



нар Саратовского государственного университета будет создан на месте бывшего пионерлагеря «Лесная поляна».

Научные полустационарные и стационарные исследования будут направлены на решение следующих задач:

1. Инвентаризацию и оценку природно-ресурсного и рекреационного потенциала ландшафтно-экологических систем ранга урочище – водосборный бассейн 4–5-го порядков – местность.

2. Разработку и внедрение системы ландшафтно-экологического мониторинга на территории Парка и буферной зоны.

3. Организацию натуральных и дистанционных мониторинговых сезонных наблюдений за состоянием геозосистем на модельных полигонах-трансектах и всей территории Парка.

4. Оценку уровней допустимых рекреационных и хозяйственных нагрузок в различных видах и типах биогеосистем на основе данных натуральных наблюдений и имитационного моделирования.

5. Создание природоохранной геоинформационной системы НП «Хвалынский».

УДК 551.50.63

## ВЛИЯНИЕ ВЕСЕННИХ ЗАПАСОВ ПРОДУКТИВНОЙ ВЛАГИ В ПОЧВЕ И ОСАДКОВ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В ЗОНЕ ЗАСУШЛИВОЙ ЧЕРНОЗЕМНОЙ СТЕПИ

Ю.Ф. Курдюков<sup>1</sup>, М.Ю. Васильева, С.И. Пряхина

Саратовский государственный университет,  
кафедра метеорологии и климатологии  
E-mail: kafmeteo@sgu.ru

<sup>1</sup> НИИ СХ Юго-Востока, отдел земледелия и агротехники  
E-mail: raiser@mail.saratov.ru

Анализ многолетних данных позволил установить корреляционную зависимость между урожайностью зерновых культур, весенними запасами продуктивной влаги в почве и количеством осадков в отдельные периоды их роста и развития.

**Influence of Spring Provision of Productive Moisture in Soil and Precipitation on Cereal's Crop Productivity in Arid Black Earth Steppe**

**Yu.F. Kurdiukov, M.Yu. Vasilieva, S.I. Pryakhina**

Analysis of many years' data lets to determine correlation of the cereal's crop capacity with spring provision of productive moisture in soil and the precipitations quantity in different periods of the cereal's growth and development.

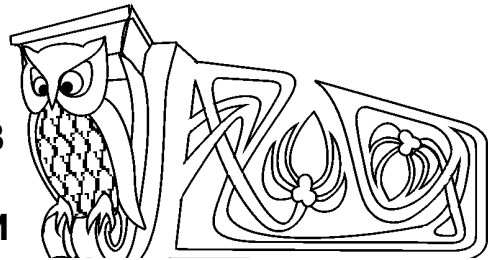
Засушливая черноземная степь Саратовского Правобережья расположена в пределах Чардымо-

6. Обсуждение с коллегами и общественностью научных результатов, полученных путем публикации и организации семинаров и конференций.

Таким образом, есть уверенность, что в работе Хвалынского национального парка появится надежная научная основа.

### Библиографический список

1. Макаров В.З., Данилов В.А. Волжская «Швейцария» – Хвалынский национальный парк: природные особенности и проблемы развития // Развитие физической географии и ландшафтной экологии в Саратовском университете: Сб. науч. тр. / Под ред. д-ра геогр. наук, проф. В.З. Макарова. Саратов, 2005. С. 85–93.
2. Технично-экономическое обоснование организации Национального природного парка «Хвалынский» Саратовской области: В 2 т. Саратов, 1995. Т. 1. Объяснительная записка. Раздел «Организация развития лесного хозяйства НП «Хвалынский». 250 с.
3. Анненская Г.Н., Видина А.А., Жучкова В.К. и др. Морфологическое изучение географических ландшафтов // Ландшафтоведение. М., 1963. С. 5–28.
4. Программа и методика биогеоценологических исследований. М., 1974. 237 с.



Курдюмского, Волго-Карамышского и Идолго-Кольшлейского физико-географических районов восточного склона Приволжской возвышенности и занимает промежуточное положение между лесостепной и сухостепной зонами.

Термический режим территории не лимитирует рост и развитие зерновых культур. Определяющее значение в формировании их продуктивности имеют атмосферные осадки, обеспечивающие создание запасов почвенной влаги и условия влагообеспеченности в период вегетации.

Проведенные исследования показали, что за последние 34 года в зоне засушливой черноземной степи гидротермический режим в 39% лет складывался по типу, характерному для лесостепной зоны (осадки более 500 мм), а в 24% лет – по типу сухой степи (осадки менее 390 мм). Большая изменчивость годовых сумм осадков приводит к неустойчивому увлажнению территории и дестабилизации в отдельные годы сельскохозяйственного производства.

Цель данной работы – анализ зависимости урожая зерновых культур от весенних запасов продуктивной влаги (ЗПВ) в метровом слое поч-



вы и количества осадков в отдельные периоды их роста и развития и возможности повышения устойчивости производства зерна. В качестве объекта исследований были выбраны зерновые культуры, относящиеся к разным экологическим группам: озимая пшеница (группа озимых), яровая пшеница (группа ранних яровых), просо (группа поздних яровых).

Основным материалом для исследований послужили данные стационарных опытов отдела земледелия ГНУ НИИСХ Юго-Востока по урожайности культур, весенним запасам продуктивной влаги в метровом слое почвы и лаборатории агрометеорологии по количеству осадков за период с 1972 по 2005 год. Статистическая обработка экспериментальных данных осуществлялась методами корреляционного и дисперсионного анализа с использованием компьютерных программ SPSS 12.0 и Microsoft Excel 2000. Степень корреляционных связей оценивалась по общей их классификации, предложенной Э.В. Ивантер и А.В. Коросовым [1]: сильная – более 0,70; средняя – от 0,50 до 0,69; умеренная – от 0,30 до 0,49; слабая – от 0,20 до 0,29; очень слабая – менее < 0,19. Оценка степени изменчивости признака (коэффициент вариации –  $C_v$ ) проводилась согласно Б.А. Доспехову [2]:  $C_v < 10\%$  – незначительная;  $10\% < C_v < 20\%$  – средняя;  $C_v > 20\%$  – значительная.

Методом корреляционного анализа было установлено, что зависимость между урожайностью зерновых культур и агроклиматическими величинами не всегда носят линейный характер. В таких случаях рассчитываются не коэффициенты линейной корреляции ( $r$ ), а значения корреляционных отношений ( $\eta$ ). Корреляционное отношение  $\eta$  является общим показателем тесноты связи любой формы. В случае линейной связи корреляционное отношение и коэффициент линейной корреляции по величине близки. Кроме того, корреляционное отношение в отличие от коэффициента корреляции всегда имеет положительное значение и лежит в пределах  $0 \leq \eta \leq 1$  [3].

Засушливая черноземная степь в климатическом отношении отличается значительными колебаниями весенних запасов продуктивной

влаги (ЗПВ) в метровом слое почвы. Наименьшие колебания их наблюдаются в период весеннего возобновления вегетации (2-я декада апреля) под озимой пшеницей –  $C_v = 0,14 \pm 0,02$ , наибольшие – в посев яровой пшеницы (3-я декада апреля) –  $C_v = 0,18 \pm 0,02$  и проса (3-я декада мая) –  $C_v = 0,19 \pm 0,05$ . Таким образом, изменчивость весенних ЗПВ в метровом слое почвы под озимой пшеницей значительно меньше (14%), чем изменчивость в посев яровой пшеницы и проса (18–19%).

Исследование динамики продуктивной влаги (ПВ) в метровом слое почвы под зерновыми культурами показало, что весенние запасы воды под озимой пшеницей в среднем на 7–9% выше, чем под яровой пшеницей и просом. Это объясняется тем, что они создаются не только осадками холодного периода, но и влагой, содержащейся в почве парового поля после посева озимой пшеницы. По средним многолетним данным в метровом слое почвы в период возобновления вегетации озимой пшеницы (2-я декада апреля) содержится 153 мм весенних ЗПВ, в посев яровой пшеницы (3-я декада апреля) – 142 мм, на начало сева проса (3-я декада мая) – 139 мм, что и составляет около 30% годовой суммы осадков. Таким образом, при одинаковом количестве выпавших осенне-зимних осадков запасы ПВ в метровом слое почвы под исследуемыми культурами неодинаковы. В 83% лет величина ПВ уменьшалась от весеннего возобновления вегетации озимой пшеницы к моменту сева проса, и только в 17% случаев выпавшие весенние осадки смогли незначительно повысить ее количество.

Расчет вероятности лет с различным весенним увлажнением почвы показал, что наилучшие условия складываются для озимой пшеницы – 47% лет с запасами более 150 мм. Для яровой пшеницы и проса вероятность таких лет снижается на 11 и 16% соответственно и возрастает число лет с запасом ПВ менее 100 мм (табл. 1). Следует отметить, что если в годы с весенними запасами влаги в почве меньше 100 мм урожай яровой пшеницы катастрофически низкий – 0,1–0,26 т/га, то просо в такие годы дает в среднем 1,62 т/га.

Таблица 1

Вероятность, %, лет с различным весенним увлажнением в метровом слое почвы под зерновыми культурами

Культура	> 200 мм	150÷200 мм	100÷150 мм	< 100 мм
Озимая пшеница	3	44	53	0
Яровая пшеница	0	36	58	6
Просо	0	31	61	8

Была проведена сравнительная оценка полученной вероятности весенних ЗПВ в метровом слое почвы с данными прошлых лет [4], которая показала, что за последние 33 года произошли существенные изменения в накоплении весенних запасов влаги в почве. Так, например, уменьшилось число лет с возможными весенними запасами

более 200 мм до 1% и запасами менее 100 мм до 5%. Увеличилась вероятность лет с достаточными для зерновых культур запасами почвенной влаги от 150 до 200 мм до 37% и запасами от 100 до 150 мм до 57%. Несмотря на это, в 62% лет ЗПВ в почве весной не достигают значений наименьшей полевой влагоемкости (НПВ) – 170 мм (табл.2).



Таблица 2

Динамика вероятности, %, лет с различным весенним увлажнением в метровом слое почвы

Периоды	> 200 мм	150÷200 мм	100÷150 мм	< 100 мм
По П.Г. Кабанову (1891–1972 гг.)	10	23	49	18
1973–2005 гг.	1	37	57	5
Отклонение	–9	+14	+8	–13

По мнению П.Г. Кабанова [4], осенне-зимние осадки хорошо сохраняются в почве и являются резервным фондом на случай атмосферных засух для всех зерновых культур. В годы с атмосферной засухой корневая система благодаря увлажнению глубинных слоев почвы может поставлять наземным частям растений воду и тем самым снижать риск повреждения посевов в период высокого напряжения транспирации.

Е.С. Улановой [3] для зоны недостаточного летнего увлажнения Украины и Северного Кавказа было установлено, что между ЗПВ в почве и урожайностью зерновых культур существует тесная зависимость, которая может носить как линейный

( $r = 0,86 \pm 0,03$ ), так и нелинейный ( $\eta = 0,73 \pm 0,06$ ) характер. Для выяснения характера зависимости между этими величинами в зоне черноземной степи были рассчитаны коэффициенты линейной корреляции ( $r$ ) и корреляционные отношения ( $\eta$ ). Теснота линейной связи для озимой пшеницы и проса ( $r = 0,212$  и  $r = 0,290$  соответственно) оценивается как слабая, для яровой пшеницы ( $r = 0,326$ ) – умеренная. Найденные корреляционные отношения показали более тесную связь между урожайностью культур и весенними ЗПВ в слое почвы 0–100 см в период отрастания озимой пшеницы ( $\eta = 0,286$ ), в посев яровой ( $\eta = 0,504$ ) и проса ( $\eta = 0,351$ ) (табл.3).

Таблица 3

Корреляционная зависимость между весенними ЗПВ в слое 0–100 см и урожайностью зерновых культур

Культура	Коэффициент линейной корреляции	Погрешность ( $\pm\sigma_r$ )	Корреляционное отношение	Погрешность ( $\pm\sigma_\eta$ )
Озимая пшеница	0,212	0,16	0,286	0,16
Яровая пшеница	0,326	0,15	0,504*	0,13
Просо	0,290	0,16	0,351	0,15

\* Уровень значимости – 0,05.

В случае озимой пшеницы исследуемые связи, как линейные, так и нелинейные, получились слабыми и статистически незначимыми. Это можно объяснить тем, что в годы исследований (1974–2005 гг.) урожай озимой пшеницы в большей степени определяли осенние и весенне-летние условия вегетации, а не весенние ЗПВ в метровом слое почвы.

В отличие от озимой пшеницы, средняя и значимая теснота связи между урожайностью яровой пшеницы и весенними ЗПВ влаги в метровом слое почвы обнаруживается вполне уверенно. Однако, несмотря на то что корреляционное отношение превышает стандартное отклонение почти в 4 раза и является статистически значимым, стандартные отклонения самих исследуемых величин велики (стандартное отклонение урожайности яровой пшеницы –  $\sigma = 0,822 \pm 0,10$ , весенних ЗПВ в метровом слое почвы –  $\sigma = 24,80 \pm 4$ ). Поэтому использовать величину весенних запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы в качестве предиктора урожайности яровой пшеницы для зоны засушливой черноземной степи не представляется возможным. Даже при одинаковых весенних ЗПВ в метровом слое почвы 150–152 мм в зависимости от последующих агрометеорологических условий роста и развития яровой пшеницы

мы можем получить урожай и 1,05 т/га (2000 г.), и 2,56 т/га (1982 г.).

У проса зависимость урожайности от весенних ЗПВ в почве по сравнению с яровой пшеницей снижается в 1,4 раза, но остается в 1,2 раза выше, чем у озимой пшеницы.

В засушливые годы вследствие быстрого (в течение 7–10 дней) иссушения верхнего слоя 0–3 см узловые корни яровых зерновых культур не образуются или имеют слабое развитие. В результате на фоне высоких весенних запасов почвенной влаги получают низкую урожайность. Отсюда и невысокая связь урожайности культур с запасами влаги.

Другим фактором, определяющим влагообеспеченность посевов зерновых культур в зоне засушливой черноземной степи, являются осадки.

Среднегодовая сумма осадков за период с 1972 по 2005 г. составила 487 мм, с колебаниями по годам от 290 до 654 мм. Степень их изменчивости значительная – 23% ( $Cv = 0,23 \pm 0,03$ ). Годы с недостаточным увлажнением (менее 400 мм), как и годы с высоким (более 600 мм), имели одинаковую повторяемость – 24%.

Амплитуда колебания урожайности зерновых культур по годам не менее высокая, чем осадков.



Так, при средней урожайности озимой пшеницы в 3,38 т/га ее изменчивость составляет 38% ( $C_v = 0,38 \pm 0,05$ ,  $\sigma = 1,28 \pm 0,16$ ). При средней урожайности яровой пшеницы 1,56 т/га ее колебание возрастает до 53% ( $C_v = 0,53 \pm 0,06$ ,  $\sigma = 0,822 \pm 0,1$ ). Вариабельность урожайности проса такая же, что и озимой пшеницы: при средней урожайности 2,25 т/га она составляла 40% ( $C_v = 0,4 \pm 0,05$ ,  $\sigma = 0,964 \pm 0,12$ ). Таким образом, в черноземной степи урожайность озимой пшеницы и проса более устойчивая, чем яровой пшеницы.

Для выявления периодов вегетации, в которые осадки в большей степени оказывают влияние на формирование урожая, были построены корреляционные матрицы зависимости урожайности от осадков (табл.4). При этом осадки апреля рассматривались от момента весеннего возобновления вегетации озимых культур, т.е. от перехода средней суточной температуры через  $+5^\circ\text{C}$ .

Установлено, что наиболее тесная связь урожайности озимой пшеницы с осадками, хотя и статистически незначимая, наблюдается с апреля по май ( $\eta = 0,389 \pm 0,15$ ). При этом наибольший вклад в формирование урожая вносят осадки мая ( $\eta = 0,341 \pm 0,15$ ). В целом за период весенне-летней вегетации с апреля по июль теснота связи оценивается как умеренная ( $\eta = 0,375 \pm 0,15$ ). Найти устойчивые связи только между осадками и урожайностью озимой пшеницы не удастся из-за большего, чем у яровых культур, числа факторов, определяющих продуктивность данной культуры.

У яровой пшеницы максимальная, статистически значимая величина корреляции урожайности с выпадающими осадками обнаруживается в мае–июле ( $\eta = 0,653 \pm 0,10$ ). Наибольший вклад в формирование урожая вносят осадки мая и июня ( $\eta = 0,593 \pm 0,11$ ). Устойчивая средняя по тесноте связь сохраняется практически весь период вегетации ( $\eta = 0,540 \pm 0,12$ ).

Таблица 4

Корреляция между суммой осадков,  $\Sigma P$ , и урожайностью зерновых культур

Сумма осадков	Озимая пшеница	$\pm\sigma$	Яровая пшеница	$\pm\sigma$	Просо	$\pm\sigma$
$\Sigma P_{IV}$	0,220	0,16	0,216	0,16	–	–
$\Sigma P_V$	0,341	0,15	0,461	0,14	0,646*	0,10
$\Sigma P_{VI}$	0,218	0,16	0,522*	0,12	0,511*	0,13
$\Sigma P_{VII}$	0,083	0,17	0,283	0,16	0,185	0,17
$\Sigma P_{VIII}$	–	–	0,230	0,16	0,086	0,17
$\Sigma P_{IV-V}$	0,389	0,15	0,446	0,14	–	–
$\Sigma P_{IV-VI}$	0,382	0,15	0,523*	0,12	–	–
$\Sigma P_{IV-VII}$	0,375	0,15	0,640*	0,10	–	–
$\Sigma P_{IV-VIII}$	–	–	0,631*	0,10	–	–
$\Sigma P_{V-VI}$	0,320	0,15	0,593*	0,11	0,693*	0,09
$\Sigma P_{V-VII}$	0,261	0,16	0,653*	0,10	0,657*	0,10
$\Sigma P_{V-VIII}$	–	–	0,613*	0,11	0,636	0,10
$\Sigma P_{VI-VII}$	0,179	0,17	0,523	0,12	0,377	0,15
$\Sigma P_{VI-VIII}$	–	–	0,540*	0,12	0,388	0,15
$\Sigma P_{VII-VIII}$	–	–	0,269	0,16	0,089	0,17

\* Значимость на 5-процентном уровне.

Относительно высокие, статистически значимые коэффициенты получены при расчете взаимной корреляции урожайности проса с суммой осадков мая–июня ( $\eta = 0,693 \pm 0,09$ ), в основном за счет осадков мая ( $\eta = 0,646 \pm 0,10$ ) и июня ( $\eta = 0,511 \pm 0,13$ ). Величина корреляции за весь вегетационный период (май–август) составила  $\eta = 0,636 \pm 0,10$ . Поскольку сроки посева проса – 3-я декада мая, то связь урожая проса с осадками предшествующего посеву периода можно объяснить их аккумуляцией в пахотном слое и положительным воздействием на элементы

продуктивности I и II этапов органогенеза: полевою всхожесть, габитус растений, кустистость. Сравнимая коэффициенты корреляции, полученные для яровой пшеницы, с коэффициентами, рассчитанными для проса, можно отметить, что зависимость урожайности проса от осадков близка к яровой пшенице.

Анализ зависимостей, выраженных через корреляционное отношение, позволил выделить периоды, в которые выпавшие осадки в наибольшей степени оказывают влияние на формирование урожая. Для озимой пшеницы – это осадки в



апреле–мае, для яровой пшеницы – в мае–июне, для проса – в мае–июне. На урожайность всех трех культур оказывают влияние осадки мая. В последние годы они имеют устойчивую тенденцию к снижению, хотя и в пределах климатической нормы. Изменчивость их по годам очень высокая – 76% ( $C_v = 0,76 \pm 0,09$ ), как и стандартное отклонение  $\sigma = 28 \pm 3$  мм. Практически отсутствует связь осадков августа с продуктивностью яровой пшеницы и проса.

На основании вышеизложенного были рассмотрены среднемноголетние суммы осадков по группам лет с разным уровнем продуктивности культур: урожайные (урожайность > 120% тренда), среднеурожайные (80–120% тренда) и неурожай-

ные (< 80% тренда). Так, в урожайные годы для озимой и яровой пшеницы в основном наблюдается превышение суммы осадков над средними многолетними значениями в среднем на 22–25%. Для формирования высокого урожая проса достаточно, чтобы количество осадков за май–июнь соответствовало средней многолетней величине – 122 мм. В неурожайные для озимой и яровой пшеницы годы отмечается недобор осадков до средней многолетней величины в среднем на 26–28%. Низкие урожаи проса получают в годы с количеством осадков в мае–июне ниже среднего многолетнего значения на 61%. С одной стороны, просо отзывчиво на осадки, а с другой, – потребность в них ниже, чем у яровой пшеницы (табл.5).

Таблица 5

Количество осадков в отдельные периоды весенне-летней вегетации зерновых культур в годы с разным уровнем урожайности, мм

Период (культура)	Средняя многолетняя сумма осадков	Урожайные	Среднеурожайные	Неурожайные
Апрель–май (озимая пшеница)	57	71	54	41
Май–июль (яровая пшеница)	139	170	139	103
Май–июнь (просо)	122	122	91	47

Несмотря на то что корреляционная зависимость между урожайностью и осадками в весенне-летний период вегетации культур оценивается как умеренная (озимая пшеница) и средняя (яровая пшеница, просо), их влияние на формирование урожая в зоне засушливой черноземной степи существенно. Значительные колебания осадков по годам, неравномерное их распределение в течение вегетационного периода и сложность прогнозирования были и остаются основным лимитирующим фактором в получении стабильных урожаев зерновых культур в природной зоне.

Анализ результатов исследований свидетельствует, что при создающихся в черноземной степи весенних запасах почвенной влаги в почве уровень урожайности зерновых культур разных экологических групп (озимых, ранних и поздних яровых) определяют условия влагообеспеченности, которые складываются в весенне-летний период (у озимых дополняются условиями осени и зимовки).

По сравнению с ранними зерновыми культурами ( $C_v = 0,53 \pm 0,06$ ) меньшую вариабельность

урожайности по годам имеют озимые ( $C_v = 0,38 \pm 0,05$ ) и поздние ( $C_v = 0,40 \pm 0,05$ ).

Наиболее тесную связь урожайность озимой пшеницы имеет с осадками в апреле – мае, яровой пшеницы и проса – в мае – июне.

Повышению урожайности зерновых культур может способствовать сохранение влаги в почве при прохождении I и II этапов органогенеза и рациональное ее использование. Последнее достигается возделыванием в севооборотах озимых и поздних яровых культур, отличающихся меньшей изменчивостью урожайности по годам.

#### Библиографический список

1. Сидоренко Е.В. Методы математической обработки в психологии. СПб., 2000. 350 с.
2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М., 1985. 351 с.
3. Уланова Е.С., Забелин В.Н. Методы корреляционного и регрессионного анализа в агрометеорологии. Л., 1990. 207 с.
4. Кабанов Г.П. Погода и поле. Саратов, 1975. 238 с.