А. С. Штанько

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

Я. Е. Удовидченко

Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар,
Российская Федерация

ГЕОМЕТРИЯ КОРНЕВЫХ СИСТЕМ ЯБЛОНЕВЫХ РАСТЕНИЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ НА ОРОШАЕМЫХ СКЛОНОВЫХ ЗЕМЛЯХ

Цель: установление качественных особенностей и количественных характеристик геометрии корневых систем яблонь, культивируемых на склоновых ландшафтах при капельном орошении. **Материалы и методы.** Для разработки методики и формирования базы экспериментальных данных были проведены раскопки корневых систем разновозрастных яблоневого растений сортов Айдаред, Голден Делишес и Ренет Симиренко, произраставших на равнинных и склоновых земельных участках с крутизной склонов до 9 градусов. Почвенный покров участков представлен южным среднесуглинистым черноземом. **Результаты.** В результате исследования установлено наличие плановой и высотной асимметричности в форме корневой системы яблонь, характеризующейся большей заглубленностью и вытянутостью корневых ветвей растения в направлении уклона земной поверхности. Получены экспериментальные зависимости, позволяющие оценить степень асимметричности планового и высотного расположения корней яблоневого растений в зависимости от крутизны склона. Использование данных зависимостей позволило адаптировать известную методику прогнозирования формы, расположения и геометрических параметров корневых систем, полученную для безуклонных ландшафтов, к условиям склоновых земельных угодий. **Выводы.** Использование методики прогнозирования геометрии корневых систем яблони предполагается при проектировании поливной сети капельных систем орошения и позволяет установить количество и рациональное расположение капельных микроводовыпусков в пределах зоны питания яблоневого растений. Методика предусматривает учет основных определяющих рост и развитие корневых систем яблоневого культур природно-климатических условий и фенологических параметров исследованных растений и позволяет с приемлемой для практического использования точностью определять геометрические характеристики корневых систем яблонь, произрастающих на склоновых землях.

Ключевые слова: яблоневые растения; корневая система; расположение корней; протяженность корней; заглубленность корней; склоновые земли.

A. S. Shtanko

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

Ya. Ye. Udovidchenko

Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation

GEOMETRY OF ROOT SYSTEMS OF APPLE TREES GROWING ON IRRIGATED SLOPING LANDS

Purpose: to establish the qualitative features and quantitative characteristics of the geometry of the root systems of apple trees cultivated on sloping landscapes by drip irrigation. **Materials and Methods.** To develop the methodology and form the experimental database, the root systems of apple plants varieties Idared, Golden Delishes and Renet Simirenko of different ages which grew on flat and sloping land plots with slope steepness up to 9 degrees were drawn. The soil cover is represented by the southern medium-power heavy loamy chernozem. **Results.** As a result of the study, the presence of the planned and altitudinal asymmetry in the form of the root system of apple trees, characterized by a greater buriedness and elongation of the root branches of the plant in the direction of the earth's slope was established. Experimental dependences that make it possible to estimate the degree of asymmetry of the planned and vertical location of the apple plants roots depending on the slope steepness are obtained. The use of these dependencies made it possible to adapt the well-known method for predicting the shape, location and geometric parameters of root systems obtained for steady landscapes to the conditions of sloping land. **Conclusions.** The use of the methodology for predicting the geometry of apple root systems is assumed in the design of the irrigation network of drip irrigation systems and allows establishing the number and rational location of drip micro-outlets within the nutrition zone of apple plants. The methodology takes into account the main climatic conditions and phenological parameters of the studied plants determining the geometric characteristics of the root systems of apple trees growing on sloping lands with acceptable accuracy.

Key words: apple plants; root system; the roots location; roots extension; roots buriedness; sloping lands.

Введение. Доктриной продовольственной безопасности Российской Федерации предусмотрено увеличение производства плодово-ягодной продукции. Во исполнение данной целевой установки соответствующими федеральными и региональными программами предусмотрено восстановление и расширение площадей под садовыми, и в частности яблоневыми, культурами. Имеет место создание яблоневых садов на склоновых земельных участках с культивированием растений при их капельном орошении.

Обязательным мероприятием, создающим благоприятные условия для роста, развития и интенсивного плодоношения яблоневых растений, является обеспечение их необходимым количеством влаги и элементов питания. Природный дефицит указанных компонентов жизнедеятельности растений восполняется искусственной подачей их системами капельного орошения. Должный эффект от применения таких систем достигается в том случае, когда расположение зоны подачи воды и растворенных в ней минеральных веществ (агрохимических препаратов) соответствует расположению потребляющих их корней растения. Указанное условие соблюдается

при подаче поливных растворов в зоны расположения основной части (массы) корней корневых систем древесных культур. Отметим, что локальность формируемых при капельном поливе зон искусственного увлажнения почвенного пространства диктует необходимость высокой точности в определении расположения водопотребляющих («обрастающих») корней растения. Знание геометрических параметров корневых систем древесных культур позволяет более точно установить количество и расположение капельных микроводовыпусков и тем самым привести в соответствие зоны увлажнения корнеобитаемого почвенного пространства с зонами расположения основной массы «вагопотребляющих» корней растения.

С учетом значимости соблюдения указанного условия изучению расположения корней корневых систем яблоневых растений уделялось должное внимание. Специалистами в области корневедения накоплен обширный экспериментальный материал, позволяющий судить о геометрии корневых систем яблоневых культур [1, 2]. В определенной мере данные специалистов по плодководству дополнены информацией, полученной в области орошения [3–6]. Обстоятельный анализ и необходимые для проектирования капельных оросительных систем обобщения по корневым системам яблоневых растений проведены В. Н. Шкурой, Д. Л. Обумаховым, Е. Н. Луневой [7]. Приведенные в работах В. Н. Шкуры, Д. Л. Обумахова, А. Н. Рыжкова, А. С. Штанько, С. М. Васильева и др. [8–13] рекомендации и методики позволяют с достаточной для практического применения точностью прогнозировать расположение основной части корней яблоневых растений, произрастающих на равнинной местности, и в соответствии с ними определять количество и расположение капельниц, обеспечивающих качественный капельный полив растений. Для условий склоновых угодий таковые рекомендации отсутствуют, в связи с чем целью настоящего исследования является установление качественных особенностей и количественных характеристик геометрии корневых систем яблонь, культивируемых на склоновых ландшафтах при капельном орошении.

Материалы и методы. Опытную базу для разработки методики прогнозирования формы и геометрических размеров зоны корнеосвоенного почвенного пространства составили данные раскопок корневых систем яблоневых растений, произраставших на безуклонных и склоновых земельных участках. Экспериментальный материал получен в результате полно- и полукруговых раскопок разновозрастных яблонь сортов Айдаред, Голден Делишес и Ренет Симиренко, произраставших на равнинных и разноуклонных (с крутизной склонов α_c от 3 до 9°) ландшафтах с почвенным покровом, представленным южными среднесиловыми тяжелосуглинистыми слабогумусными черноземами. Почвы земельных участков с одиночно и безбарьерно для корневых систем произраставшими растениями характеризуются нижеприведенными параметрами: средним в пределах метрового профиля содержанием физической глины $(\bar{W}_r)_{1,0} = 58,0$ % от массы сухой почвы (% МСП), наименьшей влагоемкостью $(\bar{W}_{\text{нв}})_{1,0} = 27,0$ % МСП, плотностью сложения почвогрунтовой толщи $(\bar{\gamma}_{\text{об}})_{1,0} = 1,3$ т/м³, средней мощностью перегнойно-аккумулятивного (гумусированного) слоя $h_r = 0,75$ м со средним по метровому слою содержанием гумуса $(\bar{q}_r)_{1,0} = 2,0$ %.

Раскопки корневых систем яблонь производились в соответствии с рекомендациями В. А. Колесникова [1], а почвенные характеристики определялись по гостированным методикам. Полученные схемы распространения корней растений в почвогрунтовом пространстве по глубине и в плане обрабатывались по методикам, приведенным в работе В. Н. Шкуры, Д. Л. Обумахова, А. Н. Рыжакова [8].

Результаты и обсуждение. На начальном этапе натурных исследований проводились раскопки корневых систем яблоневых растений, произраставших на безуклонном земельном участке. Примеры видов характерных корневых систем яблонь проиллюстрированы рисунками 1 и 2.

Рисунок 1 – Полупланы корневых систем яблонь, произраставших на безуклонных земельных участках

Рисунок 2 – Профили корневых систем яблонь, произраставших на безуклонных земельных участках

Анализ приведенных на рисунках 1 и 2 схем корневых систем яблоневых растений позволяет отметить относительно высокую степень симметричности планового и глубинного расположения корневых ветвей относительно корневой шейки. Имеющие место частные отличия в удаленностях и заглубленностях отдельных корней относительно невелики и не носят системно устойчивый характер. Плановое очертание корневых систем яблонь, одиночно произрастающих на безуклонных ландшафтах при отсутствии барьеров для роста корней, может быть представлено формой круга, что особенно выражено для положения средних протяженностей горизонтальных корней. Отсутствует четко выраженная асимметричность и в расположении вертикальных корней в корневых системах исследованных яблоневых растений. Указанные обстоятельства позволили разработать методику прогнозирования геометрических параметров корневых систем разновозрастных яблонь, свободно (безбарьерно) произрастающих в условиях безуклонных и слабоуклонных земельных участков в различных природно-климатических зонах [8, 9, 11].

На следующем этапе работ были выявлены особенности расположения и формы корневых систем яблоневых растений, произрастающих на пологих склонах, примеры которых проиллюстрированы рисунками 3 и 4.

Судя по данным рисунков 3 и 4, в корневых системах прослеживается «склоновая» асимметричность. Имеет место бóльшая вытянутость корневых ветвей в направлении склона. При этом более выраженная асимметричность корневых систем соответствует бóльшим значениям крутизны склона.

Полуплановые формы (очертания) корневых систем яблонь, произрастающих на безуклонных и склоновых землях, могут быть условно аппроксимированы с использованием приведенных на рисунке 5 схем.

Приведенные на рисунке 5 очертания корневых систем яблоневых растений иллюстрируют характер склоновой асимметричности их форм и динамику трансформации формы корневой системы в зависимости от изменения уклонов земной поверхности на участке их произрастания.

a

б

в

a – при крутизне склона $\alpha_c = 3,8^\circ$; *б* – при крутизне склона $\alpha_c = 6,0^\circ$;

в – при крутизне склона $\alpha_c = 9,0^\circ$

Рисунок 3 – Полупланы корневых систем яблоневых растений, свободно произраставших на склоновых ландшафтах

Рисунок 4 – Профиль корневой системы яблони

1 – при $\alpha_c = 0^\circ$; 2 – при $\alpha_c = 6,0^\circ$; 3 – при $\alpha_c = 9,0^\circ$

Рисунок 5 – Полупланы очертаний корневых систем яблони

Степень склоновой асимметрии корневых систем предлагается оценивать через значения удаленности корневых ветвей вверх $L_{к/в}$ и вниз $L_{к/н}$ по склону участка произрастания яблоневых растений по экспериментальным зависимостям, м:

$$L_{к/в} = (1 - 0,067 \cdot \alpha_c) \cdot \bar{L}_к, \quad (1)$$

$$L_{к/н} = (1 + 0,067 \cdot \alpha_c) \cdot \bar{L}_к, \quad (2)$$

где $\bar{L}_k$ – средняя величина удаленности окончаний корней яблоневых растений от середины корневой шейки, м, определяемая по соотношению:

$$\bar{L}_k = 0,564 \cdot \sqrt{\omega_k}, \quad (3)$$

где ω_k – приведенная к форме круга площадь почвенного пространства, охваченная (освоенная) корневой системой древесных растений и определяемая планиметрированием по методике, приведенной в работе А. Н. Рыжакова, В. Н. Шкуры [10].

Удаленность окончаний корневых ветвей в перпендикулярном направлению $L_{k/\Pi}$, м, предлагается определять по зависимости вида:

$$L_{k/\Pi} = (1 - 0,01 \cdot \alpha_c) \cdot \bar{L}_k. \quad (4)$$

Применительно к проблеме размещения капельных микроводовыпусков кроме формы и граничных значений очертания корневых систем необходимо знать геометрические параметры зоны расположения основной массы корней и размеры приштамбовой зоны капельно орошаемых растений. Для определения указанных характеристик осуществлялась посекторная камеральная обработка полученных очертаний полупланов корневых систем в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 6.

В соответствии с методикой, приведенной в работе В. Н. Шкуры, Д. Л. Обумахова, Е. Н. Луневой [7], полупланы корневых систем кроме их деления на сектора делились на замерные площадки системой разноудаленных от центра корневой шейки полуокружностей. По каждому сектору определялось количество срезов корней $(n_{cp})_i$, пересекаемых концентрическими линиями полуокружностей, а протяженность корней $(l_k)_i$ в пределах разноудаленных учетных площадок устанавливалась измерениями длин корней 1, 2 и 3-го уровней ветвления. По полученным значениям $(n_{cp})_i$ и $(l_k)_i$ посекторно в соответствии с рекомендациями В. Н. Шкуры, Д. Л. Обумахова, А. Н. Рыжакова [8] устанавливались границы удаленности от корневой шейки зоны расположения основной массы корней и приштамбовой зоны.

1 – корневая шейка; 2 – границная линия приштамбовой зоны; 3 – границная линия, очерчивающая зону расположения основной части корневой системы; 4 – граница расположения корневой системы; 5 – полуокружности, ограничивающие учетные сечения и площадки; А, В, Д, Ж, И – радиалы, ограничивающие 45-градусные сектора; Б, Г, Е, З – радиалы, соответствующие серединам 45-градусных секторов корневой системы

Рисунок 6 – Схема полуплана корневой системы яблони, произрастающей на склоне

В качестве критериев для определения координат граничной линии, оконтуривающей зону расположения основной массы корней, приняты значения $\sum n_{\text{ср}}$ и $\sum l_{\text{к}}$, составляющие 80 % от их величин по каждому учетному створу и учетным площадкам. Удаленность граничной линии приштамбовой зоны определялась по 20% уровню значений количества срезов и протяженности корней.

Пример результатов обработки опытных данных по корневой системе яблони сорта Айдаред, произрастающей на склоне крутизной $\alpha_{\text{с}} = 6^\circ$ (см. рисунок 3б), с нижеприведенными ее характеристиками: возраст яблоневоего растения $t_{\text{р}} = 12$ лет, возраст вступления растения в полное плодоношение $t_{\text{п/п}} = 5$ лет, высота надземной части яблони $H_{\text{р}} = 3,2$ м при сред-

нем радиусе кроны $\bar{R}_{кр} = 1,4$ м и заглубленности основной части корней ее корневой системы, составляющей $(h_k)_{о/ч} = 0,7$ м, приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Значения геометрических параметров корневой системы яблони, произрастающей на склоне крутизной $\alpha_c = 6^\circ$

Параметр	В м						
	Радиали (по рисунку 6)						
	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З
Удаленность приштамбовой зоны корневой системы растения							
По критерию количества срезов корней	0,40	0,45	0,48	0,55	0,58	0,73	0,96
По критерию протяженности корней	0,51	0,53	0,53	0,56	0,60	0,83	0,79
Среднее значение	0,45	0,49	0,50	0,55	0,59	0,78	0,87
Удаленность зоны расположения основной части корневой системы растения							
По критерию количества срезов корней	0,90	1,25	1,33	1,33	1,33	1,92	2,11
По критерию протяженности корней	1,03	1,24	1,33	1,39	1,45	2,15	2,29
Среднее значение	0,96	1,24	1,33	1,36	1,39	2,04	2,20

Приведенные на рисунке 2б и в таблице 1 опытные данные позволяют получить приведенные на рисунке 7 аппроксимированные очертания границ корневой системы, зоны расположения основной части ее корней и приштамбовой зоны с низкой плотностью обрастающих корней.

a – внешняя граница корневой системы; $б$ – граница зоны расположения основной части корней корневой системы; $в$ – граница приштамбовой зоны корневой системы; А, Б, В, Г, Д, Е, Ж, З, И – расчетные радиали; 1а, 1б, 2а, 2б – сектора с углом роспуска, составляющим $22,5^\circ$; $\times$ – данные по срезам корней; Δ – данные по протяженности корней; $\odot$ – данные по удаленности окончаний корневых ветвей

Рисунок 7 – Опытные данные и аппроксимированные очертания удаленностей окончаний корней, границы расположения основной части корней и приштамбовой зоны корневой системы яблони сорта Айдаред, произрастающей на склоновом ландшафте с крутизной склона $\alpha_c = 6^\circ$

Использование схемы на рисунке 6, опытных данных, зависимостей (1)–(4) и авторской методики прогнозирования геометрических параметров корневых систем яблоневых растений, разработанной для безуклонных участков их произрастания [8], позволило предложить методику прогнозирования средней удаленности окончания корневых ветвей от штамба, границ приштамбовой зоны и зоны расположения основной массы корней для яблонь, произрастающих на склоновых землях. Блок-схема предлагаемой методики определения значений: удаленности границы приштамбовой зоны вверх $(\bar{L}_{к/в})_{п/ш}$, вниз $(\bar{L}_{к/н})_{п/ш}$ по склону и перпендикулярно склону $(\bar{L}_{к,п})_{п/ш}$, соответствующих удаленностей границы зоны расположения основной части (массы) корней $(\bar{L}_{к/в})_{о/ч}$, $(\bar{L}_{к/н})_{о/ч}$ и $(\bar{L}_{к,п})_{о/ч}$, удаленности окончаний корневых ветвей по указанным направлениям $(\bar{L}_к)_в$, $(\bar{L}_к)_н$ и $(\bar{L}_к)_п$, приведена на рисунке 8.

По полученным в результате расчета данным в соответствии с рисунком 9 строится схема расположения геометрических элементов корневой системы яблоневого растения, произрастающего на склоновых землях.

В представленных на рисунках 8 и 9 схемах приняты следующие условные обозначения: t_p – возраст яблоневого растения, лет; $t_{п/п}$ – возраст вступления яблони в полное плодоношение, лет; H_p – высота надземной части яблони, м; $R_{кр}$ – радиус кроны, м; α_c – уклон земной поверхности, °; $\Pi_{п}$ – параметр, характеризующий влияние почвенных условий на глубинный рост корней яблоневых растений; $\Pi_{к}$ – параметр, определяющий влияние климатических условий произрастания яблони на заглубленность корней ее корневой системы; $\Pi_{р}$ – параметр, характеризующий влияние рослости яблоневого растения на заглубленность его корней. Значения $\Pi_{п}$, $\Pi_{к}$ и $\Pi_{р}$ принимаются по рекомендациям В. Н. Шкуры, Д. Л. Обумахова, А. Н. Рыжакова [8].

Рисунок 8 – Блок-схема методики прогнозирования параметров зоны расположения основной массы корней яблоневых растений, произрастающих на склонах

1 – штамп (корневая шейка) яблони; 2 – граница приштамбовой неувлажняемой зоны; 3 – граница среднего удаления кроновых ветвей от ствола растения; 4 – граница средней удаленности основной части корней растения; 5 – граница удаленности средней части корневой системы яблони от штамба (корневой шейки); 6 – направление уклона земной поверхности склона; 7 – зона размещения капельных микроводовыпусков

Рисунок 9 – Схема расположения элементов корневой системы яблони, произрастающей на склоне

Методика разработана на уровне программы для ЭВМ, апробация которой проиллюстрирована данными таблицы 2 на примере корневой системы яблони сорта Айдаред, произраставшей на склоне крутизной 6° при $t_p = 12$ лет, $t_{п/п} = 5$ лет, $H_p = 3,2$ м, $R_{кр} = 1,4$ м, $(h_k)_{о/ч} = 0,7$ м.

Судя по данным таблицы 2, расчетные значения геометрических параметров корневой системы исследованных растений соответствуют опытным, а имеющие место отклонения находятся в приемлемом диапазоне.

Таблица 2 – Данные сопоставления расчетных и опытных значений геометрических параметров корневой системы яблони

Параметр		$\bar{L}_K$	$(\bar{L}_K)_B$	$(\bar{L}_K)_П$	$(\bar{L}_K)_H$	$(\bar{L}_{K/B})_{O/Ч}$	$(\bar{L}_{K/П})_{O/Ч}$	$(\bar{L}_{K/H})_{O/Ч}$	$(\bar{L}_{K/B})_{П/Ш}$	$(\bar{L}_{K/П})_{П/Ш}$	$(\bar{L}_{K/H})_{П/Ш}$
Значение параметров, м	опытное	1,61	1,10	1,61	2,58	0,94	1,42	2,20	0,32	0,58	1,17
	расчетное	1,74	1,04	1,64	2,44	0,83	1,38	1,94	0,27	0,58	0,97
Отклонение, %		–8,1	5,4	–1,6	5,4	12,0	2,8	11,8	15,6	0,0	17,1

Выводы

1 Для разновозрастных (от 8 до 22 лет) яблоневых растений сортов Айдаред, Голден Делишес, Ренет Симиренко, произрастающих на склоновых земельных участках крутизной от 0 до 9° с почвенным покровом, представленным южным тяжелосуглинистым черноземом, характерна склоновая асимметричность расположения корневых ветвей, характеризующаяся их вытянутостью в направлении уклона земной поверхности.

2 Степень асимметричности корневых систем яблонь зависит от крутизны склона – большему уклону соответствует больший эксцесс в вытянутости корневых систем растений и большее значение соотношений удаленностей окончаний корней, произрастающих вниз и вверх по склону.

3 В результате исследований получены экспериментальные зависимости, позволяющие определить удаленности окончаний корневых ветвей вверх, вниз по склону и поперек уклона поверхности земли.

4 Предложена методика прогнозирования формы и геометрических параметров корневых систем яблонь, произрастающих на склоновых ландшафтах, использование которой позволяет определять площадь и конфигурацию зоны расположения основной массы корней растений, что, в свою очередь, позволит обоснованно устанавливать количество и места расположения капельных микроводовыпусков для капельного полива.

Список использованных источников

1 Колесников, В. А. Корневая система плодовых и ягодных растений / В. А. Колесников. – М.: Колос, 1974. – 509 с.

2 Корневая система яблони при разных типах почвы / Б. С. Гегечкори, А. А. Кладь, В. Г. Кладь, С. Ю. Орленко // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2012. – № 5. – С. 25–27.

3 Ахмедов, А. Д. Характер распределения корневой системы яблони при внутрипочвенном орошении / А. Д. Ахмедов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2008. – № 3(11). – С. 23–26.

4 Сторчоус, В. Н. Архитектоника корневой системы яблони в зависимости от объема локального увлажнения / В. Н. Сторчоус, В. И. Кременской, Т. О. Вислобокова // Научные работы ПФ НУБиП Украины «КАТУ». – 2014. – Вып. 161. – С. 102–108.

5 Ma, L. H. Spatial distribution of roots in a dense jujube plantation in the semiarid hilly region of the Chinese Loess Plateau / L. H. Ma, P. T. Wu, Y. K. Wang // Plant and Soil. – 2012, May. – Vol. 354, iss. 1–2. – P. 57–68. – DOI: 10.1007/s11104-011-1041-2.

6 Spatial root distribution of mature apple trees under drip irrigation system / D. I. Sokalska, D. Z. Hama, A. Szewczuk, J. Sobota, D. Deren // Agricultural Water Management. – 2009, June. – Vol. 96, iss. 6. – P. 917–924.

7 Шкура, В. Н. Геометрия корневых систем яблони: монография / В. Н. Шкура, Д. Л. Обумахов, Е. Н. Лунева; под ред. В. Н. Шкуры; Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. – Новочеркасск: Лик, 2013. – 124 с.

8 Шкура, В. Н. Капельное орошение яблони / В. Н. Шкура, Д. Л. Обумахов, А. Н. Рыжаков; под ред. В. Н. Шкуры. – Новочеркасск: Лик, 2014. – 310 с.

9 Обумахов, Д. Л. Расчетный метод определения геометрических параметров корневой системы яблони для обоснования способов полива / Д. Л. Обумахов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2014. – № 1(13). – С. 109–119. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=226&id=235>.

10 Рыжаков, А. Н. Исследование основной массы корней яблоневых растений / А. Н. Рыжаков, В. Н. Шкура // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2015. – № 4(20). – С. 85–95. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=366&id=372>.

11 Штанько, А. С. Параметры корневых систем яблони сорта Айдаред, произрастающей на черноземах Ростовской области / А. С. Штанько, В. Н. Шкура // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2019. – № 3(75). – С. 111–116.

12 Рыжаков, А. Н. Формирование корневых систем яблоневых растений на черноземах Ростовской области / А. Н. Рыжаков, В. Н. Шкура // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2015. – № 3(59). – С. 36–42.

13 Васильев, С. М. Технические средства капельного орошения: учеб. пособие / С. М. Васильев, Т. В. Коржова, В. Н. Шкура. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2017. – 200 с.

References

1 Kolesnikov V.A., 1974. *Kornevaya sistema plodovykh i yagodnykh rasteniy* [Root System of Fruit and Berry Plants]. Moscow, Kolos Publ., 509 p. (In Russian).

2 Gegechkori B.S., Klad' A.A., Klad' V.G., Orlenko S.Yu., 2012. *Kornevaya sistema yablони pri raznykh tipakh pochvy* [Apple root system in different soil types]. *Doklady Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk* [Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences], no. 5, pp. 25-27. (In Russian).

3 Akhmedov A.D., 2008. *Kharakter raspredeleniya kornevoy sistemy yablони pri vnutripochvennom oroshenii* [Character of apple trees root system spreading under subsoil irrigation]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bull. of Nizhnevolgskiy Agricultural University: Science and Higher Professional Education], no. 3(11), pp. 23-26. (In Russian).

4 Storchous V.N., Kremenskaya V.I., Vislobokova T.O., 2014. *Arkhitektonika kornevoy sistemy yabloni v zavisimosti ot ob'ema lokal'nogo uvlazhneniya* [Architectonics of the apple tree root system depending on the volume of local moistening]. *Nauchnye raboty PF NUBiP Ukrainy «KATU»* [Scientific Papers of the PF NUBiP of Ukraine “KATU”], iss. 161, pp. 102-108. (In Russian).

5 Ma L.H., Wu P.T., Wang Y.K., 2012. Spatial distribution of roots in a dense jujube plantation in the semiarid hilly region of the Chinese Loess Plateau. *Plant and Soil*, May, vol. 354, iss. 1-2, pp. 57-68, DOI: 10.1007/s11104-011-1041-2.

6 Sokalska D.I., Haman D.Z., Szewczuk A., Sobota J., Deren D., 2009. Spatial root distribution of mature apple trees under drip irrigation system. *Agricultural Water Management*, June, vol. 96, iss. 6, pp. 917-924.

7 Shkura V.N., Obumakhov D.L., Luneva E.N., 2013. *Geometriya kornevykh sistem yabloni: monografiya* [Geometry of Apple Root Systems: monograph]. Novocherkassk State Land Reclamation Academy, Novocherkassk, Lik Publ., 124 p. (In Russian).

8 Shkura V.N., Obumakhov D.L., Ryzhakov A.N., 2014. *Kapelnoe oroshenie yabloni* [Drip Irrigation of Apple Trees]. Novocherkassk, Lik Publ., 310 p. (In Russian).

9 Obumakhov D.L., 2014. [Technique for calculating geometric parameters of an apple tree root system for irrigation method substantiation]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 1(13), pp. 109-119, available: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=226&id=235>. (In Russian).

10 Ryzhakov A.N., Shkura V.N., 2015. [Study of the main mass of roots of apple tree]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 4(20), pp. 85-95, available: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=366&id=372>. (In Russian).

11 Shtan'ko A.S., Shkura V.N., 2019. *Parametry kornevykh sistem yabloni sorta Ay-dared, proizrastayushchey na chernozemakh Rostovskoy oblasti* [Parameters of the root systems of the apple tree variety Idared growing on chernozems of Rostov region]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 3(59), pp. 36-42. (In Russian).

12 Ryzhakov A.N., Shkura V.N., 2015. *Formirovanie kornevykh sistem yablonevykh rasteniy na chernozemakh Rostovskoy oblasti* [Formation of apple trees root systems on chernozems of Rostov region]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture]. no. 3 (59), pp. 36-42. (In Russian).

13 Vasiliev S.M., Korzhova T.V., Shkura V.N., 2017. *Tekhnicheskie sredstva kapel'nogo orosheniya: uchebnoe posobie* [Technical Means of Drip Irrigation: Textbook]. Novocherkassk, RosNIIPM Publ., 200 p. (In Russian).

Штанько Андрей Сергеевич

Ученая степень: кандидат технических наук

Должность: ведущий научный сотрудник

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: rosniipm@yandex.ru

Shtanko Andrey Sergeyevich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Position: Leading Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

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

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Удовидченко Яков Евгеньевич

Должность: аспирант

Место работы: федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»

Адрес организации: ул. Калинина, 13, г. Краснодар, Российская Федерация, 350044

E-mail: vassari93@mail.ru

Udovidchenko Yakov Yevgenyevich

Position: Postgraduate Student

Affiliation: Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin

Affiliation address: st. Kalinina, 13, Krasnodar, Russian Federation, 350044

E-mail: vassari93@mail.ru