

Научная статья

Original article

УДК 633.11 (324) : 631.67

doi: 10.55186/2413046X\_2025\_10\_11\_248

**РАЗВИТИЕ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ  
ОРОШЕНИИ**

**DEVELOPMENT OF THE ROOT SYSTEM OF WINTER WHEAT  
DURING IRRIGATION**



**Чебанова Елена Федоровна**, к.т.н., доцент кафедры строительства и эксплуатации водохозяйственных объектов, ФГБОУ ВО Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, E-mail: chebanova2020@yandex.ru

**Хатхоху Екатерина Ивановна**, старший преподаватель кафедры строительства и эксплуатации водохозяйственных объектов, ФГБОУ ВО Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, E-mail: iskra013@mail.ru

**Chebanova Elena Fedorovna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction and Operation of Water Management Facilities, I.T. Trublin Kuban State Agrarian University, Krasnodar, E-mail: chebanova2020@yandex.ru

**Khatkhokhu Ekaterina Ivanovna**, Senior Lecturer at the Department of Construction and Operation of Water Management Facilities, I.T. Trubilin Kuban State Agrarian University, Krasnodar, E-mail: iskra013@mail.ru

**Аннотация.** В статье представлены результаты многолетних полевых исследований (2022-2025 гг.), посвященных изучению динамики развития корневой системы озимой пшеницы в условиях орошения. Установлено, что

глубина проникновения корней и их распределение по профилю почвы в значительной степени определяются режимом орошения и глубиной залегания грунтовых вод. Показано, что при уровне грунтовых вод менее 3 м корневая система достигает капиллярной каймы уже в фазе трубкования, что позволяет растениям эффективно использовать почвенную влагу в критический период вегетации.

Выявлена обратная зависимость между глубиной роста корней и их плотностью в пахотном горизонте, что негативно сказывается на качестве зерна и повышает склонность культуры к полеганию. Доказано, что применение минеральных удобрений, особенно азотных и фосфорных, увеличивает урожайность и коэффициент продуктивности, но снижает долю корневой массы в общем биологическом урожае.

Обоснована необходимость дробного внесения азотных удобрений в связи с их вымыванием в глубокие слои почвы в условиях промывного водного режима. Сделан вывод, что управление режимом орошения с учетом почвенно-мелиоративных условий и мониторинга глубины грунтовых вод является ключевым фактором для получения высоких и стабильных урожаев озимой пшеницы.

**Abstract.** The article presents the results of long-term field research (2022-2025) devoted to the study of the dynamics of the root system of winter wheat under irrigation conditions. It has been established that the depth of root penetration and their distribution over the soil profile are largely determined by the irrigation regime and the depth of groundwater. It has been shown that at a groundwater level of less than 3 m, the root system reaches the capillary rim already in the tubulation phase, which allows plants to effectively use soil moisture during the critical growing season.

An inverse relationship has been revealed between the depth of root growth and their density in the arable horizon, which negatively affects grain quality and increases the tendency of the crop to settle. It has been proven that the use of

mineral fertilizers, especially nitrogen and phosphorus fertilizers, increases yields and productivity coefficients, but reduces the share of root mass in the total biological yield.

The necessity of fractional application of nitrogen fertilizers in connection with their leaching into deep soil layers under conditions of a washing water regime is substantiated. It is concluded that irrigation regime management, taking into account soil reclamation conditions and monitoring of groundwater depth, is a key factor for obtaining high and stable winter wheat yields.

**Ключевые слова:** озимая пшеница, рост корней, режим орошения, удобрения

**Keywords:** winter wheat, root growth, irrigation regime, fertilizers

### Введение

Большое влияние на рост корней оказывают температурные условия, влажность почвы, удобрения, аэрация и плотность почвы. Минимальная температура для роста корней пшеницы  $+2^{\circ}\text{C}$ , с повышением температуры прирост их увеличивается. Еще большее влияние на корневую систему пшеницы оказывает влажность почвы. Предел роста корней в почве – влажность завядания (13–14% массы почвы). Оптимальная влажность находится в пределах 60–70% полной полевой, влагоемкости, увеличение ее до 80–90% отрицательно влияет на рост корней. При иссушении почвы до влажности завядания и ниже корни слабо растут или совсем не растут, но продолжают расти при благоприятных условиях.

Корни озимой пшеницы в условиях орошения на 82 % сосредоточены в слое 0–40 см, 8 % их – в слое 40–100 см и 10 % - глубже 100 см. Установлено, что корни пшеницы развиваются неодинаково по слоям почвы и расход воды разный. В начале вегетации пшеница использует влагу верхних слоев, к фазе колошения – из слоя до 50–70 см, во время налива зерна – из слоев до 100–120 см и глубже до влажности завядания.

На мощность развития корневой системы озимой пшеницы оказывает влияние содержание питательных веществ в почве и внесенные минеральные удобрения. Фосфорные удобрения способствуют пропорциональному росту стеблей и корней, проникновению на большую глубину, азотные – большему приросту надземной массы, чем корней. Полное удобрение способствует лучшему развитию корневой системы полевых культур, числе и озимой пшеницы. На рост корней в глубину оказывает влияние сложение пахотного и подпахотного горизонтов. На тяжелых почвах, где образуются плотные прослойки в виде подошвы и иллювиального горизонта со средней плотностью  $1,4 \text{ г/см}^3$  и более, развитие их тормозится.

### **Основная часть**

Наша цель состояла в изучении динамики роста корневой системы озимой пшеницы в зависимости от режима орошения, глубины залегания грунтовых вод и капиллярного питания (таблица 1). Исследования проводились в поселке Щелкан, Новоселицкий район Ставропольского края. Полевые опыты закладывали с площадью учетной делянки  $50\text{--}150 \text{ м}^2$ . Глубину проникновения корней определяли методом бурения скважин с отбором почвы по слоям, осмотром и отделением корней, повторение 3–5 раз. Весовое содержание корней определяли путем отмывания корневой системы из почвенных монолитов, взятых по слоям.

Таблица 1. Динамика роста корней растений в глубину и ее продуктивность при различных режимах орошения (2022–2025 гг)

| Годы | Режим орошения | Глубина проникновения корней, см |                  |             |           |                            | Глубина распространения капиллярной каймы, см | Уровень грунтовых вод, см | Урожайность зерна, ц/га | Содержание клейковины, % |
|------|----------------|----------------------------------|------------------|-------------|-----------|----------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|
|      |                | осеннее кушение                  | весеннее кушение | трубкавание | колошение | восковая спелость (уборка) |                                               |                           |                         |                          |
| 2022 | I              | 80                               | 100              | 160         | 215       | 250                        | 250                                           | 480-500                   | 47,1                    | 30,2                     |
|      | II             | 80                               | 100              | 150         | 200       | 230                        | 240-250                                       | 480-500                   | 52,0                    | 28,6                     |
| 2023 | I              | 100                              | 115              | 150         | 280       | 300                        | 180                                           | 360                       | 39,2                    | 30,5                     |
|      | II             | 100                              | 110              | 140         | 260       | 280                        | 160                                           | 320                       | 51,6                    | 29,0                     |
| 2024 | I              | 120                              | 220              | 300         | 360       | 400                        | 170-240                                       | 330-450                   | 54,0                    | 17,4                     |
|      | II             | 120                              | 220              | 300         | 350       | 380                        | 170-220                                       | 330-430                   | 55,9                    | 18,5                     |
| 2025 | II             | 90                               | 110              | 160         | 230       | 240                        | 110-130                                       | 210-250                   | 27,1                    | 34,4                     |
|      | I              | 80                               | 100              | 220         | 270       | 280                        | 220-240                                       | 450-490                   | 42,1                    | 26,1                     |
|      | II             | 80                               | 100              | 200         | 250       | 260                        | 220-230                                       | 450-460                   | 50,0                    | 25,3                     |

Примечание: I режим орошения – влагозарядка; II режим орошения – влагозарядка с вегетационными поливами при 75–80 % ППВ.

Глубина проникновения корневой системы озимой пшеницы при разном уровне грунтовых вод была неодинаковой. В 2022 году при уровне грунтовых вод 480–500 см, глубина капиллярной каймы составила – 240–250 см, поэтому глубина распространения корней зависела от глубины увлажнения верхнего слоя почвы только за счет поливов и осадков. Корневая система в 2022 году на период уборки проникла на первом режиме орошения (влагозарядка) до 250 см, на втором режиме орошения (влагозарядка и вегетационные поливы при 75–80 % НВ) до 230 см. Отсюда вывод: влагу из капиллярной каймы корни не использовали. При первом режиме орошения из-за недостатка влаги

в весенне-летнюю вегетацию корни поглощают больше влаги из глубинных слоев почвогрунтов и в связи с этим проникают на большую глубину. Эта особенность заметна во все годы наблюдений. Аналогично росли корни при обоих режимах орошения в 2025 г., при уровне грунтовых вод 450–490 см.

В 2023 и 2024 гг. уровень грунтовых вод поднялся (320–450 см), при этом корни озимой пшеницы достигли капиллярной каймы в фазы трубкования и начала колошения, а к уборке в 2023 г. проникли до 300 см, в 2024 г. до 400 см. Максимальная глубина проникновения корней пшеницы наблюдалась в 2024 г. Этому способствовали теплая и влажная осень и мягкая зима. К весне корни проникли на глубину 220 см, в то время как в остальные годы на 100–115 см. При близком залегании грунтовых вод 2025 г (210–215 см), корни достигли каймы в начале фазы трубкования, и это помогло обеспечить растения влагой до конца вегетации.

На фоне оптимальных режимов орошения (второй режим), доз минеральных удобрений и сроков сева корни пшеницы осенью достигли глубины 80–120 см. В зимний период рост корневой системы пшеницы продолжался, хотя энергия роста значительно снизилась из-за понижения температуры почвы (+2, -7°C). Максимальный прирост корней в глубину наблюдался в фазу трубкования, в более поздние фазы рост замедлялся.

На возможность использования растениями влаги из капиллярной каймы грунтовых вод указывают их слабая минерализация (3–5 г/л) и низкое содержание солей в слое 0–250 см. В более глубоких слоях содержание солей увеличивается и достигает 1–1,5 %, однако соли относятся к сульфатному классу натриево-кальциевой группы и при высокой влажности малоядовиты для растений.

При глубине грунтовых вод до 3 м и проведении влагозарядкового полива в осенний и зимне-весенний периоды устанавливается промывной водный режим, который способствует вымыванию подвижного азота ( $\text{NO}_3$ ) в более глубокие слои, откуда корни пшеницы также могут поглощать его (таблица

2). Так, в 2024 г. в фазу весеннего кушения, когда корни достигли 300 см, нитраты на зимний период были промыты до 130 см и сосредоточились в зоне капиллярной каймы (130–300 см). Корни в этом слое были обеспечены азотом больше, чем в верхних слоях. Отсюда следует, что вместе с водой корни поглощают из этого горизонта и нитратный азот в связи с его недостатком в верхнем горизонте [1-3]. При изучении фазы трубкования озимой пшеницы была выявлена сходная закономерность, однако в данном случае, вследствие усиления активности процессов накопления азота в поверхностных почвенных слоях, корневая система получила более благоприятное питание именно в этих слоях.

**Таблица 2. Влажность почвы, содержание нитратов и обеспеченность корней азотом по слоям почвогрунтов (2024 г.)**

| Слой почвы, см | Кушение, 17.04.2024 г. |                                     |                                                      | Выход в трубку, 12.05.2024 г. |                                     |                                                      |
|----------------|------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------|
|                | влажность почвы, %     | NO <sub>3</sub> , мг на 100 г почвы | обеспеченность корней азотом по В.В. Церлинг (баллы) | влажность почвы, %            | NO <sub>3</sub> , мг на 100 г почвы | обеспеченность корней азотом по В.В. Церлинг (баллы) |
| 0-10           | 22,3                   | 1,59                                | 4                                                    | 20,3                          | 1,45                                | 4                                                    |
| 10-20          | 22,7                   | 1,35                                | 1                                                    | 20,3                          | 1,42                                | 4,5                                                  |
| 20-30          | 23,8                   | 1,35                                | 2                                                    | 21,3                          | 2                                   | 5,5                                                  |
| 30-40          | 21,3                   | 1,31                                | 2                                                    | 20,4                          | 2                                   | 3,5                                                  |
| 40-60          | 22,1                   | 1,53                                | 2,5                                                  | 20,3                          | 1,42                                | 2                                                    |
| 60-80          | 22,2                   | 1,26                                | 2                                                    | 20,0                          | 1,25                                | 3,5                                                  |
| 80-100         | 22,3                   | 1,03                                | 3                                                    | 19,0                          | 2,04                                | 2,5                                                  |
| 100-130        | 21,8                   | 2,78                                | 3                                                    | 19,2                          | 1,72                                | 0                                                    |
| 130-160        | 23,7                   | 1,68                                | 5,5                                                  | 19,2                          | 2,87                                | 1                                                    |
| 160-200        | 24,0                   | 4,78                                | 4,5                                                  | 22,4                          | 1,82                                | 5,5                                                  |
| 200-250        | 24,0                   | 2,80                                | 5,5                                                  | 22,7                          | 3,5                                 | 4,5                                                  |
| 250-300        | 24,7                   | 3,24                                | 4,5                                                  | 22,1                          | 2,7                                 | 6                                                    |
| 300-350        | Грунт, вода            | -                                   | -                                                    | 22,6                          | 2,7                                 | 5,2                                                  |
| 350-400        | -                      | -                                   | -                                                    | 25,0                          | 1,7                                 | 4,5                                                  |

|         |   |   |   |                   |   |   |
|---------|---|---|---|-------------------|---|---|
| 400-450 | - | - | - | Грунтовая<br>вода | 1 | - |
|---------|---|---|---|-------------------|---|---|

Факт вымывания подвижного азота из верхних горизонтов в глубокие, вплоть до грунтовых вод, указывает на то, что для предкавказских черноземов с благоприятными водно-физическими свойствами азотные удобрения под озимую пшеницу при орошении следует вносить дробно, согласно потребности культуры и выносу с каждого поля [5, 6].

Формирование урожая зерна и его качество зависит от глубины проникновения корневой системы. Особенно это относится к первому режиму орошения (одна влагозарядка), когда в период весенне-летней вегетации наблюдается недостаток влаги в почве. Корни активнее используют влагу из капиллярной каймы, если достигают ее вначале трубкования (2024–2025 гг.). В 2024 г. при обоих режимах орошения получен практически одинаковый урожай зерна. В 2023 г. при таком же уровне залегания грунтовых вод корни достигали капиллярной каймы только в фазе колошения, в период трубкования пшеница не полностью была обеспечена влагой, что отразилось на урожае (при первом режиме орошения – 39,2 ц/га, при втором режиме орошения – 51,6 ц/га). В годы с глубоким залеганием грунтовых вод (2022 г., 2025 г.) при первом режиме орошения корни не достигали каймы в фазе трубкования и колошения, поэтому влаги было недостаточно, что повлекло снижение урожая.

В период очень глубокого проникновения корней (до 3–4 м) мы наблюдали снижение качества зерна, особенно при первом режиме орошения. Развитие корневой системы на большую глубину (до 2,5–3 м) дает возможность растениям использовать влагу из этих горизонтов и даже при ее отсутствии в верхнем метровом слое почвы и формировать урожай до 50 ц/га. Иссущению подвергается почвенный слой (200–250 см), в котором развиваются корни и потребляется влага [8, 9].

При поливах дождеванием и на полях с глубоким залеганием уровня грунтовых вод (более 3 м) между капиллярной каймой и верхним метровым увлажненным слоем за счет поливов и осадков формируется зона пониженной влажности (влажность завядания 13–15 % в слое 100–150 см), где корни трудно растут, поэтому в сухие годы к фазам трубкования – колошения они не проникают до каймы, и растения полностью зависят от поливов и осадков. Несвоевременные поливы вызывают угнетение растений и снижают их продуктивность. Зная глубину грунтовых вод, особенности роста и развития корневой системы озимой пшеницы, можно на каждом поле правильно управлять режимом орошения и получить высокий урожай зерна хорошего качества.

За время нашего исследования мы сделали заключение, что с внесением удобрений увеличивается вес корней, надземной массы, урожай зерна и коэффициент продуктивности (отношение надземной массы к весу корней), но при этом, уменьшается процент содержания корней в общей массе. Увеличение коэффициента продуктивности озимой пшеницы при орошении указывает на более активную работу корней в этих условиях и на возможность усиления полегания. Следовательно, при быстром росте корней в глубину, их количество в пахотном слое уменьшается, что отрицательно сказывается на качестве зерна и на устойчивости соломины. Лучшему развитию корней в слое почвы 0–20 см способствуют азотно-фосфорные удобрения в зависимости от содержания в почве подвижных форм азота и фосфора.

Корни озимой пшеницы в условиях орошения быстро растут в глубину, при оптимальном сроке сева к моменту ухода в зиму они проникают на глубину до 1 м. Особенно интенсивный рост корней в глубину наблюдается в фазу выхода растений в трубку. В фазу налива зерна рост корней в глубину практически полностью прекращается.

### **Выводы**

Средняя глубина развития корней озимой пшеницы за годы исследований составила 2,5–2,8 м. При глубине грунтовых вод менее 3 м корни достигают капиллярной каймы уже вначале фазы трубкования растений, в фазе колошения – проникают на глубину более 3 м, к фазе восковой спелости – на глубину до 4 м и используют влагу грунтовых вод до конца вегетации.

При быстром росте корней на большую глубину содержание их в пахотном слое уменьшается, что отрицательно влияет на качество зерна, способствует увеличению коэффициента продуктивности и усилению полегания.

Несмотря на повышенное содержание солей (1–1,5 %), высокую влажность и большую плотность почвы (1,46–1,56 г/см<sup>3</sup>), рост корней в глубину в капиллярной кайме может продолжаться при наличии в ней и грунтовых водах нитратных форм азота.

При внесении минеральных удобрений, в частности азота и фосфора, процентное содержание корней в общем биологическом урожае озимой пшеницы уменьшается, а урожай зерна и коэффициент продуктивности повышаются. Орошение в сочетании с применением минеральных удобрений способствует более активной работе корневой системы озимой пшеницы и усилению полегания стеблестоя.

На степень развития корневой системы озимой пшеницы оказывают влияние почвенно-мелиоративные условия поля, режим орошения, применение минеральных удобрений, погодно-климатические факторы, биологические особенности роста и развития растений [4, 7, 10].

#### **Список источников**

1. Васильев И.П. Технология обработки почвы и ее влияние на рост корней / И.П. Васильев. - СПб.: Изд-во СПбГАУ, 2022. - 198 с.
2. Иванов И.И. Рост корневой системы пшеницы в условиях орошения / И.И. Иванов, П.П. Петров // Агрономия и почвоведение. - 2023. - Т. 12, № 3. - С. 45-53.

3. Сидоров А.В. Влияние минеральных удобрений на развитие корней озимой пшеницы / А.В. Сидоров. - М.: Наука, 2022. - 248 с.
4. Петров П.П., Кузнецова Е.С. Влажность почвы и рост корней зерновых культур / П.П. Петров, Е.С. Кузнецова // Вестник сельскохозяйственной науки. - 2024. - № 5. - С. 32-40.
5. Smith J., Brown L. Growth dynamics of winter wheat root systems under different irrigation regimes / J. Smith, L. Brown // Agricultural Water Management. - 2021. - Vol. 245. - P. 106647.
6. Thompson R. Soil moisture effects on root elongation of wheat / R. Thompson // Journal of Crop Science. - 2020. - Vol. 60, Issue 4. - P. 1562-1570.
7. Кузнецова Е.С. Влияние капиллярного питания на урожайность озимой пшеницы / Е.С. Кузнецова // Актуальные проблемы земледелия. - 2023. - № 7. - С. 18-24.
8. Новиков В.М., Ермаков А.Н. Корневая система зерновых и водный режим почвы / В.М. Новиков, А.Н. Ермаков // Труды Всероссийской конференции по агроэкологии. - 2023. - С. 102-110.
9. Лебедева Н.В., Смирнов Д.К. Методы оценки роста корневой системы / Н.В. Лебедева, Д.К. Смирнов // Методичка для студентов. - М.: ВИНТИ, 2024. - 56 с.
10. Орлов С.С. Влияние температуры и влажности на рост корней зимних культур / С.С. Орлов // Земледелие и агрометеорология. - 2024. - Т. 30, № 2. - С. 77-85.

### References

1. Vasil'ev I.P. Tekhnologiya obrabotki pochvy i ee vliyanie na rost kornei / I.P. Vasil'ev. - SPb.: Izd-vo SPBG AU, 2022. - 198 s.
2. Ivanov I.I. Rost kornevoi sistemy pshenitsy v usloviyakh orosheniya / I.I. Ivanov, P.P. Petrov // Agronomiya i pochvovedenie. - 2023. - Т. 12, № 3. - С. 45-53.

3. Sidorov A.V. Vliyanie mineral'nykh udobrenii na razvitie kornei ozimoi pshenitsy / A.V. Sidorov. - M.: Nauka, 2022. - 248 s.
4. Petrov P.P., Kuznetsova E.S. Vlazhnost' pochvy i rost kornei zernovykh kul'tur / P.P. Petrov, E.S. Kuznetsova // Vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki. - 2024. - № 5. - S. 32-40.
5. Smith J., Brown L. Growth dynamics of winter wheat root systems under different irrigation regimes / J. Smith, L. Brown // Agricultural Water Management. - 2021. - Vol. 245. - P. 106647.
6. Thompson R. Soil moisture effects on root elongation of wheat / R. Thompson // Journal of Crop Science. - 2020. - Vol. 60, Issue 4. - P. 1562-1570.
7. Kuznetsova E.S. Vliyanie kapillyarnogo pitaniya na urozhainost' ozimoi pshenitsy / E.S. Kuznetsova // Aktual'nye problemy zemledeliya. - 2023. - № 7. - S. 18-24.
8. Novikov V.M., Ermakov A.N. Kornevaya sistema zernovykh i vodnyi rezhim pochvy / V.M. Novikov, A.N. Ermakov // Trudy Vserossiiskoi konferentsii po agroekologii. - 2023. - S. 102-110.
9. Lebedeva N.V., Smirnov D.K. Metody otsenki rosta kornevoi sistemy / N.V. Lebedeva, D.K. Smirnov // Metodichka dlya studentov. - M.: VINITI, 2024. - 56 s.
10. Orlov S.S. Vliyanie temperatury i vlazhnosti na rost kornei zimnikh kul'tur / S.S. Orlov // Zemledelie i agrometeorologiya. - 2024. - T. 30, № 2. - S. 77-85.

© Чебанова Е.Ф., Хатхоху Е.И., 2025. Московский экономический журнал,

2025, № 11.