

АГРОИНЖЕНЕРИЯ

4.3.1. Технологии, машины и оборудование
для агропромышленного комплекса

Научная статья
УДК 631.67
doi: 10.28983/asj.y2024i6pp110-116

**Исследование применимости методов расчета поливных норм
в условиях гетерогенности почвенного профиля**

**Ольга Валентиновна Михеева, Елена Николаевна Миркина,
Светлана Сергеевна Орлова, Татьяна Анатольевна Панкова**

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова,
г. Саратов, Россия

e-mail: omuk@inbox.ru

Аннотация. В статье рассмотрен пример расчет поливных норм с использованием доступных влагозапасов для однородных и неоднородных типов почв, показана его применимость для гетерогенных структур. Представлено сравнение данной методики с расчетом поливных норм по формуле А.Н. Костякова.

Ключевые слова: почвенный профиль; доступные влагозапасы; режим орошения

Для цитирования: Михеева О. В., Миркина Е. Н., Орлова С. С., Панкова Т. А. Исследование применимости методов расчета поливных норм в условиях гетерогенности почвенного профиля // Аграрный научный журнал. 2024. № 6. С. 110–116. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i6pp110-116>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

**Study of the applicability of methods for calculation of irrigation rates
under conditions of heterogeneity of the soil profile**

Olga V. Mikheeva, Elena N. Mirkina, Svetlana S. Orlova, Tatyana A. Pankova

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

e-mail: omuk@inbox.ru

Annotation. The article presents the calculation of irrigation rates using available moisture reserves for homogeneous and heterogeneous soils, and shows its applicability for heterogeneous soil profiles. The calculation method is presented in comparison with the calculation of irrigation rates according to the formula of A.N. Kostyakov.

Keywords: soil profile; available moisture reserves; irrigation regime

For citation: Mikheeva O. V., Mirkina E. N., Orlova S. S., Pankova T. A. Study of the applicability of methods for calculation of irrigation rates under conditions of heterogeneity of the soil profile. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2024;(6):110–116. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i6pp110-116>.

Введение. Корректное назначение поливных норм в условиях орошаемого земледелия является одним из ведущих путей получения гарантированного урожая. Засушливый климат Саратовского Заволжья предполагает, что культура в различные фазы вегетации должна получить разное количество воды. Существуют различные методы расчета для определения поливных норм культур.

Прогноз запасов влаги к началу вегетационного периода помогает определить с достаточной заблаговременностью сроки проведения полевых работ с целью наилучшей влагообеспеченности растений.

Прогноз очередных сроков полива основан на учете скорости расхода влаги и определения даты наступления нижнего предела увлажнения метрового слоя почвы. При этом за верхний предел увлажнения принимается наименьшая полевая влагоемкость (НВ), за нижний предел увлажнения – обычно 65–70 % НВ. Принимая во внимание, что на орошаемых полях расход воды происходит быстрее, чем на неорошаемых, вычисление запасов влаги ведется за сутки. Принци-



пимальной основой прогноза изменения влагозапасов в почве для различных периодов вегетации служат закономерности изменения влагосодержания в почве в зависимости от метеорологических условий вегетационного периода. Эти зависимости выражаются эмпирическими формулами.

В повышении эффективности орошения большое значение имеют сроки полива и поддержание влагозапасов в пределах оптимального увлажнения. На практике используются различные методы назначения сроков поливов. В основном применяют методы расчета сроков и норм полива, используя влажность почвы, также привязываются к фазам вегетации и метеорологическим параметрам. Наиболее близкие значения дает назначение сроков полива с использованием влажности расчетного слоя почвы.

Саратовская область – зона рискованного земледелия. Без достаточного количества воды растения страдают от засухи. Орошение – это радикальный метод борьбы с засухой. Он значительно изменяет метеорологические условия приземного слоя воздуха, водный и тепловой режим почвы и обеспечивает высокий и стабильный урожай в условиях недостаточного увлажнения от атмосферных осадков.

Рабочий режим орошения формируется в процессе проведения планового водопользования и полива. Он характеризуется количеством и распределением поливов по времени, нормами полива, которые фактически сложились при выращивании конкретной культуры. Плановый режим орошения устанавливается в соответствии с научно обоснованными рекомендациями, при соблюдении высоких агротехнологий, а прогнозируемые исходные параметры для составления планов водопользования соответствуют их фактическому ходу, где режим эксплуатации, как правило, совпадает с запланированным.

Для каждой культуры режим орошения устанавливается в соответствии с рекомендациями, составленными на основе данных научно-исследовательских учреждений и обобщения опыта, накопленного для конкретной почвенно-климатической зоны.

В зоне нестабильного увлажнения в структуре посевных площадей на орошаемых землях широко используются кормовые культуры. Погодные условия этой зоны характеризуются нестабильностью естественной влажности. Количество и распределение осадков резко колеблется как по периодам года, так и по годам. Поэтому запланированный режим необходимо уточнять и изменять в течение периода орошения. Это необходимо учитывать при переходе на цифровые технологии [3, 14] и использовании определенных моделей для назначения режимов орошения сельскохозяйственных культур.

Режим орошения сельскохозяйственных культур должен назначаться с учетом агротехники и планируемого урожая в годы с различным режимом увлажнения.

Так, например, при высокой агротехнике в средние по влажности годы для озимой пшеницы необходимо проведение 3–4 вегетационных поливов, соответственно, если год более влажный, то достаточно проведения 2–3 поливов и, наоборот, при поливной норме 600 м³/га в среднесухой год необходимо увеличение числа поливов до 4–5, в зависимости от влажности года оросительная норма может колебаться от 2400 до 2000 м³/га.

При дождевании вода постепенно впитывается в почву без образования луж и стока, что благотворно сказывается на структуре почвы. Но для этого необходимо чтобы интенсивность искусственного дождя соответствовала интенсивности впитывания воды почвой. Допустимая интенсивность, при которой не образуется луж и стока на разных типах почв, может изменяться в два раза и больше.

Из теоретических расчетов поливных норм в России наибольшее применение получил метод водного баланса А.Н. Костякова.

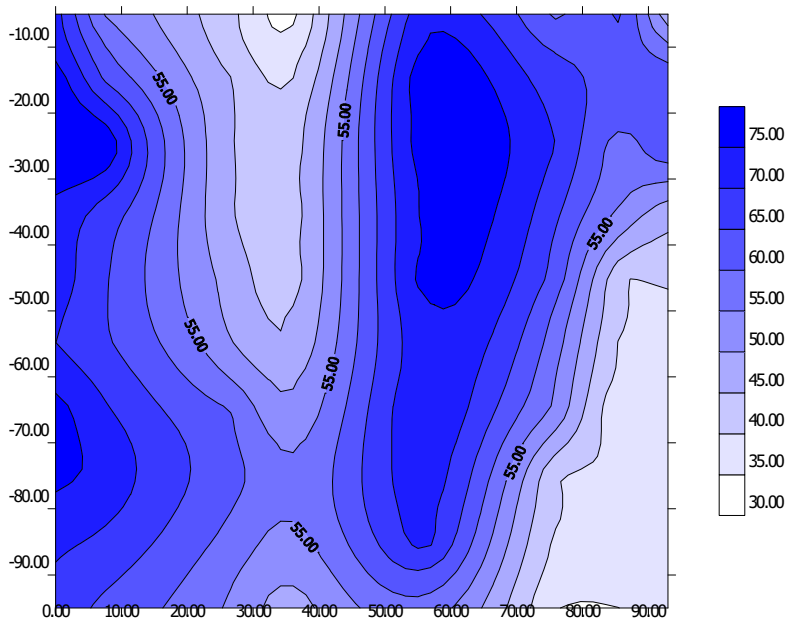
Цель исследований – изучить возможность применения формулы А.Н. Костякова с использованием доступных влагозапасов для почвогрунтов характерных для Саратовского Заволжья.

Материалы и методы. Необходимо учитывать, что влажность в почве распределяется неравномерно, как по времени, так и по глубине, что затрудняет назначение оросительных норм. При поливе дождеванием по сравнению с поверхностными способами полива почва промачивается на меньшую глубину. Поэтому нормы вегетационных поливов дождеванием чаще всего принимаются не больше 400–600 м³/га.

На рисунке представлена карта хроноизоплант, которая показывает распределение влажности по времени и по глубине.

Ситуация осложняется, если почвы имеют неоднородную структуру [1, 7–9, 12]. Рассмотрим два подхода к назначению норм орошения. В орошаемом земледелии сроки полива определяются влажностью почвы, метеорологическими данными, физиологическими параметрами и фазами развития растений. В момент снижения влажности почвы до нижнего предела необходимо осуществление полива, так





*Карта хроноизоплет. По оси X отложено время в днях;
по Y – глубина почвенного профиля, см*

*Chronoisopleth map. The X axis represents time in days;
along Y – soil profile depth, cm*

Используя формулу А. Н. Костякова, расчет нормы полива будет иметь следующий вид:

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

где W_{FC} – наименьшая влагоемкость расчетного слоя почвы, мм; W_{cr} – критические запасы влаги ниже которых опускание влажности почвы приведет к гибели культуры, мм; γ – плотность почвы, г/см³; h_w – расчетный слой почвы, м; ω_{FC} – влажность, соответствующая наименьшей влагоемкости почвы, % от массы; ω_{cr} – критическая (допустимая) влажность того же слоя почвы, % от массы.

Если на поле отсутствуют данные по наименьшей влагоемкости, то их можно принять, используя табличные данные по рекомендациям организаций (таблица 1).

Таблица 1 – Рекомендуемые значения наименьшей влагоемкости, % массы сухой почвы при отсутствии данных измерений

Table 1 – Recommended value of the lowest moisture capacity, % of dry soil mass in the absence of measurement data

Вид грунта	% массы сухой почвы
Песок и супесь	4–12
Суглинок легкий	12–16
Суглинок средний	18–25
Тяжелый суглинок	24–30

Критическое значение влажности, ниже которой происходит гибель культуры. можно определить из выражения

$$w_{cr} = 0,5(w_{FC} + \omega_{PWP}), \quad (2)$$

где ω_{PWP} — влажность завядания, % от массы.

При отсутствии фактических данных данные предполивной влажности почвы можно принять, пользуясь таблицей 2.

Поливную норму по доступным влагозапасам можно определить, используя следующую формулу [1, 2]:

$$m_{nt} = 100 \cdot \gamma \cdot h_w \cdot (1 - \beta_{PWP}) \cdot (\omega_{FC} - \omega_{PWP}), \quad (3)$$

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

как дальнейшее снижение повлечет за собой гибель культуры. В условиях цифровизации сельского хозяйства стало возможным установка большого количества датчиков на орошаемых полях, что позволяет более точно определять сроки полива культур. Однако ситуация осложняется наличием различных структур в слоистом грунте. Различный гранулометрический состав в прикорневом слое почвы приводит к неравномерному распределению влаги, вследствие чего необходимо учитывать неоднородный гранулометрический состав по глубине при назначении норм полива.

Норма полива, соответственно, представляет собой объем воды, подаваемой на единицу площади за один полив. Ее можно измерить в м³/га, мм водного слоя или л/м² [5, 6, 10, 11, 13].



Таблица 2 – Критическая влажность почвы принимаемая при отсутствии полевых данных

Table 2 – Critical soil moisture accepted in the absence of field data

Тип почвы	Критическая влажность почвы ω_{cr}
Песчаные и супесчаные грунты	(от 0,55 до 0,65) ω_{FC}
Легкие и средние суглинки	(от 0,65 до 0,75) ω_{FC}
Тяжелые суглинки и глинистые почвы	(от 0,75 до 0,80) ω_{FC}

Коэффициент β_{PWP} можно рассчитать, используя формулу

$$\beta_{PWP} = \frac{W_{cr} - W_{PWP}}{W_{FC} - W_{PWP}} = \frac{100\gamma h_w \omega_{cr} - 100\gamma h_w \omega_{PWP}}{100\gamma h_w \omega_{FC} - 100\gamma h_w \omega_{PWP}} = \frac{\omega_{cr} - \omega_{PWP}}{\omega_{FC} - \omega_{PWP}}, \quad (4)$$

где значение $(W_{FC} - W_{PWP})$ является доступными влагозапасами.

Формулы (3) и (4) позволяют обосновать нормирование полива сельскохозяйственных культур исходя из имеющихся запасов влаги, сохраняя при этом дифференциацию режима орошения по влажности почвы и расчетному слою ее увлажнения [1, 7–9, 12].

Коэффициент β_{PWP} определяли с использованием подборки агрогидрологических показателей для районов с различными характеристиками почв и различными среднегодовыми температурами (Саратов, Самара, Пенза, Ульяновск, Оренбург, а также Республика Татарстан [1]) построением зависимости коэффициента β_{PWP} от нижнего предела влажности в процентах от наименьшей влагоемкости (формула А.Н. Костякова) для почв различного гранулометрического состава.

На эмпирический коэффициент β_{PWP} будут влиять только фазы вегетации культуры, и он не будет привязан к типам почвы. На примере зерновых культур коэффициент β_{PWP} остается постоянным независимо от изменения нижнего предела влажности при расчете его по наименьшей влагоемкости.

Результаты исследований. В результате исследования были рассмотрены однородные и неоднородные профили почвогрунтов, характерных для Саратовского Заволжья. Расчет проводили для фаз колошения и молочной спелости на примере озимой пшеницы. За расчетный слой был взят заселенный корнями слой почвы толщиной 0–60 см. Норма полива определялась для слоя в целом и с использованием послойного расчета, чтобы учесть неоднородность почвенного профиля [2, 8].

Первый исследуемый участок располагался в Марксовском районе, почва – темно-каштановая тяжелосуглинистая. Данный почвенный профиль характеризовался однородной структурой, представленной тяжелыми суглинками.

В таблицах 3–4 приведены расчеты норм орошения озимой пшеницы по формуле А.Н. Костякова для почв с однородным профилем.

Таблица 3 – Расчет поливных норм по А. Н. Костякову для гомогенных почв (фаза трубкования – колошения)

Table 3 – Calculation of irrigation rates according to A. N. Kostyakov for homogeneous soils (boot – heading phase)

Расчетная величина	Сельскохозяйственная культура							
	Озимая пшеница для слоя 0–60 см	Озимая пшеница 0–10 см	Озимая пшеница 10–20 см	Озимая пшеница 10–30 см	Озимая пшеница 10–40 см	Озимая пшеница 10–50 см	Озимая пшеница 10–60 см	Результирующая послойно
Расчетная поливная норма, м ³ /га	337,6	61,4	56,8	53,4	52,4	54,4	59,2	337,6

Расчет показал, что для гомогенных профилей формула А.Н. Костякова дает аналогичные результаты, если вести расчет послойно.

В таблицах 5, 6 приведен расчет норм орошения для имеющихся запасов влаги. При гомогенной структуре расчет по доступным влагозапасам аналогичен формуле А.Н. Костякова, и результирующие значения по слоям совпадают с расчетными для всего слоя почвы.



Таблица 4 – Расчет поливных норм по А. Н. Костякову для гомогенных почв (фаза молочной спелости)

Table 4 – Calculation of irrigation rates according to A. N. Kostyakov for homogeneous soils (milk ripeness phase)

Расчетная величина	Сельскохозяйственная культура							
	Озимая пшеница для слоя 0–60 см	Озимая пшеница 0–10 см	Озимая пшеница 10–20 см	Озимая пшеница 10–30 см	Озимая пшеница 10–40 см	Озимая пшеница 10–50 см	Озимая пшеница 10–60 см	Результующая послойно
Расчетная норма полива, м ³ /га	421,92	76,81	71,01	66,82	65,54	68,0	74,01	422

Таблица 5 – Расчет норм полива для фазы трубкования - колошения по доступным влагозапасам (однородные почвы)

Table 5 – Calculation of irrigation rates in the boot – heading phase based on available moisture reserves (homogeneous soils)

Расчетная величина	Сельскохозяйственная культура							
	Озимая пшеница для слоя 0–60 см	Озимая пшеница 0–10 см	Озимая пшеница 10–20 см	Озимая пшеница 10–30 см	Озимая пшеница 10–40 см	Озимая пшеница 10–50 см	Озимая пшеница 10–60 см	Результующая послойно
Расчетная поливная норма, м ³ /га	431,9	82,4	73,3	67,5	64,9	68,0	76,1	432,0

Таблица 6 – Расчет норм полива по доступным влагозапасам для фазы молочной спелости при наличии на участке гомогенных почв

Table 6 – Calculation of irrigation rates based on available moisture reserves for the milky ripeness phase in the presence of homogeneous soils on the site

Расчетная величина	Сельскохозяйственная культура							
	Озимая пшеница для слоя 0–60 см	Озимая пшеница 0–10 см	Озимая пшеница 10–20 см	Озимая пшеница 10–30 см	Озимая пшеница 10–40 см	Озимая пшеница 10–50 см	Озимая пшеница 10–60 см	Результующая послойно
Расчетная поливная норма, м ³ /га	539,8	102,9	91,6	84,4	81,1	85,0	95,1	540,0

Второй участок был выбран в результате наличия большой гетерогенности по слоям близ г. Озинки. На участке преобладает темно-каштановая карбонатная тяжелосуглинистая почва с ярко выраженным изменением гранулометрического состава от глин до супесей по глубине.

Расчет проведен аналогично для профиля в целом и послойно. В таблицах 7, 8 представлен расчет по формуле А.Н. Костякова.

Таблица 7 – Расчет норм полива по А.Н. Костякову для фазы трубкования – колошения при наличии на участке гетерогенных почв

Table 7 – Calculation of irrigation norms according to A.N. Kostyakov in the boot – heading phase in the presence of heterogeneous soils on the site

Расчетная величина	Сельскохозяйственная культура							
	Озимая пшеница для слоя 0–60 см	Озимая пшеница 0–10 см	Озимая пшеница 10–20 см	Озимая пшеница 10–30 см	Озимая пшеница 10–40 см	Озимая пшеница 10–50 см	Озимая пшеница 10–60 см	Результующая послойно
Расчетная поливная норма, м ³ /га	415,5	76,6	77,1	93,3	80,3	109,2	100,9	537,5

Из полученных данных видно, что при наличии в почвенном профиле почв различного гранулометрического состава формула А.Н. Костякова дает определенную погрешность, занижая значения для расчета по профилю в целом.



Таблица 8 – Расчет норм полива по А.Н. Костякову для фазы молочной спелости (гетерогенный почвенный профиль)

Table 8 – Calculation of irrigation rates according to A.N. Kostyakov for the stage of milky ripeness (heterogeneous soil profile)

Расчетная величина	Сельскохозяйственная культура							
	Озимая пшеница для слоя 0–60 см	Озимая пшеница 0–10 см	Озимая пшеница 10–20 см	Озимая пшеница 10–30 см	Озимая пшеница 10–40 см	Озимая пшеница 10–50 см	Озимая пшеница 10–60 см	Результрирующая послойно
Расчетная поливная норма, м ³ /га	519,4	95,8	96,4	112,0	96,4	124,8	115,4	640,7

Расчет с использованием доступных влагозапасов дал результаты, представленные в таблицах 9, 10.

Таблица 9 – Расчет норм полива по доступным влагозапасам для фазы трубкования – колошения при наличии на участке гетерогенных почв

Table 9 – Calculation of irrigation rates based on available moisture reserves in the boot – heading phase in the presence of heterogeneous soils on the site

Расчетная величина	Сельскохозяйственная культура							
	Озимая пшеница для слоя 0–60 см	Озимая пшеница 0–10 см	Озимая пшеница 10–20 см	Озимая пшеница 10–30 см	Озимая пшеница 10–40 см	Озимая пшеница 10–50 см	Озимая пшеница 10–60 см	Результрирующая послойно
Расчетная поливная норма, м ³ /га	403,9	86,2	89,8	79,1	54,5	49,7	38,6	397,9

Таблица 10 – Расчет поливных норм по доступным влагозапасам для гетерогенных почв (фаза молочной спелости)

Table 10 – Calculation of irrigation norms based on available moisture reserves for heterogeneous soils (milk ripeness phase)

Расчетная величина	Сельскохозяйственная культура							
	Озимая пшеница для слоя 0–60 см	Озимая пшеница 0–10 см	Озимая пшеница 10–20 см	Озимая пшеница 10–30 см	Озимая пшеница 10–40 см	Озимая пшеница 10–50 см	Озимая пшеница 10–60 см	Результрирующая послойно
Расчетная поливная норма, м ³ /га	504,9	107,7	112,2	98,9	68,2	62,1	48,3	497,4

Заключение. Таким образом, погрешность расчета норм орошения с использованием значений доступных влагозапасов для гетерогенных почв значительно меньше. Например, для озимой пшеницы для фазы трубкования – колошения для результирующего расчета была получена норма полива, равная 403,9 м³/га, при послойном расчете – 397,9 м³/га. Аналогичные данные были получены для фазы молочной спелости. Норма полива при расчете для слоя в целом составила 504,9 м³/га, при расчете для слоев – 497,4 м³/га. Аналогичные результаты были получены при расчете норм орошения для других почвенных профилей с однородной и гетерогенной структурой.

Таким образом, можно сделать вывод, что при однородной структуре почвы нет ограничений по назначению норм полива. Однако при неоднородности в почвах формула А.Н. Костякова дает ошибку из-за неучета различного гранулометрического состава почвенного профиля. В этой ситуации наиболее применима формула для расчета имеющихся запасов влаги. Поскольку природа и свойства почвы основаны на разнице в содержании влаги при наименьшей влагоемкости и влажности при увядании ($W_{FC} - W_{pwp}$), контрольные пределы влажности перед поливом не изменятся при изменении распределения частиц по размерам, что позволяет применять эту формулу на различные типы почв.



1. Абдразаков Ф. К., Михеева О. В., Серебренников Ф. В. Гидрофизические функции почвогрунтов Саратовского Заволжья // *Аграрный научный журнал*. 2019. № 8. С. 64–68. DOI 10.28983/asj.y2019i8pp64-68. EDN REBFEL.
2. Абдразаков Ф.К., Затицкий С.В., Михеева О.В., Серебренников Ф.В. Исследования нормирования орошения озимой пшеницы расчетной обеспеченности по дефициту водного баланса зоны недостаточного и неустойчивого увлажнения // *Аграрный научный журнал*. 2018. № 11. С. 46–51.
3. Бакиров С.М., Михеева О. В., Колганов Д. А., Михеев И. А., Соловьева Е. Б. Разработка интеллектуальной системы управления поливом для экспериментального семеноводства // *Аграрный научный журнал*. 2023. № 2. С. 108–111. DOI 10.28983/asj.y2022i2pp108-111. EDN JAVWHR.
4. Геоинформационная база данных управления орошением земель Марковского района Саратовской области / В.А. Шадских [и др.] // *Научная жизнь*. 2015. № 1. С. 82–93.
5. Ильинская И.Н. Нормирование орошения и продуктивности агроэкосистем на Северном Кавказе. Ростов н/Д., 2005. 111 с.
6. Кружилин И.П. Орошение – водосберегающие технологии // *Мелиорация и водное хозяйство*. 1998. № 5. С. 2–5.
7. 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.
8. Михеева О. В. Совершенствование нормирования водосберегающих режимов орошения озимой пшеницы в условиях Саратовского Заволжья: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Саратов, 2005. 21 с. EDN NJVFZV.
9. Панферова Н.И., Решеткина Н.М. Экологические принципы регулирования гидрогеохимического режима орошаемых земель. СПб., 1995. 360 с.
10. Спирин А.П. Минимальная обработка почвы. М., 2005. 168 с.
11. Турулев В.К., Турулева В.А. Озимая пшеница на орошении. Ростов н/Д., 1973. 157 с.
12. Хожанов Н.Н., Турсунбаев, Х.И. Методология расчета поливной нормы сельскохозяйственных культур // *The scientific heritage*. 2021. No. 59. P. 51–54.
13. Щедрин В.Н., Колганов А.В., Бурдун А.А. Минеральные удобрения и эффективность их использования // *Агрохимический вестник*. 1999. № 5. С. 18–20.
14. Фисенко Б. В., Михеева О. В., Михеев И. А. Разработка программы расчета поливных норм по доступным влагозапасам // *Аграрный научный журнал*. 2023. № 9. С. 139-143. DOI 10.28983/asj.y2023i9pp139-143. – EDN NLVEXS.

REFERENCES

1. Abdrazakov F. K., Mikheeva O. V., Serebrennikov F. V. Hydrophysical functions of soils in the Saratov Trans-Volga region. *Agrarian Scientific Journal*. 2019;(8):64-68. DOI 10.28983/asj.y2019i8pp64-68. EDN REBFEL.
2. Abdrazakov F.K., Zatinatsky S.V., Mikheeva O.V., Serebrennikov F.V. Research on rationing irrigation of winter wheat based on the water balance deficit in the zone of insufficient and unstable moisture. *Agrarian Scientific Journal*. 2018;(11):46–51.
3. Bakirov S.M., Mikheeva O. V., Kolganov D. A., Mikheev I. A., Solovyova E. B. Development of an intelligent irrigation control system for experimental seed production. *Agrarian Scientific Journal*. 2023;(2):108-111. DOI 10.28983/asj.y2022i2pp108-111. EDN JAVWHR.
4. Geoinformation database for land irrigation management in the Markovskiy district of the Saratov region / V.A. Shadskikh et al. *Scientific Life*. 2015;(1):82–93.
5. Ilyinskaya I.N. Rationing of irrigation and productivity of agroecosystems in the North Caucasus. Rostov-on-Don, 2005. 111 p.
6. Kruzhillin I.P. Irrigation – water-saving technologies. *Melioration and Water Management*. 1998;(5):2–5.
7. Mikheeva O.V. Construction of moisture dynamics on dark chestnut soils of the Saratov Trans-Volga region using the SWAP model. *Bulletin of the Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov*. 2007;(3):72–73.
8. Mikheeva O. V. Improving the standardization of water-saving irrigation regimes for winter wheat in the conditions of the Saratov Trans-Volga region: synopsis of a thesis. Saratov, 2005. 21 p. EDN NJVFZV.
9. Panferova N.I., Reshetkina N.M. Ecological principles of regulation of the hydrogeochemical regime of irrigated lands. St. Petersburg, 1995. 360 p.
10. Spirin A.P. Minimal tillage. Moscow, 2005. 168 p.
11. Turulev V.K., Turuleva V.A. Winter wheat under irrigation. Rostov-on-Don, 1973. 157 p.
12. Khozhanov, N.N., Tursunbaev, Kh.I. Methodology for calculating the irrigation rate of agricultural crops. *The scientific Heritage*. 2021;(59):51–54.
13. Shchedrin V.N., Kolganov A.V., Burdun A.A. Mineral fertilizers and the efficiency of their use. *Agrochemical Bulletin*. 1999;(5):18–20.
14. Fisenko B.V., Mikheeva O.V., Mikheev I.A. Development of a program for calculating irrigation norms based on available moisture reserves. *Agrarian Scientific Journal*. 2023;(9):139-143. DOI 10.28983/asj.y2023i9pp139-143. EDN NLVEXS.

Статья поступила в редакцию 17.01.2024; одобрена после рецензирования 20.02.2024; принята к публикации 30.02.2024.
The article was submitted 17.01.2024; approved after reviewing 20.02.2024; accepted for publication 30.02.2024.

