ИССЛЕДОВАНИЯ НОРМИРОВАНИЯ ОРОШЕНИЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ РАСЧЕТНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ПО ДЕФИЦИТУ ВОДНОГО БАЛАНСА ЗОНЫ НЕДОСТАТОЧНОГО И НЕУСТОЙЧИВОГО УВЛАЖНЕНИЯ

46

АБДРАЗАКОВ Фярид Кинжаевич, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

ЗАТИНАЦКИЙ Сергей Викторович, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

МИХЕЕВА Ольга Валентиновна, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

СЕРЕБРЕННИКОВ Федор Васильевич, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

В статье рассмотрено назначение режимов орошения с использованием доступных влагозапасов с учетом разнородности грунтов. Учет гетерогенности почв позволит снизить расход воды при сохранении урожайности культуры.

Введение. В настоящее время в Российской Федерации при производстве растениеводческой сельскохозяйственной продукции в условиях орошаемого земледелия основное внимание уделяют возделыванию кормовых культур. Для сохранения высокой культуры земледелия в состав орошаемых севооборотов включены зерновые культуры.

Саратовская область является одной из ведущих при выращивании зерновых культур, в частности озимой пшеницы.

Проблема получения высоких, устойчивых урожаев решается по многим направлениям, главным из которых является создание оптимальных условий для роста и развития растений [3]. При решении задач гарантированного производства зерна, это возможно в условиях орошаемого земледелия Поволжья и в частности при возделывании озимой пшеницы.

Целью исследования является установление оптимального режима орошения озимой пшеницы для условий Саратовской области на основе создания водосберегающих режимов орошения, где критерием оценки предполивной влажности расчетного слоя почвы являются доступные влагозапасы [3].

Данная методика позволяет вести производство озимой пшеницы при высокой ее

урожайности, одновременно оптимизируя количество поливной воды, что очень ценно, т.к. перерасход поливной воды сильно повышает стоимость полученного зерна.

Под оптимизацией водного режима почв и влагообеспеченности растений в настоящее время подразумевается такая система водно-мелиоративных мероприятий, которая обуславливает получение рациональных экономически обоснованных урожаев сельскохозяйственных культур. На практике решение данной задачи, как правило, сводится к двум моментам: определению оптимального интервала влажности почвы и поддержанию оптимума увлажнения в течение всего периода вегетации.

Растения могут нормально развиваться и максимально производить полезную продукцию только при условии оптимального содержания почвенной влаги и элементов питания.

Растения всех культур после использования запасов доступной влаги вступают в состояние устойчивого завядания, что отмечается примерно при полуторном или несколько большем уровне максимальной гигроскопичности, когда сосущая сила почвы и корневой системы растений уравнивается. Такое количество воды в почве называют коэффициентом завядания, или влажностью устой-

чивого завядания. Отношение влажности завядания к максимальной гигроскопичности колеблется по многочисленным определениям от 1 до 3 и в подавляющем большинстве случаев равняется 1,3–1,5. В агрометслужбе принят коэффициент 1,34.

Активная, или продуктивная, вода доступна для растений в разной мере и находится в прямой зависимости от содержания ее в почве.

Установлено, что при отсутствии в почве доступной влаги, даже несмотря на высокое увлажнение воздуха, появляющееся устойчивое завядание растений (потеря тургора) в связи с водным дефицитом не восстанавливается и ночью. Транспирация у таких растений, рост и другие физиологические процессы резко снижаются.

Влажность почвы в пределах зоны корневой системы колеблется в некотором интервале. Однако практически при подаче в почву больших количеств воды газообмен между нею и атмосферным воздухом ухудшается, корневые системы начинают страдать от недостатка кислорода и накопления в почве восстановленных соединений, что ведет к снижению урожая. Допустимый максимум увлажнения почвы у растений различается в связи с неодинаковыми их требованиями к условиям аэрации. В условиях колебания влажности почвы, характеризующей ППВ (предельно полевая влагоемкость), содержание почвенного воздуха также сильно изменяется в пределах от оптимального (15–20 % при НВ (наименьшая влагоемкость)) до ничтожно малых значений при ПВ (полная влагоемкость). По сравнению с ППВ, категория НВ имеет достаточно обоснованную физическую величину. Таким образом, правильнее было бы использовать в качестве верхней границы оптимальной влажности почвы величину наименьшей влагоемкости – наибольшее

количество подвешенной влаги, содержащейся в данном слое почвы при свободном оттоке избытка воды, поскольку при данной категории влаги обычно наблюдается оптимальное соотношение воды и воздуха.

Наименьшая влагоемкость (НВ) — это наибольшее количество влаги, которое может удержать определенная почва. Данной влажности соответствует наименьшее насыщение почвы, создающееся при свободном оттоке избыточной влаги. Если почвенно-грунтовую толщу с влажностью, несколько превышающей максимальную гигроскопичность, постепенно подпитывать водой, то она будет впитываться в нее, и в верхней части начнет накапливаться подвешенная вода. При этом заполняются не все поры, а лишь их часть и тем меньшая, чем легче почва по гранулометрическому составу, но для данной почвы совершенно определенная. И как только соответствующая предельная влажность в данном почвенном слое будет достигнута, дальнейшие порции воды начнут стекать в нижележащие слои, увеличивая глубину промачивания. Влагy в почве при наименьшей влагоемкости называют подвешенной, так как при любой норме полива под промоченным слоем сохраняется сухой слой при глубоком залегании уровня грунтовых вод (что характерно для района исследования). Влага в промоченном слое, как бы «висит», не стекая, в почвенной толще над сухим слоем. При близком к поверхности уровне грунтовых вод в почве может сохраняться и некоторое количество капиллярно-подпертой влаги. В этом случае влажность почвы соответствует «предельно полевой влагоемкости» (ППВ), которая всегда выше, чем наименьшая влагоемкость. Предельно полевая влагоемкость обычно определяется для условий сравнительно высокого стояния

Таблица 1

Водно-физические свойства участка исследований

Слой, см	Тип грунта вслое почвы	Плотность, г/см ³	Влажность почво-грунтов, НВ, %	ВЗ
0–10	Глина	1,26	30,50	13,30
10–20	Глина	1,23	31,10	13,20
20–30	Суглинок	1,31	28,30	13,40
30–40	Суглинок	1,36	23,70	13,70
40–50	Супесь	1,38	22,60	13,60
50–60	Супесь	1,40	20,70	13,50
Среднее значение		1,32	26,17	13,45

влаги в исследуемых слоях почвы (обычно до трех метров от поверхности). На содержание влаги при ППВ оказывают влияние подпитка и подпор со стороны грунтовых вод, а также подпор и подпитывание верховодкой, образующейся на контактах слоев почв различного механического состава и разной плотности. Поэтому содержание влаги в пределах этой категории может изменяться от НВ (для условий залегания грунтовых вод более 3 м и литологической однородности почвенного профиля) до полной влагоемкости (ПВ) (при высоком уровне грунтовых вод — выше 0,1 м).

Методика исследований. Существует два подхода к назначению поливных норм: эмпирический и аналитический.

При эмпирическом методе нормы, сроки и число поливов принимают по рекомендациям научно-исследовательских учреждений и проектных институтов, которые даются для определенных конкретных почвенно-мелиоративных районов.

Аналитический метод определения поливной нормы можно разделить на два подхода: с использованием значений наименьшей влагоемкости (формула А.Н. Костякова); с использованием доступных влагозапасов.

Формула А.Н. Костякова в настоящее время используется чаще всего. Однако недостатками данного метода являются узкая привязанность к конкретному полю, необходимость определения наименьшей влагоемкости для расчетного слоя почвы, а следовательно, привязанность к типу, сложению и гранулометрическому составу почвы, сложность однозначного выбора величины предполивной влажности.

Численный эксперимент проводили для соответствующих годов 25, 50, 75 и 95 % обеспеченности по дефициту водного баланса. Для этого были использованы данные почвенных условий территории, расположенной на Марковском участке Комсомольской оросительной системы.

Посев озимой пшеницы осуществляют обычно конце августа, сроки могут быть сдвинуты на начало сентября, сбор урожая производят в июле. Вегетационный период колеблется от 94 до 125 дней в зависимости от метеорологических условий года. В работе не рассматривали осенний период, исследования проводили в сроки от фазы весеннего кущения до фазы полной спелости культуры.

Рассмотрен участок с выраженной гетерогенностью почвогрунта. В табл. 1 [4] приведен гранулометрический состав метрового слоя почвы, где показана явная смена слоя почвы от легких глин до супесей.

Почвогрунты участка — темно- каштановые тяжелосуглинистые. Наименьшая влагоемкость составляет 30,4–16,6 % от массы абсолютно сухой почвы. Плотность твердой фазы 2,69–2,79 г/см³, плотность почвы 1,24–1,38 г/см³. Максимальная гигроскопичность — 9,95–11,01 % от массы абсолютно сухой почвы. Наибольший запас доступной влаги при влажности равной НВ и ПВ — 125,4 мм водяного слоя. Грунтовые воды залегают на глубине до 15 м в мелкозернистых кварцевых песках. Минерализация их изменяется от 0,3 до 0,7 г/л гидрокарбонатно-кальциевого типа. Влиянием грунтовых вод можно пренебречь вследствие их глубокого залегания.

Рассмотрим сравнение двух применяемых подходов, по которым можно рассчитать поливную норму сельскохозяйственных культур.

Расчетная величина поливной нормы, определяемая по зависимости, предложенной А.Н. Костяковым, имеет вид

$$m_{nt} = W_{FC} - W_{cr} = 100 \gamma h_w (\omega_{FC} - \omega_{cr}), \quad (1)$$

где m_{nt} — расчетная поливная норма, м³/га; W_{FC} — запасы влаги соответствующие наименьшей влагоемкости в расчетном слое почвы, м³/га; W_{cr} — запасы влаги, соответствующие предполивной влажности в расчетном слое почвы;

Таблица 2

Значения статистических характеристик изменчивости ряда

Среднеарифметическое значение членов ряда	304,05
Среднеквадратичное отклонение	65,93
Коэффициент вариации C_v	0,22
Коэффициент асимметрии C_s	0,43

Кривая обеспеченности дефицитом водного баланса с наложением реальных лет

γ – плотность сложения почвы расчетного слоя, т/м³ или г/см³; h_w – расчетный слой увлажнения почвы, м; ω_{FC} , ω_{cr} – влажность почвы, соответствующая наименьшей влагоемкости и предполивной влажности, % массы.

Значение поливной нормы по доступным влагозапасам представлено в следующем виде:

$$m_{nt} = 100\gamma h_w (1 - \beta_{PWP}) (\omega_{FC} - \omega_{pwp}), \quad (2)$$

где γ – плотность сложения почвы, г/см³; h_w – мощность расчетного слоя почвы, м; β_{PWP} – коэффициент, определяющий границу предполивной влажности почвы; ω_{FC} – влажность, соответствующая наименьшей влагоемкости, % массы; ω_{pwp} – влажность завядания, % массы.

Коэффициент, определяющий предполивную влажность почвы, определяется по следующей зависимости:

$$\begin{aligned} \beta_{PWP} &= \frac{W_{cr} - W_{PWP}}{W_{FC} - W_{PWP}} = \frac{100\gamma h_w \omega_{cr} - 100\gamma h_w \omega_{pwp}}{100\gamma h_w \omega_{FC} - 100\gamma h_w \omega_{pwp}} = \\ &= \frac{\omega_{cr} - \omega_{pwp}}{\omega_{FC} - \omega_{pwp}}, \end{aligned} \quad (3)$$

где W_{cr} – влагозапасы в расчетном слое почвы при предполивной влажности, м³/га; W_{pwp} – влагозапасы в расчетном слое почвы, соответствующие влажности завядания; $(W_{FC} - W_{pwp})$ – доступные влагозапасы.

Данная зависимость позволяет осуществлять нормирование орошения сельскохозяйственных культур исходя из доступных влагозапасов, сохраняя при этом дифференциацию режима орошения по влажности почвы и расчетному слою ее увлажнения [2].

Результаты исследований. Проведены исследования сравнения формулы А.Н. Костякова и расчета поливной нормы по доступным влагозапасам с целью определения норм полива для почв, имеющих высокую гетерогенность [5]. Для определения расчетного режима орошения озимой пшеницы использовали данные 38-летнего периода. Расчет по обоим подходам проводили для слоя 0–60 см и по слоям через каждые 10 см. Выбор расчетного года проводили по обеспеченности дефицитом водного баланса, определяемого как разность между водопотреблением E и осадками Pe за расчетный период (за расчетный принят период от фазы весеннего кущения до полной спелости). Водопотребление рассчитывали на основе метеорологических данных за рассматриваемый промежуток времени. Метеоданные предоставлены метеостанцией г. Маркс. Водопотребление рассчитывали по методу А.С. и С.М. Алпатьевых.

Значение теоретической кривой обеспеченности дефицита водного баланса определяли по следующей зависимости:

$$y = y_0 (\Phi C_v + 1), \quad (4)$$

где y_0 – среднеарифметическое значение ряда

$$y_0 = \frac{\sum y_i}{N}; \quad (5)$$

Φ – модульный коэффициент по С.И. Рыбкину [5]; C_v – коэффициент вариации:

$$C_v = \frac{\sigma}{y_0}, \quad (6)$$

где σ – среднее квадратичное отклонение:

Значения поливных и оросительных норм для лет расчетной обеспеченности (25, 50, 75, 95 %) по дефициту водного баланса, м³/га

Период вегетации	Фазы вегетации	По А.Н. Костякову		По доступным влаго- запасам		Расчетная вели- чина обеспечен- ности по ДВБ
		по слоям	слой 0-60 см	по слоям	слой 0-60 см	
Год 25%-й обеспеченности по ДВБ						
10.04–20.04	Кущение	0	0	0	0	24,6 %
20.04–30.04	Трубкавание	0	0	0	0	
1.05–10.05	Трубкавание	0	0	0	0	
10.05–20.05	Колошение	515	414	364	403	24,6 %
20.05–31.05	Колошение	0	0	0	0	
1.06–10.06	Колошение	515	414	364	403	
10.06–20.06	Цветение	0	0	0	0	
20.06–30.06	Созревание	0	0	473	504	
1.07–10.07	Созревание	636	518	0	0	
10.07–20.07	Созревание	0	0			
Оросительная норма		1665	1347	1201	1309	
Год 50%-й обеспеченности по ДВБ						
10.04–20.04	Кущение	0	0	0	0	49,4 %
20.04–30.04	Трубкавание	0	0	0	0	
1.05–10.05	Трубкавание	0	0	364	0	
10.05–20.05	Колошение	515	414	0	403	
20.05–31.05	Колошение	515	414	364	403	
1.06–10.06	Колошение	515	414	364	403	
10.06–20.06	Цветение	0	0	0	0	
20.06–30.06	Созревание	0	518	473	504	
1.07–10.07	Созревание	636	0	0	0	
10.07–20.07	Созревание	0				
Оросительная норма		2180	1762	1565	1712	
Год 75%-й обеспеченности по ДВБ						
10.04–20.04	Кущение	0	0	0	0	74,6 %
20.04–30.04	Трубкавание	0	0	0	0	
1.05–10.05	Трубкавание	515	414	364	403	
10.05–20.05	Колошение	0	414	364	403	
20.05–31.05	Колошение	515	414	364	403	
1.06–10.06	Колошение	0	0	0	0	
10.06–20.06	Цветение	515	414	364	403	
20.06–30.06	Созревание	0	0	0	0	
1.07–10.07	Созревание	636	518	473	504	
10.07–20.07	Созревание	0	0	0	0	
Оросительная норма		2180	2176	1929	2115	
Год 95%-й обеспеченности по ДВБ						
10.04–20.04	Кущение	0	0	0	0	93,2 %
20.04–30.04	Трубкавание	0	0	0	0	
1.05–10.05	Трубкавание	0	414	364	403	
10.05–20.05	Колошение	515	0	364	0	
20.05–31.05	Колошение	515	414	364	403	
1.06–10.06	Колошение	515	414	364	403	
10.06–20.06	Цветение	515	414	364	403	
20.06–30.06	Созревание	0	518	473	504	
1.07–10.07	Созревание	636	518		504	
10.07–20.07	Созревание	0	0	0	0	
Оросительная норма		2695	2694	2293	2619	

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (y_i - y_0)}{N - 1}}. \quad (7)$$

Коэффициент асимметрии рассчитывали по следующей зависимости:

$$C_s = 2C_v. \quad (8)$$

Расчетные значения статистических характеристик изменчивости ряда представлены в табл. 2.

После расчета статистических параметров построена теоретическая кривая обеспеченности дефицитом водного баланса, на которую были нанесены средние за период значения дефицита водного баланса в убывающем порядке.

Года, соответствующие 25, 50, 75 и 95 % обеспеченности, были определены, используя кривую обеспеченности дефицитом водного баланса (см. рисунок).

Расчетные режимы орошения для лет различной обеспеченности представлены в табл. 3:

При рассмотрении данных табл. 3 можно сделать следующие выводы:

если рассматривать слой 0-60 см в целом, то обе формулы дают практически одинаковые результаты;

если учесть гетерогенность почвенного профиля, то формула А.Н. Костякова дает определенную погрешность в среднем на 350 м³/га, погрешность расчета по доступным влагозапасам колеблется от 100 до 200 м³/га.

Заключение. В сложившейся в настоящее время экономической ситуации, когда у хозяйств ограниченное количество денежных средств, а стоимость поливной воды довольно высокая, одним из путей решения является

водосбережение. Учет гетерогенности почвогрунтов позволит снизить расход воды при сохранении урожайности культуры [1, 6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геоинформационная база данных управления орошением земель Марковского района Саратовской области / В.А.Шадских [и др.] // Научная жизнь. – 2015. – № 1. – С. 82–93.
2. Инструкция по оперативному планированию поливов сельскохозяйственных культур. – Киев: УкрНИИГиМ, Укргипроводхоз, 1982. – 66 с.
3. Михеева О.В. Построение динамики влажности на темно-каштановых почвах Саратовского Заволжья с помощью модели SWAP // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2007. – № 3. – С. 72–73.
4. Михеева О.В. Совершенствование нормирования водосберегающих режимов орошения озимой пшеницы в условиях Саратовского Заволжья: автореф. дис.... канд. техн. наук. – Саратов, 2005.
5. Панферова Н.И., Решеткина Н.М. Экологические принципы регулирования гидрогеохимического режима орошаемых земель. – СПб., 1995. – 360 с.
6. <http://hitagro.ru/oroshenie-pshenicy/>.

Абдразаков Фярид Кинжаевич, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Строительство, теплогазоснабжение и энергообеспечение», Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова. Россия.

Затинацкий Сергей Викторович, канд. техн. наук, проф. кафедры «Строительство, теплогазоснабжение и энергообеспечение», Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова. Россия.

Михеева Ольга Валентиновна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительство, теплогазоснабжение и энергообеспечение», Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова. Россия.

Серебренников Федор Васильевич, д-р техн. наук, проф. кафедры «Мелиорация, рекультивация и охрана земель», Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова. Россия.

410056, г. Саратов, ул. Советская, 60.

Тел.: (8452) 74-96-29; e-mail: abdrzakov.fk@mail.ru

Ключевые слова: режим орошения; озимая пшеница; доступные влагозапасы.

STUDY OF NORMALIZATION OF IRRIGATION OF WINTER WHEAT OF ESTIMATED FREQUENCY ON DEFICIENCY OF WATER BALANCE IN THE ZONE OF INSUFFICIENT AND UNSTABLE MOISTURE

Abdrzakov Fyarrid Kinzhayevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the chair "Construction, Heat and Gas Supply and Energy Supply", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Zatinatskiy Sergey Viktorovich, Candidate of Technical Sciences, Professor of the chair "Construction, Heat and Gas Supply and Energy Supply", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Mikheeva Olga Valentinovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Construction, Heat and Gas Supply and Energy Supply", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Serebrennikov Fedor Vasilyevich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the chair "Amelioration, Recultivation and Land Protection", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Keywords: irrigation regime; winter wheat; available moisture reserves.

The article describes the purpose of irrigation regimes with the use of available moisture reserves, taking into account the heterogeneity of soils. Reducing water consumption while maintaining crop yield is possible if take into account the heterogeneity of the soil.