

ISSN 2304-9081

Учредители:  
Уральское отделение РАН  
Оренбургский научный центр УрО РАН

**Бюллетень**  
**Оренбургского научного центра**  
**УрО РАН**



**2015 \* № 1**

**Электронный журнал**  
On-line версия журнала на сайте  
<http://www.elmag.uran.ru>

© И.Н. Бесалиев, А.Г. Крючков, 2015

УДК: 633.112.1«321»:631.559:631.811.91(470.56)

*И.Н. Бесалиев, А.Г. Крючков*

## **ВЛАГА В РАСТЕНИЯХ ЯРОВОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ И ЕЕ УРОЖАЙНОСТЬ В ЗАСУШЛИВОЙ СТЕПИ ЮЖНОГО УРАЛА**

Оренбургский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Оренбург, Россия

*Цель.* Изучить корреляционно-регрессионные связи содержания воды в растениях яровой твердой пшеницы с ее урожайностью, динамику содержания воды в зависимости от предшественников и погодных факторов межфазных периодов вегетации.

*Материалы и методы.* Данные многолетних полевых опытов по возделыванию яровой твердой пшеницы при различных приемах агротехники за период 1976 – 1979, 1982-1985 гг. Методы оценки - корреляционный и регрессионный анализ, построение графиков, диаграмм.

*Результаты.* В статье впервые для условий степной зоны приведены данные о корреляционно - регрессионных связях содержания воды в растениях яровой твердой пшеницы по фазам вегетации с ее урожайностью, динамика содержания воды в растении в зависимости от предшественников, влияние доз удобрений на содержание воды в растениях.

*Заключение.* Посев яровой твердой пшеницы по предшественнику черный пар, внесение удобрения, посев в ранние сроки способствуют увеличению количества влаги в растениях яровой твердой пшеницы, и удержанию ее в течение более длительного периода.

*Ключевые слова:* содержание воды, твердая яровая пшеница, корреляционное отношение, урожайность, зависимость, предшественник, удобрение.

---

---

*I. N. Besaliev, A.G. Kruchkov*

## **THE MOISTURE IN THE PLANTS OF SPRING DURUM WHEAT AND ITS PRODUCTIVITY IN THE ARID STEPPES OF THE SOUTHERN URALS**

Orenburg Scientific Research Institute of Agriculture, Orenburg, Russia

*Aim.* To study the correlation and regression relation of water content in the plants of spring durum wheat, with its yield, the dynamics of water content depending on the precursors and weather factors interphase periods of vegetation durum wheat.

*Materials and methods.* Data of long-term field experiments on the cultivation of spring durum wheat under different agronomic practices for the period. Assessment methods - correlation and regression analysis, graphing, charts.

*Results.* The article first summarizes the data correlation - regression-governmental relations of the water content in the plants of spring durum wheat phase of the growing season with its productivity, the dynamics of water content in the plant depending on predestin-workers, the effect of doses of fertilizers on water content in plants.

*Conclusion.* Sowing of spring durum wheat under the predecessor black couples, fertilization, sowing in the early stages increase the amount of moisture in the plants of spring durum wheat, and hold it over a long period.

*Key words:* water content, hard spring wheat, correlation attitude, productivity, dependence predecessor, fertilizer.

## **Введение**

Содержание воды в растении определяет его физиологическое состояние [1, 2]. Количество воды в органах растения с возрастом уменьшается [3]. Это падение иногда прерывается подъемами, связанными с изменениями условий внешней среды. Засуха ускоряет процесс развития и старения растения. Нарушенный засухой водный режим растений впоследствии полностью не восстанавливается. Повышенная влажность почвы, увеличивая общее содержание воды в растении, вместе с тем замедляет снижение содержания воды с возрастом растения [2, 4].

Исследования показали, что устойчивость растений к повреждающему действию засухи и других факторов в значительной мере определяется стойкостью их к обезвоживанию. А.А. Залялов считает, что высокая оводненность указывает на высокую водоудерживающую способность растений [5]. По данным Ю.Г. Бородай, содержание воды в органах растений следует за ходом изменения влажности почвы [6]. Как указывает С.А. Campbell с соавт., продуктивность растений пшеницы, находившихся в условиях водного стресса с фазы кущения, выше, чем у растений, подвергнутых воздействию водного стресса с фазы выхода в трубку [7].

Растения (пшеница и др.), подвергающиеся засухе в фазы всходов и кущения, еще способны (пока не исчерпаны возможности к росту) активно сопротивляться ей. Наряду с деструктивными (гидротермическими) процессами в растении возможен синтез веществ и морфологические построения, направленные на повышение устойчивости.

Исследований, посвященных вопросам водного режима растений яровой пшеницы в засушливых условиях степи, практически не проводилось.

Для культуры ячменя наибольшие значения оводненности обнаружены на фоне внесения удобрений в дозах  $N_{80}P_{80}K_{40}$  и  $N_{120}P_{120}K_{40}$  [8]. При этом положительное влияние удобрений, проявляющееся с фазы кущения, сохраняется до колошения и даже молочной и восковой спелости.

Изучение показателей водного режима и водопотребления сортов яровой мягкой пшеницы различных экологических групп показало, что в засушливых условиях сорта степного волжского и лесостепного западносибирского экотипов характеризуются более стабильной динамикой общей оводненности тканей растений, меньшей дисперсией интенсивности транспирации, высокой водоудерживающей способ-

ностью и сравнительно низкими коэффициентами водопотребления [9].

Целью настоящей работы явилось изучение корреляционно-регрессионных связей содержания воды в растениях яровой твердой пшеницы с ее урожайностью с анализом динамики содержания воды в зависимости от предшественников и погодных факторов межфазных периодов вегетации.

#### **Материалы и методы.**

Материалом для работы служили данные полевых опытов, проведенных в Оренбургском НИИСХ в 1976-1979 гг. по изучению влияния предшественников – черный пар, кукуруза на силос, яровая мягкая пшеница в сочетании с 17 вариантами удобрений, а также результаты опытов 1982-1985 гг. по изучению совместного влияния трех сроков сева, норм высева и четырех доз удобрений на урожайность твердой пшеницы.

Опыты проводились на обыкновенных черноземах суглинистого механического состава. Содержание воды в растениях пшеницы определялось по фазам вегетации. Показатели погодных факторов взяты из данных декадок ближайшей метеостанции (АГМС «Чебеньки»). Общий температурный режим воздуха в большинстве лет был оптимальный. Недостаток тепла отмечен в 1978 г., а избыток – в 1977 и 1984 гг. Недобор осадков за период вегетации отмечен в 1977 г. Недостаток влаги в мае наблюдался в 1979 и 1982 гг. В целом условия вегетации твердой пшеницы соответствовали засушливому типу погоды степной зоны.

Показатель атмосферной засушливости рассчитан по формуле С.С. Синицына [10]:  $ПАЗ = E_{ом} - O_{м}$ , где

$O_{м}$  - осадки за месяц, мм;  $E_{ом}$  – испаряемость за тот же месяц (мм) по эмпирической формуле, которая имеет вид:

$$E_{ом} = 0,0018 (25 + t)^2 \cdot (100 - a), \text{ где}$$

$t$  – средняя температура воздуха за месяц, °С;  $a$  – средняя относительная влажность воздуха, %;  $(100 - a)$  – сухость воздуха, дефицит относительной влажности, мм.

Корреляционные и регрессионные связи рассчитаны по 34 алгебраическим функциям в программе Statgrafics.

#### **Результаты и обсуждение**

Изучение связей урожайности твердой пшеницы с содержанием воды в растениях по фазам вегетации свидетельствует о их сильной степени.

Они возрастают от фазы кущения ( $\eta_{yx}=0,946\pm 0,047$ ,  $K_D=89,56\%$ ) к фазе выхода в трубку ( $\eta_{yx}=0,983\pm 0,03$ ,  $K_D=96,54\%$ ) и сохраняются до колошения ( $\eta_{yx}=0,979\pm 0,03$ ,  $K_D=95,75\%$ ). Согласно полученным графикам (рис. 1), формированию наибольшей урожайности твердой пшеницы способствует содержание влаги в надземной массе 1 растения в фазе кущения – 2543 мг, в фазе выхода в трубку – 5698 мг, в фазе колошения – 8017 мг и в фазе молочной спелости – 5943 мг.

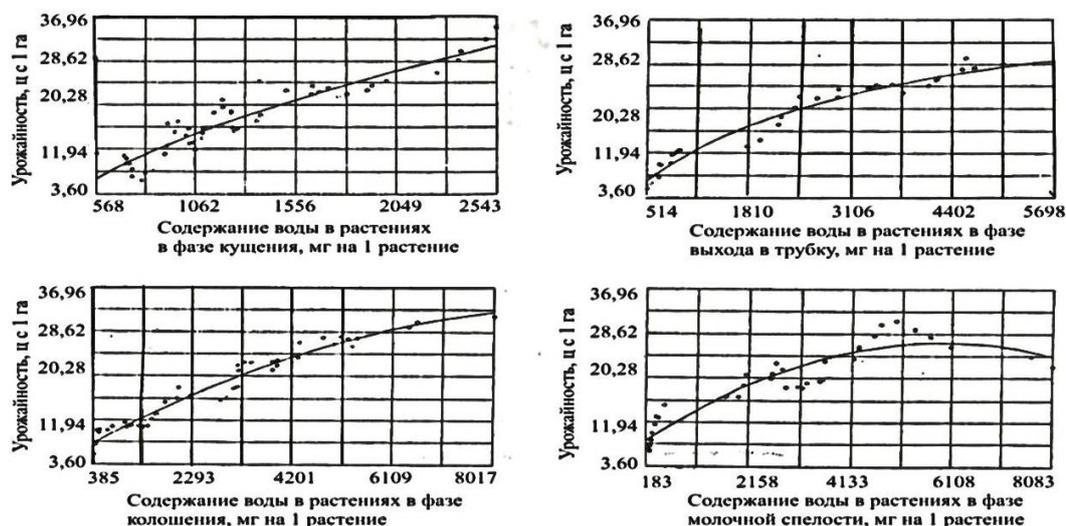


Рис. 1. Зависимость урожайности твердой пшеницы от содержания воды в растениях по фазам вегетации.

Фактическое содержание воды в растениях увеличивалось при посеве твердой пшеницы по предшественнику черный пар (табл. 1, рис. 2).

Таблица 1. Содержание воды в растениях твердой пшеницы и ее урожайность в зависимости от предшественников (среднее за 1976-1979 гг.)

Предшественник	Содержание воды в растениях по фазам вегетации, мг/раст				Урожайность, ц с 1 га.
	кущение	выход в трубку	колошение	молочная спелость	
Черный пар	1809	2849	3835	3284	21,8
Кукуруза на силос	1560	2534	2138	2147	16,0
Мягкая пшеница	1439	2119	2335	1680	13,2

При посеве по черному пару превышение по содержанию воды в растениях нарастает от фазы кущения (в сравнении с посевом по кукурузе на силос на 13,8%, а по мягкой пшенице – на 20,4%) к фазе колошения (соответст-

венно на 44,2 и 39,1%) и сохраняется до молочной спелости (соответственно - на 33,4 и 47,9%). Посев по кукурузе на силос в этом отношении предпочтителен в сравнении с повторным посевом пшеницы по пшенице, так как способствует большему накоплению влаги в тканях растений.

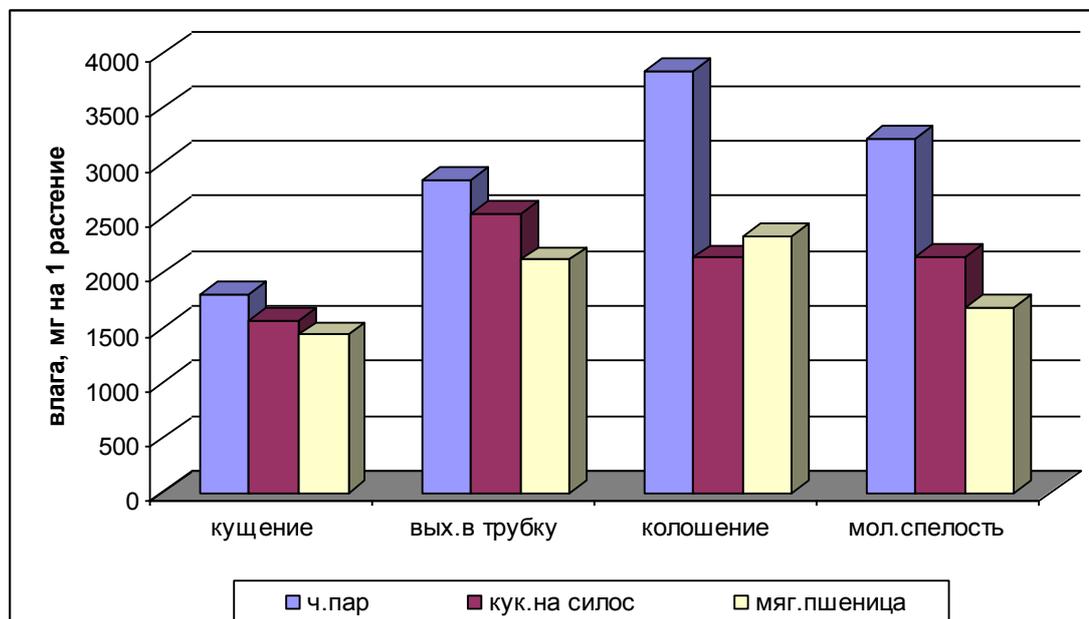


Рис. 2. Динамика содержания влаги в растениях твердой пшеницы по фазам вегетации по различным предшественникам.

В благоприятные 1978 и 1979 гг. снижения количества влаги в растениях не наблюдалось до фазы колошения и даже молочной спелости зерна (рис. 3).

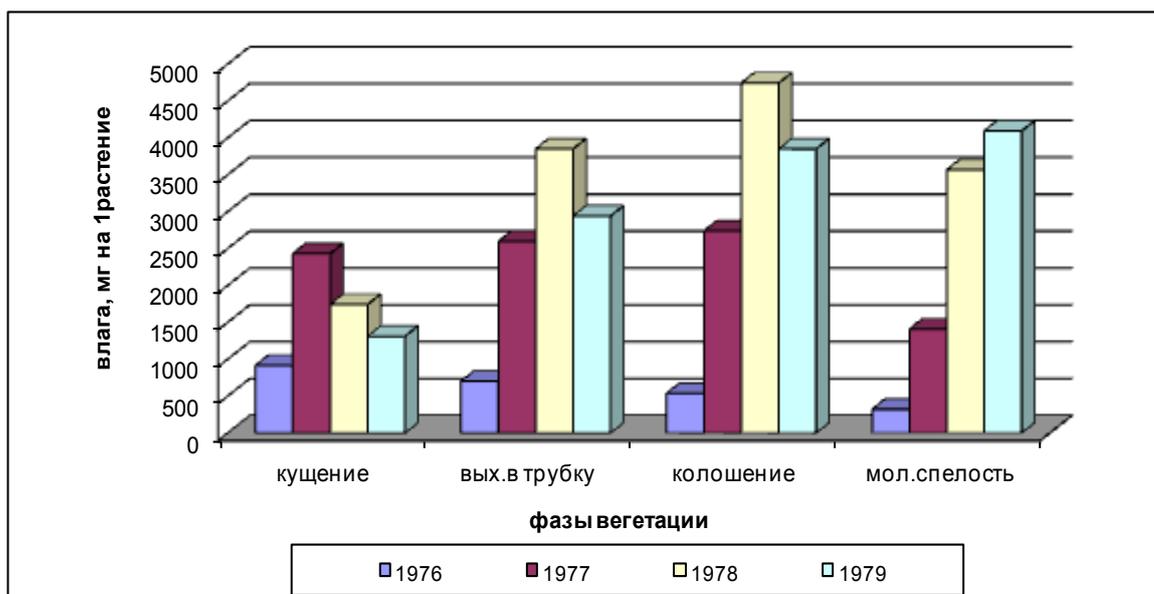


Рис. 3. Динамика содержания влаги в растениях твердой пшеницы по фазам вегетации в различные годы.

Таким образом, на фоне черного пара в течение практически всего периода вегетации создаются более благоприятные условия по оводненности растений пшеницы, что является катализатором основных физиологических и биохимических процессов. На фоне других предшественников, особенно в повторных посевах пшеницы, резкое снижение содержания влаги в растениях после фазы колошения, напротив, подавляет эти процессы.

Положительное влияние на содержание влаги в растениях оказывает дополнительное минеральное питание. По нашим данным, уже с фазы кущения пшеницы количество воды в надземной массе было выше на фоне удобрений, а наибольший эффект отмечается при использовании удобрений с тройным сочетанием элементов питания. Важно отметить, что внесение удобрения по фону черного пара увеличивает оводненность тканей растения до фазы молочной спелости, тогда как на фоне кукурузы на силос и мягкой пшеницы наибольшее содержание влаги отмечается в фазе колошения. В последующих исследованиях с внесением удобрения также отмечено его положительное влияние на содержание влаги в тканях растения. Более оводнены растения первых-вторых сроков сева, а также при нормах высева 3,5-4,5 млн.

Зависимость содержания воды в растениях твердой пшеницы от метеофакторов и их сочетаний в разные фазы вегетации неоднозначна.

В начале вегетации (фаза кущения) количество влаги в растениях в большей степени зависит от температурного режима (рис. 4).

Корреляционная связь данного показателя со средней температурой воздуха межфазного периода посев-кущение равна 0,735 и детерминирована в 54,02% случаев, что практически соответствует связи со средней максимальной температурой воздуха ( $\eta=0,739$ ,  $K_d=54,69\%$ ) и с показателем атмосферной засушливости воздуха ( $\eta=0,751$ ,  $K_d=56,44\%$ ).

Оптимальным следует считать среднюю температуру воздуха 11,5<sup>0</sup>С, среднюю максимальную – 18,8<sup>0</sup>С, а ПаЗ - 3мм.

Наиболее напряженная связь погодных факторов с количеством влаги в растениях складывается к фазе колошения. По полученным данным (рис. 5) наиболее важное значение в период от кущения до колошения приобретают факторы, определяющие сухость воздуха.



Рис. 4. Зависимость содержания воды в растениях твердой пшеницы в фазе кущения от метеофакторов за период посев – кущение.

Коррелятивная связь со средней относительной влажностью воздуха этого периода составила 0,912, и она значительно детерминирована (83,25% случаев). Еще выше связь с показателем атмосферной засушливости, учитывающим одновременное влияние влажности воздуха и температуры: - корреляционное отношение равно 0,971, а коэффициент детерминации – 94,22%.

Значение температурного режима воздуха в этот период для улучшения водного режима воздуха подтверждается и значительной коррелятивной связью содержания воды в растениях с суммой среднесуточных температур воздуха ( $\eta=0,869$ ,  $K_d=75,45\%$ ). Связь с количеством осадков выше средней, корреляционное отношение равно 0,713 и в 50,82% случаях эта связь достоверна.

Оптимальные значения температурного фактора данного периода находятся в пределах: для средних значений –  $15,6^{\circ}\text{C}$ , суммы средних –  $505,6^{\circ}\text{C}$ , средней максимальной –  $21,9^{\circ}\text{C}$ . Сумма осадков должна составить 66,7 мм, а показатель атмосферной засушливости – 60,4 мм.

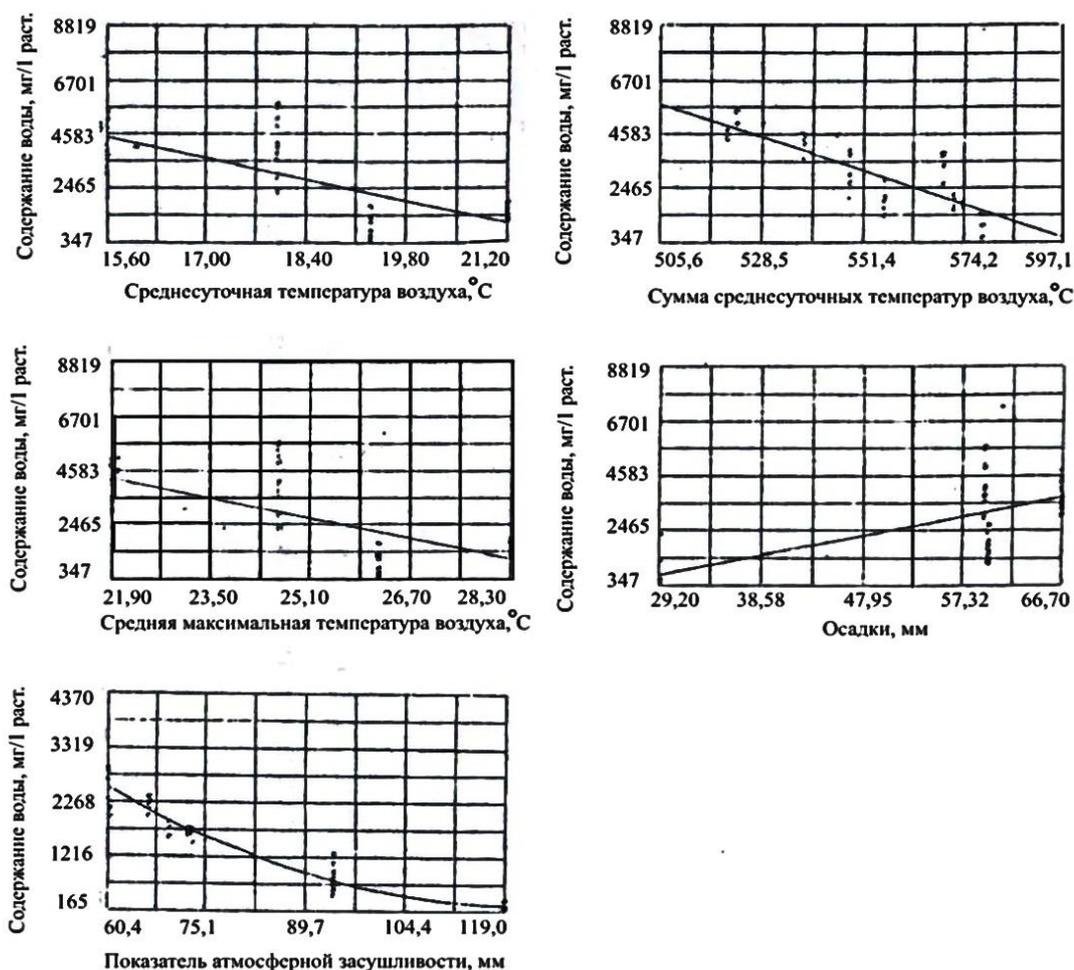


Рис. 5. Зависимость содержания воды в растениях твердой пшеницы в фазе колошения от метеофакторов за период кущение – колошение.

Оптимальным количеством продуктивной влаги в метровом слое почвы в фазе колошения твердой пшеницы, соответствующие ее максимальной теоретической продуктивности, согласно нашим расчетам, является 93 мм. Учитывая, что максимальная урожайность может быть достигнута при оптимизации количества влаги в растении, можно считать это содержание влаги оптимальным и для оводненности тканей растений.

Указанные значения погодных условий, определяющие оптимальность функционирования физиолого-биохимических процессов надземной части при наличии влаги в почве в период от образования зачатков колоса (кущение) до колошения, обеспечивают содержание оптимального количества влаги в растениях.

В период от колошения до молочной спелости зерна основная часть растений остается зеленой, и чем дольше она сохранит свою фотосинтезирующую активность, тем выше вероятность получения повышенной продук-

тивности. Представляют интерес условия, определяющие увеличение содержания воды в растениях в этот период. Существенное значение имеют и погодные факторы.

На первый план в этот период выступают факторы, характеризующие температурный режим воздуха: корреляционное отношение для средней температуры равно 0,928 при детерминации в 86,1%, для средней максимальной – соответственно 0,906 и 82,0%, а для суммы среднесуточных значений – 0,846 и 71,5%. Немаловажное значение имеет средняя относительная влажность воздуха ( $\eta=0,856$  при коэффициенте детерминации 73,3%). Значение показателя атмосферной засушливости ( $\eta=0,769$  и  $K_d=59,1\%$ ) практически сравнимо с ролью осадков ( $\eta=0,746$  и  $K_d=55,75\%$ ) (рис. 6).

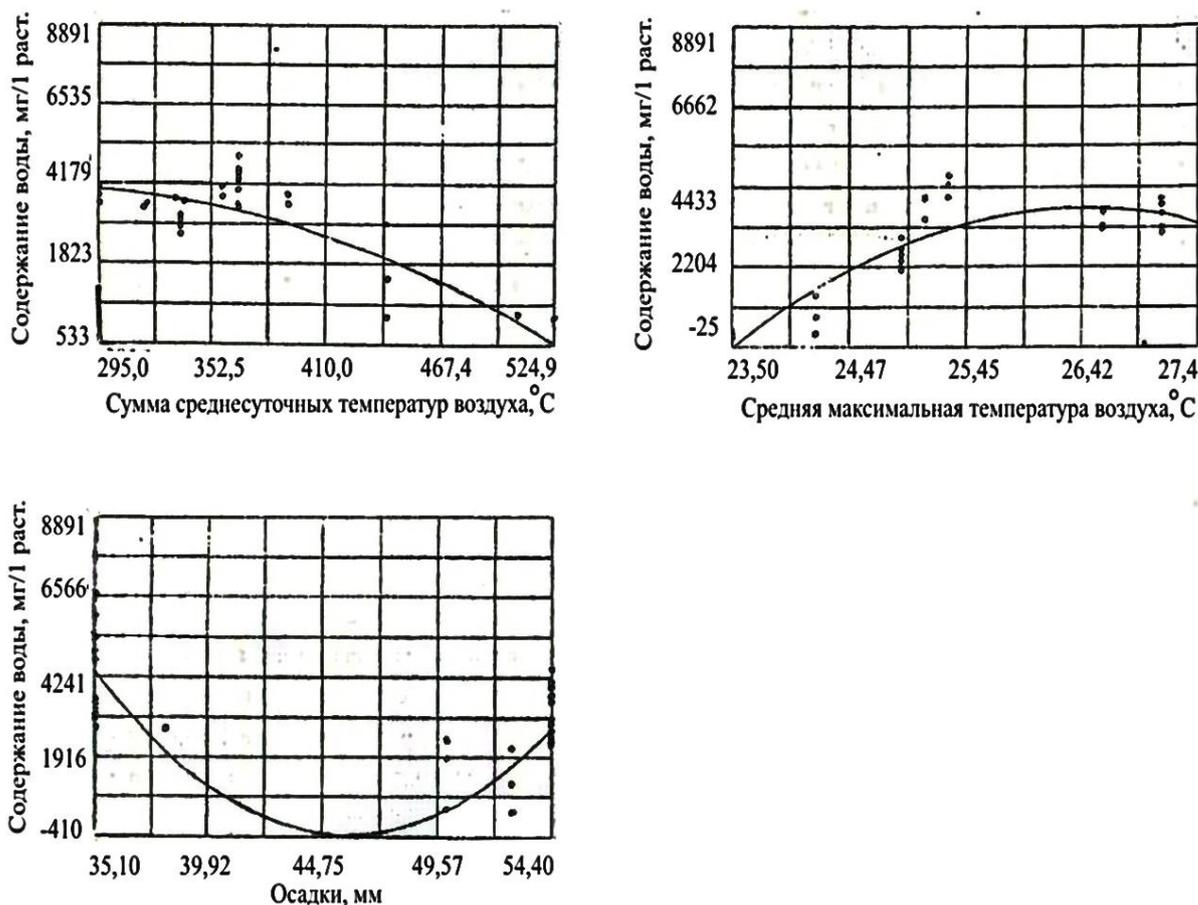


Рис. 6. Зависимость содержания воды в растениях твердой пшеницы в фазе молочной спелости от метеофакторов за период колошение молочная спелость.

При невысоких значениях температуры воздуха (средней максимальной –  $26,5^{\circ}$ , суммы средних значений –  $295,0^{\circ}\text{C}$ ) и суммы осадков за период  $35,1$  мм возможно улучшение водного режима растения твердой пшеницы.

В таблице 2 показано, как влияют условия лет исследований и предшественники на динамику содержания влаги по межфазным периодам вегетации твердой пшеницы. По предшественнику «черный пар» прирост по содержанию влаги не только выше, чем по другим предшественникам, но и в отдельные годы он сохраняется в течение более длительного периода.

*Таблица 2. Динамика увеличения (+) и снижения (-) содержания влаги в растении твердой пшеницы по межфазным периодам, мг/сут.*

Годы	Предшественник	всходы- кущение	кущение- колошение	колошение- молочная спелость
1	2	3	4	5
1976	Черный пар	+39,1	-10,7	-9,1
	Кукуруза на силос	+32,8	-9,8	-9,4
	Мягкая пшеница	+36,6	-15,5	-8,3
1977	Черный пар	+74,2	+23,1	-
	Кукуруза на силос	+50,0	+19,5	-
	Мягкая пшеница	+54,4	+7,5	-
1978	Черный пар	+75,4	+141,4	-78,2
	Кукуруза на силос	+84,8	+69,9	-77,8
	Мягкая пшеница	+43,2	+72,2	-62,3
1979	Черный пар	+75,10	+111,1	+89,5
	Кукуруза на силос	+54,0	+57,4	+52,6
	Мягкая пшеница	+69,6	+65,5	-72,6

В благоприятные годы увеличение оводненности тканей растений твердой пшеницы более растянуто по периоду вегетации, а в неблагоприятные годы уже к фазе колошения отмечается отрицательный баланс или незначительный положительный. В 1978 г. отмечено существенное увеличение содержания влаги в период от кущения до колошения, превысившее показатели 1979 г. И хотя в 1978 г. в период от колошения до молочной спелости получена убыль влаги, а в 1979 г. – по двум предшественникам приход, абсолютные показатели по содержанию влаги в 1978 г. были выше.

Роль благоприятности периода вегетации в динамике содержания влаги подтверждается и в более поздних исследованиях (табл. 3).

*Таблица 3. Динамика увеличения (+) и снижения (-) содержания воды в растении твердой пшеницы в зависимости от сроков сева, мг/сут.*

Годы	Срок сева	всходы- кущение	кущение- колошение	колошение- молочная спелость
1982	Первый	+14,7	+82,7	-110,1
	Второй	+16,1	+73,3	-78,0
	Третий	+15,4	+84,7	-84,1
1983	Первый	+43,4	+120,4	-180,5
	Второй	+48,5	+105,6	-240,8
	Третий	+37,7	+103,8	-75,9
1984	Первый	+21,6	+34,8	-22,6
	Второй	+26,5	+35,5	-23,8
	Третий	+38,8	+58,1	-83,7
1985	Первый	+29,3	+27,8	+47,8
	Второй	+23,0	+44,4	+47,1
	Третий	+30,2	+15,5	+10,7

В благоприятные годы увеличение количества воды в растении существенно выше в период кущение – колошение (1983 г.), или оно сохраняется более длительный период (1985 г.). В неблагоприятный год (1984 г.) приросты оводненности незначительны во все межфазные периоды.

### **Заключение**

Резюмируя результаты проведенного анализа, можно считать, что недостаточная оводненность тканей растений в посеве – основной фактор снижения урожайности твердой пшеницы.

В богарных условиях регулировать водный режим растений достаточно сложно, но из имеющихся в арсенале земледельца элементов агротехники, как показали наши данные, некоторое улучшение водообеспеченности возможно путем улучшения условий вегетации за счет внесения удобрений, оптимизации сроков сева, норм высева и выбором лучшего предшественника.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Алексеев А.М. Основные представления о водном режиме растений и его показателях. В кн.: Водный режим сельскохозяйственных растений. М.: Наука, 1969: 94-123.
2. Аскоченская Н.А. Состояние воды и ее биологическая роль в низкооводненной ткани на примере семян. Физиология и биохимия культурных растений. 1982. 14 (1): 29-41.
3. Сказкин Ф.Д. Критический период у растений к недостаточному водоснабжению. Тимирязевское чтение. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 51 с.
4. Жолкевич В.Н. Энергетика дыхания высших растений в условиях водного дефицита. М.: Наука. 1968. 229 с.

5. Залялов А.А. Об активности воды и количественной характеристике водоудерживающей способности растений. В кн.: Водный режим сельскохозяйственных растений. М.: Наука. 1969: 157-160.
6. Бородай Ю.Г. Модель интенсивного сорта мягкой пшеницы и ячменя для засушливой лесостепи, степи юга Западной Сибири и Севера Казахстана (физиолого-агротомически-селекционное обоснование). Барнаул, 2006. 393 с.
7. Campbell C.A., Davidsom H.R., Wiinkleman G.E. Effect of nitrogen, temperature growth stage and duration of moisture stress on yield components and protein content of Maniton spring wheat. Can.S.Plant.Sci.1981. 61 (3): 549-563.
8. Бесалиев И.Н., Крючков А.Г. Моделирование продуктивности ячменя в условиях степи Южного Урала. М.: «Вестник РАСХН». 2007. 509 с.
9. Самуилов Ф.Д., Мухитов Л.А. Водный режим и водопотребление сортов яровой мягкой пшеницы различных экологических групп в контрастных условиях водообеспеченности. Доклады РАСХН. 2012. 5: 10-13.
10. Синицин С.С. Показатель и результаты сравнения агроклиматических условий регионов – аналогов производства высококачественной яровой пшеницы. Вестник РАСХН. 2002. 2: 35-39.

*Поступила 20.02.2015 г.*

*(Контактная информация: Крючков Анатолий Георгиевич - доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник Оренбургского НИИ сельского хозяйства; адрес: 4600051, г. Оренбург, пр. Гагарина, 27/1; тел. 71-04-88, e-mail: [or-niish@mail.ru](mailto:or-niish@mail.ru))*

---

---

## LITERATURA

1. Alekseev A.M. Osnovnye predstavlenija o vodnom rezhime rastenij i ego pokazateljah. V kn.: Vodnyj rezhim sel'skohozjajstvennyh rastenij. M.: Nauka, 1969: 94-123.
2. Askochenskaja N.A. Sostojanie vody i ee biologicheskaja rol' v nizkoovodnennoj tkani na primere semjan. Fiziologija i biohimija kul'turnyh rastenij. 1982. 14 (1): 29-41.
3. Skazkin F.D. Kriticheskij period u rastenij k nedostatochnomu vodosnabzheniju. Timirjazevskoe chtenie. M.: Izd-vo AN SSSR, 1961. 51 s.
4. Zholkevich V.N. Jenergetika dyhanija vysshih rastenij v uslovijah vodnogo deficita. M.: Nauka. 1968. 229 s.
5. Zaljalov A.A. Ob aktivnosti vody i kolichestvennoj harakteristike vodouderzhivaju-shhej sposobnosti rastenij. V kn.: Vodnyj rezhim sel'skohozjajstvennyh rastenij. M.: Nauka. 1969: 157-160.
6. Borodaj Ju.G. Model' intensivnogo sorta mjagkoj pshenicy i jachmenja dlja zasushlivoj lesostepi, stepi juga Zapadnoj Sibiri i Severa Kazahstana (fiziologo-agronomicheskii-selekcionnoe obosnovanie). Barnaul, 2006. 393 s.
7. Campbell C.A., Davidsom H.R., Wiinkleman G.E. Effect of nitrogen, temperature growth stage and duration of moisture stress on yield components and protein content of Maniton spring wheat. Can.S.Plant.Sci.1981. 61 (3): 549-563.
8. Besaliev I.N., Krjuchkov A.G. Modelirovanie produktivnosti jachmenja v uslovijah stepi Juzhnogo Urala. M.: «Vestnik RASHN». 2007. 509 s.
9. Samuilov F.D., Muhitov L.A. Vodnyj rezhim i vodopotreblenie sortov jarovoj mjagkoj pshenicy razlichnyh ekologicheskikh grupp v kontrasnyh uslovijah vodoobespechenosti. Doklady RASHN. 2012. 5: 10-13.
10. Sinicin S.S. Pokazatel' i rezul'taty sravnenija agroklimaticheskikh uslovij regionov – analogov proizvodstva vysokokachestvennoj jarovoj pshenicy. Vestnik RASHN. 2002. 2: 35-39.