

УДК 634.11:581.43

**А. Н. Рыжаков, В. Н. Шкура**

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,  
Российская Федерация

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНОЙ МАССЫ КОРНЕЙ ЯБЛОНЕВЫХ РАСТЕНИЙ**

Цель исследования – установить закономерности уменьшения или увеличения расстояния от штамба растения до границы зоны с основной массой корней яблоневых растений в почве в зависимости от возраста растения. В результате аналитической обработки по каждой характерной совокупности опытных данных была получена описывающая их эмпирическая зависимость. По каждой функциональной связи устанавливались статистические характеристики по их достоверности и точности, аппроксимирующие опытные данные. Было определено, что удаленность основной массы корней от штамба растения по различным измеряемым показателям (по количеству и протяженности корней, а также по количеству срезов корней) и по разным видам, сортам и привоям может быть аппроксимирована соответствующими зависимостями. Анализ позволил выявить высокую степень сходимости (величина достоверности аппроксимации составила 0,931) значений удаленности от штамба растения до зоны, которая содержит 68,2 % корневой массы, определенных по показателям «количество корней» и «протяженность корней». Однотипность функциональных связей свидетельствует не только об устойчивости морфометрических структур корневых систем древесных культур, но и о возможности использования полученных зависимостей в практических расчетах для принятия решения по выбору оптимальных схем посадки и размещения микрокапельных водовыпусков в подкроновом и кроновом пространстве с целью управления ростом и развитием корневых систем яблоневых растений. Таким образом, зная возраст яблони, можно определить удаленность границ зоны, содержащей основную массу корней растения, от его штамба в процентном отношении к среднему радиусу его корневой системы. Полученные данные позволяют определить граничную минимально необходимую зону искусственного увлажнения.

Ключевые слова: геометрические параметры корневой системы, яблоня, основная масса корней, штамп, параметр, функциональные связи, подкроновое и кроновое пространство.

**A. N. Ryzhakov, V. N. Shkura**

Russian Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

## **STUDY OF THE MAIN MASS OF ROOTS OF APPLE TREE**

The objective of the research is to determine the pattern of reducing and increasing the distance from bole of a plant to the boundary of zone with main mass of roots of apple tree in soil depending on its age. Analytical processing on each characteristic package of experimental data was resulted in empirical relationship. For each functional relation, statistical characteristics of their validity and accuracy of approximating the experimental data were established. It was determined that the distance of the main mass of roots from bole of apple tree on different measured indicators (quantity and length of roots, as well as the quantity of root cuts) and species, cultivars and rootstocks can be approximated by the corresponding dependencies. Analysis enabled to reveal a high degree of convergence (magnitude of reliability of approximation was 0.931) for the values of the distance from the bole of apple tree to the

zone where situated 68.2 % of root mass, which were determined by the terms of “quantity of roots” and “root length”. Uniformity of functional relations indicates not only the sustainability of morphometric structures of root systems of trees but shows the opportunity of using obtained relationships in practical calculations for decision making on selecting the optimal scheme of planting and layout of drip emitters in under-crown and outside-crown space in order to handle growth and development of root systems of apple trees. Thereby, knowing the age of an apple enables to determine the distance for boundaries of zone contained the main mass of plant roots from its bole as a percentage of the average radius of its root system. The obtained data enable to determine minimum required zone for artificial moisturizing.

Keywords: geometric parameters of the root system, apple tree, main mass of roots, bole, parameter, functional relations, under-crown and outside-crown space.

**Введение.** Необходимость аналитического исследования геометрических параметров корневой системы плодовых деревьев обусловлена недостаточностью доступных практических рекомендаций по определению удаленности корней от штамба растений для последующего (на их основе) выбора оптимальных технологий и зон их орошения. В известных источниках информации [1–10] приведено большое количество данных экспериментальных исследований по изучению протяженности корней корневой системы плодовых насаждений и распределения их относительно положения корневой шейки древесных культур. При исследованиях корневых систем яблоневых деревьев используются различные методики, способы и технологии раскопок корней и разные виды измерений параметров корней, позволяющих определить их геометрические характеристики и всей корневой системы в целом. Основным способом экспериментального измерения параметров корневых систем растения до настоящего времени остается способ их раскопки, фиксации расположения откопанных корней, отмывки изымаемых корней и последующих прямых измерений их длины, толщины, массы и (или) количества срезов. При этом используются различные способы, технологии и объемы раскопок корневых систем. Наиболее часто применяются технологии раскопок только части корневых систем деревьев с устройством траншей и раскопочных секторов различных размеров и конфигураций. Достаточно обстоятельно методические вопросы исследований корневых систем древесных плодовых растений, и ябло-

ни в частности, рассмотрены В. И. Будаговским [1], Г. Х. Васкан [2], М. И. Калининым [3], А. И. Касьяненко [4], В. А. Колесниковым [5–8], С. Ф. Неговеловым [9], П. Г. Шиттом [10] и другими.

Анализируя опубликованные опытные данные, необходимо было выявить и установить возможные связи (зависимости) между удаленностью корней от штамба растения (закономерности снижения или увеличения плотности основной массы корней в почве по мере удаления корней корневой системы от штамба растения в горизонтальном и вертикальном (глубинном) направлении) и возрастом растения, природно-климатическими условиями региона его произрастания, видом подвоя и (или) сортом привоя и, возможно, между разными видами (типами) плодовых древесных культур.

Отметим, что применение понятий основной массы и основного объема корней в источниках не имеет четкого определения и соответствующих критериев их выявления, что приводит к неоднозначности (неопределенности) и неточности показателей, определяющих геометрические параметры корневых систем растений [11]. В данном исследовании под термином «основная масса корней» (в отличие от работ В. Н. Шкуры, Д. Л. Обухова, Е. Н. Луневой (2013) и др. [1–11]) предлагается понимать количество, массу и (или) протяженность корней корневой системы древесных растений на уровне 68,2 % от всего ее объема. В этом предположении авторы исходили из правила трех сигм ( $3\sigma$ ), когда практически все значения нормально распределенной случайной величины лежат в интервале  $(\bar{x} - 3\sigma; \bar{x} + 3\sigma)$  этих показателей по всей корневой системе или ее части, сосредоточенной в определенном (измеряемом) пространстве (глубине проникновения корней в почвогрунтовую толщу или удаленности корней растения от штамба). Данный критериальный подход представляется авторам в большей степени вероятно обоснованным и статистически строгим.

**Материалы и методы.** Для проведения аналитического исследования параметров корневой системы на вышеуказанном критериальном уровне были использованы известные экспериментально установленные схемы горизонтальных и вертикальных проекций корневых систем различных фруктовых растений, приведенные В. И. Будаговским, А. И. Касьяненко и В. А. Колесниковым в их работах [1, 4–8], а также данные собственных опытных раскопок деревьев яблони сорта Айдаред.

Методика камеральной обработки данных полевых измерений корней и корневых систем древесных культур заключалась в нижеследующем:

1) представленные в источниках полные площадные или секторальные схемы расположения корней дерева и полученные в ходе раскопок схемы корневых систем растений разбивались на сектора по  $45^\circ$  каждый;

2) определялся расчетный радиус корневой системы деревьев согласно методике, приведенной в работах А. Н. Рыжакова, Е. Н. Луновой (2014) [12], Д. Л. Обумахова (2014) [13]. При этом в расчетах предлагается рассматривать не максимальное ( $R_{к, макс}$ ), а среднее значение радиуса корневой системы, так как средняя (осредненная) по корневой системе удаленность корней от штамба растения ( $R_{к, ср}$ ) является более устойчивой характеристикой;

3) согласно методике, приведенной в работе В. Н. Шкуры, Д. Л. Обумахова, Е. Н. Луновой (2013) [11], каждый сектор корневой системы делился на несколько концентрических учетных зон размером, кратным  $0,2R_k$ , где  $R_k$  – принятый расчетный радиус корневой системы;

4) в каждом из выделенных замерных секторов и по каждой замерной концентрической зоне определялось значение измеряемого параметра (количество корней, протяженность корней и (или) количество срезов корней);

5) устанавливались функциональные связи между факторами влияния и искомыми определяемыми параметрами корневых систем, и строи-

лись графические зависимости вида  $(N_{к,l})_{\%} = f(R_{к})$ ,  $(L_{к,l})_{\%} = f(R_{к})$  и  $(N_{к,срез.})_{\%} = f(R_{к})$ ;

б) по полученным функциональным графикам устанавливалась величина удаленности зоны с основным количеством концентрирующихся в ее пределах корней растения. Затем графические зависимости  $(N_{к,l})_{\%} = f(R_{к})$ ,  $(L_{к,l})_{\%} = f(R_{к})$  и  $(N_{к,срез.})_{\%} = f(R_{к})$  строились по группам растений в зависимости от их возраста;

7) на следующем этапе аналитической обработки по каждой характерной совокупности опытных данных и каждой функциональной графической зависимости (по пункту 5) устанавливалась описывающая их эмпирическая зависимость. По каждой функциональной связи устанавливались статистические характеристики по их достоверности и точности, аппроксимирующие опытные данные расчетных зависимостей.

**Результаты и обсуждение.** Полученные результаты обработки представлены в таблице 1. Вся совокупность опытных данных по удаленности границы, очерчивающей зону расположения основной массы корней яблоневых растений, в процентном отношении к среднему радиусу их корневых систем сгруппирована по возрасту и приведена в таблице 2.

Согласно данным таблицы 2, к возрасту 12 лет границы зоны, содержащей основную массу корней, у яблонь достигают наибольшей удаленности от штамба растения. Затем удаленность этих границ начинает падать, опускаясь к своему минимуму к возрасту 22 лет. Но в дальнейшем эта величина выравнивается и вновь достигает средних значений.

Данные таблицы 2 могут быть представлены в виде функциональных связей вида  $(l_{з,о/м}/R_{к,ср})_{N_{к}} = f(t)$ ,  $(l_{з,о/м}/R_{к,ср})_{L_{к}} = f(t)$  и  $(l_{з,о/м}/R_{к,ср})_{N_{к,срез.}} = f(t)$ , где  $l_{з,о/м}$  – удаленность границы зоны, содержащей основную массу корней корневой системы растения, от его штамба; индексы  $N_{к}$ ,  $L_{к}$  и  $N_{к,срез.}$  обозначают показатель, используемый при проведении опытных замеров и их аналитической обработке.

**Таблица 1 – Результаты камеральной обработки проекций корневых систем фруктовых древесных растений**

Источник информации	Данные по источнику информации		Средний радиус корневой системы $R_{к,ср}$ , м	Расстояние от штамба, на котором основная масса корней находится на уровне 68,2 % по измеряемому параметру					
	Сорт (подвой), возраст древесной культуры	Условия произрастания (область, почва, уровень грунтовых вод) древесной культуры		в % от $R_{к,ср}$			в метрах		
				по количеству корней	по протяженности корней	по количеству срезов корней	по количеству корней	по протяженности корней	по количеству срезов корней
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Яблоня</b>									
[4]	Пепинка литовская, (дусен III), 2 года	Мелитопольская ОС; песчано-среднесуглинистый чернозем; 13–15 м	0,7	77	76	64	0,54	0,53	0,45
[4]	Ренет ландсбергский (дусен II), 2 года	Мелитопольская ОС; песчано-среднесуглинистый чернозем; 13–15 м	0,65	96	98	78	0,62	0,64	0,51
[4]	Ренет ландсбергский (дусен III), 2 года	Мелитопольская ОС; песчано-среднесуглинистый чернозем; 13–15 м	0,6	92	89	75	0,55	0,53	0,45
[4]	Ренет ландсбергский (парадизка VIII), 2 года	Мелитопольская ОС; песчано-среднесуглинистый чернозем; 13–15 м	0,6	81	80	71	0,49	0,48	0,43
[1]	Розмарин белый, 5 лет	Посадка по обычной вспашке (25 см)	3,8	76	74	65	2,89	2,81	2,47
[1]	Розмарин белый, 5 лет	Посадка по плантажу (60 см)	5,1	82	80	64	4,18	4,08	3,26
[5]	Антоновка обыкновенная (Анис), 6 лет	Москва, учхоз «Отрадное»; дерново-подзолистые почвы на лессовидных суглинках; посадка по плантажу (55–62 см)	1,6	84	81	71	1,34	1,30	1,14

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
[5]	Антоновка обыкновенная (Анис), 6 лет	Москва, учхоз «Отрадное»; дерново-подзолистые почвы на лессовидных суглинках; по вспашке с почвоуглубителем (35–40 см)	1,5	97	90	93	1,46	1,35	1,40
[5]	Антоновка обыкновенная (Анис), 6 лет	Москва, учхоз «Отрадное»; дерново-подзолистые почвы на лессовидных суглинках; по обычной вспашке (20–25 см)	1,15	82	81	64	0,94	0,93	0,74
[4]	Ренет Симиренко (парадизка IX), 7 лет	Мелитопольская ОС; глубокий малогумусный слабоструктурный чернозем; 10 м	2,3	83	84	73	1,91	1,93	1,68
[4]	Ренет Симиренко (лесная яблоня), 7 лет	Мелитопольская ОС; глубокий малогумусный слабоструктурный чернозем; 10 м	3,9	84	85	72	3,28	3,32	2,81
[4]	Анис серый (лесная яблоня), 10 лет	Доно-Цимлянский песчаный массив; черноземовидные среднесупесчаные; 4 м	4,2	83	81	70	3,49	3,40	2,94
[5]	Анис серый (лесная яблоня), 10 лет	Доно-Цимлянский песчаный массив; черноземовидные среднесупесчаные; 2,5 м	5,9	84	82	67	4,96	4,84	3,95
[6]	Кандиль синап, (лесная яблоня), 12 лет	Крым	3,0	100	101	85	3,00	3,03	2,55
-	Айдаред, 18 лет	Ростовская область	2,75	83	89	61	2,21	2,37	1,62
[5]	Китайка санинская, 20 лет	Доно-Цимлянский песчаный массив; черноземовидные среднесупесчаные; 4,5 м	3,2	79	81	78	2,53	2,59	2,50

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-	Айдаред, 22 года	Ростовская область	2,8	74	71	53	2,22	2,13	1,59
[5]	Антоновка обыкновенная (Анис), 25 лет	Московская область	1,7	82	81	66	1,39	1,38	1,12
[5]	Китайка золотая ранняя (Анис), 25 лет	Московская область	4,1	85	83	68	3,49	3,40	2,79
[5]	Пепин шафран- ный (Анис), 25 лет	Московская область	2,7	100	93	81	2,70	2,51	2,19
[8]	Сара синап, 45 лет	Крым	9,0	86	82	72	7,74	7,38	6,48



**Таблица 2 – Величина удаленности зоны с основным количеством концентрирующихся в ней корней в зависимости от возраста растения**

Возраст яблонь $t$ , лет	Удаленность границы зоны, содержащей 68,2 % массы корней растения, от его штамба в процентном отношении к среднему радиусу их корневых систем, $(l_{3,0/м}/R_{к,ср}) = f(t)$ , %		
	по количеству корней ( $N_k$ )	по протяженности корней ( $L_k$ )	по количеству срезов корней ( $N_{к,срез}$ )
2	86,5	85,8	72,0
5	79,0	77,0	64,5
6	87,7	84,0	76,0
7	83,5	84,5	72,5
10	83,5	81,5	68,5
12	100,0	101,0	85,0
18	83,0	89,0	61,0
20	79,0	81,0	78,0
22	74,0	71,0	53,0
25	89,0	85,7	71,7
45	86,0	82,0	72,0

Указанные функциональные связи, полученные при математической обработке экспериментальных данных, описываются зависимостями:

- по количеству корней ( $N_k$ ):

$$(l_{3,0/м}/R_{к,ср})_{N_k} = 85,17 - 0,084t, R^2 = 0,9329; \quad (1)$$

- по протяженности корней ( $L_k$ ):

$$(l_{3,0/м}/R_{к,ср})_{L_k} = 85,16 - 0,033t, R^2 = 0,9253; \quad (2)$$

- по количеству срезов корней ( $N_{к,срез}$ ):

$$(l_{3,0/м}/R_{к,ср})_{N_{к,срез}} = 75,55 - 0,075t, R^2 = 0,9046. \quad (3)$$

В зависимостях (1–3) значения  $l_{3,0/м}/R_{к,ср}$  устанавливаются в процентах.

**Выводы.** Анализ зависимостей позволил отметить высокую степень сходимости значений удаленности от штамба растения зоны, которая содержит 68,2 % корневой массы, определенных по показателям «количество корней» ( $N_k$ ) и «протяженность корней» ( $L_k$ ). Это позволяет использовать при расчетах одну общую для этих видов измерений зависимость:

$$(l_{з,о/м}/R_{к,ср})_{N_k, L_k} = 85,175 - 0,0586t, R^2 = 0,931. \quad (4)$$

Отличия функциональных значений, определенных по формулам (3) и (4), и сопоставимость значений  $l_{з,о/м}/R_{к,ср}$  по зависимостям (1) и (2) объясняются особенностями применяемых показателей. Однотипность функциональных связей свидетельствует не только об устойчивости морфометрических структур корневых систем древесных культур, но и о возможности использования полученных зависимостей в практических расчетах для принятия решения по выбору оптимальных схем посадки и размещения микрокапельных водовыпусков в подкроновом и закроновом пространстве с целью управления ростом и развитием корневых систем яблоневых растений.

Таким образом, зная возраст яблони, можно определить удаленность границ зоны, содержащей основную массу корней растения, от его штамба в процентном отношении к среднему радиусу их корневых систем. К примеру, полученные данные позволяют определить граничную минимально необходимую зону искусственного увлажнения.

### Список литературы

- 1 Будаговский, В. И. Карликовые подвои для яблони / В. И. Будаговский. – М.: Гос. изд-во с.-х. лит., 1959. – 352 с.
- 2 Васкан, Г. Х. Характер развития корневой системы яблони / Г. Х. Васкан // Бюллетень института информации Молдавского НИИ садоводства, виноградарства и виноделия. – 1959. – Вып. 3. – С. 47–51.
- 3 Калинин, М. И. Корневедение / М. И. Калинин. – М.: Экология, 1991. – 173 с.
- 4 Касьяненко, А. И. Плодоводство на карликовых подвоях / А. И. Касьяненко. – Киев: Госсельхозиздат УССР, 1963. – 244 с.
- 5 Колесников, В. А. Корневая система плодовых и ягодных растений / В. А. Колесников. – М.: Колос, 1974. – 509 с.
- 6 Колесников, В. А. Частное плодоводство / В. А. Колесников. – М.: Колос, 1973. – 456 с.
- 7 Колесников, В. А. Корневая система плодовых и ягодных растений и методы ее изучения / В. А. Колесников. – М.: Сельхозиздат, 1962. – 191 с.
- 8 Колесников, В. А. Плодоводство / В. А. Колесников. – М.: Колос, 1979. – 415 с.
- 9 Неговелов, С. Ф. Корни яблони на различных типах почв / С. Ф. Неговелов, С. А. Челобянец // Садоводство. – 1967. – № 9. – С. 17–18.
- 10 Шитт, П. Г. Биологические основы агротехники плодоводства / П. Г. Шитт. – М.: Гос. изд-во с.-х. лит., 1952. – 363 с.
- 11 Шкура, В. Н. Геометрия корневых систем яблони: моногр. / В. Н. Шкура,

Д. Л. Обумахов, Е. Н. Лунева; под ред. В. Н. Шкуры. – Новочеркасск: «Лик», 2013. – 124 с.

12 Рыжаков, А. Н. Метод расчета среднего радиуса корневой системы плодового дерева для обоснования схемы расположения системы капельного и подкоронового орошения [Электронный ресурс] / А. Н. Рыжаков, Е. Н. Лунева // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. – № 2(14). – 12 с. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=252&id=257>.

13 Обумахов, Д. Л. Расчетный метод определения геометрических параметров корневой системы яблони для обоснования способов полива [Электронный ресурс] / Д. Л. Обумахов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. – № 1(13). – 11 с. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=226&id=235>.

---

**Рыжаков Алексей Николаевич**

Должность: научный сотрудник отдела ВП в АПК

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: [xrust.89@bk.ru](mailto:xrust.89@bk.ru)

**Ryzhakov Aleksey Nikolayevich**

Position: Researcher

Affiliation: Russian Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novochoerkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: [xrust.89@bk.ru](mailto:xrust.89@bk.ru)

**Шкура Виктор Николаевич**

Ученая степень: кандидат технических наук

Ученое звание: профессор

Должность: ведущий научный сотрудник отдела ЭМСиВ

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: [rekngma@magnet.ru](mailto:rekngma@magnet.ru)

**Shkura Viktor Nikolaevich**

Degree: Candidate of Technical Sciences

Title: Professor

Position: Leading Researcher

Affiliation: Russian Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky: ave., 190, Novochoerkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: [rekngma@magnet.ru](mailto:rekngma@magnet.ru)