

## Корневые системы растений в толще техноземов

И.Х. Узбек, доктор биологических наук

*Стверджується, що ділення загальної маси коренів на окремі фракції дає чітке уявлення про будову, розповсюдження і розділення корневих систем у товщі ґрунту (породи), дозволяє визначити ту частину коренів, через яку відбувається найбільше поглинання води та елементів живлення. Виведено формули, які дозволяють розрахувати поверхню кореневої системи, її довжину і насиченість ґрунтів або порід коренями.*

В толще созданных природой почв, принято считать, корневая система растений не ощущает такого большого воздействия окружающей среды, как наземная часть растений. Некоторые авторы объясняют это тем, что корни функционируют в сравнительно стабильных почвенных условиях и в меньшей степени подвержены воздействию экологических факторов. Например, Н.З. Станков считал корень более примитивным органом в сравнении с наземными частями растений [4].

Мысль весьма противоречива. Прежде всего потому, что на эродированных участках, и особенно на рекультивированных землях, корневые системы, скажем, бобовых растений обеспечивают получение высоких урожаев и характеризуются сильнодействующими средообразующими свойствами. Понятно, что такие функции примитивным органам растений не свойственны.

Наши многолетние исследования, которые проводятся на рекультивированных землях, дают возможность утверждать, что растение проявляет все свои генетические возможности только тогда, когда его корневая система функционирует в экстремальных почвенно-экологических условиях. Например, на рекультивированных участках карьеров рост, развитие и даже внешний вид растения полностью зависит от того, в какой степени отвечают экологические условия среды обитания биологическим возможностям растений, в частности ее корневой системе.

Еще В.В. Докучаев отмечал, что проникновение органических веществ с поверхности и “сгнивание подземных органов растений” изменяют окраску почв и приводят к тому, что почвы “всегда образовывались и будут образовываться на любой коренной породе” [1]. Следовательно, изучение величины массы корней и особенностей их развития на вскрышных почвах и горных породах имеет большое значение не только с теоретической точки зрения, но и для решения целого ряда практических вопросов, например связанных с обработкой рекультивированных земель, их плодородием, мелиорацией и т.д.

**Материалы и методы исследований.** Изучение корневых систем растений нами проводится с 1965 года и продолжается сегодня. Для этого на

отвалах карьеров Орджоникидзевого ГОКа в Никопольском районе Днепропетровской области создана биоэкологическая станция мониторинга техногенных ландшафтов. Почвенный субстрат отдельных участков станции представлен красно-бурыми и серо-зелеными глинами, лёссовидными суглинками, насыпным слоем чернозема южного и смесью лёссовидных суглинков и древнеаллювиальных песков (варианты опыта).

В этих породах содержались незначительные запасы валовых и подвижных форм фосфора, калия и особенно азота. Количество элементов питания значительно варьировало и зависело от гранулометрического состава. Так, содержание общего азота находилось в пределах 0,003–0,039 %, подвижного фосфора – 0,28–0,48 мг/100 г и обменного калия – 16–36 мг/100 г породы. Содержание гумуса составляло 0,05–0,82 %.

Как известно, наиболее распространенными методами изучения корневых систем растений являются весовые методы учета корней, которые заключаются в отборе почвенных монолитов из небольшой глубины. После отмывания корней определяется их масса и только на этом основании делается вывод о развитии всей корневой системы растения.

Прежде всего отметим *метод почвенного монолита* Н.А. Качинского [2], который использовался многими учеными. В дальнейшем Н.З. Станков [4] улучшил приемы отбора корней. Предложенный им *рамочный способ* позволяет проводить выемку почвенных монолитов отдельными кусками из глубины до 60 см. Однако только весовые данные не содержат подробной информации о подземной части растений. Важными показателями развития корневой системы являются также сведения о длине корней, их поверхности и насыщенности пород или почв корнями. Именно комплексное изучение этих показателей отражает влияние условий среды обитания на развитие корней и, следовательно, на рост и развитие всего растения.

Отечественной науке известны и другие методы [3, 5]. Это, в частности, *траншейный метод*, *метод горизонтального раскапывания*, *метод “кубиков”*, *метод “брусков”* и другие, не получившие, однако, широкого применения.

К сожалению, все эти методы не отражают эколого-биологических характеристик корневых систем, особенно при их произрастании в товще различных по качественным показателям почв.

**Результаты исследований и их обсуждение.** В своей работе мы несколько изменили известные методы изучения корневых систем растений. На каждом участке выбирали площадку с типичным и ровным травостоем, закладывали основной почвенный разрез, который лицевой стороной был расположен вдоль ряда изучаемых растений. В этом случае можно проводить описание почвы по морфологическим признакам и фотографирование всей изучаемой толщи.

На лицевой стенке разреза отмечали толщину всех слоев и общую глубину, определяемую схемой опытов. Для взятия монолитов использовали металлическую рамку, внутренние стороны которой захватывали два ряда растений. Она оконтуривала площадь 0,1 м<sup>2</sup> (32×32 см).

Рамку устанавливали на поверхности субстрата так, чтобы одна ее сторона была параллельна лицевой стенке разреза. Огражденные рамкой растения,

например люцерны или эспарцета, подсчитывали и срезали у корневой шейки. Ножом или хорошо заточенной лопатой делали надрезы вдоль внешних границ рамки. Со стороны лицевой стенки почвенного разреза брали монолит 10-сантиметровой толщины и укладывали в двухслойный марлевый мешочек. Затем выемку подчищали, а рамку опускали вниз для оконтуривания следующего слоя и так далее до глубины 1 м. После этого корни отмывали и доводили до воздушно-сухого состояния, при котором они приобретали одинаковую влажность.

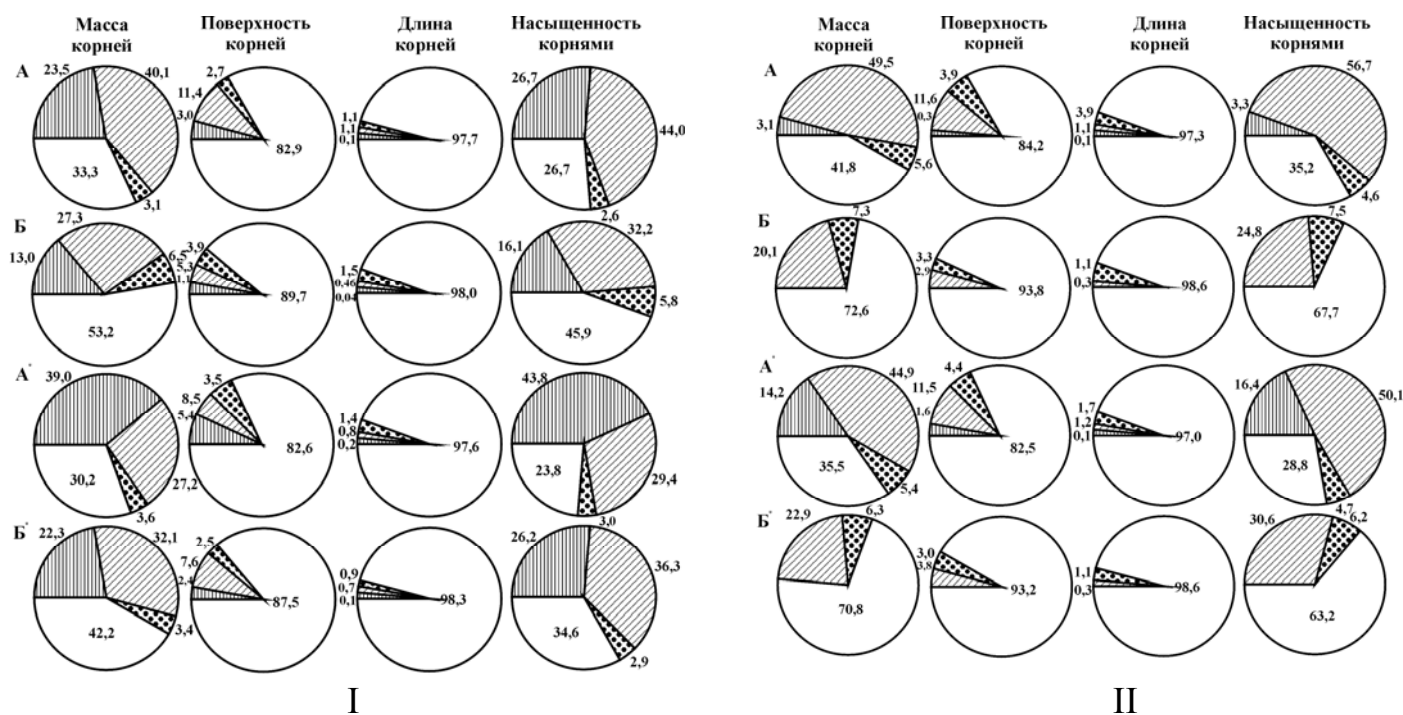
Однако общая масса корней еще не определяет величины, которая приходится на долю тонких (или толстых) корней. Поэтому в лабораторных условиях подземную часть растений распределяли по диаметру корней на 4 фракции:  $> 5$  мм, 5–1, 1–0,5 и  $< 0,5$  мм. Корни каждой фракции взвешивали на аналитических весах. Полученные результаты дают представление о строении, распространении и распределении корневой системы в толще рекультивируемых горизонтов. В этом случае появляется возможность ориентировочно судить и о той части корневой системы, через которую осуществляется наибольшее поглощение воды и элементов пищи.

В свое время Н.А. Качинский [2] разделял корни на две группы: тонкие – деятельные в поглощении веществ и толстые – недейательные. По его мнению, функцию поглощения выполняют тонкие корни или корни, покрытые корневыми волосками. Можно предположить, что и на рекультивируемых почвах основная роль в поглощении элементов питания приходится на долю корешков диаметрам  $< 1$  мм.

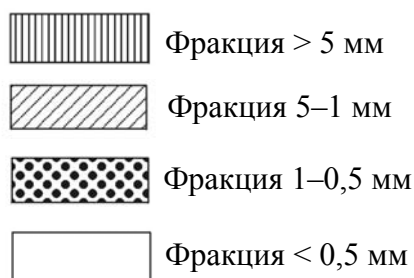
При разделении массы корней на фракции удалось обнаружить некоторые различия в развитии корневых систем люцерны и эспарцета. Например, люцерна образовывала значительное количество толстых корней, относящихся к фракциям  $> 5$  и 5–1 мм. Произрастая в таких же условиях, эспарцет создавал больше корней фракции  $< 0,5$  мм, т. е. тонких корней. Такая закономерность особенно сильно проявлялась на третичных глинистых отложениях (рисунок).

Масса тонких корешков в слое 0–100 см указанных пород достигала у люцерны 49 % и у эспарцета 85 % общей массы корней. Этот показатель, по-видимому, может служить относительной оценкой степени развития наиболее деятельной в поглощении веществ части корневой системы. Ведь именно тонкие корешки вступают в тесное взаимодействие с почвой и обеспечивают растение водой и элементами питания. Следовательно, величина поверхности тонких корней фракций 1–0,5 и  $< 0,5$  мм может считаться рабочей поглощающей поверхностью, которая поглощает питательные вещества и направляет их к сосудам корня.

Обращает на себя внимание и то обстоятельство, что растения образовывали мало корней фракции 1–0,5 мм. Однако эта часть корневой системы прослеживалась по всему профилю метровой толщи. При всех прочих равных условиях преимущественное развитие всегда получали корни двух фракций: 5–1 и  $< 0,5$  мм.



**Условные обозначения:**



***Развитие корневых систем люцерны (А) и эспарцета (Б), произрастающих на насыпном плодородном слое чернозема (I) и на серо-зеленых глинах (II)***

А", Б'" – внесение полного минерального удобрения (N P K)

Из глубины 50–60 см часто наблюдалась неравномерность (ярусность) в распределении корневых систем растений, которая проявлялась в том, что в нижних слоях пород корней содержалось больше, чем в верхних, расположенных над ними. Это объясняется особенностями физико-химических свойств некоторых слоев отвальной массы.

Фракционирование корневой системы позволяет определить поверхность и длину корней в зависимости от их толщины. Для получения этих показателей мы пользовались не объемом и диаметром корней, намоченных после высушивания [5], а данными усредненного диаметра и удельного веса воздушно-сухих корней отдельно по каждой фракции. Чтобы определить удельный вес воздушно-сухих корней, были использованы различные методы, которые показали очень близкие результаты. Усредненный диаметр и удельный вес корней люцерны и эспарцета по фракциям:

Фракция, мм	> 5	5–1	1–0,5	< 0,5
Диаметр корней, см	0,7	0,3	0,075	0,025
Удельный вес корней, г/см <sup>3</sup>	0,640	0,663	0,850	0,909

В исследованиях наблюдалась обратно пропорциональная зависимость

удельного веса корней и их диаметра: чем меньше диаметр, тем больше удельный вес. Этот показатель зависит от возраста корней, т. е. в значительной степени определяется структурой тканей. Если принять корни за цилиндры, то, располагая данными о массе воздушно-сухих корней конкретных фракций, их среднестатистическом диаметре и удельном весе, можно рассчитать поверхность ( $S$ , см<sup>2</sup>) всей корневой системы, ее длину ( $L$ , см) и насыщенность ( $H$ , %) почв или пород корнями по следующим формулам:

$$S_i = \frac{4P_i}{D_i d_i}; \quad L_i = \frac{S_i}{\pi D_i}; \quad H_i = \frac{P_i \cdot 100}{V d_i}.$$

где  $P_i$  – масса корней  $i$ -той фракции, г;  $D_i$  – среднестатистический диаметр корней  $i$ -той фракции, см;  $\pi$  – 3,14;  $d_i$  – среднестатистический удельный вес корней  $i$ -той фракции, г/см<sup>3</sup>;  $V$  – объем почвы или породы, см<sup>3</sup>.

Преобразование формул дает коэффициенты, при помощи которых легко и быстро можно получить подробную информацию о корнях по каждой фракции отдельно, а при суммировании – о всей подземной части растения (табл. 1).

Существенное влияние на строение, распространение и распределение корневой системы в толще рекультивируемых горизонтов оказывают условия питания, влажность, плотность и специфические свойства отдельных слоев отвальной массы. Так, в метровой толще неудобренных лёссовидных суглинков и насыпного слоя почвы толщиной 40–50 см масса воздушно-сухих корней эспарцета 3-го года жизни соответственно составляла 465,7 и 395,8 г/м<sup>2</sup> соответственно. В вариантах с применением полного минерального удобрения дополнительно образовывалось 245–248 г/м<sup>2</sup> корней.

### **1. Коэффициенты для расчетов некоторых агробиологических характеристик корневых систем люцерны и эспарцета**

Фракция, мм	Поверхность корней, см <sup>2</sup>	Длина корней, см	Насыщенность корнями, %
> 5	$P \cdot 8,93$	$S : 2,20$	$P : 640$
5–1	$P \cdot 20,11$	$S : 0,94$	$P : 663$
1–0,5	$P \cdot 62,79$	$S : 0,23$	$P : 850$
< 0,5	$P \cdot 176,21$	$S : 0,078$	$P : 909$

При внесении удобрений на красно-бурых и серо-зеленых глинах наблюдалась тенденция к уменьшению массы подземной части растений. В то же время в неудобренных третичных глинистых отложениях общая масса корней почти всегда был выше, чем в неудобренных породах четвертичного возраста.

Во всех вариантах опытов в слое 0–40 см сосредотачивалось 77–85 % корней их общей массы в исследуемом слое 0–100 см. При условном перерасчете на 1 га только в этом верхнем горизонте накапливалось от 3 до 9 т воздушно-сухих корней. Понятно, что разложение такого большого количества органического материала бобовых культур оказывает существенное влияние на ход почвообразования рекультивируемых почв. Именно в этом слое концентрируются и микроорганизмы, число которых достигает нескольких

десятков миллионов на 1 г навески.

Многолетние бобовые травы, возделываемые на рекультивируемых участках, образуют мощную корневую систему с огромной протяженностью и поверхностью (табл. 2). Из всех изучаемых нами субстратов максимальные величины поверхности и длины корней обнаружены у растений, произрастающих на третичных глинистых отложениях. Так, поверхность корней эспарцета фракции < 0,5 мм достигала 92 тыс. см<sup>2</sup>. Тонкие корни имели наибольшую длину. Если общая протяженность корневой системы находилась в пределах от 5 до 13 км/м<sup>2</sup>, то на долю корешков самой тонкой фракции приходилось 95–99 %.

Корни густой сетью пронизывали и закрепляли вскрышные породы, оставляя в них богатый питательными веществами органический материал. Это подтверждает насыщенность субстратов корнями (табл. 2), которая находилась в прямой зависимости от массы корней и достигала у эспарцета 0,94 % и у люцерны 1,42 % от исследуемого объема породы или почвы. Разделение корней на фракции и использование предложенных формул приоткрывают некоторые биологические особенности развития подземной части растений.

## 2. Развитие корневых систем люцерны и эспарцета 3-го года жизни (данные на 1 м<sup>2</sup>)

Вариант	Поверхность корней, см <sup>2</sup>	Длина корней, м				Насыщенность корнями, %	
	мощность слоя, см						
	0–40	0–100	0–40	0–100	0–40	0–100	
Слой почвенной массы: удобренный	<u>29700*</u>	<u>41361</u>	<u>3462</u>	<u>4852</u>	<u>0,397</u>	<u>0,503</u>	
	39196	51775	4180	5634	0,858	1,002	
удобренный N <sub>80</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>	<u>42871</u>	<u>54660</u>	<u>4866</u>	<u>6244</u>	<u>0,734</u>	<u>0,859</u>	
	44520	58026	4718	6299	1,113	1,254	
Лёссовидный суглинок: неудобренный	<u>41631</u>	<u>57194</u>	<u>4972</u>	<u>6901</u>	<u>0,458</u>	<u>0,574</u>	
	49231	67484	5036	7056	1,100	1,364	
удобренный N <sub>80</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>	<u>50463</u>	<u>63853</u>	<u>5844</u>	<u>7424</u>	<u>0,815</u>	<u>0,943</u>	
	51600	69282	5512	7491	1,161	1,418	
Серо-зеленая глина: неудобренная	<u>75986</u>	<u>106551</u>	<u>9231</u>	<u>13003</u>	<u>0,715</u>	<u>0,938</u>	
	52140	75261	5642	8491	0,893	1,068	
удобренная N <sub>80</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>	<u>61501</u>	<u>82467</u>	<u>7372</u>	<u>9996</u>	<u>0,625</u>	<u>0,772</u>	
	42497	58533	4543	6436	0,854	0,996	
Красно-бурая глина: неудобренная	<u>82965</u>	<u>108119</u>	<u>10219</u>	<u>13400</u>	<u>0,651</u>	<u>0,817</u>	
	71916	103451	8151	11998	1,116	1,369	
удобренная N <sub>80</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>	<u>56764</u>	<u>82172</u>	<u>6784</u>	<u>9906</u>	<u>0,592</u>	<u>0,778</u>	
	69677	96939	7739	10985	1,096	1,336	

\*Здесь и в табл. 3: числитель – эспарцет, знаменатель – люцерна.

Оказывается, общая масса корней не отражает истинной характеристики их поверхности и длины. Об этом свидетельствуют данные табл. 3: корни в воздушно-сухом состоянии массой 1 г имели разную поверхность и длину. Решающая роль в этом принадлежит качественным показателям субстрата.

Улучшение условий питания не всегда оказывало положительное действие на развитие корневых систем. Внесение удобрений увеличивало массу корней только на четвертичных отложениях, но ни в одном варианте опыта этот прием не способствовал увеличению поверхности или длины корней. Такая закономерность позволяет говорить о большой пластичности корневых систем, отражающих физико-химические свойства отдельных слоев отвальной массы. На бедность субстрата питательными веществами растения реагировали увеличением длины и поверхности корней, т. е. в поисках пищи создавали больше корешков фракции < 0,5 мм.

### **3. Поверхность и длина корневых систем эспарцета и люцерны в пересчете на 1 г воздушно-сухой массы**

Вариант	Масса корней, г/м <sup>2</sup>		Поверхность корней, см <sup>2</sup>		Длина корней, м	
	мощность слоя, см					
	0–40	0–100	0–40	0–100	0–40	0–100
Слой почвенной массы: удобренный	<u>305,8</u>	<u>395,8</u>	<u>97,1</u>	<u>104,5</u>	<u>11,3</u>	<u>12,3</u>
	616,3	731,3	63,6	70,8	6,8	7,7
удобренный N <sub>80</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>	<u>541,6</u>	<u>643,8</u>	<u>79,2</u>	<u>84,9</u>	<u>9,0</u>	<u>9,7</u>
	786,2	901,3	56,6	64,4	6,0	7,0
Лёссовидный суглинок: неудобренный	<u>364,6</u>	<u>465,7</u>	<u>114,2</u>	<u>122,8</u>	<u>13,6</u>	<u>14,8</u>
	787,1	988,0	62,6	68,3	6,4	7,2
удобренный N <sub>80</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>	<u>605,2</u>	<u>711,2</u>	<u>83,4</u>	<u>89,8</u>	<u>9,7</u>	<u>10,4</u>
	828,4	1024,6	62,3	67,6	6,7	7,3
Серо-зеленая глина: неудобренная	<u>589,1</u>	<u>783,8</u>	<u>129,0</u>	<u>135,9</u>	<u>15,7</u>	<u>16,6</u>
	662,5	814,9	78,7	92,4	8,5	10,
удобренная N <sub>80</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>	<u>506,9</u>	<u>635,2</u>	<u>121,3</u>	<u>129,8</u>	<u>14,5</u>	<u>15,7</u>
	618,0	738,3	68,8	79,3	7,4	8,7
Красно-бурая глина: неудобренная	<u>586,7</u>	<u>734,7</u>	<u>141,4</u>	<u>147,2</u>	<u>17,4</u>	<u>18,3</u>
	837,2	1054,4	85,9	98,1	9,7	11,4
удобренная N <sub>80</sub> P <sub>80</sub> K <sub>80</sub>	<u>475,4</u>	<u>639,4</u>	<u>119,3</u>	<u>128,5</u>	<u>14,3</u>	<u>15,5</u>
	821,6	1025,5	84,8	94,5	9,4	10,7

Характерно, что подземная часть растений интенсивнее развивалась на красно-бурых и серо-зеленых глинах. При этом показатели поверхности и длины корней люцерны почти всегда были ниже, чем эспарцета, у которого на долю тонких корешков приходилось 90–98 % общей поверхности корневой системы и ее длины.

Данные табл. 3 убедительно свидетельствуют о преимуществах предлагаемого нами метода, который позволяет возможность получить подробную эколого-биологическую информацию не только о корневой системе растений, но и о физико-химических свойствах даже отдельно взятых слоев почвы.

Кроме того, этот метод:

- ◆ сокращает время на определение поверхности и длины корней, насыщенности ими пород или почв за счет исключения дополнительных работ при проведении многочисленных и очень неудобных измерений объемов корней в мерных цилиндрах;

- ◆ простой в употреблении, поскольку исследователь пользуется установленными фракциями корней, которые имеют постоянные коэффициенты для расчетов эколого-биологических характеристик;

- ◆ обеспечивает высокую надежность и точность исследований, ибо дает возможность при необходимости осуществить контроль достоверности полученных данных, то есть сделать повторный расчет;

- ◆ увеличивает количество исследуемых почвенных монолитов, так как в полевых условиях проводится только их отбор и отмывка корней, а все остальные работы можно выполнять в лабораторных условиях в любое удобное для исследователя время;

- ◆ предоставляет реальную эколого-биологическую информацию о строении и распространении корневой системы, которая функционирует в конкретных почвенно-экологических условиях;

- ◆ позволяет создать банк данных об особенностях развития корневых систем растений и рекомендовать наиболее приемлемый способ фитомелиорации конкретной местности.

### **Выводы**

1. *Разделение общей массы корней на фракции дает широкое представление о строении, распространении и распределении корневых систем в толще почвы или породы, позволяет определить ту часть корней, через которую осуществляется наибольшее поглощение воды и элементов питания.*

2. *Выведены формулы, применение которых помогает получить эколого-биологическую характеристику корневых систем растений, раскрывает некоторые особенности их развития, отражает физико-химические свойства отдельных слоев почвенной массы, способствует познанию почвообразовательного процесса, возникающего на рекультивируемых или эродированных землях.*

3. *Насыщенность вскрышных пород корнями прямо пропорциональна их массе, а поверхность корневой системы и ее протяженность являются величинами, не сопряженными с массой корней. При этом, чем беднее субстрат питательными веществами, тем большую поверхность и длину развивает корневая система.*



### ***Библиография***

1. Докучаев В.В. Русский чернозем / В.В. Докучаев.– М.; Л. : ОГИЗ, Сельхозгиз, 1936. – 529 с.
2. Качинский Н.А. Изучение физических свойств почв и корневых систем растений / Н.А. Качинский. – М. : Сельхозгиз, 1930. – 101 с.
3. Кузнецова И.В. Методы изучения корневых систем растений / И.В. Кузнецова // Агрофизические методы исследования почв. – М. : Наука, 1966. – С. 212–225.
4. Станков Н.З. Методы взятия корней в поле / Н.З. Станков // Докл. ВАСХНИЛ. – М., 1951. – № 11. – С. 121–126.
5. Тарановская М.Г. Методы изучения корневых систем / М.Г. Тарановская. – М. : Сельхозгиз, 1957. – 96 с.