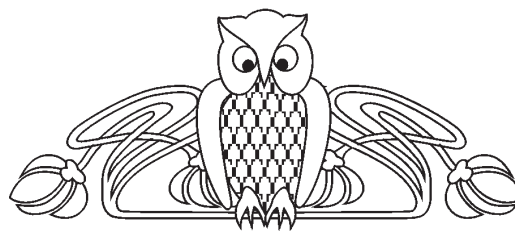




УДК 631.4 581.543

Экологические особенности развития корневых систем растительных культур при различном уровне увлажнения



А. Ю. Верин, И. Ф. Медведев, А. С. Бузуева

Верин Александр Юрьевич, младший научный сотрудник, аспирант лаборатории агроландшафтов и ГИС, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Юго-Востока, Саратов, prive__t@mail.ru

Медведев Иван Филиппович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории агроландшафтов и ГИС, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Юго-Востока, Саратов, medvedev-uv@yandex.ru

Бузуева Анастасия Сергеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории агроландшафтов и ГИС, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Юго-Востока, Саратов, Anastasiyabuzueva@mail.ru

В статье представлены результаты изучения динамики формирования корневой и надземной массы яровой мягкой пшеницы, целинного и залежного ценозов в условиях 2012 и 2018 гг. Выявлена динамика размещения корневой системы культурных растений в зернопаровом севообороте по фазам вегетации. Показано, что яровая пшеница формирует вторичную корневую систему в течение вегетации только в благоприятных метеорологических условиях, в основном в пределах слоя 0–50 см (74%). В отсутствие значимых осадков в период май–июль иссушение верхнего слоя почвы вызывает угнетение и гибель яровой пшеницы даже при наличии достаточной влаги и элементов питания в нижележащих горизонтах. Залежь стремится к целине по равномерности освоения почвенного профиля корнями. Для целины соотношение массы корней к массе надземной части составляет от 1,71 для метрового слоя почвы до 1,78 – для 1,5-метрового слоя, для залежи – 0,96–1,03. Для зерновых культур соотношение массы корней к массе надземной части узкое – в пределах 0,22–0,27, что делает их чрезвычайно зависимыми от экологических условий произрастания.

Ключевые слова: корневая система, яровая пшеница, целина, залежь.

DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-1-63-68>

Введение

Изучая экологические условия формирования корневой системы целинных, полевых и залежных ценозов, можно прогнозировать и корректировать развитие надземных органов растений, имеющих хозяйственную или экологическую ценность. Однако до сих пор изученность подземных частей растений по

сравнению с надземными значительно меньше. Что касается условий формирования подземных частей целинного и залежного ценозов, то они на сегодняшний день остаются практически не изученными. Актуальность проблемы подчеркивается высокой распространенностью таких угроз.

Начиная с 1982 по 2018 г. количество лет с достаточным (131–160 мм) запасом влаги к началу весенних полевых работ увеличилось с 72 до 94%, при этом повторяемость разного типа засух возросла с 51 до 67%. Наиболее заметно выросла повторяемость весенне-летних и устойчивых засух – с 18 до 23%, наблюдается регресс гидротермического коэффициента вегетационного периода (ГТК) [1].

Увеличение числа и глубины оттепелей, сокращение глубины промерзания (до 50–70 см) и ускорение локального оттаивания почвы (до схода снега) создает условия для аккумуляции талых вод и формирования их внутрпочвенного стока. Весной промытые верхние горизонты почвы иссушаются быстрее, чем развивается корневая система яровых культур, поэтому наблюдается парадоксальная картина: растения страдают от засухи при наличии достаточной влаги в почве. В таких условиях развитие корневой системы и урожайность яровых культур в основном зависят от осадков вегетационного периода [2].

Материалы и методы

Исследования проводились в рамках сертифицированного стационарного опыта на полях ФГБНУ НИИСХ Юго-Востока на черноземе южном среднемощном легкогоглинистом. Содержание гумуса пахотных слоев составляло 2,76%, физической глины (частиц < 0,01 мм) – 55,4%.

Яровая пшеница возделывалась в зернопаровом севообороте (пар, озимая пшеница, яровая пшеница, просо, 2 года яровая пшеница) в течение 27 лет. Для сравнения использовали залежный и целинный ценоз.

Исследования проводились в разных по увлажнению полевых условиях 2012 и 2018 гг.,



по фенологическим фазам развития яровой пшеницы: кущение, колошение, полная спелость залежного и целинного ценозов – в фазу массового цветения (75%). Точки отбора проб фиксировались на координатной основе при помощи приборов Garmin GPSmap 60S и Garmin eTrex10. Для отбора корневой системы использовалась методика «площадок» размером 25×25×10 см [3]. Пробы отбирали для яровой пшеницы на глубине до 1 м, и до 1,5 м – для остальных ценозов. Одновременно с отбором корневых образцов по слоям через 10 см до 1 м проводилось определение температуры почвы (термометром ИТП-3), влажности (термостатно-весовым методом), содержания подвижного фосфора и обменного калия (в 1%-й углеаммонийной вытяжке по Мачигину ГОСТ 2625-91), минерального азота (по ГОСТ 26423-85), рН (на рН-метре). Продуктивность сена и соломы определяли методом укусов с пересчетом на абсолютную сухую массу, зерна – учетом биологической урожайности на корню с пересчетом на влажность 14%. Сорты яровой мягкой пшеницы «Воевода», технология возделывания – общепринятая.

Результаты и их обсуждение

Наиболее важным фактором, носящим регламентирующий характер, для развития растений являются погодные условия. За период мая – июля ГТК составил в 2012 г. 0,4, в 2018 г. – 0,9. В 2012 г. на начальном этапе развития яровой пшеницы (с 20 апреля по 30 мая) отмечалось проявление острой весенней засухи с ГТК = 0,1, в 2018 г. за тот же период ГТК = 0,7.

В 2012 г. после окончания снеготаяния суммарный запас продуктивной влаги метрового слоя почвы под пшеницей достиг 207,7 мм, но в условиях острой засухи за один месяц (с 3.04 до 5.05) уменьшился на 42%, а в пахотном слое (0–30 см) – на 75,2%. В 2018 г. после снеготаяния продуктивной влаги в метровом слое почвы содержалось 171 мм. К фазе всходов запасы влаги остались практически на том же уровне, иссушения пахотного слоя не произошло. В фазу кущения яровой пшеницы запас продуктивной влаги метрового слоя в 2012 г. уменьшился в 2 раза (до 104 мм). Минимальное содержание влаги в засушливый год находилось в слое 0–40 см, а в более благоприятном 2018 г. – на глубине 50–70 см (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

Показатели основных экологических факторов по фазам развития растений в среднем по метровому слою
Indicators of the main environmental factors in the phases of plant development on average per meter layer

Элемент / Element	Фазы вегетации яровой пшеницы / Phases of vegetation of spring wheat						Травянистые ценозы / Herbal cenoses	
	Кущение / Tillering		Колошение / Heading		Полная спелость / Full ripeness		Залежь / Deposit	Целина / Tselina
	2012	2018	2012	2018	2012	2018	2018	
ГТК, ед	0,1	0,7	0,7	2,2	0,4	0,6	0,9	
NO ₃ , мг/кг	5,5	5,2	4,6	3,0	2,8	1,9	2,58	1,27
P ₂ O ₅ , мг/100 г	0,74	0,47	0,73	0,47	1,08	0,45	1,76	0,9
K ₂ O, мг/100 г	12,7	12,2	12,5	10,2	13,2	11,0	25,6	18,5
рН вод., ед.	9,0	9,0	9,2	8,9	9,1	9,2	8,8	8,1
Температура, t, °С	20,1	18,5	23,1	22,6	25,8	22,6	–	–
Плотность, ρ, г/см ³	–	1,29	1,28	1,31	1,42	1,36	1,59	1,32

В фазу кущения яровой пшеницы в среднем за два года в метровом слое нитратного азота содержалось 5,35 мг/100г почвы, подвижного фосфора – 0,6 мг/100г.

Реакция почвенного раствора в зоне развития корневой системы в среднем по профилю составляла 9 единиц с небольшими вариациями. В засушливый год масса надземной части 1 растения в фазу кущения составила 0,11 г, в 2018 г. – 0,22 г. Корневая система под влиянием комплекса экологических факторов развивается пропорционально надземной части. В условиях

2012 г. масса корней яровой пшеницы на 1 растение в метровом слое почвы составила 0,31 г, или 0,17 т/га, в 2018 г. – 0,49 г, или 0,196 т/га. Анализ внутрипрофильного распределения корней показал существенные различия в зависимости от условий увлажнения: в 2012 г. в пересушенных верхних слоях почвы корни перестали развиваться, абсолютная масса корней сократилась из-за гибели растений (рис. 1).

Период между фазами кущения и колошения яровой пшеницы в 2012 г. характеризовался средней по активности засухой (ГТК = 0,7) с суммой

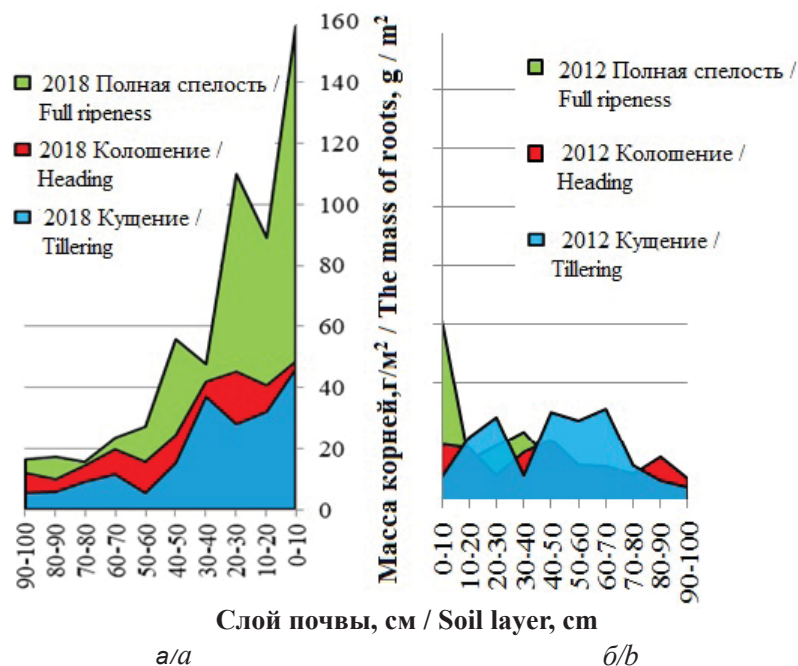


Рис. 1. Динамика абсолютной массы корневой системы яровой пшеницы в течение вегетации: а – в 2018 г., б – в 2012 г.
 Fig. 1. Dynamics of the absolute mass of the root system of spring wheat during the growing season: a – in 2018, b – in 2012

осадков 26 мм. В этот период гибель растений в результате последствия засухи предыдущего периода достигла 33–34% от общего количества всходов. В условиях 2018 г. аналогичный период развития яровой пшеницы характеризовался экстремально влажными погодными условиями с суммой осадков за период 145 мм и ГТК = 2,2.

В 2012 г. к фазе колошения яровой пшеницы запасы продуктивной влаги метрового слоя почвы по сравнению с предыдущей фазой уменьшились на 39%. Наиболее активно продуктивная влага использовалась из слоя почвы 60–100 см. В условиях 2018 г. запасы влаги метрового слоя увеличились на 43%. В засушливый год, по сравнению с фазой кущения, количество азота уменьшилось на 16%, во влажном – на 42% и калия – на 17%, содержание остальных элементов не изменилось. В оба года отмечалось усиление щелочности по всему почвенному профилю на 0,1–0,4 единицы.

Адекватно экологическим условиям формировалась и надземная масса яровой пшеницы. В засушливый год в фазу колошения вес 1 растения составил 0,58 г, в 2018 г. – 0,92 г. К концу фазы колошения в 2012 г. вторичные корни не сформировались, масса корней на одно растение составила соответственно 0,353 г, или 0,136 т/га. В 2018 г. вторичная корневая система хорошо развилась и находилась в слое 0–40 см. Масса корневой системы достигла 0,68 г на 1 растение, или 0,27 т/га.

За время между фазами колошения и полной спелости в 2012 г. отмечалось повторное обострение засухи (ГТК=0,4), в 2018 г. – слабая засуха (ГТК = 0,6), но выпавшие в предшествующий период осадки позволяли растениям развиваться в нормальном режиме. В засушливый сезон к фазе полной спелости запас продуктивной влаги уменьшился по сравнению с фазой колошения на 7,3%, во влажный год – на 56%. В этот период в 2012 г. содержание азота снизилось на 40%, а запасы фосфора и калия увеличились соответственно на 48 и 6%. В 2018 г. содержание азота и фосфора снизилось соответственно на 37 и 3%, а калия возросло на 8%. Реакция почвенного раствора увеличилась в среднем по профилю на 0,1–0,2 и составила 9,1–9,2. В засушливых условиях 2012 г. между фазой колошения и полной спелости выпало 39 мм осадков, что вызвало рост яровой пшеницы ($r = 0,71$), масса корней увеличилась вдвое относительно фазы колошения и составила 0,69 г на одно растение, или 0,169 т/га. В 2018 г. в стадию полной спелости отмечен значительный прирост надземной биомассы относительно предыдущего периода (73%), она составила 1,52 г/растение (без учета зерна), вес корней достиг 1,53 г на 1 растение (0,56 т/га).

В соответствии со сложившимися экологическими условиями и динамикой роста корневой и надземной вегетативной массы получен урожай яровой пшеницы (табл. 2).



Таблица 2 / Table 2

**Показатели продуктивности ценозов (2012–2018)
Cenosis productivity indicators (2012–2018)**

Показатель продуктивности / Indicator productivity	Ценозы / Coenoses					
	Яровая пшеница / Spring wheat		Залежь / Deposit		Целина / Tselina	
	2012	2018	2012	2018	2012	2018
Надземная биомасса, т/га / Aboveground biomass, t / ha	0,624	2,12	1,4	1,9	1,32	1,5
Урожайность зерна, т/га / Grain productivity, t / ha	0,3	1,06	–	–	–	–
Масса соломы (сена), т/га / The mass of straw (hay), t / ha	0,324	1,06	1,4	1,9	1,32	1,5
Масса корней, т/га (0–100см) / The mass of roots, t / ha (0–100 cm)	0,169	0,56	–	1,78	–	2,56

В засушливый и влажный годы он составил соответственно 0,3 т/га и 1,06 т/га. После уборки урожая остаточный запас продуктивной влаги метрового слоя почвы в 2012 г. составил 62 мм, в 2018 г. – 73 мм. Основная причина недоиспользования продуктивной влаги кроется в недостаточном развитии корневой системы.

Установлена достаточно тесная корреляционная связь между урожайностью яровой пшеницы и средней температурой воздуха в мае-июле ($r = -0,71$), числом сухих дней ($r = -0,62$) и количеством выпавших в этот период осадков ($r = 0,52$). При этом коэффициент множественной корреляции уравнения составил 0,78 (табл. 3).

Таблица 3 / Table 3

**Матрица корреляционных зависимостей нарастания корневой системы растений
и почвенно-экологических показателей**

The matrix of correlation dependences of the growth of the root system of plants and soil and environmental indicators

Элемент / Element	Яровая пшеница / Spring wheat						Залежь / Deposit	Целина / Tselina
	Фенологические фазы по годам / Phenological phases by years							
	Кущение / Tillering		Колошение / Heading		Полная спелость / Full ripeness			
	2012	2018	2012	2018	2012	2018	2018	
Влага, мм / Moisture, mm	-0,19	0,07	-0,54	0,51	0,71	0,37	-0,78	-0,12
NO ₃	-0,41	0,86	0,45	0,86	0,73	0,94	-0,61	-0,38
P ₂ O ₅	-0,07	0,84	0,41	0,77	0,70	0,88	0,89	0,78
K ₂ O	-0,12	0,79	0,34	0,80	0,67	0,92	0,95	0,96
pH водная	0,06	-0,66	-0,52	-0,27	-0,63	-0,90	-0,64	-0,42
Температура, t° C	0,48	0,65	0,57	0,82	0,96	0,87	–	–
Плотность, ρ, см ³	–	-0,42	-0,40	-0,83	-0,54	-0,88	-0,89	-0,71

Отмечена устойчивая отрицательная корреляция массы корневой системы всех ценозов с плотностью сложения почвы и рН, положительная – с температурой, которую можно объяснить естественной динамикой данных показателей с глубиной. Отрицательная корреляция с содержанием продуктивной влаги в почве связана с иссушающим действием корневой системы, поэтому она наиболее высока в период активного роста растения и отсутствует в фазе спелости.

Корреляция степени развития корневой системы яровой пшеницы с содержанием элементов питания в почве значительно зависит от

условий увлажнения почвы, так как при высоком содержании элементов питания возрастает осмотическое давление почвенной влаги. Отмечено уменьшение негативного влияния щелочности среды и плотности сложения почвы, частично – содержания питательных элементов на развитие корневых систем с увеличением возраста ценозов, что может быть связано с естественным изменением их ботанического состава.

Корневая система непольных ценозов располагается в основном в зоне 0–110 см, за пределы 1,5-метрового слоя почвы выходят только отдельные нитевидные корни (рис. 2).

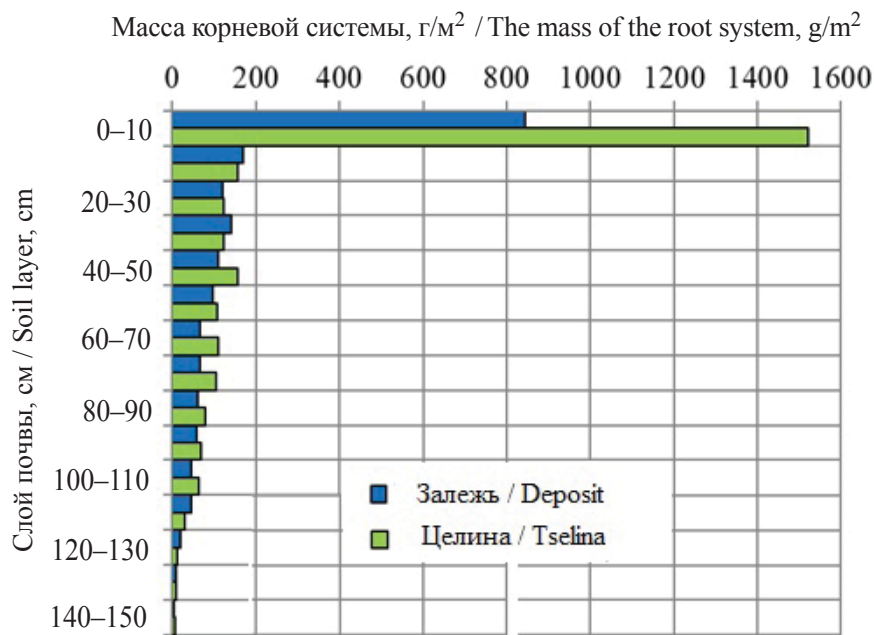


Рис. 2. Распределение массы корневой системы по профилю почвы при отсутствии антропогенного влияния

Fig. 2. The distribution of the mass of the root system along the soil profile in the absence of anthropogenic impact

Характерной особенностью целинного ценоза, по сравнению с залежным, является относительно большая освоенность слоя 50–110 см, залежь активнее осваивает слои 0–40 см. По-видимому, это связано с тем, что верхний слой был окультурен в процессе нахождения почвы под пашней. Для целинного ценоза характерно наибольшее соотношение массы корней и массы надземной части – 1,71 для метрового слоя почвы и 1,78 для 1,5-метрового, для залежи – 0,96–1,03 соответственно. По нашим данным, такая динамика связана со степенью насыщенности ценозов растениями с мощной многолетней корневой системой, образующими экологический каркас (буфер) угодий. Посевы зерновых при небольшой засоренности фактически являются монофитоценозами, в них отсутствуют растения, формирующие экологический каркас ландшафта. Для яровой пшеницы соотношение подземной и надземной биомассы составило 0,26–0,27. Такая особенность культурного ценоза связана с необходимостью формировать максимальную продуктивность при направленном антропогенном регулировании условий среды. Большинство сортов пшеницы относится к интенсивным сортам, чувствительным к уровню агротехники и имеющим, соответственно, минимальное соотношение подземных и надземных органов [4].

Закключение

Изучение особенностей внутрипочвенного размещения корневой системы под различными угодьями позволяет приблизиться к пониманию механизмов регулирования их продуктивности и экологической устойчивости. В условиях изменившегося водного режима и увеличивающегося риска засухи необходимо оптимально сочетать эти функции ландшафта.

Яровая пшеница успевает сформировать вторичную корневую систему в течение вегетации только в благоприятных агрометеорологических условиях, в основном в пределах слоя 0–50 см (74%). При отсутствии значимых осадков в мае-июле иссушение верхнего слоя почвы опережает рост корней и вызывает гибель растений при наличии достаточной влаги и элементов питания в нижележащих горизонтах.

Для целины соотношение составляет от 1,71 для метрового слоя почвы до 1,78 для 1,5-метрового, для залежи оно составило соответственно 0,96–1,03. По-видимому, такая динамика связана со степенью насыщенности ценозов растениями с мощной многолетней корневой системой, образующими экологический каркас (буфер) угодий.

Соотношение массы корней к массе надземной части зерновых культур 0,22–0,27 делает их чрезвычайно зависимыми от экологических условий произрастания.



Список литературы

1. Кумаков В. А. Физиология яровой пшеницы. М. : Колос, 1980. 207 с.
2. Красильников П. К. Методика полевого изучения подземных частей растений (с учетом специфики ресурсоисследовательских исследований). Л. : Наука, 1983. 208 с.
3. Тарановская М. П. Методы изучения корневых систем. М.: Сельхозгиз. 1957. 216 с.
4. Медведев И. Ф., Сиренко Ф. В., Ефимова В. И., Деревягин С. С. Динамика развития корневой системы яровой пшеницы в условиях активного проявления засух и различной обеспеченности элементами питания растений // Достижения науки и техники в АПК. 2013. № 3. С. 6–9.

Образец для цитирования:

Верин А. Ю., Медведев И. Ф., Бузueva А. С. Экологические особенности развития корневых систем растительных культур при различном уровне увлажнения // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2020. Т. 20, вып. 1. С. 63–68. DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-1-63-68>

Ecological Features of the Development of Rooted Systems of Vegetable Cultures at Different Level of Moisture

A. Y. Verin, I. F. Medvedev, A. S. Buzueva

Alexander Y. Verin, <https://orcid.org/0000-0001-6801-1812>, Agricultural Research Institute of South-East Region, Saratov 410010, Russia, prive_t@mail.ru

Ivan F. Medvedev, <https://orcid.org/0000-0002-7993-2411>, Agricultural Research Institute of South-East Region, Saratov 410010, Russia, medvedev-uv@yandex.ru

Anastasiya S. Buzueva, Agricultural Research Institute of South-East Region, Saratov 410010, Russia, Anastasiyabuzueva@mail.ru

The article presents the results of studying the dynamics of the formation of the root and above-ground mass of spring soft wheat, virgin and fallow cenoses under the conditions of 2012 and 2018. The dynamics of the placement of the root system of cultivated plants in the grain-pair crop rotation over the vegetation phases was revealed. It was shown that spring wheat forms the secondary root system during the growing season only in favorable meteorological conditions, mainly within the 0–50 cm layer (74%). In the absence of significant precipitation in the period from May to July, the drying out of the upper layer of soil causes the oppression and death of the spring wheat even in the presence of sufficient moisture and nutrients in the lower horizons. The deposit tends to the virgin soil on the uniformity of the development of the soil profile roots. For virgin lands, the

ratio of the mass of roots to the mass of the above-ground part is from 1.71 for a meter-thick layer of soil to 1.78 for a 1.5-meter-thick layer, for a deposit it is 0.96–1.03. For grain crops, the ratio of the mass of roots to the mass of the above-ground part is narrow – in the range of 0.22–0.27, which makes them extremely dependent on the ecological conditions of growth.

Keywords: root system, spring wheat, virgin soil, deposit.

References

1. Kumakov V. A. *Fiziologiya yarovoy pshenitsy* [Physiology of spring wheat]. Moscow, Kolos Publ., 1980. 207 p. (in Russian).
2. Krasilnikov P. K. *Metodika polevogo izucheniya podzemnykh chastey rasteniy (s uchetom spetsifiki resursovedcheskikh issledovaniy)* [The methodology of the field study of the underground parts of plants (taking into account the specifics of resource research)]. Leningrad, Nauka Publ., Leningr. otd-nie, 1983. 208 p. (in Russian).
3. Taranovskaya M. P. *Metody izucheniya kornevykh sistem* [Methods of studying root systems]. Moscow, Selkhozgiz Publ., 1957. 216 p. (in Russian).
4. Medvedev I. F., Sirenko F. V., Efimova V. I., Derevyagin S. S. The dynamics of the development of the root system of spring wheat under conditions of active manifestation of droughts and various supply of plant nutrients. *Achievements of Science and Technology in the Agricultural Sector*, 2013, no. 3, pp. 6–9 (in Russian).

Cite this article as:

Verin A. Y., Medvedev I. F., Buzueva A. S. Ecological Features of the Development of Rooted Systems of Vegetable Cultures at Different Level of Moisture. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2020, vol. 20, iss. 1, pp. 63–68 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-1-63-68>