

ГИДРОЛОГИЯ СУШИ, ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ, ГИДРОХИМИЯ/LAND HYDROLOGY, WATER RESOURCES, HYDROCHEMISTRY

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.158.45>

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ПОЛИВНОЙ НОРМЫ И СРОКОВ ПОЛИВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Научная статья

Гайдукова Е.В.^{1,*}, Девятов В.С.², Мережкин С.А.³, Семенова Е.К.⁴, Чепель И.А.⁵

¹ ORCID : 0000-0002-3547-5538;

² ORCID : 0000-0002-3400-5542;

^{1, 2, 3, 4, 5} Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Российской Федерации

* Корреспондирующий автор (oderiut[at]mail.ru)

Аннотация

Рассмотрены показатели увлажненности почвы и агрогидрологические константы. На их соотношении обосновано расчетное уравнение для величины поливной нормы. Доступность воды для растений представлена в виде схемы. Расчет сроков поливов основан на составлении уравнения водного баланса для орошающего поля с учетом фактических и возможных прогнозных дат выпадения осадков и их величин. Предлагаемые расчетные выражения апробированы на ретроспективных данных для яровой пшеницы. Приведены расчеты, которые наглядно показывают практичность и простоту предлагаемого подхода определения величины поливной нормы и сроков полива агрокультур, а также при необходимости осуществимость реализации предложенного алгоритма на языке программирования высокого уровня.

Ключевые слова: водопотребление, влагозапасы, агрогидрологические константы, уравнение баланса, алгоритм, яровая пшеница.

TO THE ISSUE OF DETERMINING THE VALUE OF IRRIGATION RATE AND TIMING OF IRRIGATION OF AGRICULTURAL CROPS

Research article

Gaidukova E.V.^{1,*}, Deviatov V.S.², Merezkin S.A.³, Semenova E.K.⁴, Chepel I.A.⁵

¹ ORCID : 0000-0002-3547-5538;

² ORCID : 0000-0002-3400-5542;

^{1, 2, 3, 4, 5} Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (oderiut[at]mail.ru)

Abstract

Soil moisture content indicators and agrohydrological constants are studied. Calculation equation for the value of irrigation rate is substantiated on their correlation. Water availability for plants is presented in the form of a scheme. Calculation of irrigation timing is based on the equation of water balance for the irrigated field, taking into account actual and possible forecast dates of precipitation and their values. The proposed calculation expressions are tested on retrospective data for spring wheat. Calculations are presented, which clearly show the practicality and simplicity of the suggested approach to determine the value of irrigation rate and timing of irrigation of crops, as well as, if necessary, the feasibility of implementing the proposed algorithm in a high-level programming language.

Keywords: water consumption, water reserves, agrohydrological constants, balance equation, algorithm, spring wheat.

Введение

Одним из основных элементов водного баланса сельскохозяйственных полей является водопотребление, которое играет важную роль в формировании продуктивности агрокультур. Известно, что между величиной водопотребления и продуктивностью существует прямая зависимость: чем больше растения потребляют воды, тем быстрее (при прочих равных условиях) они наращивают биомассу. Одним из основных факторов, определяющих водопотребление растений, является уровень увлажнения корнеобитаемого слоя почвы [1].

В зависимости от количества воды в почве меняется ее подвижность и доступность для растений. Запасы воды в расчетном слое почвы зависят от его мощности, положения уровня грунтовых вод и величины основного источника питания — осадков; теоретически они изменяются в пределах от 0 до полной влагоемкости расчетного почвенного слоя $W_{\text{пп}}$.

На прямой зависимости влагозапасов можно выделить несколько характерных точек, при переходе через которые происходит изменение подвижности воды и доступности ее для растений (см. табл. 1). Влагозапасы, соответствующие этим узловым точкам, называются агрофизическими или агрогидрологическими константами почвы. Численные значения агрогидрологических констант зависят, в основном, от механического состава почвы.

Влагозапасы в пределах от $W_{\text{врк}}$ (влажность разрыва капилляров) до $W_{\text{нв}}$ (наименьшая влагоемкость) называются оптимальными, при этом $W_{\text{врк}}$ часто называется нижним уровнем оптимального увлажнения ($W_{\text{но}}$), а $W_{\text{нв}}$ — верхним ($W_{\text{бо}}$). Если влагозапасы окажутся меньше $W_{\text{но}}$, то растения будут угнетаться из-за недостатка влаги. Если влагозапасы повысятся выше $W_{\text{бо}}$, то ухудшаются условия аэрации почвы из-за малого содержания воздуха в порах корнеобитаемого слоя. В этом случае растения также угнетаются и снижается их продуктивность. Нижний уровень

оптимального увлажнения определяется $W_{\text{врк}}$, но кроме того, зависит от вида сельскохозяйственной культуры, мощности корневой системы, фазы вегетации.

Таблица 1 - Схема состояния воды в почве и ее доступности для растений

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.158.45.1>

Агрогидрологические константы	$W_{\text{мг}}$	$W_{\text{вз}}$	$W_{\text{врк}}$	$W_{\text{нв}}$	$W_{\text{пв}}$
Состояние почвенной влаги	гигроскопическое	пленочное		капиллярное	гравитационное
Доступность влаги для растений	недоступна	практически недоступна	трудно доступна	доступна	легко доступна
Содержание воздуха, %	> 95	75–95	50–75	30–50	< 30
Условия для развития растений	неблагоприятные из-за недостатка влаги			наиболее благоприятные	неблагоприятные из-за недостатка воздуха

Примечание: $W_{\text{мг}}$ – максимальная гигроскопичность (наибольшее количество влаги, которое может поглотить абсолютно сухая почва из воздуха, насыщенного водяными парами); $W_{\text{вз}}$ – влажность завядания (уровень запасов влаги в почве, при котором силы взаимодействия почвенной влаги и скелета почвогрунтов настолько велики, что растения не могут поглотить эту влагу и увядают); $W_{\text{врк}}$ – влажность разрыва капилляров; $W_{\text{нв}}$ – наименьшая влагоемкость (максимальное количество воды, которое способна удержать почва за счет капиллярных сил); $W_{\text{пв}}$ – полная влагоемкость (максимально возможное содержание воды в почве, при котором все поровое пространство заполнено водой)

Ввиду того, что влагозапасы почвы менее $W_{\text{вз}}$ являются практически недоступными для растений, в мелиоративной гидрологии принято оперировать не величиной фактических влагозапасов W , а превышением запасов влаги над уровнем увлажнения, соответствующим влажности завядания. Это превышение называется продуктивными влагозапасами $W_{\text{пр}}$ и равно соответственно разности $W_{\text{пр}} = W - W_{\text{вз}}$.

Весьма важной агрогидрологической характеристикой слоя почвы является величина продуктивных влагозапасов при наименьшей влагоемкости $W_{\text{пр_нв}}$, которая равна разности наименьшей влагоемкости и влажности завядания $W_{\text{пр_нв}} = W_{\text{нв}} - W_{\text{вз}}$. Для мелиоративных целей содержание в почве продуктивной влаги выражают в процентах (либо долях) от величины продуктивных влагозапасов при наименьшей влагоемкости: $W_{\text{пр}}/W_{\text{пр_нв}}$.

Цель исследования заключается в разработке и апробации практического алгоритма определения величины нормы и сроков полива сельскохозяйственных культур с получением наиболее благоприятных условий для развития растений. Алгоритм основан на анализе увлажненности почвы и уравнении водного баланса орошаемого поля.

Подобными исследованиями занимаются многие мелиораторы. Разработанные методы и методики можно найти в работах [2], [3], [4], [6]. Кроме того, существуют зарегистрированные программные комплексы, позволяющие рассчитывать поливной режим (см., например, [7], [8], [9]). Главное отличие предлагаемого алгоритма заключается в простоте получения даты полива сельскохозяйственных растений с учетом биологических кривых водопотребления и в использовании относительно небольшого объема информации о гидрометеорологических условиях выращивания рассматриваемых сельскохозяйственных культур. Рассматриваемый алгоритм объединил некоторые известные практические подходы, что, с одной стороны, позволило получить новый подход, а с другой стороны, объединяемые достоверные методы позволили получить также практически достоверный алгоритм. Предлагаемый алгоритм может быть реализован на языке программирования высокого уровня.

Алгоритм определения нормы и сроков полива

Наилучшие условия для развития растений имеют место в случае, когда влажность почвы не превышает величины продуктивных влагозапасов при наименьшей влагоемкости $W_{\text{пр_нв}}$ и не опускается менее нижнего оптимума увлажнения $W_{\text{но}}$. Исходя из этой предпосылки, можно сделать два важных практических вывода: – срок полива назначается тогда, когда влажность почвы на орошаемом поле уменьшится настолько, что станет близкой или равной нижнему оптимуму увлажнения; – величину поливной нормы t можно вычислить по выражению:

$$t = W_{\text{пр_нв}} - W_{\text{но}}. \quad (1)$$

Мощность расчетного слоя зависит от глубины распространения корневой системы, которая в свою очередь определяется видом культуры и фазой ее развития. Для определения и срока полива, и поливной нормы необходимо иметь сведения о влагозапасах почвы.

Влагозапасы почвы и их изменения предпочтительнее определять вычислением по уравнению водного баланса орошаемого поля (см. рис. 1). В зависимости от выбора границ, очерчивающих участок суши, для которого записывается уравнение, а также от конкретных природных условий, это уравнение может содержать различное число членов, например:

$$Y_1 + X + K - E - J - Y_2 = \Delta W, \quad (2)$$

где K — капиллярное поднятие; J — инфильтрация; X — осадки; E — испарение (водопотребление); Y_1 — поверхностный приток; Y_2 — поверхностный сток; ΔW — изменение влагозапасов в корнеобитаемой зоне: $\Delta W = W_k - W_h$ (W_k , W_h — соответственно влагозапасы на конец и на начало расчетного периода).

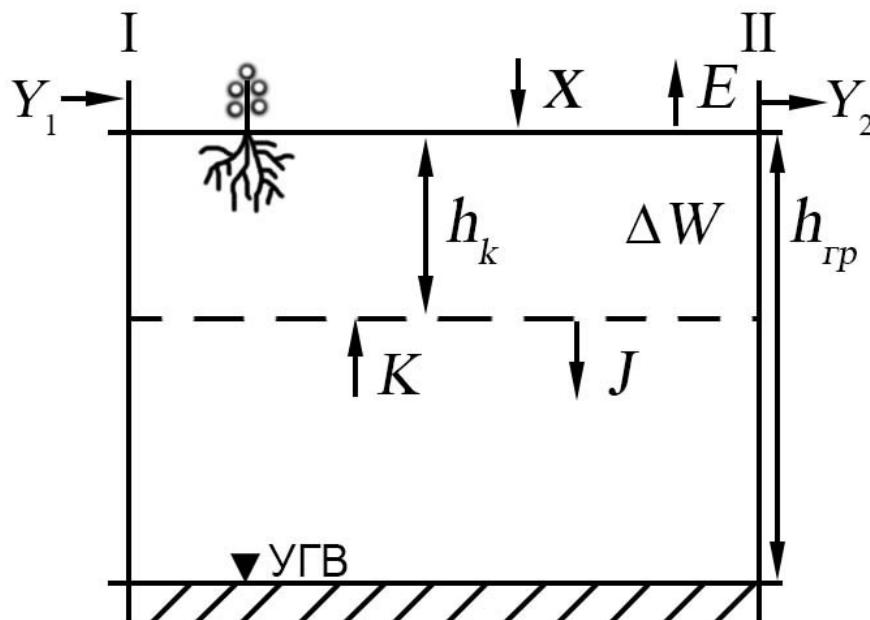


Рисунок 1 - Схема водообмена корнеобитаемой зоны: h_k – высота капиллярного подъема, h_{gr} – высота подъема грунтовых вод, УГВ – уровень грунтовых вод
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.158.45.2>

Для корнеобитаемой зоны поля при отсутствии поверхностного притока и стока воды и относительно глубоком залегании грунтовых вод, исключающем их сколько-нибудь значительный водообмен с корнеобитаемой зоной, уравнение примет вид (размерность всех величин в мм):

$$X - E - J = W_k - W_h \quad (3)$$

Выполняя вычисления, например, каждые десять дней, можно обнаружить, когда W_k приблизится по величине к W_h . Это будет указанием на необходимость назначения даты очередного полива. Следовательно, корректировка поливного режима во многих случаях сводится к определению осадков и испарения. Уравнение баланса относительно W_k записывается в следующем виде:

$$W_k = W_h + X - E - J + m \quad (4)$$

Апробация алгоритма определения нормы и сроков полива

Апробация предлагаемого метода расчета нормы и сроков полива проводилась на ретроспективных данных: метео- и агропараметры были взяты за 1973 год по станциям Туринск и Артемовский Свердловской области (расположение станций показано на рис. 2), расчеты делались для яровой пшеницы. Следует отметить, что предлагаемый алгоритм был апробирован и для других видов сельскохозяйственных культур, в частности, для картофеля.

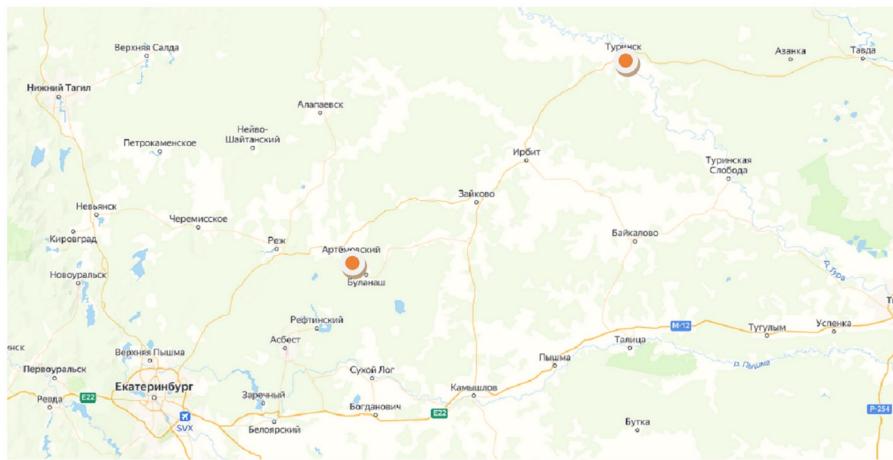


Рисунок 2 - Местоположение агрометеорологических станций Туринск и Артемовский в Свердловской области

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.158.45.3>

Для определения поливной нормы m используется следующая исходная информация: межфазовые периоды развития растений, величина продуктивных влагозапасов при наименьшей влагоемкости $W_{\text{пр_нв}}$, нижний оптимум увлажнения $W_{\text{но}}$.

Для составления режима полива необходима еще информация по следующим характеристикам: величина начального увлажнения W_h , дата и количество выпавших осадков X , величина испарения E .

Поливная норма определялась как разница величин продуктивных влагозапасов при наименьшей влагоемкости и нижнего оптимума увлажнения $m = W_{\text{пр_нв}} - W_{\text{но}}$.

Для расчета испарения применялся метод, основанный на биологических кривых водопотребления с использованием коэффициента водопотребления и испаряемости. Это один из многих методов определения испарения, описание которого можно найти в источнике [10].

Расчет производился по декадам вегетационного периода яровой пшеницы. Пример расчета сроков полива показан в табл. 2. На рис. 3 представлены соотношения значений влагозапасов на начало декады, нижнего оптимума увлажнения и влагозапасов на конец декады.

Расчет сроков полива сельскохозяйственных культур можно свести к следующим последовательным шагам (расчетный шаг — декада):

1. Рассчитывается число дней, на которое хватит влаги $N = (W_h - W_{\text{но}})/E$. Испарение берется за предыдущую декаду. Если были осадки, то пересчитываются влагозапасы в почвогрунтах W_k .

2. Если $N \geq 10$, то поливать не нужно. Если были осадки, то пересчитываются влагозапасы $W_k = W_h - E + X$. Если $W_k \leq W_{\text{пр_нв}}$, то значение W_k принимается за действительное. Если $W_k > W_{\text{пр_нв}}$, то принимается $W_k = W_{\text{пр_нв}}$ и появляется инфильтрация $J = W_k - W_{\text{пр_нв}}$.

3. Если $N < 10$, то надо назначать полив на дату $D = D_h + N$, где D — дата прогноза полива; D_h — дата начала декады.

Если выпали осадки до даты прогноза полива, то $N' = X/E$ (испарение в мм/сут). Дата прогноза полива сдвигается на N' дней, если $N + N' \leq 10$. Если $N + N' > 10$, поливать не надо.

Если осадки выпали после даты полива, то будет инфильтрация J .

Таблица 2 - Пример расчета сроков полива яровой пшеницы

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.158.45.4>

Период	E , мм/дек	Осадки, мм		Полив		m , мм	W_k , мм	J , мм	Расчет ное уравне ние
		дата	X , мм	дата прогно за D	дата фактич еская D				
ст. Туринск									
11- 20.V	17,8	13.05					73,6		$W_k = W_h + X - E$
21- 31.V	18,8	27.05					54,8		$W_k = W_h + X - E$
1-10.VI	22,5			01.06	01.06	36,6	68,9		$W_k = W_h - E + m$
11- 20.VI	34,7	16.06	31	17.06	17.06	36,6	91,4	10,4	$W_k = W_h + X -$

Период	E , мм/дек	Осадки, мм		Полив		m , мм	W_k , мм	J , мм	Расчет ное уравне ние
		дата	X , мм	дата прогно за \check{D}	дата фактич еская D				
									$E+m-J$
21- 30.VI	23,2	25.06	44				91,4	20,8	$W_k=W_h$ $+X-E-J$
1- 10.VII	25,6						65,8		$W_k=W_h$ $+X-E$
11- 20.VII	23,4	17.07	42	15.07	15.07	36,6	91,4	29,6	$W_k=W_h$ $+X-E+m-J$
21- 31.VII	32,7	29.07	12				70,7		$W_k=W_h$ $+X-E$
1- 10.VIII	32,2			16.08	16.08	36,6	75,1		$W_k=W_h$ $-E+m$
11- 20.VIII	40,3	19.08	23	20.08	20.08	45,7	91,4	12,1	$W_k=W_h$ $+X-E+m-J$
21- 31.VIII	23,6	30.08	38				91,4	14,4	$W_k=W_h$ $+X-E-J$
ст. Артемовский									
20- 31.V	20,6	23.05	1				58,4		$W_k=W_h$ $+X-E$
1-10.VI	25,4	02.06	1	07.06	07.06	31,2	65,3		$W_k=W_h$ $+X-E+m$
11- 20.VI	36,0						29,3		$W_k=W_h$ $-E$
21- 30.VI	16,2	26.07	24	21.06	21.06	39,0	76,1		$W_k=W_h$ $+X-E+m$
1- 10.VII	41,7	02.07	18				52,4		$W_k=W_h$ $+X-E$
11- 20.VII	29,7			12.07	12.07	31,2	53,9		$W_k=W_h$ $-E+m$
21- 31.VII	32,4	25.07	18	23.07	23.07	31,2	67,4		$W_k=W_h$ $+X-E+m$
1- 10.VIII	32,5	05.08	20	07.08			54,9		$W_k=W_h$ $+X-E$
11- 20.VIII	36,5			13.08	13.08	31,2	49,7		$W_k=W_h$ $-E+m$
21- 31.VIII	31,3	30.08	16	24.08	24.08	39,0	70,3		$W_k=W_h$ $+X-E+m$
1-10.IX	14,9	06.09	35				78,0	12,4	$W_k=W_h$ $+X-E-J$
11- 15.IX	14,9						63,2		$W_k=W_h$ $-E$

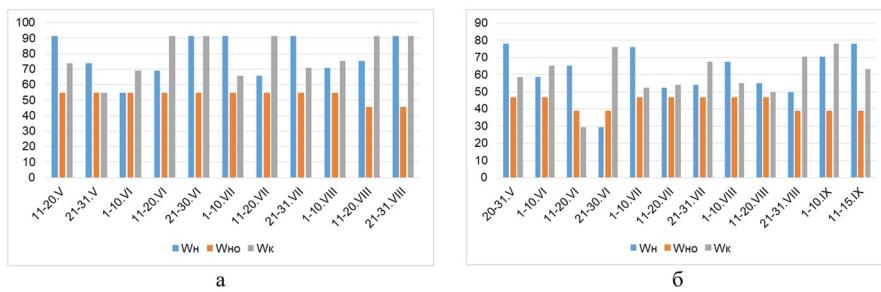


Рисунок 3 - Величины влагозапасов на начало расчетного периода (W_n), нижнего оптимума увлажнения (W_{no}) и влагозапасов на конец расчетного периода (W_k) по данным ст. Туринск (а) и ст. Артемовский (б)

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.158.45.5>

Об успешности предлагаемого алгоритма можно судить по превышению значений влагозапасов на конец расчетного периода величин нижнего оптимума увлажнения (см. рис. 3). Есть декады с минимальной, но все же положительной, разницей между рассматриваемыми параметрами, и в следующую декаду сразу производится полив.

Анализируя даты полива яровой пшеницы (см. табл. 2), можно заметить, что и на станции Туринск, и на станции Артемовский даты прогноза и фактические даты полива совпадают в тех случаях, когда почва была не достаточно увлажнена и осадки либо не выпадали, либо были минимальными. Отмечаются декады с появлением инфильтрации J — полив был произведен и позже выпадали осадки. Эти отмеченные моменты позволяют сделать вывод о возможности использования достоверных прогнозов количества осадков с заблаговременностью, равной расчетному периоду для назначения сроков полива. Достоверные прогнозы позволят максимально ликвидировать инфильтрацию, которая появляется из-за избытка воды на сельскохозяйственном поле.

Заключение

Были рассмотрены показатели увлажненности почвы и агрогидрологические константы, на соотношении величин которых обосновано расчетное выражение для величины поливной нормы.

Метод расчета сроков поливов, основанный на составлении уравнения водного баланса для орошаемого поля, был апробирован на ретроспективных данных для яровой пшеницы. Приведенные расчеты наглядно показали практичность и простоту предлагаемого подхода определения величины поливной нормы и сроков полива сельскохозяйственных культур.

Кроме того, положительным моментом рассматриваемого подхода является возможность использования прогнозных дат выпадения осадков и их величин, а также перспектива реализации расчетного алгоритма на языке программирования высокого уровня.

Предлагаемый алгоритм расчета сроков полива требует оценки практикующих мелиораторов, и в случае положительной такой оценки будет рассмотрен вопрос об апробации подхода на действующем сельскохозяйственном поле с фактической оценкой достоверности метода.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть представлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Костяков А.Н. Основы мелиорации / А.Н. Костяков. — Москва: Сельхозгиз, 1960. — 621 с.
2. Данильченко Н.В. Методы определения суммарного водопотребления и расчет поливных режимов сельскохозяйственных культур: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Данильченко Николай Владимирович. — Москва, 1965.
3. Хожанов Н.Н. Оптимизация оросительной нормы сельскохозяйственных культур / Н.Н. Хожанов, Н.К. Ержанова // Водное хозяйство Казахстана. — 2012. — № 8-9 (46-47). — С. 21–35.
4. Ольгаренко Г.В. Технический регламент по управлению и корректировке объемов воды для орошения (на примере Ростовской области) / Г.В. Ольгаренко, Т.А. Капустина, Ф.К. Цекоева [и др.]. — Коломна: Радуга, 2015. — 58 с.
5. ГОСТ Р 58331.3 2019. Системы и сооружения мелиоративные. Водопотребность для орошения сельскохозяйственных культур. Общие требования. — Москва: Стандартинформ, 2019.
6. Корягина Н.В. Мелиорация и рекультивация земель / Н.В. Корягина, А.Н. Поршакова, О.В. Тараканов. — Пенза: ПГУАС, 2014. — 192 с.

7. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2016612028 Российская Федерация. Прогнозный расчет поливного режима сельскохозяйственных культур / Максименко В.П., Павлущенко В.А. — № 2015662786; заявл. 24.12.15; опубл. 17.02.16.
8. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2020666192 Российская Федерация. Программа для расчета режимов орошения и оперативного планирования поливов в режиме реального времени / Токарев К.Е. — № 2020665251; заявл. 24.11.20; опубл. 04.12.20.
9. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021616402 Российская Федерация. Программа расчета оптимальных параметров увлажнения расчетного слоя почвы / Камышова Г.Н., Соловьев Д.А., Корсак В.В., Терехова Н.Н., Терехов П.О., Митюрева О.Н. — № 2021615359; заявл. 12.04.2021; опубл. 21.04.2021.
10. Константинов А.Р. Методы нормирования орошения / А.Р. Константинов, А.С. Субботин; под ред. Л.П. Серяковой. — Ленинград: ЛГМИ, 1981. — 81 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kostjakov A.N. Osnovy melioracii [Fundamentals of land reclamation] / A.N. Kostjakov. — Moscow: Sel'hozgiz, 1960. — 621 p. [in Russian]
2. Danil'chenko N.V. Metody opredelenija summarnogo vodopotreblenija i raschet polivnyh rezhimov sel'skohozjajstvennyh kul'tur [Methods for determining total water consumption and calculating irrigation regimes for agricultural crops]: abstr. diss. ... PhD in Technical Sciences / Danil'chenko Nikolaj Vladimirovich. — Moscow, 1965. [in Russian]
3. Hozhanov N.N. Optimizacija orositel'noj normy sel'skohozjajstvennyh kul'tur [Optimisation of irrigation norms for agricultural crops] / N.N. Hozhanov, N.K. Erzhanova // Vodnoe hozjajstvo Kazahstana [Water Management in Kazakhstan]. — 2012. — № 8-9 (46-47). — P. 21-35. [in Russian]
4. Ol'garenko G.V. Tehnicheskij reglament po upravleniju i korrektirovke ob'emov vody dlja orosheniya (na primere Rostovskoj oblasti) [Technical regulations for managing and adjusting water volumes for irrigation (on the example of Rostov Oblast)] / G.V. Ol'garenko, T.A. Kapustina, F.K. Cekoeva [et al.]. — Kolomna: Raduga, 2015. — 58 p. [in Russian]
5. GOST R 58331.3 2019. Sistemy i sooruzhenija meliorativnye. Vodopotrebnost' dlja orosheniya sel'skohozjajstvennyh kul'tur. Obshchie trebovaniya [GOST R 58331.3 2019. Land reclamation systems and structures. Water requirements for irrigation of agricultural crops. General requirements]. — Moscow: Standartinform, 2019. [in Russian]
6. Korjagina N.V. Melioracija i rekultivacija zemel' [Land reclamation and recultivation] / N.V. Korjagina, A.N. Porshakova, O.V. Tarakanov. — Penza: PGUAS, 2014. — 192 p. [in Russian]
7. Svidetel'stvo o registraci programmy dlja JeVM 2016612028 Rossijskaja Federacija. Prognoznyj raschet polivnogo rezchima sel'skohozjajstvennyh kul'tur [Certificate of registration of computer program 2016612028 Russian Federation. Forecast calculation of irrigation regime for agricultural crops] / Maksimenko V.P., Pavlushhenko V.A. — № 2015662786; appl. 24.12.15; publ. 17.02.16. [in Russian]
8. Svidetel'stvo o registraci programmy dlja JeVM 2020666192 Rossijskaja Federacija. Programma dlja rascheta rezchimov orosheniya i operativnogo planirovaniya polivov v rezhime real'nogo vremeni [Certificate of registration of computer program 2020666192 Russian Federation. Program for calculating irrigation modes and operational planning of watering in real time] / Tokarev K.E. — № 2020665251; appl. 24.11.20; publ. 04.12.20. [in Russian]
9. Svidetel'stvo o registraci programmy dlja JeVM 2021616402 Rossijskaja Federacija. Programma rascheta optimal'nyh parametrov uvlazhnenija raschetnogo sloja pochyvy [Certificate of registration of computer program 2021616402 Russian Federation. Program for calculating optimal moisture parameters of the calculated soil layer] / Kamyshova G.N., Solov'ev D.A., Korsak V.V., Terehova N.N., Terehov P.O., Mitjureva O.N. — № 2021615359; appl. 12.04.2021; publ. 21.04.2021. [in Russian]
10. Konstantinov A.R. Metody normirovaniya orosheniya [Irrigation standardisation methods] / A.R. Konstantinov, A.S. Subbotin; ed. by L.P. Serjakova. — Leningrad: LGMI, 1981. — 81 p. [in Russian]