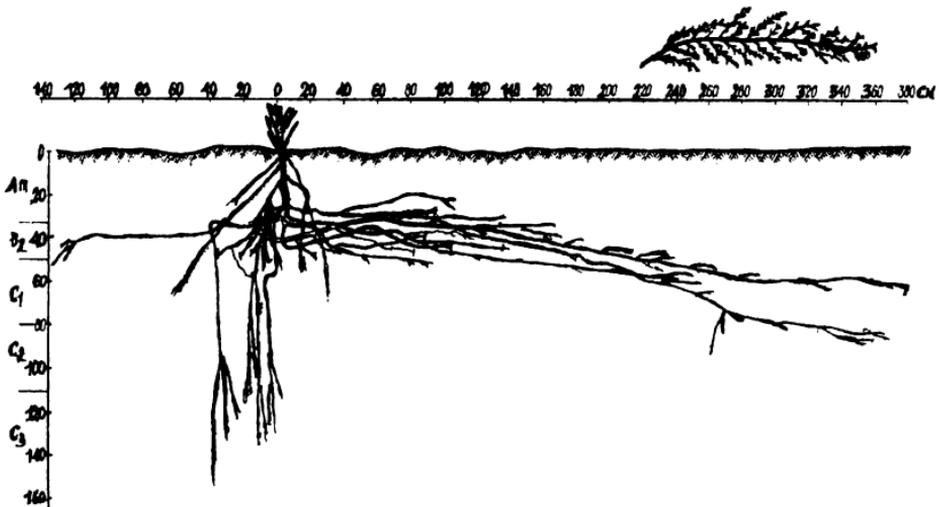


Рис. 8. Корневая система тамарикса трёхлетнего возраста на солонце.

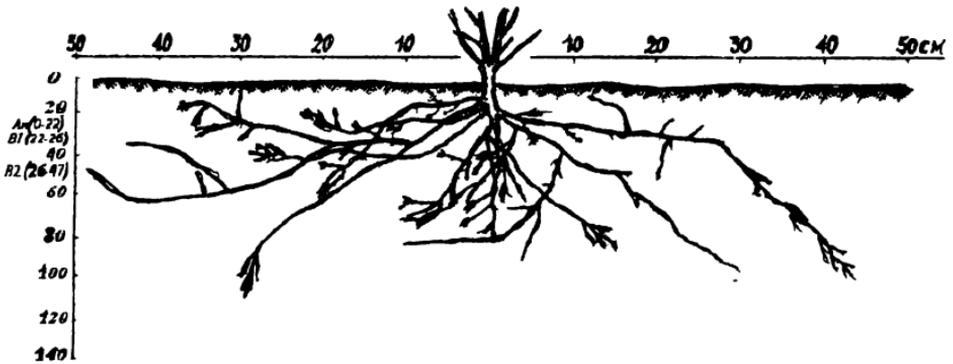


Рис. 9. Корневая система клёна ясенелистного пятилетнего возраста на солонце.

Клен чувствителен к повышенному содержанию легкорастворимых солей. Корни клена сосредоточены в основном в пахотном слое. В подсолонцовый горизонт они не идут или бывают в нем сильно угнетены, слабы, мало развиты. Клен ясенелистный имеет толстый главный корень. От него на глубине 15 см ответвляются мелкие тонкие корни длиной 10–60 см, идущие в горизонтальном и вертикальном направлениях. В вертикальном направлении корни отходят главным образом от главного корня, а не от вторичных, как у тамарикса. В основном они размещены в пахотном слое и только единичные входят в горизонт В1.

Ориентировочный подсчет показывает, что объем почвы, охватываемый одним кустом тамарикса составляет  $2,8 \text{ м}^3$ , а у клена ясенелистного— $1,4 \text{ м}^3$ .

Выращивание кустарников на солонцах показало, что многие из них выносливы к солонцовым и солончаковым свойствам почв, удовлетворительно развиваются на солонцах.

Мощная корневая система кустарников, разрыхляя почвенную толщу, изменяет их физические свойства: уменьшает плотность, увеличивает порозность, водопроницаемость, влагоемкость, глубину промачивания почвы. Это приводит к усилению процессов рассоления солонцов, улучшению их лесорастительных свойств. Перечисленные кустарники могут быть использованы как один из способов биологической мелиорации солонцов.

### Определение содержания (массы и объема) корней

В качестве примера приводится описание содержания (массы и объема) корней в серой лесной почве при различном сельскохозяйственном использовании: на современной пашне, под 10-ти летней луговой залежью и под 7–8-ми летним березняком.

Цель исследования - выявить причины улучшения физических и химических свойств в верхней части бывшего пахотного слоя (снижении плотности сложения переуплотненного пахотного слоя, улучшения его структурного состава, увеличения водопроницаемости, повышения содержания органического вещества и др.) на участках пашни, выведенной из сельскохозяйственного оборота.

Для оценки развития корневых систем на всех перечисленных участках проведено исследование корневых систем по 5-ти сантиметровым слоям до глубины 30 см. Для взятия почвенных образцов использовались стальные буры с круглым сечением высотой 5 и 10 см и объемом 680 и 1360 см<sup>3</sup>. Повторность определения - трехкратная. Одновременно во взятых образцах почвы определялась плотность и влажность почвы. В дальнейшем из почвенных образцов выделялись корни растений путем отмывки их в воде на ситах с диаметром 0,25 и 1 мм в диаметре. Использовались сита для определения структурного состава почв по методу Н.И. Саввинова.

Сразу после отмывки и обсушивания корней фильтровальной бумагой определяли их объем с помощью двух цилиндров. Масса корней определялась путем взвешивания корней в воздушно – сухом состоянии. По формуле рассчитывали насыщенность почвы корнями. Полученные данные приведены в таблице 1.

Как видно из таблицы под луговой залежью и березняком в верхней части бывшего пахотного слоя (0–15 см) отмечается значительное увеличение содержания корней по сравнению с современной пашней, что очевидно и явилось одной из причин улучшения физических и химических свойств в этом слое почв залежных участков. Так, на пашне объем корней в слое 0–15 см достигал 21–45 см<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup>; на луговой залежи он был больше в 3,7 раза, под березняком в 2,9 раза. Глубже 15 см объем корней на всех участках различался незначительно. Насыщенность почвы корнями, т.е. отношение объема корней к объему почвы, в которой они находились, на залежных участках в слое 0–5 см по сравнению с современной пашней возрастает соответственно в 3,5 раза на луговой залежи и 2,7 раза под березняком.

Таблица 1. Содержание корней (объем и масса) в серой лесной почве на пашне и залежных участках  
(Тульская обл., июль 2003 г.)

В слое, см	Угодье														
	Пашня, озимая пшеница					10-ти летняя залежь, дуг					8-9 ти летняя залежь, березняк				
	Объем корней		Масса корней		Насыщенность почвы корнями, %	Объем корней		Масса корней		Насыщенность почвы корнями, %	Объем корней		Масса корней		Насыщенность почвы корнями, %
	см <sup>3</sup> в пробе	см <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>	г в пробе	г/м <sup>2</sup>		см <sup>3</sup> в пробе	см <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>	г в пробе	г/м <sup>2</sup>		см <sup>3</sup> в пробе	см <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>	г в пробе	г/м <sup>2</sup>	
0-5	11,3	830	2,4	176	1,7	39,7	2918	12,1	889	5,8	34,3	2521	5,2	382	5,0
5-10	7,0	514	2,0	147	1,0	34,7	2550	7,8	573	5,1	26,0	1911	6,8	500	3,8
10-15	10,3	757	1,6	118	1,5	31,3	2300	4,8	353	4,6	22,3	1639	4,1	301	3,3
15-20	14,3	1051	2,5	184	2,1	16,3	1198	4,3	316	2,4	12,3	904	1,8	132	1,8
20-30	15,3	1124	1,4	103	1,1	17,3	1271	1,7	125	1,3	13,0	955	1,3	95	1,0
0-15	28,6	2101	6,0	441	1,4	105,7	7768	24,7	1815	5,2	82,6	6071	16,1	1183	4,0
15-30	29,6	2175	3,9	287	1,4	33,6	2469	6,0	441	1,7	25,3	1859	3,1	227	1,3

### Библиографический список

1. Вадюнина, А.Ф. Изменение физических свойств солонцов под влиянием кустарников // Почвоведение. №3. 1955. – С. 87 – 96.
2. Вадюнина, А.Ф., Мраморнова, М. В. Вяз мелколистный как главная порода в полевых защитных полосах на светлокаштановых почвах // Почвоведение. № 3. 1960. – С. 31 – 40.
3. Калинин, М.И. Корневедение. М.: Экология, 1991 – 173 с.
4. Карандина, С.Н. Изучение подземной части травянистых фитоценозов и растений в них. В кн.: Краткое руководство для геоботанических исследований в связи с полевых защитным лесоразведением. Изд. АН СССР, М.: 1952 – С. 159 – 162.
5. Карандина, Н.А. Изучение подземной части естественных и искусственных лесных насаждений и растений в них. Там же. С. 162-169.
6. Качинский, Н.А. Корневая система растений в почвах подзолистого типа. Тр. Моск. обл. с.-х. опытной станции - Вып. 7,- М., 1925. – 88 с.
7. Колесников, В.А. Методы изучения корневой системы древесных растений. –М., «Лесная промышленность», 1972. –. 152. с
8. Комарницкий, Н.А., Красовская И.В. Корень. БСЭ, т.22, 1953. С. 582 – 588.
9. Красильников, П.К. Методика изучения подземных органов деревьев, кустарников и лесных сообществ при полевых геоботанических исследованиях. В кн. « Полевая геоботаника», т.2. Изд. АН СССР, М.-Л., 1960. С. 448 – 474.
10. Красильников, П.К. Классификация корневых систем деревьев и кустарников // Лесоведение. №3. Наука. 1970. С. 35–44.
11. Красильников, П.К. Методика полевого изучения подземных частей растений. (с учетом специфики ресурсоведческих исследований). - Л. Наука. 1983. – 207 с.
12. Кречетова, Н.В., Долгова Л.Н. Лесные культуры. Корневедение древесных пород // Учебное пособие. Йошкар – Ола. 2001. – 108 с.
13. Кузнецова, И.В. Методы изучения корневых систем растений. В кн.: Агрофизические методы исследования почв. Изд-во «Наука», М., 1966.С. 212 – 226.
14. Кузнецова, И.В. Изучение корневых систем растений. В сб. Изучение технологических свойств почв. Киев. 1984. С. 97 – 108.
15. Левин, Ф.И. Методика учета биомассы корней и отбора растительных проб для анализа. В кн. Окультуривание подзолистых почв. М. 1967. С. 45-69

16. Орлов, А.Я. К методике количественного определения сосущих корней древесных пород в почве. Бюл. Моск. Общества испытателей природы, отд. биологии, т. 60, вып. № 3, 1955, Изд-во МГУ. С. 93 – 102.
17. Орлов, А.Я. О роли сосущих корней древесных растений в обогащении почвы органическим веществом. Ж. Почвоведение, N 6. 1955. С. 14 – 21.
18. Ремезов, Н.П., Родин Л.Е., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению биологического круговорота зольных веществ и азота наземных растительных сообществ в основных природных зонах умеренного пояса. Ботанич. журнал, т. 48, № 6, 1963, изд. АН СССР, М.-Л. – 142 с.
19. Тарановская, М.Г. Методы изучения корневых систем. Сельхозгиз, М., 1957. – 216 с.
20. Трунов, И.А. Методика изучения активной части корневой системы плодовых и ягодных культур // Мичуринск. Гос. с.х. Акад..1998. Гродно, 46 с.
21. Шалыт, М.С. Методика изучения морфологии и экологии подземной части отдельных растений и растительных сообществ. Полевая геоботаника. Т. 2, АН СССР, М. - Л, 1960. С.369 – 447.
22. Himmelbauer, M. Study of root growth in the field. (Австрия). Почвозн. Агрехим. Экология. 2001. Г.36, №4/6. С 179-181.
23. Okada, K., Kumura A. Dinamiks of organiks matters in the roots-rizoplane-soil sistem of maize. A simple and rapid method for measuring root respiration. Yapan Y. Crop Sc., 1990; - Т. 59. №1. P. 162-168.
24. Tayler, H.M. Methods of stadying root systems in the field. Hort Science. (США). 1986. Т 21. № 4. редж = с 252-256.

## Оглавление

<b>Введение</b> -----	<b>3</b>
<b>1. Морфология корня: термины и определения</b> -----	<b>4</b>
<b>2. Подготовительные работы</b> -----	<b>8</b>
<b>3. Качественные методы изучения строения подземных органов Растений</b> -----	<b>10</b>
3.1. Метод полной раскопки -----	10
3.2. Модификация метода полной раскопки по Н.А. Качинскому-----	11
3.2.1. Горизонтальная раскопка корневых систем-----	11
3.2.2. Вертикальная раскопка корневых систем-----	13
3.3. Траншейный метод-----	13
3.4. Описание, зарисовка и фотографирование корней-----	16
<b>4. Количественные методы учета подземных органов</b> -----	<b>19</b>
4.1. Метод монолитов или метод выемки образцов по почвенным горизонтам и слоям-----	19
4.2. Способы отбора проб корней различными бурами-----	21
4.3. Учет деятельных (сосущих) корней по методу А.Я. Орлова-----	21
4.4. Методы дробного учета-----	22
4.5. Метод Часовенной-----	22
4.6. Техника отмывки и очистки корней от почвы при количественном методе учета-----	22
<b>5. Обработка материалов, полученных в результате отмывки образцов корней, и оформление рисунков</b> -----	<b>24</b>
5.1. Определение объема корней -----	25
5.2. Определение массы корней-----	25
5.3. Определение поверхности корневой системы-----	26
5.4. Вычисление длины корней-----	26
5.5. Вычисление насыщенности почвы корнями-----	28
<b>6. Графическое изображение полученных данных и оформление рисунков</b> -----	<b>28</b>
<b>7. Неразрушающие методы изучения корневых систем растений</b> -----	<b>30</b>
Приложение № 1-----	31
Описание корневых систем растений-----	31
Приложение № 2-----	47
Определение содержания (массы и объема) корней-----	47
Библиографический список-----	49

*Учебное издание*

**Рожков Вячеслав Александрович**  
**Кузнецова Инна Васильевна**  
**Рахматуллоев Хушназар Рахматуллоевич**

## **МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ КОРНЕВЫХ СИСТЕМ РАСТЕНИЙ В ПОЛЕ И ЛАБОРАТОРИИ**

*Редактор И. И. Кожемяко*

*Компьютерный набор и верстка Х. Р. Рахматуллоева, И. В. Кузнецовой*

По тематическому плану внутривузовских изданий учебной литературы на 2008 г.

Подписано в печать 23.06.2008. Формат 60×90 1/16. Бумага 80 г/м<sup>2</sup>

Гарнитура «Таймс». Ризография. Усл. печ. л. 3,25.

Тираж 300 экз.                      Заказ № 347.

Издательство Московского государственного университета леса. 141005,  
Мытищи-5, Московская обл., 1-я Институтская, 1, МГУЛ.

E-mail: [izdat@mgul.ac.ru](mailto:izdat@mgul.ac.ru)

По вопросам приобретения литературы издательства ГОУ ВПО МГУЛ  
обращаться в отдел реализации.

Телефон: (498) 687-37-14.