

Особенности развития корневых систем растений различных ценозов в засушливых районах Поволжья

**Анастасия Сергеевна Бузуева, Сергей Сергеевич Деревягин, Валентина Ивановна Ефимова,
Михаил Юрьевич Несветаев, Максим Анатольевич Ларькин**

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «ФАНЦ Юго-Востока», г. Саратов, Россия, raiser_saratov@mail.ru

Аннотация. Цель исследования – установить темпы нарастания корневой и вегетативной массы ценозов (целина, залежь, пашня под яровой пшеницей) в склоновом агроландшафте Саратовской области при различных уровнях увлажнения и внесения удобрений. Изучение корневых систем ценозов проводилось по методу Тарановской. Образцы яровой пшеницы отбирались в конце вегетации, на фитоценозах – в период цветения 75 % растений. Определен ботанический состав фитоценозов. Выявлены различия в продуктивности растительной и корневой массы в годы с разным гидротермическим коэффициентом, а также при внесении азотного удобрения. Оценены темпы гумификации биомассы фитоценозов. Показано соотношение доминирующих семейств на целине и залежи: злаковые – 25 %, бобовые – 45 % и сложноцветные – 30 %. В среднем максимальная масса корней в метровом слое почвы наблюдалась под целиной – 1,9 т/га, минимальная под яровой пшеницей – 1,1 т/га, промежуточная под залежью – 1,2 т/га. В условиях засухи наибольшая масса корней отмечена на залежи – 0,8 т/га, при достаточном увлажнении на целине – 2,6 т/га. В условиях засухи основная масса корней сосредоточивается в нижних почвенных слоях, при высоком увлажнении – в верхних слоях. Внесение 60 кг/га азота увеличило массу корней всех ценозов на 27,3 %. В среднем за три года максимальное количество гумуса при гумификации растительных остатков по удобренным (0,40 т/га) и неудобренным (0,20 т/га) фонам образуется под целиной.

Ключевые слова: пашня; целина; залежь; корневая масса; вегетативная масса; увлажнение; удобрение.

Для цитирования: Бузуева А. С., Деревягин С. С., Ефимов В. И., Несветаев М. Ю., Ларькин М. А. Особенности развития корневых систем растений различных ценозов в засушливых районах Поволжья // Аграрный научный журнал. 2022. № 3. С. 10–14. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i3pp10-14>.

AGRONOMY

Original article

Features of development of root systems of plants of various cenosis in dry areas of the Volga region

Anastasia S. Buzueva, Sergei S. Derevyagin, Valentina I. Efimova, Mikhail Yu. Nesvetayev, Maxim A. Larkin

Federal State Budgetary Scientific Organization «Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region», Saratov, Russia
raiser_saratov@mail.ru

Abstract. The aim of the study was to establish the growth rate of the root and vegetative mass of cenoses (virgin land, fallow land, arable land under spring wheat) in the slope agricultural landscape of the Saratov region at various levels of moisture and fertilizer application. The study of the root systems of cenoses was carried out according to the Taranovskaya method. Samples of spring wheat were taken at the end of the growing season, on phytocenoses - during the flowering period of 75% of plants. The botanical composition of phytocenoses has been determined. The differences in the productivity of plant mass and root mass, in years with different SCC, as well as the introduction of nitrogen fertilizer. The rates of phytocenosis biomass humification are estimated. The proportions of the dominant families on the virgin land and the fallow land were cereals 25%, legumes 45% and complex flowers 30%. On average, the maximum root mass in a meter-thick layer of soil was observed on virgin lands - 1.9 t / ha, the minimum on spring wheat - 1.1 t / ha, intermediate - on deposits - 1.2 t / ha. Under drought conditions, the largest mass of roots in a meter-thick layer of soil was found on the deposit — 0.8 t / ha, with sufficient moisture — on virgin soil — 2.6 t / ha. Under drought conditions, the bulk of the roots are concentrated in the lower soil layers, with high moisture in the upper layers. The introduction of 60 kg / ha of nitrogen in the form of ammonium nitrate increased the mass of the roots of all cenoses by 27.3%. For an average of three years, the maximum amount of humus during humification of plant residues on fertilized (0.40 t / ha) and unfertilized (0.20 t / ha) background is formed under virgin soil.

Keywords: spring wheat; virgin soil; deposit; root mass; vegetative mass; moisture; fertil-izer.

For citation: Buzueva A. S., Derevyagin S. S., Efimova V. I., Nesvetayev M. Yu., Larkin M. A. Features of development of root systems of plants of various prices in dry areas of the Volga region. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2022;(3): 10–14. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i3pp10-14>.

Введение. Сельскохозяйственные ценозы включают в себя растения, имеющие различия в строении корневой системы, глубине проникновения, содержании химических элементов, необходимых для восполнения почвенного плодородия [1, 4, 5, 7]. За счет корневых остатков в почву возвращается до 30 % потребленных растениями элементов питания. Корневая система растений является основой поддержания плодородия почвы, формирует экологические условия в ландшафте. Мониторинговое изучение продуктивности и видовых параметров естественных и антропогенно преобразованных ценозов позволит прогнозировать колебания смены растительного покрова, что важно для решения проблемы восстановления почвенного плодородия и фиторазнообразия [2].

По некоторым данным, формирование массы корней в отдельных ценозах идет интенсивнее надземной фитомассы. Также имеются сведения о влиянии внешних факторов, таких как уровень увлажнения и питания, на архитектуру корней [9]. Следует отметить, что результаты большинства исследований получены на плакорных землях, не свойственных для территории Поволжья [1, 6, 11]. Основной агроландшафт (около 60 %) Саратовской области занимают





склоновые почвы, отличающиеся от плакорных более засушливым режимом увлажнения и интенсивным процессом гумификации растительных остатков.

Поэтому изучение процессов формирования корневой системы для фитоценозов, размещенных на склоновых почвах в условиях различных уровней увлажнения и минерального питания, является актуальным направлением, значимым для понимания общих закономерностей почвообразования в современных экологических условиях.

Цель исследований – установить темпы нарастания корневой и вегетативной массы ценозов (целина, залежь, пашня под яровой пшеницей) в склоновом агроландшафте Саратовской области при различных уровнях увлажнения и внесения удобрений.

Методика исследований. Исследования проводили на Приволжской возвышенности в стационарном опыте на полях ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока» на склонах 2–3°. Для наблюдения использовали 3 типа растительных ценозов: залежь возрастом 38 лет, целину и бессменный посев яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в течение трех лет. Доминирующим видом в естественных ценозах является пырей ползучий (*Elytrigia répens*). Генетические признаки пшеницы влияют на распределение семенных и адвентивных корней в почве и могут корректировать реакцию растений на нехватку воды [8, 10]. Современные сорта пшеницы имеют различные механизмы засухоустойчивости, которые включают в себя формирование более глубоких корней, накопление более высокой биомассы, усиление устьичного контроля над транспирацией [4]. Поэтому для исследований был выбран засухоустойчивый сорт яровой мягкой пшеницы Воевода, несущий в геноме 6Ag¹ хромосому от пырея промежуточного (*Agropyrum intermedium*), занимающего около 60 % площади Саратовской области. Технология возделывания пшеницы – общепринятая.

Для характеристики погодных условий рассчитывали гидротермический коэффициент (ГТК) как соотношение количества осадков и температуры воздуха. За время наших исследований уровни ГТК варьировали от 0,4 до 1,4 ед., с промежуточным значением ГТК = 1,0, что оказало заметное влияние на развитие корневых систем растений в различных ценозах агроландшафта.

Оценку видового разнообразия растительных сообществ на целине и залежи осуществляли в шестикратной повторности в период их массового цветения.

Изучение корневой системы яровой пшеницы проводили в конце вегетации; на целине и залежи – в период массового цветения 75 % растений. Корневые образцы отбирали на глубине до 1 м в трехкратной повторности по методике Тарановской.

Результаты исследований. Основными семействами изучаемых фитоценозов являлись бобовые (Fabaceae) – 45 % от общего количества, сложноцветные (Asteraceae) – 30 % и злаковые (Poaceae) – 25 %. Всего было определено 16 семейств, в которые входил 61 вид травянистых растений (табл. 1).

В культурном ценозе в течение 3 лет бессменно возделывалась яровая мягкая пшеница. На 1 м² ежегодно размещалось от 250 до 300 шт. растений яровой мягкой пшеницы. Видовой состав поддерживался зональной научно обоснованной системой земледелия.

Как показали исследования [2, 6], восстановление естественной растительности на участках не всегда приводит к увеличению продуктивности сообществ. В наших исследованиях в среднем за три года общая растительная продукция, включая корневую массу, на варианте без удобрений из расчета на 1 га была получена на залежи. На целине и яровой пшенице (без учета зерна) она оказалась примерно в 2 раза ниже, чем под залежным фитоценозом (см. табл. 1). Выявленная закономерность справедлива и для удобренных фитоценозов. При внесении 60 кг/га д.в. аммиачной селитры минимальная органическая масса (0,5 т/га) была получена на целине. На залежи она составила 7,5 т/га, а на яровой пшенице 3,8 т/га. Различия обусловлены набором вегетирующих растений. На целине отмечают в основном степной злаково-типчаковый растительный покров. На залежи преобладают многолетние корнеотпрысковые растения с высоким уровнем реакции на питательный режим почвы [1].

Уровень развития надземной части растений отражается на их корневой системе. Максимальная масса корней в метровом слое почвы наблюдалась на целине – 1,9 т/га, минимальная под яровой пшеницей – 1,1 т/га. Промежуточное положение по массе корней занимает залежь (1,2 т/га).

Важную роль в формировании и перераспределении корней по профилю почвы в период вегетации растений играют погодные условия [3]. В условиях повышенного увлажнения растения более продуктивно используют корневую систему, чем в засушливых (рис. 1).

Как показали наши исследования, при сильном стрессе в условиях засухи растения залежи сформировали преобладающую массу корней, которая составила 0,8 т/га в метровом слое почвы, за счет преобладания корнеотпрысковых растений. Корни растений целины и яровой пшеницы достигли отметки 0,6 т/га.

В условиях ГТК 1,0–1,4 за счет достаточного количества влаги растения на всех анализируемых ценозах сформировали более высокую массу корней относительно засушливого года при ГТК 0,4. Увеличение корней целинно-

Таблица 1

Структура и состав растительности на исследуемых участках

Фитоценоз	Количество, шт./м ²		Количество растений в основных семействах, шт./м ²		
	семейств	растений	Asteraceae	Poaceae	Fabaceae
Целина	12	30	8	4	5
Залежь 38 лет	8	22	8	5	3
Яровая пшеница	1	250–300	0	1	0

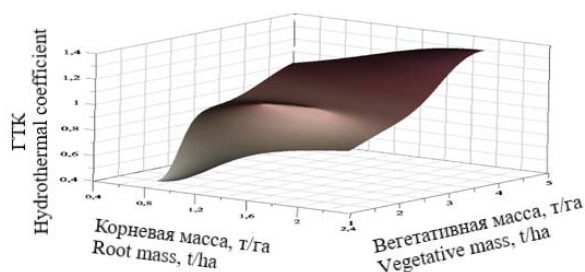


Рис. 1. Зависимость нарастания корневой и вегетативной массы от уровня ГТК в среднем по всем анализируемым ценозам

вегетативной массы $HCP = 0,159$, для корневой массы $HCP = 0,167$.

Корневая система целинного участка по сравнению с залежью и культурным ценозом имела больший процент в массе всего растения (см. табл. 2). На целине и залежи при достаточной влажности почвы (ГТК 1,0–1,4) по сравнению с засушливыми условиями (ГТК 0,4) происходило снижение на 14 % отношения массы корней к массе всего растения.

В условиях оптимальной увлажненности почвы формирование вегетативной массы растений происходит за счет достаточного обеспечения влагой корневой системы в верхних слоях почвы. Растительные сообщества не стремятся освоить нижележащие почвенные горизонты, что приводит к снижению общей массы корней в почве и большей доле горизонтальных корней по отношению к вертикальным [1]. Особенно четко приведенная закономерность проявляется в целинном фитоценозе. Соотношение вегетативной и корневой массы под целинной растительностью в среднем за все время изучения в 1,7 и 1,3 раза выше, чем соответственно на 38-летней залежи и яровой пшенице.

При ГТК 1,4 доля корней в общей органической массе растений яровой пшеницы составила 43 %, что на 35 % выше массы при ГТК 0,4. За счет более глубокого размещения, прежде всего первичной корневой системы, в условиях обезвоженного верхнего слоя и отмирания мочковатой части корневой системы в верхней части почвенной системы происходит формирование продуктивности яровой пшеницы за счет вторичной корневой системы. Масса вторичных корней определяется глубиной проникновения влаги из верхних слоев почвы (рис. 2).

Удобрения способствовали увеличению как вегетативной, так и корневой массы растений. В засушливых условиях более активно удобрения влияли на корневую систему целинного фитоценоза. Доля корневой массы в общей растительной массе на целине составила 48,3 %, или на 58,1 и 57,8 % ниже, чем соответственно на залежи и под яровой пшеницей.

В условиях нормальной и повышенной влагообеспеченности (ГТК 1,0–1,4) более заметное действие удобрений проявилось под целинной растительностью (40,1 %) и яровой пшеницей (38,6 %). На залежных участках, где в составе растительного ценоза преобладают корнеотпрысковые растения с более глубоким размещением корневой

го ценоза составило 0,6–1,8 и 3,3 т/га; залежного ценоза – 0,8–1,0 и 1,7 т/га; агроценоза под яровой пшеницей – 0,6–0,9 и 1,7 т/га соответственно. При этом наибольший отклик на повышение ГТК показала корневая система ненарушенного фитоценоза, где прибавка составила в среднем 48 % относительно залежи и пашни.

Корневая масса на опытных участках при внесении аммиачной селитры в среднем за период исследований была на 27,3 % выше относительно неудобранных вариантов. При действии удобрения также выявлены различия в развитии корневой системы по ценозам. Масса корней целинных растений преобладала над залежью и яровой пшеницей в 1,4 и 1,8 раза соответственно (табл. 2).

Установлена положительная связь сформированных вегетативной и корневой массы растений с ГТК года для

Таблица 2

Влияние удобрений и ГТК на морфологический состав растений различных ценозов

Фитоценоз	ГТК	Вегетативная масса, т/га		Корневая масса, т/га		Доля массы корней в органической массе, %	
		1*	2**	1*	2**	1*	2**
Целина	0,4	0,6	0,9	0,6	0,8	48,3	48,3
	1,0	2,4	4,1	1,8	2,2	44,4	34,6
	1,4	4,2	4,9	3,3	4,3	43,4	45,7
	Среднее по годам	2,4	3,3	1,9	2,5	45,3	43,2
Залежь 38 лет	0,4	2,0	3,3	0,8	1,3	29,8	28,1
	1,0	2,6	4,8	1,0	1,4	28,2	22,5
	1,4	6,1	7,0	1,7	2,6	22,3	27,1
	Среднее по годам	3,6	5,1	1,2	1,8	26,8	25,9
Яровая пшеница	0,4	1,8	2,2	0,6	0,8	25,9	27,9
	1,0	2,0	2,4	0,9	1,2	30,8	33,3
	1,4	2,2	2,7	1,7	2,0	43,0	42,6
	Среднее по годам	2,0	2,4	1,1	1,4	33,2	34,6
Вегетативная масса				$HCP_{0,5}$	$F_{теор}$	$F_{факт}$	
А (ГТК)				0,159	3,59	379,060	
В (ценоз)				0,130	4,45	212,853	
С (удобрение)				0,159	3,59	647,629	
Корневая масса				$HCP_{0,5}$	$F_{теор}$	$F_{факт}$	
А (ГТК)				0,167	3,59	82,288	
В (ценоз)				0,136	4,45	53,470	
С (удобрение)				0,167	3,59	269,674	

1* без удобрений; 2** доза N_{60}



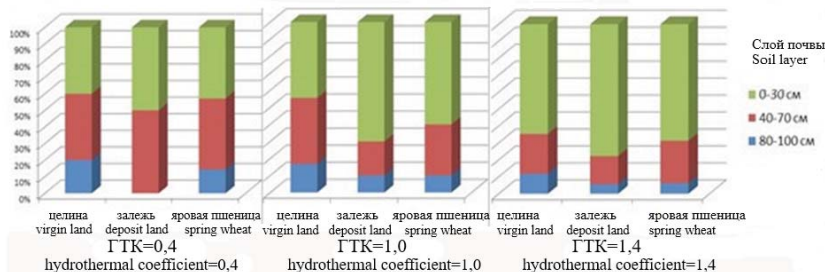


Рис. 2. Распределение корневой системы в слоях почвы, т/га

ченных влагой верхних слоев.

Используя нормативные данные соотношения между надземной и подземной массой [2], можно рассчитать количество вновь образованной массы корней. Запас корневой массы определяет количество вновь образованного гумуса в почве (табл. 3).

Наиболее высокий коэффициент отношения наблюдался на пшенице (3,00). На целине расчетный коэффициент снижался до 1,26. На залежи, где растительный покров насыщен корнеотпрысковыми растениями, этот коэффициент занимает промежуточное положение (1,82).

Удобрения, за исключением целинного ценоза, не способствуют расширению отношений между двумя морфологическими элементами растений, что указывает на активизацию использования вносимых удобрений для формирования, прежде всего, вегетативной массы.

Воспроизводство гумуса почвы осуществляется в основном за счет гумификации корневых остатков. Учитывая коэффициент гумификации свежих растительных остатков, для каждого конкретного случая можно установить ежегодное количество вновь образованного гумуса в почве (см. табл. 3).

В среднем за три года максимальное количество гумуса по удобренным (0,40 т/га) и неудобренным (0,20 т/га) фонам отмечали под целиной. Под залежью и яровой пшеницей гумуса образуется соответственно на 20 и 66 % меньше.

Заключение. В процессе исследований были установлены темпы нарастания корневой и вегетативной массы ценозов (целина, залежь, пашня под яровой пшеницей) в склоновом агроландшафте Саратовской области при различных уровнях увлажнения и внесения удобрений. Доминирующими семействами на целине и залежи являлись злаковые, бобовые и сложноцветные в соотношении 25 – 45 – 30 %. В среднем за годы исследований максимальная масса корней в метровом слое почвы наблюдалась на целине – 1,9 т/га, минимальная на яровой пшенице – 1,1 т/га, промежуточная на залежи – 1,2 т/га. В условиях засухи наибольшую массу корней отмечали на залежи – 0,8 т/га, при достаточном увлажнении на целине – 2,6 т/га. Внесение 60 кг/га азота в виде аммиачной селитры увеличило массу корней всех ценозов на 27,3 %. В среднем за три года максимальное количество гумуса при гумификации растительных остатков по удобренным (0,40 т/га) и неудобренным (0,20 т/га) фонам образуется под целиной.

Воспроизводство гумусовых веществ более интенсивно происходит под целинным фитоценозом, что определяет его бездефицитный, а при наличии в растительном сообществе более высокого уровня бобовых семейств относительно профицитный баланс гумуса. Под залежью и яровой мягкой пшеницей гумуса образуется соответственно на 20 и 66 % меньше.

Таблица 3

Влияние удобрений на процесс гумификации корневой массы

Фитоценоз		Вегетативная масса, т/га	Корневая масса, т/га	Отношение вегетативной и корневой массы растений	Гумус от гумификации растительных остатков в почве, т/га
Целина	Без удобрений	2,4	1,9	1,26	0,20
	Аммиачная селитра (N_{60})	3,3	2,5	1,32	0,40
Яровая пшеница	Без удобрений	3,6	1,2	3,00	0,19
	Аммиачная селитра (N_{60})	5,1	1,8	2,83	0,29
Залежь 38 лет	Без удобрений	2,0	1,1	1,82	0,18
	Аммиачная селитра (N_{60})	2,4	1,4	1,71	0,22





В условиях повышенного увлажнения (ГТК 1,0–1,4) более заметное действие удобрений проявилось под целинной растительностью (40,1 %) и яровой пшеницей (38,6 %). В условиях недостаточного увлажнения (ГТК 0,4) основная масса корней сосредоточивается в нижних почвенных слоях, при высоком увлажнении – в верхних.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Статья посвящена памяти профессора Ивана Филипповича Медведева, основателя научной школы экологии агроландшафтов в Саратове.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Верин А. Ю., Медведев И. Ф., Бузуева А. С. Экологические особенности развития корневых систем растительных культур при различном уровне увлажнения // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2020. № 1. С. 63–68.
2. Васильева Т. Н., Бакиров Ф. Г., Нестеренко Ю. М. Биопродуктивность и флористический состав естественных и агрофитоценозов Оренбуржья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 4 (72). С. 123–127.
3. Влияние минеральных удобрений и погодных условий на вынос элементов питания зерновыми культурами в степи Поволжья / В. В. Пронько [и др.] // Плодородие. 2020. № 2 (113). С. 17–20.
4. Azarenko (Myasnikova) M. A., Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I. Changes in the plant cover and biological properties of chernozems in the postagrogenic period // Degradation, rehabilitation, and conservation of soils. 2020. P. 1645–1654.
5. Optimum water and nitrogen supply regulates root distribution and produces high grain yields in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) under permanent raised bed tillage in arid northwest China / J. Chen et al. // Soil and Tillage Research. 2018. (Cover date: September 2018). P. 117–126.
6. Gadzhimusieva N. T., Asvarova T. A. Biological productivity of steppe phytocenoses pricelessly the lowlands of Dagestan. // European Journal of Natural History. 2018. №. 5. P. 8–11.
7. Towards integrated cover crop management: N, P and S release from aboveground and belowground residues / V. Hansen et al. // Agriculture, Ecosystems & Environment. 2021. P. 107–392.
8. Drought response in wheat: key genes and regulatory mechanisms controlling root system architecture and transpiration efficiency // M. Kulkarni et al. // Frontiers in Chemistry. 2017. T. 5. No. Dec. P. 106.
9. Shaping 3d root system architecture / E. C. Morris et al. // Current Biology. 2017. T. 27. No. 17. P. 919–930.
10. Estimation of the impact of pre-crops and climate variability on soil depth-differentiated spring wheat growth and water, nitrogen and phosphorus uptake / S. J. Seidela et al. // Soil and Tillage Research. 2019. Vol. 195.
11. Genomic regions associated with grain yield under drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) / S. Shukla et al. // Euphytica. 2015. Vol. 203. P. 449–467.

REFERENCES

1. Verin A. Yu., Medvede I. F., Buzueva A. S. Ecological features of the development of root systems of plant cultures at different levels of moisture. *Bulletin of the Saratov University*. New series. Series: Chemistry. Biology. Ecology. 2020;(1): 63–68. (In Russ.).
2. Vasilyeva T. N., Bakirov F. G., Nesterenko Yu. M. Bioproductivity and floristic composition of natural and agrophytocenoses of the Orenburg region. *News of the Orenburg State Agrarian University*. 2018;4(72):123–127. (In Russ.).
3. Influence of mineral fertilizers and weather conditions on the removal of nutrients by grain crops in the Volga steppe / V. V. Pronko et al. *Fertility*. 2020;2(113):17–20. (In Russ.).
4. Azarenko (Myasnikova) M. A., Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I. Changes in the plant cover and biological properties of chernozems in the postagrogenic period. Degradation, rehabilitation, and conservation of soils. 2020. P. 1645–1654.
5. Optimum water and nitrogen supply regulates root distribution and produces high grain yields in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) under permanent raised bed tillage in arid northwest China / J. Chen et al. *Soil and Tillage Research*. 2018. (Cover date: September 2018). P. 117–126.
6. Gadzhimusieva N. T., Asvarova T. A. Biological productivity of steppe phytocenoses pricelessly the lowlands of Dagestan. *European Journal of Natural History*. 2018;(5):8–11.
7. Towards integrated cover crop management: N, P and S release from aboveground and belowground residues / V. Hansen et al. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2021. P. 107–392.
8. Drought response in wheat: key genes and regulatory mechanisms controlling root system architecture and transpiration efficiency / M. Kulkarni et al. *Frontiers in Chemistry*. 2017;5(Dec.):106.
9. Morris E. C. Shaping 3d root system architecture / E. C. Morris et al. *Current Biology*. 2017;27(17):919–930.
10. Estimation of the impact of pre-crops and climate variability on soil depth-differentiated spring wheat growth and water, nitrogen and phosphorus uptake / S. J. Seidela et al. *Soil and Tillage Research*. 2019;(195).
11. Genomic regions associated with grain yield under drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) / S. Shukla et al. *Euphytica*. 2015;(203):449–467.

Статья поступила в редакцию 17.02.2022; одобрена после рецензирования 25.02.2022; принята к публикации 28.02.2022.

The article was submitted 17.02.2022; approved after reviewing 25.02.2022; accepted for publication 28.02.2022.