

## **Закономерности поступления и расхода влаги растениями яровой твёрдой пшеницы в степи оренбургского Зауралья**

*А.Г. Крючков, д.с.-х.н., профессор,  
ФГБНУ Оренбургский НИИСХ*

Влага — главный лимитирующий фактор в засушливых степных регионах страны и земного

шара. Не случайно земледельцы этих регионов и исследователи уделяют особое внимание этому фактору жизни растений [1]. Вопросы фотосинтеза, связанные с солнечной энергией, её спектральным составом, ролью хлорофилла и т.п., глубоко ис-

следовались физиками, физиологами, химиками, биологами.

Движению растворимых в воде веществ из почвы в растение посвящена работа П.Х. Ная и П.Б. Тинкера [2]. Исследователи указывают на то, что растения извлекают из почвы основную часть необходимой влаги, однако общая потребность во влаге определяется климатом, величиной растений и их испаряющей поверхностью. При этом проблему влагопереноса они рассматривают применительно к работе корневых систем.

С.В. Нерпин и А.Ф. Чудновский рассмотрели модели транспирации, сосущей силы корней, испарения влаги из пахотного слоя, теплового, радиационного, энергомассообмена в посевах и почвах, тепло- и влагообмена растений с почвой и приземным воздухом [3].

Однако все эти фундаментальные разработки не затронули фотосинтеза и продуктивности растений в связи с влагопотреблением. Они прежде всего обращены ко второй составляющей фотосинтеза – содержанию, превращениям и потреблению  $\text{CO}_2$ , что и естественно, поскольку в Прибалтике, Англии и Санкт-Петербурге продуктивность растений лимитируется не влагой, а почвенным плодородием.

К.Г. Шульмейстер указывал, что главная особенность климата засушливого Юго-Востока заключается в резко выраженном дефиците влажности воздуха, превышении испаряемости влаги над количеством осадков (в 3–4 раза), нестабильности выпадения осадков в каждом месяце сезона и весенних запасов почвенной влаги [4].

По обобщённым нами многолетним данным, недобор урожайности зерновых культур в оренбургском Зауралье от поражения засухами изменяется от 4,1 до 7 ц с 1 га при среднемноголетней урожайности в пределах 9,6 ÷ 7,8 ц с 1 га [5].

В связи с этим вопросы детальной проработки водопотребления яровой твёрдой пшеницей, одной из наиболее значимых в экономическом и экологическом планах культур, обретают особую остроту.

**Цель** постановки на исследование вопроса заключается в разработке научно обоснованных параметров модели потребления влаги растениями яровой твёрдой пшеницы в оренбургском Зауралье, обеспечивающих совершенствование технологии их возделывания.

Научная новизна исследования состоит в неразработанности таких параметров модели в мировой и отечественной практике для яровой твёрдой пшеницы в степных регионах при возделывании её по парам при разных сроках сева и нормах высева.

**Объекты и методика исследований.** В целях решения поставленных на изучение вопросов были использованы материалы длительных наблюдений за погодными условиями в АГМС «Адамовка» (1939–1986 гг.), МП «Адамовка» и Айдырля (1988–2004 гг.), Восточного опорного пункта Оренбургского НИИСХ (1988–2012 гг.) [6];

результаты учёта урожайности по данным полевых опытов за 1988–2002 гг. на стационаре и результаты опытов с тремя сроками сева и тремя нормами высева на фоне пара без удобрений и с удобрением. Расчёты потребности в воде проводили по А.М. Алпатьеву [7], ПаЗ-1 (показатель атмосферной засушливости) определяли по С.С. Сеницыну [8], коэффициенты засушливости, технологической нагрузки, дискомфорта и оптимальности – по оригинальным методикам А.Г. Крючкова [9]. Кроме того, использовали общепринятые статические методы: группировок, вероятности, нелинейного корреляционно-регрессионного анализа [10]. Расчёты проведены на ПЭВМ с использованием программы Statsgrafiks с расширением до 34 функций.

**Результаты исследований.** На чернозёмах южных в степной зоне оренбургского Зауралья потребность растений в воде, по данным за годы наблюдений (1939–1986 гг.), составляет в мае – 122,9 мм, июне – 173,6, июле – 185,4, августе – 161,2 мм и всего за май – август она равна 643 мм. За годы полевых экспериментов (2001–2003 гг.) она составила 625,7 мм, или приблизилась к среднесезонному многолетнему показателю.

Влагообеспеченность яровой твёрдой пшеницы в опытах изменялась от 0,34 до 0,53 ед. При этом в коэффициенте влагообеспеченности весенние запасы влаги в метровом слое почвы преобладали над количеством осадков, выпадающих за период её вегетации. Ежегодно наблюдалось снижение запасов влаги в почве от 1-го срока сева до 2-го срока на 10,7 мм (6,7%) и 3-го срока сева – на 13,9 мм (8,7%).

За сельскохозяйственный год здесь выпадало осадков в среднем, по 65-летним данным учёта (1939–2004 гг.), 315 мм с колебаниями от 102 до 526 мм. В 20% лет выпало менее 250 мм осадков, в 47,7% лет – 250–350 мм и в 32,3% лет было вероятно выпадение 350–450 мм и более осадков. Среднемесячное повышенное количество осадков за холодный период сельскохозяйственного года приходится на октябрь (30,4 мм), ноябрь (23 мм) и декабрь (22,1 мм). В январе, феврале и марте оно снижается до 17,7–16,2 мм, а в апреле начинает повышаться до 20,6 мм. Затем наблюдается увеличение количества осадков: в мае до 30,7 мм, июне – 35,6, июле – 44,7 мм, в августе и сентябре вновь снижается до 32,4 и 24,2 мм. Но при этом в каждом месяце в отдельные годы осадков может и не быть.

Между порядковым номером месяца сезона, считая с апреля, существует тесная ( $\eta_{yx} = 0,945$ ) связь, которая в 89,36% случаев адекватно описывается уравнением вида:

$$y = 1,5738 + 21,1264x - 2,8964x^2 \pm 2,6 \text{ мм,}$$

где  $x$  – порядковый номер месяца и  $y$  – количество выпадающих осадков в мм при следующих параметрах:

$$x = \frac{1-6}{3,5 \pm 1,71}; \quad y = \frac{20,9-44,7}{32,6 \pm 7,8} \text{ мм.}$$

На Восточном опорном пункте за 25-летний (1988–2012 гг.) период общий характер распределения осадков по месяцам сезона подтверждает вывод об июльском их максимуме.

Максимум осадков (38,1 мм) и в этом случае теоретически приходится на 2–3 июля или на период с 16 июня по 15 июля.

В экспериментах на поле обнаруживается высокая степень адаптированности яровой твёрдой пшеницы к распределению осадков по межфазным периодам её вегетации. По мере прохождения её вегетативных межфазных периодов увеличивается количество выпадающих осадков: посев – всходы (13,9 мм), всходы – кушение (22,8 мм), кушение – колошение (37,3 мм), а при репродуктивных периодах наблюдается их снижение: колошение – молочная спелость (14,5 мм), молочная – восковая спелость (9,8 мм) и восковая – полная спелость (6,8 мм).

Между порядковым номером дня сезона, считая с 1 марта, и количеством выпадающих осадков по межфазным периодам существует связь ( $\eta_{yx} = 0,754$ ). Уравнение вида:

$$y = -57,8798 + 1,3358x - 5,3908 D - 0,03x^2 \pm 5,83 \text{ мм}$$

адекватно для 56,87% случаев. Согласно ему на середину периодов приходится осадков: посев – всходы – 1–1,5 мм (74-й день), всходы – кушение (89-й день) – 18,4 мм, кушение – выход в трубку (104-й и 119-й день) – 22,7 и 24,7 мм, колошение (124-й день) – 24,9 мм; молочная спелость (134–150-й день) – 24,2–21,3 мм, восковая (165-й день) – 15,9 мм и полная спелость (189-й день) – 8 мм.

Среднесуточное увлажнение посевов осадками последовательно ухудшается от периода всходы – кушение до периода восковая – полная спелость с 1,43 мм/сут до 1,18; 0,84; 0,84 и 0,89 мм/сут.

Правильному выбору срока сева способствует определение порядкового номера дня, когда снижается среднесуточное увлажнение осадками в конце созревания. Для ухода от осенних дождей, приходящихся на созревание посевов, применимы расчёты по уравнению:

$$y = 24,9578 - 1,07986x + 1,8576E - 0,02x^2 - 1,5122E - 0,04x^3 + 5,85E - 0,07x^4 - 8,686E - 10x^5 \pm 0,127 \text{ мм/сут.}$$

В 85,68% случаев уравнение позволяет рассчитать нужный срок сева при условиях:  $x =$  дней, считая с 1 марта,  $y =$  мм/сут.

За период вегетации сумма доступной влаги равна 318,5 мм (194,5–449,5 мм), из которых запас влаги в почве к севу равен 169,8 мм (123–222,2 мм), осадки составляют 148,8 мм (62,9–320,6 мм). Доля почвенной влаги равна 53,3% (35,6–74,5%), осадков – 46,7% (64,4–25,5%).

Отношение запасов почвенной влаги к севу к осадкам за вегетацию составляет 1,14 ед. (0,55–2,92 ед.), а расход общей (доступной) влаги равен 249,2 мм (119,9–363,5 мм). Неиспользуется из почвы 69,3 мм (126–51,4 мм), или 21,8% (51,4–12,4%).

Урожайность яровой твёрдой пшеницы находится в сильной зависимости от запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы к севу ( $\eta_{yx} = 0,816$ ), и расхода суммарной влаги (запас + осадки) за первую половину вегетации ( $\eta_{yx} = 0,824$ ). По мере роста расхода ( $x$ ) суммарной влаги с 49,8 до 190,9 мм и запаса ( $x_1$ ) влаги к севу со 123 до 205 мм урожайность её зерна возрастает с 9,28 и 13,04 ц с 1 га до 28,94 и 27,27 ц с 1 га по уравнениям вида:

$$1) y = -4,3886 + 0,3179x - 7,507E - 0,04x^2 \pm 3,34 \text{ ц с 1 га,}$$

$$2) Y_1 = -61,4288 + 0,864x_1 - 2,1064E - 0,03x_1^2 \pm 3,3 \text{ ц с 1 га.}$$

Во 2-й половине вегетации резко возрастает напряжённость связи урожайности с запасом влаги в почве на дату колошения ( $\eta_{yx} = 0,919$ ), отношением запасов к осадкам за этот же период ( $\eta_{yx} = 0,819$ ), количеством суммарной влаги ( $\eta_{yx} = 0,817$ ), а значимость связи с расходом влаги за этот период ослабляется ( $\eta_{yx} = 0,780$ ).

За период вегетации в целом урожайность сильнее всего связана с расходом суммарной влаги ( $\eta_{yx} = 0,865$ ), суммой доступной влаги ( $\eta_{yx} = 0,865$ ) и запасом влаги в почве к севу ( $\eta_{yx} = 0,816$ ). Осадки слабее связаны с урожайностью ( $\eta_{yx} = 0,759$ ), а связь с отношением запасов влаги к осадкам проявляется в средней степени ( $\eta_{yx} = 0,667$ ).

Множественное корреляционное отношение запасов влаги в почве ( $x_1$ ) и осадков ( $x_2$ ) наиболее тесно ( $\eta_{yx1x2} = 0,901$ ) отражает зависимость урожайности от этих факторов за период колошение – полная спелость по сравнению со связью за периоды посев – колошение ( $\eta_{yx} = 0,654$ ) и посев – полная спелость ( $\eta_{yx1x2} = 0,707$ ) и в 81,26% случаев адекватно описывается следующим уравнением:

$$y = 10,1468 - 1,3575x_1 - 9,356D - 0,02x_2 + 7,1704D - 0,4x_1^2 + 4,903D - 0,04x_1x_2 + 4,1938D - 0,04x_2^2 \pm 0,199 \text{ т с 1 га}$$

при параметрах:

$$x_1 = \frac{67,1-119,0}{99,72} \text{ мм; } x_2 = \frac{100-48,1}{69} \text{ мм;}$$

$$y = \frac{2,257-3,733}{2,89} \text{ т с 1 га.}$$

На величине урожайности яровой твёрдой пшеницы сильно отражается скорость расхода почвенной влаги за вегетацию ( $\eta_{yx} = 0,897$ ) и среднесуточная величина выпадающих осадков ( $\eta_{yx} = 0,851$ ) на фоне удобренного пара, а по неудобренному пару – скорость расхода почвенной влаги ( $\eta_{yx} = 0,874$ ) и её запас к севу ( $\eta_{yx} = 0,816$ ). Связь со среднесуточным выпадением осадков

по пару без удобрений слабее ( $\eta_{yx} = 0,803$ ), чем по удобренному пару, но роль запасов влаги в почве сильнее ( $\eta_{yx} = 0,816$ ).

Для получения максимальной урожайности на обоих фонах запас влаги в почве должен быть на уровне 170,4 мм (3,3 и 3,56 т с 1 га), скорость расхода влаги из почвы должна быть или минимальной – 0,64 мм/сут (3,27 и 3,34 т с га), или повышенной (при значительных осадках – 1,59 мм/сут) – 1,4 мм/сут (3,27 и 3,61 т с 1 га). При средних величинах расхода влаги (1,02; 0,98 мм/сут) и среднесуточных осадков (около 1 мм/сут) урожайность снижается (2,48; 2,74 т с 1 га).

Урожайность в зависимости от скорости расхода почвенной влаги за вегетацию может быть рассчитана на удобренном пару для 80,45% случаев по уравнению вида:

$$Y_1 = 76,2984 - 99,32x_1 + 50,476x_1^2 \pm 1,5 \text{ ц с 1 га,}$$

а по неудобренному пару для 76,47% случаев – по уравнению:

$$y = 81,59 - 111,11x + 54,42x_2 \pm 1,51 \text{ ц с 1 га.}$$

В засушливых условиях важное значение имеет скорость накопления урожайности яровой твёрдой пшеницей в связи со среднесуточным накоплением тепла ( $\eta_{yx} = 0,976$ ), которая, в свою очередь, находится в тесной связи со среднесуточным расходом влаги из почвы ( $\eta_{yx} = 0,852$ ) по пару без удобрений. По удобренному пару связь со среднесуточным поступлением тепла близка к неудобренному пару ( $\eta_{yx} = 0,971$ ), связь со среднесуточным расходом влаги из почвы более тесная ( $\eta_{yx} = 0,903$ ). В то же время скорость среднесуточного расхода влаги (запас в почве к севу – остаток влаги в почве) на неудобренном пару сильно коррелирует ( $\eta_{yx} = 0,874$ ), а на удобренном – несколько слабее ( $\eta_{yx} = 0,832$ ) со среднесуточным поступлением тепла за вегетацию. Скорость накопления урожайности достигает наибольших величин при среднесуточном поступлении тепла 24,14°С/сут (40,95 кг/сут/га), среднесуточном

расходе влаги из почвы 1,4 мм (38,88 кг/сут/га), но рост суточного поступления тепла с 16,82°С/сут до 19,56°С/сут приводит к расходу влаги с 0,79 до 1,17 мм/сут, а при 24,14°С поступления тепла в сутки скорость расхода влаги падает до минимума.

На обоих фонах для максимума скорости накопления урожайности необходима среднесуточная скорость поступления 3,43 мм/сут суммарной влаги, в т.ч. суточное выпадение 0,96–1,59 мм осадков.

**Вывод.** Установленные закономерности поступления и расхода влаги растениями яровой твёрдой пшеницы при размещении её по паровым фонам дают более конкретное представление о возможностях технологов и необходимости совершенствования ими применяемых агроприёмов на базе более глубокого понимания возможностей климата территории своего землепользования, а не огульного перенесения их из стран и более обеспеченных влагой регионов своей страны в засушливую степь оренбургского Зауралья.

Полученные уравнения могут быть применены для расчётов и оценки своих возможностей в сходном климате.

### Литература

1. Чирков Ю.Г. Фотосинтез: два века спустя. М.: Знание, 1981. 192 с. с ил.
2. Най П.Х., Тинкер П.Б. Движение растворов в системе почва – растение / Пер. с англ. Кветной О.М., Петровой М.В.; под ред. и с предисл. О.Г. Усварова. М.: Колос, 1980. 368 с.
3. Нерпин С.В., Чудновский А.Ф. Энерго- и массообмен в системе растение – почва – воздух. Л., Гидрометеоздат, 1975. 358 с. с ил.
4. Шульмейстер К.Г. Борьба с засухой и урожай. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1988. 263 с. с ил.
5. Крючков А.Г. Основные принципы и методология агроэкологического районирования зерновых культур в степи Южного Урала. М.: Вестник РАСХН, 2006. 704 с. с ил.
6. Материалы агрометеорологических наблюдений АГМС «Адамовка» (1939–1986 гг.), МП «Адамовка» (1987–2004 гг.), АГМС «Айдырля» (1988–2012 гг.).
7. Алпатьев А.М. Влагооборот культурных растений. Л.: Гидрометеоздат, 1954. 248 с.
8. Сеницын С.С. Показатель и результаты сравнения агроклиматических условий регионов – аналогов производства высококачественной яровой пшеницы // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2002. № 2. С. 35–39.
9. Крючков А.Г., Тейхриб П.П. Материалы полевых опытов с яровой твёрдой пшеницей за 2001–2003 гг. Оренбург, 2004.
10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 1979. 416 с.