

- Loskutov I. G., Kovaleva O. N., Blinova E. V. *Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu i sohraneniyu mirovoj kollekcii yachmenya i ovsa: metodicheskie ukazaniya* [Methodical instructions for the study and preservation of the world collection of barley and oats: methodical instructions]. Saint-Peterburg.: ООО «Копи-Р», 2012. 62 p.
- Sajnakova A.B., Litvinchuk O.V. Ocenka ehkologicheskoy plastichnosti i stabil'nosti kollekcionnyh obrazcov ovsa po masse 1000 zeren [Assessment of ecological plasticity and stability of collection samples of oats by weight of 1000 grains] // *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, no. 4(64), pp. 72–74.
- Surin N. A., Lyahova N. E., Gerasimov S. A. Povyshenie ustojchivosti sortov yachmenya k stressovym faktoram s pomoshch'yu selekcii v usloviyah Vostochnoj Sibiri [Increase of resistance of barley varieties to stress factors using breeding in the conditions of Eastern Siberia] // *Nauchnye issledovaniya – osnova modernizacii sel'skohozyajstvennogo proizvodstva*. Tyumen, 2011, pp. 129–136.
- Fomina M. N. Urozhajnost' plenchatyh sortov ovsa i osobennosti ee formirovaniya v usloviyah severnoj lesostepi Tyumenskoj oblasti [Yield of captive oat varieties and features of its formation in the conditions of the Northern forest-steppe of the Tyumen region] // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2016, no. 12, pp. 24–27.
- Eberhart S. A. Stability parameters for comparing varieties / S. A. Eberhart, W. A. Russell // *Crop. Sci.*, 1966, v. 6, no. 1, pp. 36–40.
- Hincha D. K. Fructans from Oat and rye: Composition and Effects on Membrane Stability during Drying // *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Biomembranes*, 2007, no. 6, pp. 1611–1619. DOI: 10.1016/j.bbamem.2007.03.011
- Holland J B. Recurrent Selection for broad Adaptation Affects Stability of Oat / J. B. Holland, A. B. Jornstad, K. J. Frey, M. Gullord, D M. Wesenberg // *Euphytica*, 2002, no 2, pp 265–274.
- Rossell A A., Hemblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environvents // *Crop. Sci.*, 1981, v. 21, no. 6, pp. 27–29.

УДК 633.11:581.1:631.52

DOI: 10.25695/AGRPH.2019.02.07

## ПРОНИКАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ КОРНЕЙ МЯГКОЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ НЕДОСТАТОЧНОГО ВЛАГООБЕСПЕЧЕНИЯ (часть I)

**В. В. Новохатин**

*НИИСХ Северного Зауралья, филиал ТюмНЦ СО РАН,  
625501 Тюменская обл., Тюменский район (код-3452),  
пос. Московский, ул. им. В. В. Бурлаки, 2  
E-mail: natalya.sharapov@bk.ru*

*Поступила в редакцию 21 ноября 2018 г., принята к печати 27 мая 2019 г.*

Зародышевые корни пшеницы, образующие первичную корневую систему, в условиях недостаточного увлажнения в основном обеспечивают растения влагой. Поэтому глубина проникновения корней в почву и активность их роста оказывают существенное влияние на засухоустойчивость. В условиях полуобеспеченной богары корни раннеспелых сортов до наступления фазы трубкувания углубляются в почву на 120–134 см со среднесуточным приростом 4,0–4,27–4,88 см, который значительно больше, чем у позднеспелых (121–127 см и 3,0–3,5–3,76 см) и среднеспелых (117–125 см и 3,31–3,44 см) сортов. Меньшей активностью роста корней отличаются среднеспелые интенсивные сорта Целинная 26 и Казахстанская 3 (2,80–2,98 см сут<sup>-1</sup>). От фазы трубкувания до колошения активность роста корней снижается почти в три раза (1,10–1,34 см сут<sup>-1</sup>), а в период от колошения до восковой спелости корни растут достаточно медленно (0,34–0,46 см сут<sup>-1</sup>). Рост корней у многих раннеспелых и среднеспелых сортов прекращается при наступлении фазы восковой спелости, и только у сортов Казахстанская 4, Саратовская 42, Казахстанская 10 и Целинная 26 он наблюдается до полной спелости. Корни растений пшеницы указанных сортов достигают 175–180 см, позднеспелых сортов – 188 см. Данные показатели подвержены сильной изменчивости, последовательно возрастающей от фазы кушения (5,05% и 8,86%) по межфазным периодам в 2–4–6 раз, что свидетельствует об их значительных сортовых различиях. В условиях необеспеченной богары при дефиците влаги и высоких температурах рост корней обусловлен глубиной проникновения влаги в почву.

В сухостепных условиях корни растений пшеницы проникают в почву на 136–159 см, у раннеспелых сортов — на меньшую глубину. Лимитирующее влияние на глубину проникновения корней оказывает выпадение осадков в июле, активизирующее рост и развитие вторичных (стеблевых) корней. Раннеспелые сорта плохо переносят типичный для региона раннелетний дефицит почвенной влаги, поэтому уступают по урожайности среднеспелым и особенно поздним сортам, получившим здесь широкое распространение.

**Ключевые слова:** сорт, условия, корни, проникающая способность, активность роста.

# PENETRATING ABILITY OF ROOTS OF SOFT SPRING WHEAT UNDER CONDITIONS OF INSUFFICIENT MOISTURE CONTENT

(Part I)

V. V. Novokhatin

*National Research Institute of Agriculture, Northern Zauralye, branch of TyumSC SB RAS,  
2 st. them. V.V. Burlaki, pos. Moscow, Tyumen Region, Tyumen Region (code-3452), 625501, Russia  
E-mail: Natalya sharapov@bk.ru*

Wheat germ roots form the primary root system and under conditions of insufficient moisture provide plants with water. Therefore, the depth of penetration of the roots into the soil and the activity of their growth have a significant impact on the plant drought tolerance. Under the conditions of semi-rainfed land, the roots of early-ripening wheat varieties, before the onset of the booting phase, go deeper into the soil (120–134 cm) with an average daily increase in root length of 4.0–4.27–4.88 cm, which is significantly larger than that of late-ripening (121–127 cm and 3.0–3.5–3.76 cm) and mid-ripening (117–125 cm and 3,31–3,44 cm) wheat varieties. The middle-ripening intensive wheat varieties Tselinnaya 26 and Kazakhstanskaya 3 have a lower root growth activity (2.80–2.98 cm day<sup>-1</sup>). From the phase of booting to earing, the activity of root growth decreases almost three times (1.10–1.34 cm day<sup>-1</sup>), and in the period from earing to wax ripeness, the roots grow rather slowly (0.34–0.46 cm day<sup>-1</sup>). The growth of the roots of many early- and middle-ripening wheat varieties stops at the onset of the phase of wax ripeness, and only for varieties Kazakhstanskaya 4, Saratovskaya 42, Kazakhstanskaya 10 and Tselinnaya 26 the growth is observed to full ripeness phase. The roots of wheat plants of these varieties reach 175–180 cm, of late-ripening varieties – 188 cm. These indicators are subject to strong variability, consistently increasing from the tillering phase (5.05% and 8,86%) in the interphase periods 2–4–6 times, which indicates their significant varietal differences. Under the conditions of a semi-rainfed land, at a lack of moisture and high temperatures, the growth of roots depends on the depth of moisture penetration into the soil.

In conditions of dry steppe, the roots of wheat plants penetrate the soil to 136–159-cm depth, and the early-ripening varieties – to a lesser depth. The limiting influence on the depth of roots penetration is exerted by the precipitation in July, activating the growth and development of secondary (stem) roots. Early-ripening wheat varieties do not tolerate early-summer soil moisture deficit typical for the region, therefore they result in lower yields compared to middle-ripening and especially late-ripening varieties that are widely spread in the region.

**Keywords:** variety, conditions, roots, penetrating ability, growth activity

## ВВЕДЕНИЕ

Зародышевые корни пшеницы образуют первичную корневую систему, которая в условиях недостаточного увлажнения в основном обеспечивает растения влагой. Поэтому её засухоустойчивость и продуктивность зависят от глубины проникновения корней в почву, которая в разных агроклиматических зонах является различной. При этом активность роста корней изменяется по фазам развития растений. Сортовые особенности проникающей способности корней изучены недостаточно, поскольку они исследовались на ограниченном числе сортов, а в экологическом аспекте данный вопрос вообще не рассматривался. Также практически не изучалась активность роста корней у сортов пшеницы различной интенсивности и скороспелости по фазам развития растений.

Цель исследований заключалась в том, чтобы в различных агроэкологических условиях Казахстана изучить глубину проникновения корней в почву у расширенного набора сортов различной спелости и интенсивности и определить активность их роста по фазам развития растений. Это необходимо учитывать при разработке моделей сортов разной направленности и позволяет целенаправленно использовать сорта, характеризующиеся наибольшей проникающей способностью и активностью роста корней, в качестве

исходного материала для создания засухоустойчивых и высокопродуктивных генотипов.

## ОБОСНОВАНИЕ

У пшеницы ярко выраженным сортовым признаком является число зародышевых корней (Станков, 1964; Ведров, 1983; Новохатин, Сыздыкова, 2003), которые образуют первичную корневую систему. Небольшое количество первичных корней в условиях недостаточного увлажнения обеспечивает растения влагой, необходимой для формирования продуктивного главного стебля (Кузьмин, 1965; Носатовский, 1965; Мамонтова, 1980; Новохатин, 2006, 2015). Поэтому засухоустойчивость и продуктивность пшеницы зависят от глубины проникновения корней и мощности развития корневой системы (Носатовский, 1965; Molic, Norda, Murty, 1989; Lyaskovaku, 1998). Глубина проникновения корней в почву у растений яровой пшеницы в неполивных условиях Западного Казахстана составляет 165 см (Орловский, Афанасьев, 1929), в засушливой зоне Павлодарской области – 140 см (Вельсовская, 1972), в богарных условиях юго-востока Казахстана – 110 см (Байтулин, 1976). До настоящего времени нет однозначного мнения о скорости роста корней пшеницы, а имеющиеся результаты исследований являются разрозненными: 5 см в сутки (Protopoulos, Bras, 1987), 1,9–3,1 см – в период «всходы – выход в трубку» (Мечетный, 1963), 2 см сут<sup>-1</sup> – в

период колошения (Носатовский, 1965). Установлено, что период роста корней продолжается до фазы восковой спелости (Сытник, Книга, Мусатенко, 1972; Байтулин, 1976; Soon, 1988).

В условиях сухостепного климата первичные корни, по данным А. И. Носатовского (1965), формируют 60–75% урожая яровой пшеницы. Более поздние исследования, проведенные в богарных условиях, показали, что у раннеспелых яровых сортов за счёт первичных корней формируется 77–80% урожайности зерна, у среднеспелых – 67–69%, у позднеспелых – 53–56% (Новохатин, 2015). Корни засухоустойчивых сортов растут быстрее, чем незасухоустойчивых (Станков, 1964; Kutschka, Schuhwark, Nakhoroosh et al., 2011), и глубже проникают в почву (Данильчук, 1970). Для наиболее приемлемого роста корней в глубину влажность почвы должна быть несколько меньше той, которая считается для неё оптимальной (Славный, Нетис, Варченко и др., 1986; Saidi, Ookawa, Hirasawa, 2010). Поэтому у растений обычно образуется больше корней, чем необходимо для нормального роста надземной массы, который служит гарантией их устойчивости к стрессовым воздействиям среды.

Для измерения роста корней используются длинные пробирки, стеклянные ящики (Проценко, Кириченко и др., 1975) и ризотроны (Kuchenbuch, Ingram, 2002), показатель их электроёмкости (Harmanska, Blaha, Vizova, 2013), компьютерный анализ изображений (Bodner, Grausgaber, Ebrahimi, Kaul, 2010), акустическая эмиссия взаимодействия корней с почвой (Shinomashiro, Jnanaga, Sugimoto et al., 1998; Durairaf, Okushima, Sase, 2000), лазерные приборы и рентгеновские анализаторы (Драгавцев, 2018). Отличительные особенности корневых систем растений учитываются при селекции (Кузьмин, 1966; Проценко, Кириченко, Мусиенко, Славный, 1975; Kutschka, Schuhwerk, Nakhforoosh et al., 2011; Новохатин, 2015).

#### МЕТОДИКА

Экологические испытания сортов яровой мягкой пшеницы проводились в соответствии с методикой Государственного сортоиспытания (1989) на полуобеспеченной и необеспеченной богаре юго-востока Казахстана (почвы каштановые и светлокаштановые), стационарах Казахского НИИ земледелия и в сухостепных условиях I зоны Павлодарской области (на выщелоченном чернозёме Павлодарской СХОС). Почвы в экологических зонах являются суглинистыми. В ходе исследования изучено 14 сортов разных типов спелости и интенсивности: раннеспелые сорта – Казахстанская 4, Лютесценс 70, Казахстанская раннеспелая, Саратовская 42; среднеспелые сорта – Саратовская 29, Целинная 26, Казахстанская 9, Казахстанская 10, Лютесценс 1226, Казахстанская 12, Казахстанская 3; позднеспелые сорта – Целинная 21, Целинная юбилейная, Омская 9. Площадь делянки составляла 10 м<sup>2</sup>, повторность опыта – четырёхкратная. Норма высева на полуобеспеченной богаре – 400 всхожих зёрен на 1 м<sup>2</sup>, в других зонах – 350. Посев проводился порционной семисошниковой сеялкой ССФК-7 с шириной междурядий 15 см и шириной межделяночных дорожек 50 см. Предшественником на

полуобеспеченной богаре являлся горох, в других экологических точках – чистый пар. Глубина проникновения корней определялась по фазам развития растений траншейным методом, являющимся довольно трудоёмким, но в то же время наиболее достоверным. В торцевой части делянок с изучаемыми сортами пшеницы выкапывалась траншея шириной 1 м и длиной 25 м, которая углублялась после каждой откопки корней, затем ее стенки опрыскивались водой и покрывались полиэтиленовой плёнкой. Верхняя часть траншеи закрывалась деревянными щитами и плёнкой, поверх которых укладывались камышитовые маты, которые засыпались слоем земли ≈ 20 см.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В условиях полуобеспеченной богары юго-востока Казахстана, сходных с условиями основных зерносеющих регионов Казахстана как по гидротермическому коэффициенту, так и по механическому составу почвы, при помощи траншейного метода установлено, что основная масса корней растений мягкой яровой пшеницы различных сортов сосредоточена до глубины 60 см. С дальнейшим повышением глубины их количество уменьшается. На срезах траншеи видно, что в более увлажнённые годы корневая система растений была более мощной, чем в сухие.

В начале вегетации (период «всходы – трубкование») раннеспелые сорта характеризуются быстрым углублением корней и, как следствие, ускоренным нарастанием их массы. При этом до фазы кушения у них активно растут только первичные и колеоптельные корни. В то же время из пазушных почек заложённого узла кушения только начинают трогаться в рост вторичные узловые (т. н. стеблевые) корни. По данным А. И. Носатовского (1965), зародышевые корни растений яровой пшеницы к моменту кушения достигают почти полуметровой глубины в условиях Новочеркасска. Однако в условиях недостаточного увлажнения полуобеспеченной богары юго-востока Казахстана корни растений раннеспелых сортов к началу кушения (12–13 дней от всходов и 18–19 дней от начала вегетации) углубляются на 72–75 см (табл. 1), а среднесуточный прирост в среднем по группе составляет ≈ 4,0 см с колебаниями по сортам 3,79–4,17 см (табл. 2). Такой же глубины достигают корни растений среднеспелых сортов (Целинная 26, Лютесценс 1226 и Казахстанская 3). У остальных среднеспелых сортов за тот же промежуток времени корни углубляются в почву на 69–72 см, среднесуточный прирост составляет 3,63–3,68 см. У позднеспелых сортов период кушения наступает на 14–15-й день от всходов и 20–21-й день от начала вегетации. За указанное время корни растений данных сортов проникают в почву на глубину 63–68 см, а суточный прирост оказывается наименьшим – 3,00–3,35 см.

Активное углубление корней растений почти всех раннеспелых сортов отмечается до фазы трубкования, которая у них наступает на 12–14-й день от полного кушения, что на 5–6 дней раньше, чем у поздних сортов, и на 2–3 дня раньше, чем у среднеспелых. За указанный период их первичные

корни углубляются в почву в основном на 57–59 см и достигают отметок 129–133 см, среднесуточный прирост составляет 4,27–4,45–4,88 см. Корни растений пшеницы сорта Лютесценс 70 на данном этапе развития углубились только на 42 см и достигли 116 см, что на

13–18 см меньше, чем у растений других сортов группы, и соответствует уровню многих среднеспелых сортов, у которых среднесуточный прирост корней был более низким (3,20–3,31 см) (табл. 2).

Таблица 1. Проникающая способность корней растений мягкой яровой пшеницы различных сортов в условиях полубеспеченной богары юго-востока Казахстана, см (1986–1988 гг., 1990 г.)

Сорт	Период развития растений				
	кущение	трубкавание	колошение	восковая спелость	полная спелость
<i>Раннеспелые сорта</i>					
Казахстанская 4	75	134	155	167	175
Лютесценс 70	74	116	153	161	164
Казахстанская раннеспелая	74	131	157	169	170
Саратовская 42	72	129	161	172	180
$\bar{x}$ 74	128	156	167	172	
<i>Среднеспелые сорта</i>					
Саратовская 29	69	119	139	164	172
Целинная 26	75	117	158	175	186
Казахстанская 9	70	118	147	166	169
Казахстанская 10	70	125	158	167	176
Лютесценс 1226	75	125	141	163	164
Казахстанская 12	69	123	143	162	173
Казахстанская 3	72	117	147	157	163
$\bar{x}$ 72	121	148	165	172	
<i>Позднеспелые сорта</i>					
Целинная 21	68	123	156	173	189
Целинная юбилейная	67	121	155	171	184
Омская 9	63	127	160	178	184
$\bar{x}$ 66	124	157	174	186	
$S \bar{x}$	0,96	1,50	1,96	1,57	2,35
$S \bar{x}$ , %	1,35	1,22	1,29	1,10	1,34
V, %	5,10	4,60	4,80	3,50	5,20

Таблица 2. Динамика межфазной глубины проникновения и среднесуточного роста корней растений мягкой пшеницы различных сортов в условиях полуобеспеченной богары юго-востока Казахстана, см (1986–1990 гг.)

Сорт	Начало вегетации – кущение		Кущение – трубкование		Трубкование – колошение		Колошение – восковая спелость	
	глубина	сут. прирост	глубина	сут. прирост	глубина	сут. прирост	глубина	сут. прирост
<i>Раннеспелые сорта</i>								
Казахстанская 4	75	4,17	59	4,88	21	1,12	12	0,38
Лютесценс 70	74	4,11	42	3,23	37	1,68	8	0,24
Казахстанская раннеспелая	74	3,89	57	4,45	25	1,13	13	0,38
Саратовская 42	72	3,79	57	4,27	32	1,44	12	0,34
$\bar{x}$ 74	3,99	54	4,21	29	1,34	11	0,34	
<i>Среднеспелые сорта</i>								
Саратовская 29	69	3,63	50	3,31	20	0,82	25	0,68
Целинная 26	75	3,95	42	2,80	41	1,58	18	0,46
Казахстанская 9	70	3,68	48	3,20	29	1,16	22	0,58
Казахстанская 10	70	3,68	55	3,44	33	1,31	9	0,22
Лютесценс 1226	75	3,95	50	3,35	16	0,65	22	0,61
Казахстанская 12	69	3,63	53	3,34	24	0,96	15	0,40
Казахстанская 3	72	3,78	45	2,98	30	1,25	9	0,25
$S \bar{x}$ 72	3,76	49	3,20	27	1,10	17	0,46	
<i>Позднеспелые сорта</i>								
Целинная 21	68	3,24	55	3,06	33	1,13	17	0,43
Целинная юбилейная	67	3,35	55	3,21	34	1,25	16	0,41
Омская 9	63	3,00	64	3,76	33	1,18	17	0,43
$\bar{x}$ 66	3,20	58	3,34	33	1,19	17	0,42	
$S \bar{x}$	0,99	0,09	1,74	0,16	1,88	0,07	1,40	0,04
$S \bar{x}$ , %	1,35	2,43	3,32	4,56	6,46	5,88	9,09	9,52
V, %	5,05	8,86	12,5	16,8	24,2	23,0	34,1	32,9

Корни растений пшеницы позднеспелых сортов (Целинная 21 и Целинная юбилейная) за период «кущение – трубкование» углубились в почву на 55 см, а корни растений сорта Омская 9 – на 64 см и достигли 122–127 см (табл. 1). Суточный прирост корней у сортов целинной селекции остался на прежнем уровне, а у сорта Омская 9 активизировался до 3,76 см, благодаря чему корни проникли в почву несколько глубже (на 127 см). По данному показателю сорт Омская 9 приблизился к раннеспелым сортам.

Корни растений среднеспелых сортов за указанный период углубились в почву на 48–53 см, сорта Казахстанская 10 – на 55 см, среднесуточный прирост составил 3,20–3,44 см. В то же время у сортов Целинная 26 и Казахстанская 3 установлен невысокий суточный прирост корней (2,80–2,98 см), из-за чего за отмеченный период они углубились в почву всего на 42–45 см, что является самым низким показателем среди изученных сортов. Различия между сортами по указанным признакам на данном этапе увеличились в два раза (12,5% и 16,8%) по сравнению с предыдущим.

К фазе колошения, которая у растений раннеспелых сортов наступает на 51–54-й день после появления всходов, их корни проникли в почву на 153–161 см, а за период от трубкования до колошения (19–23 дня) они углубились на 21–37 см (табл. 1, 2). В то же время у сортов существенно снизился суточный рост корней (до 1,12–1,68 см), что в среднем по группе в 3,1 раза меньше по сравнению с предыдущим периодом. Несколько более активным он был у растений сортов Лютеценс 70 (1,68 см сут<sup>-1</sup>) и Саратовская 42 (1,44 см сут<sup>-1</sup>).

Среднеспелые интенсивные сорта Целинная 26, Казахстанская 10 и Казахстанская 3 на данном этапе отличались несколько более высокими показателями среднесуточного роста корней (1,25–1,58 см). За указанный период корни растений углубились на 30–41 см и у первых двух сортов достигли 158 см, что соответствует уровню раннеспелых сортов. В то же время у других сортов данной группы (Лютеценс 1226, Саратовская 29 и Казахстанская 12) отмечен замедленный рост корней (0,65–0,96 см сут<sup>-1</sup>), из-за чего они углубились всего на 16–24 см и к фазе колошения проникли в почву на 139–147 см. Указанные биологические особенности роста корней на данном межфазном этапе связаны, безусловно, с ускоренным нарастанием вегетативной массы у растений интенсивных сортов и адаптивными способностями полуинтенсивных сортов.

У растений позднеспелых сортов колошение в условиях полуобеспеченной богары наступает через 27–29 дней после трубкования, что позже на 8–10 дней, чем у раннеспелых сортов, и на 3–5 дней, чем у среднеспелых. За указанный период корни растений углубились на 33 см при среднесуточном приросте 1,13–1,25 см и достигли 155–160 см, что соответствует уровню раннеспелых и среднеспелых (Целинная 26 и Казахстанская 10) сортов, последние из которых отличаются наиболее высокими показателями.

Сортовые различия признаков в указанный межфазный период являлись довольно значительными (24,2% и 23,0%). При этом следует учитывать, что корни растений раннеспелых сортов всегда

располагались в более глубоких горизонтах почвы и благодаря этому активнее использовали доступную влагу.

Восковая спелость у растений пшеницы раннеспелых сортов в данной экологической зоне наступает на 84–87-й день вегетации и на 31–34-й день после колошения. К указанному времени их корни углубились в почву на 167–172 см, у сорта Лютеценс 70 — на 161 см (табл. 1). В период формирования и налива зерна у пшеницы существенно снижается рост корней. Так, у большинства растений раннеспелых сортов среднесуточный прирост корней составил 0,34–0,38 см, а у сорта Лютеценс 0 – 0,24 см. За последний межфазный период их корни углубились всего на 12–13 см, у сорта Лютеценс 70 – на 8,0 см (табл. 2). Медленный рост корней также наблюдался у растений среднеспелых интенсивных сортов Казахстанская 10 и Казахстанская 3 (0,22–0,25 см). В то же время у растений полуинтенсивных сортов Саратовская 29, Лютеценс 1226 и Казахстанская 9 рост корней был довольно активным (более чем в два раза по сравнению с другими сортами в группе) и составил 0,58–0,68 см в сутки, что позволило им углубиться в почву на 22–25 см и эффективно использовать почвенную влагу из глубоких горизонтов. Корневая система растений позднеспелых сортов от колошения до восковой спелости вегетировала более длительное время (39–40 дней), среднесуточный рост составил 0,41–0,43 см (табл. 2). Их корни за указанный период углубились на 16–17 см и достигли 171–178 см. Из других сортов на такую же глубину проникли только корни растений сортов Саратовская 42 и Целинная 26. Показатели сортовой изменчивости признаков на данном этапе являлись довольно высокими ( $S\bar{x}, \% = 9,09$  и  $9,52$ ;  $V, \% = 34,1$  и  $32,9\%$ ) и последовательно возрастали от кушения по межфазным периодам в 2–4–6 раз. Рост корней у растений пшеницы большинства раннеспелых и среднеспелых сортов практически прекратился при наступлении восковой спелости зерна, только у растений сортов Казахстанская 4, Саратовская 42, Казахстанская 10 и Целинная 26 незначительное их количество продолжало расти до фазы полной спелости зерна и достигло 175–180 см, у растений последнего сорта – 186 см. У растений позднеспелых сортов в период «начало восковой спелости – полная спелость зерна» единичные корни углубились в почву на 13–16 см и достигли 184–189 см. Их рост прекратился из-за несоответствия между количеством поступающей из почвы влаги и её расходом надземной вегетативной массой.

В условиях необеспеченной богары при сильном дефиците влаги и высоком температурном режиме во второй половине вегетационного периода также установлены сортовые различия по глубине проникновения корней в почву. Так, у растений большинства раннеспелых сортов корни за период вегетации в среднем за три года проникли на глубину 164–166 см, что на 6–11 см меньше по сравнению со среднеспелыми сортами (170–173–176 см) (табл. 3), уровню которых соответствует проникновение в почву корней растений районированного здесь раннеспелого сорта Казахстанская 4 (173 см). Также уровню

среднеспелых сортов практически соответствует группы (177–179 см).  
глубина проникновения корней у генотипов поздней

Таблица 3. Глубина проникновения в почву корней растений яровой мягкой пшеницы различных сортов при ограниченном влагообеспечении, см

Сорт	Необеспеченная богара				Сухостепная зона (Павлодарская обл.)			
	1986	1987	1988	$\bar{x}$	1986	1987	1988	$\bar{x}$
<i>Раннеспелые сорта</i>								
Казахстанская 4	180	174	165	173	128	138	143	136
Лютесценс 70	160	165	172	165	–	–	–	–
Казахстанская раннеспелая	165	160	168	164	132	135	145	137
Саратовская 42	182	155	162	166	136	143	148	142
$\bar{x}$ 172	164	167	167	132	139	145	138	
<i>Среднеспелые сорта</i>								
Саратовская 29	188	173	162	174	138	140	150	143
Целинная 26	180	176	170	175	138	145	150	144
Казахстанская 9	180	168	170	172	130	144	147	140
Казахстанская 10	185	169	175	176	140	146	150	145
Лютесценс 1226	184	181	168	177	–	–	–	–
Казахстанская 12	178	173	168	173	134	141	155	143
Казахстанская 3	175	168	168	170	–	–	–	–
$\bar{x}$ 181	173	169	174	136	143	150	143	
<i>Позднеспелые сорта</i>								
Целинная 21	180	176	170	178	153	158	166	159
Целинная юбилейная	178	174	187	179	146	156	158	153
Омская 9	175	170	188	177	148	163	156	157
$\bar{x}$ 178	173	182	178	149	159	160	156	
$S \bar{x}$	2,00	1,82	2,09	1,31	2,36	2,68	2,00	2,41
$S \bar{x}$ , %	1,12	1,07	1,22	1,01	1,70	1,83	1,32	1,66
V, %	4,21	4,00	4,59	2,87	5,64	6,08	4,37	5,51

Рост корней растений пшеницы в условиях необеспеченной богары связан с глубиной проникновения осадков в почву. В редкие влажные годы (1986) корни проникали в почву несколько глубже – на 180–188 см (табл. 3). Однако следует отметить, что в почвенных горизонтах ниже 150–160 см встречаются только единичные корни, которые являются истонченными и весьма слабыми. Из-за более затянутого развития растений позднеспелых сортов закладка колоса и формирование генеративных органов у них происходят при повышенных температурах и отсутствии осадков, в связи с чем они, а также растения многих среднеспелых сортов засыхают, не успев даже полностью выколоситься. Это приводит к образованию у них мелких колосьев с щуплым зерном, отличающимся низкой абсолютной массой (18–21 г), и в итоге – к низким урожаям (0,3–0,5–0,7 т га<sup>-1</sup>), из-за чего указанные сорта не получили распространения в данном регионе.

В Павлодарской области, основной зерносеющей зоне Казахстана, на землях

Павлодарской СХОС первичные корни растений яровой мягкой пшеницы проникают на глубину от 128 до 166 см (табл. 3). При этом у раннеспелых сортов, как и в других экологических зонах, корни проникают на меньшую глубину – 136–142 см. У растений сорта Саратовская 42 в условиях длинного дня вегетация несколько затягивается, а глубина проникновения корней является средней (142 см) с колебаниями по годам от 136 до 148 см, что соответствует уровню среднеспелых сортов. Корни растений позднеспелых сортов в опыте достигали глубины 153–159 см, а в более благоприятном 1988 г. у растений сорта Целинная 21 – 166 см. Лимитирующее влияние на глубину проникновения первичных корней в данной экологической зоне оказывает выпадение осадков в июле, активизирующих рост и развитие вторичных (стеблевых) корней, основная масса которых располагается в почвенном горизонте 0–60 см, достаточно обеспеченном в указанное время влагой и элементами питания.

Сорта, создаваемые для выращивания в Северном Казахстане, где климатические условия являются резко контрастными, должны совмещать противоположные свойства: засухоустойчивость и влагоотзывчивость, а также жаровыносливость и холодостойкость. В. П. Кузьмин (1965) тесно связывал холодостойкость и урожайность сортов с засухоустойчивостью. У холодостойких сортов рост и развитие корней не прекращаются при пониженных температурах весной, поэтому в дальнейшем они лучше противостоят засухе. Это характерно также для позднеспелых сортов местной селекции. В силу своих биологических особенностей они отличаются удлинённым периодом «кущение – трубкование», в течение которого активно растёт и развивается их корневая система и медленно – надземная часть, что позволяет растениям данных сортов эффективно противостоять неблагоприятным условиям, в том числе часто повторяющейся здесь раннелетней засухе. Активный рост надземной массы и развитие репродуктивных органов у растений позднеспелых сортов происходят во время поздних июньских и июльских дождей, что обеспечивает получение довольно высоких урожаев.

У раннеспелых сортов в условиях северо-востока Казахстана активный рост корневой системы и вегетативной массы происходит в первой половине вегетационного периода при недостатке влаги и повышенных температурах, что приводит к отсутствию продуктивной кустистости и ускоренному формированию малопродуктивных растений. Это обуславливает низкую урожайность пшеницы указанных сортов. Поэтому в данном регионе получили распространение среднеспелые и позднеспелые сорта.

Таким образом, выявлены биологические особенности роста корней и глубины их проникновения в почву у сортов яровой пшеницы различной спелости и интенсивности по периодам развития растений в различных агроклиматических условиях. Данные особенности следует учитывать при подборе пар для синтетической селекции, направленной на повышение активной деятельности корневых систем новых генотипов, а также при разработке моделей сортов.

### ВЫВОДЫ

В условиях полуобеспеченной богары корни растений раннеспелых сортов активно растут до фазы трубкования и углубляются в почву на 120–134 см, среднесуточный прирост составляет 4,0–4,27–4,88 см, что значительно больше, чем у позднеспелых (121–127 см и 3,0–3,35–3,76 см) и среднеспелых (117–125 см и 3,31–3,44 см) сортов. Более медленным ростом корней отличаются среднеспелые интенсивные сорта Целинная 26 и Казахстанская 3 (2,80–2,98 см сут.<sup>-1</sup>).

От фазы трубкования до колошения активность роста корней снижается почти в три раза (1,10–1,34 см сут.<sup>-1</sup>), медленный рост отмечается в период «колошение – восковая спелость» (0,34; 0,46; 0,42 см сут.<sup>-1</sup>).

Рост корней у многих раннеспелых и среднеспелых сортов прекращается при наступлении восковой спелости, только у растений сортов Казахстанская 4, Саратовская 42, Казахстанская 10 и Целинная 26 корни продолжают расти до фазы полной спелости, достигая 175–180 см, у позднеспелых сортов – 188 см.

Показатели признаков подвержены сильной изменчивости, величина которой последовательно возрастает от кущения (5,05% и 8,86%) по межфазным периодам в 2–4–6 раз, что указывает на значительные сортовые различия.

В условиях необеспеченной богары при дефиците влаги и высоких температурах корни растений большинства раннеспелых сортов проникают в почву на 164–166 см, что на 6–11 см меньше по сравнению со среднеспелыми и позднеспелыми сортами. Рост корней в данных условиях зависит от глубины проникновения влаги в почву.

В сухостепных условиях корни растений пшеницы проникают в почву на 136–159 см, у раннеспелых сортов — на меньшую глубину. Лимитирующее влияние на глубину проникновения корней оказывает выпадение осадков в июле, активизирующих рост и развитие вторичных (стеблевых) корней. Раннеспелые сорта, характеризующиеся активным начальным ростом корней и вегетативной массы, плохо переносят типичный для региона раннелетний дефицит почвенной влаги, поэтому уступают по урожайности среднеспелым и особенно поздним сортам, получившим здесь широкое распространение.

*Работа выполнена по Госзаданию (приоритетное направление – X.10.4; программа – X.10.4.150; проект – X.10.4.150).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Байтулин И. О. Корневая система сельскохозяйственных культур. Алма-Ата: Наука, 1976. 244 с.
- Ведров Н. Г. Разработка методов создания и возделывания засухоустойчивого агроэкоотипа яровой пшеницы для зоны недостаточного увлажнения Восточной Сибири. Дисс. д-ра с.-х. наук. Красноярск, 1982. С. 115–125.
- Вельсовская Л. А. Изучение корневой системы пшеницы различного происхождения в условиях сильной ветровой эрозии и засухи. Автореф. дисс. канд. с.-х. наук. Л., 1972. 24 с.
- Данильчук П. В. Развитие корней и надземной массы у зерновых злаков в связи с их продуктивностью и засухоустойчивостью. Одесса: ВСГИ, 1970. Вып. 9. С. 163–171.
- Драгавцев В. А. Новая система регуляции у растений и необходимость создания селекционного фитотрона в РФ // Журнал технической физики. 2018. Т. 88. Вып. 9. С. 1331–1335.
- Кузьмин В. П. Селекция и семеноводство зерновых культур в Целинном крае Казахстана. Москва – Целиноград: Колос, 1965. 199 с.
- Кузьмин В. П. Вопросы селекции сельскохозяйственных культур. Избр. тр. Алма-Ата: Кайнар, 1978. 432 с.
- Мечетный Н. С. Изменение корневой системы и площади листовой поверхности яровых пшениц в зависимости от условий прорастания. Автореф. дисс. канд. с.-х. наук. Харьков, 1963. 30 с.
- Новохатин В. В., Сыздыкова Г. Т. Динамика развития зародышевых корней у яровой мягкой пшеницы // Материалы международной конференции «Тюменское обеспечение агропромышленного комплекса Тюменской области». Новосибирск, 2003. С. 202–211.
- Новохатин В. В. Активность корневой системы у яровой мягкой пшеницы // Материалы международной конференции «Аграрная наука – развитию и стабилизации агропромышленного комплекса Тюменской области». Тюмень, 2006. С. 211–226.
- Новохатин В. В. Первичная корневая система яровой мягкой пшеницы. Москва: Вестник РАСХН, 2015. № 1. С. 35–39.
- Носатовский А. И. Пшеница (биология). М.: Колос, 1965. 568 с.
- Орловский Н. В., Афанасьева А. Л. Корневая система в каштановой зоне (в связи с влиянием орошения). Уральск, 1929. Вып. 2. 112 с.
- Проценко Д. Ф., Кириченко Ф. Г., Мусиенко Н. Н., Славный П. С. Засухоустойчивость озимой пшеницы. М.: Колос, 1975. 238 с.
- Славный П. С., Нетис И. Т., Варченко В. А. Особенность водообмена и развития корневой системы у растений озимой пшеницы при разных условиях водообеспечения // Сельскохозяйственная биология. 1986. № 7. С. 71–73.
- Станков Н. З. Корневая система полевых культур. М.: Колос, 1964. 279 с.
- Сытник К. М., Книга Н. М., Мусятенко Л. И. Физиология корня. Киев: Наукова думка, 1972. 356 с.
- Bodner G., Grausgraber H., Ebrahimi M. E., Kaul H.-P. Charakterisierung der Wurzeleigenschaften von Khorasan- und Durumweizen mittels kapazitiver Feldmessung und Bildanalyse // Zuchtung und Genressourcen gegen abiotische Stressfaktoren. Markergestutzte Selektion in der Praxis, 2010, pp. 129–131.
- Durairaj C. D., Okushima L., Sase S. A simulated investigation to measure acoustic emissions caused by root growth // Trans. ASAE. – St. Joseph (Mich.), 2000, v. 43, no. 6, pp. 1905–1910.
- Hermanska A., Blaha L., Bizova I. Selection for drought resistance of wheat using electrical capacity measurements as indicators for root system size // Resistenz gegen biotischen Stress in der Pflanzenzuchtung. Resistenz gegen abiotischen Stress in der Pflanzenzuchtung. – Irdning. 2013, pp. 107–108.
- Kutschka S., Schuhwerk D., Nakhforoosh A. Wurzelmethoden für die Pflanzenzuchtung // Pflanzenwurzel im System Boden – Pflanze – Atmosphäre. 2011, pp. 19–23.
- Lyaskovaky M. Regulation root system formation of wheat plants and functional activity of their organs: abstr. 11th Congress of the Federation of European Societies of plant Physiology. Varna, 7–11 sept., 1998 // Bulg. J. Plant Physiol. Spec., 1998, pp. 209.
- Molik R. K., Narda N. K., Murty V. V. N. Development and testing of root effectiveness function for soil water uptake // J. Agron. Crop Sr., 1989, v. 162, no. 2, pp. 135–140.
- Preliminary observation on growth rhythm and inner structure of root system of super-high-yielding wheat / Wang Huacen, Liu Wanxing, Liu Wandai // Acta agron. sinica, 1998, v. 24, no. 6, pp. 952–956.
- Protopapas A. L. A model for water uptake and development of root systems / A. L. Protopapas, R. L. Bras // Soil Sci., 1987, v. 144, no. 5, pp. 352–366.
- Saidi A., Ookawa T., Hirasawa T. Responses of Root Growth to Moderate Soil Water Deficit in Wheat Seedlings // Plant Product. Sc., 2010, v. 13, no. 3, pp. 261–268.
- Shinomashiro T., Jnanaga S., Sugimoto Y. Non-destructive method for root elongation measurement in soil using acoustic emission sensors. 1: Vertical measurement of single root elongation // Plant Product. Sc., 1998, v. 1, no. 1, pp. 25–29.
- Soon Y. K. Root distribution of and water uptake by field-grown barley in a black solod / Y. K. Soon // Canad. J. Soil Sc., 1988, v. 68, no. 2, pp. 425–432.

## REFERENCES

- Bajtulin I. O. *Kornevaya sistema sel'skohozyajstvennyh kul'tur* [The root system of crops]. Alma-Ata: Nauka, 1976. 244 p.
- Vedrov N. G. *Razrabotka metodov sozdaniya i vozdelevaniya zasuhoustojchivogo agroekotipa yarovoj psheniczy dlya zony*

- nedostatochnogo uvlazhneniya Vostochnoj Sibiri*. Diss. d-ra s.-h. nauk [Development of methods for the creation and cultivation of drought-resistant agro-ecotype of spring wheat for the zone of insufficient moisture in Eastern Siberia. Diss. doct. agric. sci.]. Krasnoyarsk, 1982. pp. 115–125.
- Vel'sovskaya L. A. *Izuchenie kornevoj sistemy pshenicy razlichnogo proiskhozhdeniya v usloviyah sil'noj vetrovoj ehrozii i zasuhi*. Avtoref. diss. kand.s.-h. nauk [The study of the root system of wheat of various origins in conditions of strong wind erosion and drought. Abstract. diss. cand. agric. Sci.]. Leningrad, 1972. 24 p.
- Danil'chuk P. V. *Razvitie kornej i nadzemnoj massy u zernovykh zlakov v svyazi s ih produktivnost'yu i zasuhoustojchivost'yu* [The development of roots and above-ground mass of cereal grains in connection with their productivity and drought resistance]. Odessa: VSGI, 1970. Issue 9. pp. 163–171.
- Kuz'min V. P. *Selekciya i semenovodstvo zernovykh kul'tur v Celinnom krae Kazakhstana* [Selection and seed production of grain crops in the Virgin Land of Kazakhstan]. Moscow – Celinograd: Kolos, 1965. 199 p.
- Kuz'min V. P. *Voprosy selekcii sel'skohozyajstvennykh kul'tur* [Questions of crops breeding]. Izbr. tr. Alma-Ata: Kajnar, 1978. 432 p.
- Mechetnyj N. S. *Izmenenie kornevoj sistemy i ploshchadi listovoj poverhnosti yarovykh pshenic v zavisimosti ot uslovij prorastaniya*. Avtoref. diss. kand. s.-h. nauk [Changes in the root system and leaf area of spring wheat depending on the conditions of germination: Author's abstract. Abstract. diss. cand. agric. Sci.]. Har'kov, 1963. 30 p.
- Novohatin V. V., Syzdykova G. T. *Dinamika razvitiya zarodyshevykh kornej u yarovoj myagkoj pshenicy* [The dynamics of the development of germinal roots of spring soft wheat]. *Materialy mezhdunarodnoj konferencii «Tyumenskoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa Tyumenskoj oblasti»* [Proceedings of the international conference «Tyumen maintenance of the agro-industrial complex of the Tyumen region»]. Novosibirsk, 2003. pp. 202–211.
- Novohatin V. V. *Aktivnost' kornevoj sistemy u yarovoj myagkoj pshenicy* [Root system activity of spring soft wheat]. *Materialy mezhdunarodnoj konferencii «Agrarnaya nauka – razvitiyu i stabilizacii agropromyshlennogo kompleksa Tyumenskoj oblasti»* [Proceedings of the international conference «Agrarian science to the development and stabilization of the agro-industrial complex of the Tyumen region»]. Tyumen, 2006. pp. 211–226.
- Novohatin V.V. *Pervichnaya kornevaya sistema yarovoj myagkoj pshenicy* [Primary root system of spring soft wheat] // *Vestnik RASKHN*. 2015. No. 1. pp. 35–39.
- Nosatovskij A. I. *Pshenitsa (biologiya)* [Wheat (biology)]. Moscow: Kolos, 1965. 568 p.
- Orlovskij N. V., Afanas'eva A. L. *Kornevaya sistema v kashtanovoj zone (v svyazi s vliyaniem orosheniya)* [The root system in the chestnut zone (due to the influence of irrigation)]. Uralsk, 1929. Issue 2. 112 p.
- Procenko D. F., Kirichenko F. G., Musienko N. N., Slavnyj P. S. *Zasuhoustojchivost' ozimoj pshenicy* [Drought resistance of winter wheat]. Moscow: Kolos, 1975. 238 p.
- Slavnyj P. S., Netis I. T., Varchenko V. A. *Osobennost' vodoobmena i razvitiya kornevoj sistemy u rastenij ozimoj pshenicy pri raznykh usloviyah vodoobespecheniya* [The peculiarity of water exchange and the development of the root system of winter wheat plants under different water supply conditions] // *Sel'skohozyajstvennaya biologiya*, 1986, no. 7. pp. 71–73.
- Stankov N. Z. *Kornevaya sistema polevykh kul'tur* [Root system of field crops]. Moscow: Kolos, 1964. 279 p.
- Sytnik K. M., Kniga N. M., Musyatenko L. I. *Fiziologiya kornya* [Physiology of a root]. Kiev: Naukova dumka, 1972. 356 p.
- Bodner G., Grausgraber H., Ebrahimi M. E., Kaul H.-P. *Charakterisierung der Wurzeleigenschaften von Khorasan- und Durumweizen mittels kapazitiver Feldmessung und Bildanalyse // Zuchtung und Genressourcen gegen abiotische Stressfaktoren. Markergestutzte Selektion in der Praxis*, 2010, pp. 129–131.
- Durairaj C. D., Okushima L., Sase S. *A simulated investigation to measure acoustic emissions caused by root growth* // *Trans. ASAE. – St. Joseph (Mich.)*, 2000, v. 43, no. 6, pp. 1905–1910.
- Hermanska A., Blaha L., Bizova I. *Selection for drought resistance of wheat using electrical capacity measurements as indicators for root system size // Resistenz gegen biotischen Stress in der Pflanzenzuchtung. Resistenz gegen abiotischen Stress in der Pflanzenzuchtung. – Irdning*. 2013, pp. 107–108.
- Kutschka S., Schuhwerk D., Nakhforoosh A. *Wurzelmethode für die Pflanzenzuchtung // Pflanzenwurzel im System Boden-Pflanze-Atmosphäre*. 2011, pp. 19–23.
- Lyaskovaky M. *Regulation root system formation of wheat plants and functional activity of their organs: abstr. 11 th Congress of the Federation of European Societies of plant Physiology. Varna, 7–11 sept., 1998* // *Bulg. J. Plant Physiol. Spec.*, 1998, pp. 209.
- Molik R. K., Narda N. K., Murty V. V. N. *Development and testing of root effectiveness function for soil water uptake* // *J. Agron. Crop Sr.*, 1989, v. 162, no. 2, pp. 135–140.
- Preliminary observation on growth rhythm and inner structure of root system of super-high-yielding wheat / Wang Huacen, Liu Wanxing, Liu Wandai* // *Acta agron. sinica*, 1998, v. 24, no. 6, pp. 952–956.
- Protopapas A. L. *A model for water uptake and development of root systems / A. L. Protopapas, R. L. Bras* // *Soil Sci.*, 1987, v. 144, no. 5, pp. 352–366.
- Saidi A., Ookawa T., Hirasawa T. *Responses of Root Growth to Moderate Soil Water Deficit in Wheat Seedlings* // *Plant Product. Sc.*, 2010, v. 13, no. 3, pp. 261–268.
- Shinomashiro T., Jnanaga S., Sugimoto Y. *Non-destructive method for root elongation measurement in soil using acoustic emission sensors. 1: Vertical measurement of single root elongation* // *Plant Product. Sc.*, 1998, v. 1, no. 1, pp. 25–29.
- Soon Y. K. *Root distribution of and water uptake by field-grown barley in a black solod / Y. K. Soon* // *Canad. J. Soil Sc.*, 1988, v. 68, no. 2, pp. 425–432.