

## Влияние температуры воздуха и влажности почвы на продуктивность зерновых культур в четырёхпольных севооборотах на почвозащитном стационаре Оренбургского Зауралья\*

*Д.В. Митрофанов, к.с.-х.н., ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН*

В Оренбургской области культурные растения в тот или иной период своего развития часто подвергаются воздействию высокой температуры воздуха и дефициту увлажнения, что приводит к снижению урожайности. Влажность почвы относится к числу главных факторов, определяющих состояние посевов и урожая. Урожайность, выраженная в кормовых и кормопротеиновых единицах, ц с 1 га пашни, является основным элементом продуктивности сельскохозяйственных культур. Погодные условия, водный режим почвы и продуктивность посевов яровых зерновых культур на чернозёмах южных в Оренбургском Зауралье изучали многие учёные [1–6].

Научно-исследовательская работа по определению влияния температуры воздуха и влажности почвы на продуктивность культурных растений в системе контурно-ландшафтного земледелия Оренбургского Зауралья проводилась впервые. Работа дополнила ряд исследований по проблемам почвозащитного земледелия в регионе [7–10].

Основная цель исследования заключалась в выявлении на базе многолетнего почвозащитного стационара наилучших посевов яровых зерновых культур, возделываемых на верхней, средней и нижней частях склона, по продуктивности в зависимости от влияния метеорологических условий и запасов продуктивной влаги. Главной задачей опыта являлось установление различного влияния погодных факторов и влаги на увеличение продуктивности зерновых культур в четырёхпольных зернопаровых севооборотах и применение их в сельском хозяйстве.

**Материал и методы исследования.** Исследование проводили в ФГУП «Советская Россия» на многолетнем почвозащитном стационаре, заложенном в 1987 г. Территория опытного участка – северо-восточная часть Адамовского района Оренбургской области.

Полевые опыты закладывали с 2014 по 2018 г. на длительном стационарном опытном поле в системе контурно-полосного земледелия. Склон опытного поля делился на верхнюю часть длиной 0–400 м,

\* Исследование выполнено в соответствии с планом НИР на 2018–2020 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№0761-2019-0003)

среднюю – 400–800 м и нижнюю – 800–1200 м. Размещались ранние яровые зерновые культуры в четырёхпольных зернопаровых севооборотах с чёрными парами на почвах, подверженных водной и ветровой эрозии по элементам склона по следующей схеме: I – твёрдая пшеница (контроль), II – мягкая пшеница, III – ячмень по верхней части с уклоном 2–3°; IV – твёрдая пшеница, V – мягкая пшеница, VI – ячмень по средней части с уклоном 1–2°; VII – твёрдая пшеница, VIII – мягкая пшеница, IX – ячмень по нижней части с уклоном 0–1°. Применялся полевой метод исследования, повторность опыта – трёхкратная на территории и пятикратная во времени. Делянки представляли собой прямоугольную форму шириной 80 м и длиной 160,7 м. Варианты размещались систематически. Делянки располагались по длине склона. Площадь опытного участка составляла 60 га.

По каждому году данные метеоусловий определяли по данным метеостанции ГМС Айдырля Кваркенского района Оренбургской области, обслуживающей территорию исследования, находясь в 24 км от опытного почвозащитного стационара. Влажность почвы на делянках определяли общепринятым термостатно-весовым методом по слоям через 10 см до 1 м. Почвенные образцы отбирали буром с каждого варианта двух повторений опыта по элементам склона (верх, середина, низ) в центре делянки, после посева и уборки. Продуктивную влагу по каждому слою почвы рассчитывали на основании констант водно-физических свойств для данной территории. Биологический учёт урожайности проводили на основании анализа снопового материала по всем вариантам и повторениям опыта, в четырёхкратной повторности по каждой делянке. Фактический урожай зерна учитывали методом сплошной уборки комбайном с каждой делянки. Бункерный вес зерна с каждой делянки взвешивали и пересчитывали в расчёте на 1 га, с учётом 14%-ной влажности и 100%-ной чистоты. Продуктивность зерна с 1 га пашни определяли по питательности кормов (кормовых и кормопротеиновых единиц) в 1 кг для сельскохозяйственных животных. Результаты за пять лет исследования статистически обрабатывали с помощью множественного регрессионного анализа в компьютер-

ной программе «Statistica 10.0». Она разработана компанией StatSoft Inc., основанной в 1984 г. в городе Тусле, штат Оклахома, США.

**Результаты исследования.** Наблюдения за метеорологическими условиями вегетационного периода 2014–2018 гг. показали, что май был холоднее на 2,2°C по сравнению со среднемноголетней нормой 16,2°C, при этом отмечалась максимальная температура воздуха 28,5°C и минимальная – 1,1°C (табл. 1).

Такие перепады температуры отрицательно сказались на росте и развитии посевов ранних яровых зерновых культур. В мае выпало 32 мм осадков при норме 30 мм, число дней с относительной влажностью 30% и ниже составляло 17. Июнь по температурному режиму воздуха находился около данной нормы, превышая её лишь на 1,5°C, при резких среднесуточных перепадах 31,9 и 6,9°C, осадков выпало всего 27 мм при норме 41 мм (дефицит осадков составил 14 мм) с количеством суховейных дней 14. Нехватка осадков наблюдалась и в июле, которых отмечено 28 мм при норме 51 мм, температура воздуха за месяц была на 1,3°C ниже нормы, с большими перепадами – 32,3 и 7,3°C, количество суховейных дней – 15. Июнь и июль характеризовались как неблагоприятные для роста, развития и формирования урожайности зерновых культур. Превышение температуры воздуха в августе составляло на 4,5°C от нормы, дефицит осадков – 16 мм при норме 34 мм. Максимальная температура воздуха в этом месяце достигала 33,3°C, минимальная – 3,5°C, число суховейных дней – 22. Из всех рассмотренных месяцев август являлся самым засушливым. В среднем за пять лет исследования за вегетационный период (май – август) по данным метеостанции Айдырля среднесуточная температура воздуха составляла 18,2°C, что на 0,6°C было выше среднемноголетней нормы 17,6°C, и выпало 100 мм осадков, составив 64% от нормы (156 мм). Самая высокая температура воздуха достигала 31,5°C и низкая – 4,2°C. За этот период отмечалось 68 суховейных дней. Таким образом, в среднем за период вегетации сложились засушливые условия для формирования продуктивности сельскохозяйственных культур.

В исследуемых вариантах наблюдалось изменение запасов продуктивной влаги в метровом слое

1. Метеорологические условия периода вегетации яровых зерновых культур, в среднем за 2014–2018 гг. исследования (по данным метеостанции Айдырля)

Месяц	Погодные факторы						
	температура воздуха, °C				выпавшие осадки, мм		число дней с относительной влажностью 30% и ниже
	средне-многолетняя	за годы	максимальная	минимальная	средне-многолетние	за период	
Май	16,2	14,0	28,5	-1,1	30	32	17
Июнь	16,9	18,4	31,9	6,9	41	27	14
Июль	21,1	19,8	32,3	7,3	51	23	15
Август	16,1	20,6	33,3	3,5	34	18	22
Среднее	17,6	18,2	31,5	4,2	156	100	68

почвы и продуктивности яровых зерновых культур в четырёхпольных севооборотах на различных частях склона. Наибольшее количество почвенной влаги отмечалось на нижней части склона в VIII, VII и IX вариантах опыта, и уровень изменения составил после посева от 120,9 до 148,4 мм и уборки – от 22,4 до 24,7 мм (табл. 2). Наименьшее количество весенней и летней продуктивной влаги в слое почвы 0–100 см просматривалось на верхней части склона в I, во II и в III вариантах эксперимента, составив в мае от 96,5 до 122,7 мм, в августе – от 17,0 до 21,9 мм.

Наблюдения показали, что максимальное количество влаги с учётом выпавших осадков было израсходовано на посевах твёрдой, мягкой пшеницы и ячменя в нижней части склона и составляло 196,3; 174,6 и 167,7 мм. Минимальное количество израсходованной влаги отмечалось на вариантах верхней части склона – от 150,1 до 173,1 мм.

Биологическая урожайность по всем частям склона показала наибольший выход питательных единиц по сравнению с фактическим учётом. Это объясняется тем, что при уборке прямым комбайнированием происходили потери зерна от 1,9 до 2,8 ц, что приводило к снижению продуктивности. Среди вариантов исследования самым продуктивным посевом являлся ячмень на нижней части склона, выход кормовых единиц составил по биологической урожайности 17,9 ц, по бункерному весу 14,6 ц с 1 га. Максимальный выход кормопротеиновых единиц наблюдался на этой же части склона в посевах твёрдой пшеницы – соответственно 9,9 и

8,4 ц с 1 га. На нижней части склона возделывались высокопродуктивные культуры. Наименьший выход кормовых единиц отмечался на верхней части в посевах твёрдой пшеницы и был равен с учётом анализа снопового материала 11,9 ц, с учётом комбайна – 9,5 ц с 1 га. Минимальный диапазон выхода кормопротеиновых единиц просматривался на верхней и средней частях склона – от 5,6 до 8,7 ц с 1 га. На верхней части склона рассматривалась самая низкая продуктивность яровых зерновых культур.

В связи с этим проведённый сопоставимый анализ результатов выявил неясность в установлении различных факторных взаимосвязей с продуктивностью. Необходимо было рассмотреть зависимость выхода питательных единиц сельскохозяйственных культур на различных частях склона от метеоусловий и влажности почвы. В результате проводили математическую обработку полученных данных с помощью множественного регрессионного анализа. Статистическая обработка по каждому изучаемому фактору показала определённую зависимость выхода кормовых и кормопротеиновых единиц от минимальных температур воздуха за вегетацию и продуктивной влаги после посева (табл. 3).

Системный анализ с помощью метода множественной регрессии позволил установить главное влияние факторов (температура воздуха и влага) на изменение продуктивности. Наибольшая доля влияния этих факторов отмечалась на средней части склона в V варианте опыта и составляла 98,65 и 97,46% по сравнению с другими вариантами. Сре-

2. Изменение запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы и продуктивности яровых зерновых культур в четырёхпольных севооборотах на различных частях склона (среднее за 2014–2018 гг.)

Часть склона	Вариант	Культура	Срок определения влаги, мм		Израсходованная влага, мм*	Выход с 1 га, ц ед.	
			после посева	после уборки		кормовых	кормопротеиновых
Верхняя (2–3°)	I (контроль)	твёрдая пшеница	122,7	17,0	173,1	$\frac{11,9}{9,5}$	$\frac{7,0}{5,6}$
	II	мягкая пшеница	108,1	21,9	158,9	$\frac{13,6}{10,7}$	$\frac{7,1}{5,6}$
	III	ячмень	96,5	17,4	150,1	$\frac{14,4}{11,6}$	$\frac{7,1}{5,7}$
Средняя (1–2°)	IV	твёрдая пшеница	134,9	21,4	186,1	$\frac{14,8}{12,4}$	$\frac{8,7}{7,4}$
	V	мягкая пшеница	114,3	23,6	164,1	$\frac{14,9}{11,8}$	$\frac{7,8}{6,2}$
	VI	ячмень	102,6	22,7	153,0	$\frac{15,9}{12,8}$	$\frac{7,9}{6,3}$
Нижняя (0–1°)	VII	твёрдая пшеница	148,4	22,4	196,3	$\frac{16,7}{14,2}$	$\frac{9,9}{8,4}$
	VIII	мягкая пшеница	125,4	24,7	174,6	$\frac{17,3}{14,4}$	$\frac{9,0}{7,6}$
	IX	ячмень	120,9	23,5	167,7	$\frac{17,9}{14,6}$	$\frac{8,9}{7,2}$

Примечание: \* влага с учётом выпавших осадков; над чертой – с учётом биологической урожайности, под чертой – фактической

ди посевов ячменя наилучшее влияние погодного фактора продемонстрировал VI вариант опыта, составив 90,69%. Во всех посевах, кроме твёрдой пшеницы, наблюдались положительные показатели множественной регрессии. Уровень коэффициентов регрессии, Стьюдента и детерминации составлял от 0,23 до 14,82 ед. Наилучшая значимость регрессионного уравнения отмечалась на верхней и средней части склона в посевах мягкой пшеницы – 0,00 при стандартной ошибке от 0,02 до 0,57 по сравнению с установленным значением  $P < 0,05$ . На нижней части склона определённое влияние на увеличение продуктивности оказывала температура воздуха и влага на посевы мягкой пшеницы и ячменя – 91,78; 86,98 и 86,22%.

По всем вариантам посевов яровых зерновых культур, кроме мягкой пшеницы, не просматривалась зависимость от продуктивной влаги в почве, что сказалось на формировании продуктивности. Таким образом, выход питательных единиц мягкой пшеницы на различных частях склона зависел от продуктивной влаги после посева. В результате этого построена математическая модель по продуктивности мягкой пшеницы в четырёхпольном севообороте на верхней части склона в зависимости от продуктивной влаги в метровом слое почвы (табл. 4).

Множественная регрессия показала, что существует тесная взаимосвязь между продуктивностью и влагой: 1) коэффициенты бета, регрессии, дельта имели небольшие отличия, которые ближе к нулю

и составили от -0,052 до 0,672; 2) коэффициенты регрессии и Стьюдента свободного члена отличались отрицательными значениями по сравнению с другими показателями; 3) коэффициент Стьюдента со степенью свободы 12 показан положительными значениями продуктивной влаги; 4) стандартная ошибка небольшая и составила: свободного члена – 0,190, влаги после посева – 0,002, влаги после уборки – 0,003, израсходованной влаги – 0,001; 5) уровень значимости по факторам варьирует от 0,009 до 0,028 по сравнению с нормативным показателем  $P < 0,05$ ; 6) множественная корреляция и коэффициент детерминации имели одинаковое значение 0,999; это положение говорит о том, что на 99,9% качественной рассчитана множественная регрессия; 7) коэффициент Фишера со степенью свободы 3,10 равнялся 13,888, что оптимально для данного уравнения; 8) рассчитанная регрессия показывала значительную взаимосвязь между факторами, так как р-уровень значимости  $< 0,006$  при стандартной ошибке оценки, которая равнялась 0,057 т с 1 га; 9) доля влияния продуктивной влаги в метровом слое почвы составляла после посева 65,335 и уборки – 5,195%; 10) израсходованная влага положительно повлияла на 39,760%. По результатам анализа таблицы видно, что основное влияние на низкую продуктивность мягкой пшеницы верхней части склона оказывали продуктивная и израсходованная влага. В малой степени отрицательное влияние на выход кормовых и кормопротеиновых единиц обеспечивала влага после уборки.

### 3. Анализ данных множественной регрессии выхода кормовых и кормопротеиновых единиц в зависимости от минимальных температур воздуха за вегетацию яровых зерновых культур и продуктивной влаги за 5 лет наблюдений

Склон	Вариант, культура	Факторы	Показатель множественной регрессии					Доля влияния фактора, %
			коэффициент			стандартная ошибка	р-уровень	
			регрессии	Стьюдента	детерминации			
Верхняя часть	II – мягкая пшеница	минимальная $t^{\circ}$ воздуха	4,45	7,83	0,95	0,57	0,00	95,33
		влага после посева	0,23	7,16	0,94	0,03	0,00	94,47
	III – ячмень	минимальная $t^{\circ}$ воздуха	4,06	3,77	0,82	1,07	0,03	82,60
Средняя часть	V – мягкая пшеница	минимальная $t^{\circ}$ воздуха	4,59	14,82	0,98	0,31	0,00	98,65
		влага после посева	0,23	10,74	0,97	0,02	0,00	97,46
	VI – ячмень	минимальная $t^{\circ}$ воздуха	4,58	5,41	0,90	0,85	0,01	90,69
Нижняя часть	VIII – мягкая пшеница	минимальная $t^{\circ}$ воздуха	4,24	5,79	0,91	0,73	0,01	91,78
		влага после посева	0,30	4,48	0,86	0,07	0,02	86,98
	IX – ячмень	минимальная $t^{\circ}$ воздуха	4,48	4,33	0,86	1,03	0,02	86,22

Примечание: в вариантах с посевами твёрдой пшеницы на всех частях склона не наблюдалась положительная зависимость от погодных факторов; во всех вариантах, кроме посевов мягкой пшеницы, не выявлена зависимость от продуктивной влаги

4. Результаты множественной регрессии для зависимой переменной: продуктивность мягкой пшеницы в четырёхпольном зернопаровом севообороте на верхней части склона за 2014–2018 гг.

У-пересечение и независимые переменные	Показатель регрессионного анализа						Доля влияния влаги, %
	коэффициент				стандартная ошибка	уровень значимости	
	бета	регрессии	дельта	Стьюдента (12)			
Свободный член	–	-12,968	–	-68,226	0,190	0,009	–
Продуктивная влага после посева, мм	0,672	0,161	0,654	67,021	0,002	0,009	65,335
Продуктивная влага после уборки, мм	0,126	0,060	-0,052	22,283	0,003	0,028	-5,195
Израсходованная влага, мм	0,422	0,035	0,398	43,438	0,001	0,015	39,760

Примечание:  $R=0,999$ ,  $R^2=0,999$ ;  $F(3, 10)=13,888$ ,  $P<0,006$ ; стандартная ошибка оценки равна 0,057 т с 1 га

Для увеличения продуктивности яровых зерновых культур рекомендуется в сельскохозяйственном производстве применять посевы на нижних частях склона за счёт наибольшего накопления запасов продуктивной влаги в чернозёмных почвах Оренбургского Зауралья.

**Выводы.** В результате исследования установлено, что продуктивность мягкой пшеницы и ячменя на верхней, средней и нижней частях склона зависела в основном от минимальных температур вегетационного периода. Выход кормовых и кормопротеиновых единиц на вариантах с мягкой пшеницей зависел от запасов продуктивной влаги после посева в отличие от других зерновых культур. В I, IV и VII вариантах с твёрдой пшеницей не наблюдалась зависимость выхода кормовой продукции от погодных факторов и влажности почвы.

### Литература

- Абдрашитов Р.Х. Технологические приёмы возделывания зерновых культур на Южном Урале. М.: Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук, 2005. 300 с.
- Насыбуллин И.И. Технологические приёмы повышения урожайности яровой твёрдой пшеницы на склонах различной экспозиции в степной зоне Оренбургского Зауралья: дис. ... канд. с.-х. наук. Оренбург, 2006. 232 с.
- Шапилова Н.А. Продуктивность и хозяйственно ценные признаки яровой мягкой и твёрдой пшеницы в условиях степи Оренбургского Зауралья: дис. ... канд. с.-х. наук. Оренбург, 2008. 191 с.
- Крючков А.Г. Параметры погодных условий и их вероятность в степи Оренбургского Зауралья // Инновационные процессы в сельскохозяйственном производстве: междунар. сб. науч. тр. Оренбург, 2008. С. 16–28.
- Крючков А.Г. Оценка ресурсов влаги для формирования продуктивности ячменя в засушливой степи Оренбургского Зауралья // Ресурсосберегающие технологии в сельскохозяйственном производстве: междунар. сб. науч. тр. Оренбург, 2010. С. 113–127.
- Крючков А.Г., Бесалиев И.Н., Панфилов А.Л. Зависимость урожайности яровой мягкой пшеницы от элементов структуры и продуктивности растений в Оренбургском Зауралье // Инновация и модернизация сельскохозяйственного производства в условиях меняющегося климата: матер. междунар. науч.-практич. конф. Оренбург, 2011. С. 234–239.
- Бискаев Н.К. Контурно-ландшафтному земледелию в Оренбуржье альтернативы нет // Научное обеспечение инновационного развития сельского хозяйства в условиях часто повторяющихся засух: матер. междунар. науч.-практич. конф. Оренбург, 2017. С. 181–190.
- Бискаев Н.К. Совершенствование почвозащитного земледелия в целинных районах Оренбуржья // Инновационные процессы в сельскохозяйственном производстве: междунар. сб. науч. тр. Оренбург, 2008. С. 115–131.
- Бискаев Н.К., Датский А.Н. Контурно-ландшафтное земледелие Оренбуржья в XXI веке // Наука и хлеб: сб. науч. тр. Оренбург, 2002. Вып. 9. С. 63–72.
- Бискаев Н.К., Хопренинов В.Д., Калиев А.Б. Почвозащитные технологии возделывания зерновых культур в целинных районах Оренбургского Зауралья // Современные технологии в сельском хозяйстве: матер. междунар. науч.-практич. конф. Оренбург, 2007. С. 276–282.