

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-6-120-125>
УДК 633.1:631.671(470.3)

Н.Н. Дубенок, Р.В. Калининченко,
М.В. Климахина, Е.В. Мацыганова,
К.Б. Шумакова

ФГБОУ ВО Российский Государственный Аграрный
Университет – МСХА имени К.А. Тимирязева
127550, Россия, Москва, ул. Тимирязевская, д.49
ndubенок@mail.ru, lemalev@yandex.ru

Конфликт интересов: Авторы заявляют
об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Дубенок Н.Н.,
Калининченко Р.В., Климахина М.В., Мацыганова
Е.В., Шумакова К.Б. Суммарное водопотребле-
ние зерновых культур на склоновых землях
Центрального района РФ и зональные биокли-
матические коэффициенты. *Овощи России*.
2020;(6):120-125. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-6-120-125>

Поступила в редакцию: 01.11.2020

Принята к печати: 15.11.2020

Опубликована: 20.12.2020

Nikolay N. Dubenok,
Roman V. Kalinichenko,
Marina V. Klimakhina,
Elena V. Matsyanova,
Ksenia B. Shumakova

Russian State Agrarian University – Moscow
Timiryazev Agricultural Academy
49, Timiryazevskaya str., Moscow, Russia, 127550
ndubенок@mail.ru, lemalev@yandex.ru

Conflict of interest. The authors declare
no conflict of interest.

For citations: Dubenok N.N., Kalinichenko R.V.,
Klimakhina M.V., Matsyanova E.V., Shumakova
K.B. Total water consumption of cereals on the
slopes of the Central District of Russia and zoned
bioclimatic ratios. *Vegetable crops of Russia*.
2020;(6):120-125. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-6-120-125>

Received: 01.11.2020

Accepted for publication: 15.11.2020

Accepted: 20.12.2020

Суммарное водопотребление зерновых культур на склоновых землях Центрального района РФ и зональные биоклиматические коэффициенты



РЕЗЮМЕ

Актуальность. В России, где более 70% всех сельскохозяйственных угодий расположены в зонах недостаточного или неустойчивого естественного увлажнения, вопрос ресурсосберегающего орошения сельскохозяйственных земель является одним из самых актуальных, а суммарное водопотребление является одним из важнейших элементов водного баланса орошаемой территории. Цель исследований – проанализировать основные методы определения суммарного водопотребления, определить среднесуточное водопотребление, суммарное водопотребление и зональные биоклиматические коэффициенты для овса, ячменя с подсевом многолетних трав и многолетних трав в условиях Центрального района РФ.

Материалы и методы. Исследования проводили на стационарном полевом опыте в Подольском районе Московской области. Для улучшения отдельных элементов водного баланса в данных условиях были заложены стационарные водобалансовые площадки ($S=200$ м²). Предполивной порог влажности почвы допускался не ниже 75%. Исследования осуществляли согласно общепринятым методикам и рекомендациям. Суммарное водопотребление за вегетационный период и по фазам развития растений определяли методом водного баланса. **Результаты.** Суммарное водопотребление сельскохозяйственных культур по элементам склона существенно различается. Между верхними и нижними элементами склона южной экспозиции крутизной 8° разница составляет 12-15 мм, что необходимо учитывать при расчёте режимов орошения сельскохозяйственных культур на склоновых землях. В верхней части склона необходимо проводить на 1-2 полива больше, чем в основании склона. Дифференцированные поливы по длине склона позволяют экономить оросительную воду на 10-15%. На склоне крутизной 4° существенной разницы в суммарном водопотреблении в верхней части склона и в нижней его части, отмечено не было. Водопотребление сельскохозяйственными культурами в условиях опыта оказалось больше в июне и июле, чем в остальные месяцы вегетации. Полученные нами зональные биоклиматические коэффициенты позволяют определять водопотребление овса, ячменя с подсевом многолетних трав и многолетних трав 1 года пользования на склонах южной экспозиции крутизной 4° и 8°, а также коэффициенты биологической кривой для указанных культур при использовании их в Центральном районе РФ.

Ключевые слова: среднесуточное водопотребление, суммарное водопотребление, зональные биоклиматические коэффициенты, овёс, ячмень, многолетние травы.

Total water consumption of cereals on the slopes of the Central District of Russia and zoned bioclimatic ratios

ABSTRACT

Relevance. In Russia the issue of resource-saving irrigation of agricultural land is one of the most urgent, and total water consumption is one of the most important elements of the water balance of irrigated territory. Analyze the basic methods of determining the total water consumption, determine the average daily water consumption, total water consumption and zonal bioclimatic ratios for oats, barley with planting perennial herbs and perennial herbs in the conditions of the Central Region of the Russian Federation.

Materials and methods. The research was carried out on a stationary field experience in the Podolsk district of the Moscow District. To improve the individual elements of the water balance in these conditions were laid stationary water balancing sites ($S=200$ m²). The pre-21 thresholds for soil moisture was not less than 75%. The research was carried out in accordance with generally accepted methods and recommendations. Total water consumption during the growing season and in the phases of plant development was determined by the method of water balance.

Results. The total water consumption of crops by elements of the slope varies significantly between the upper and lower elements of the slope difference is 12-15 mm, which should be taken into account when calculating irrigation regimes on sloped lands. At the top of the slope it is necessary to carry out 1-2 watering more than at the base of the slope. Differentiated watering along the length of the slope allows to save irrigation water by 10-15%. The water consumption of crops in the context of the experience was greater in April and September than in the other months of growing. This is due to climate indicators. Total evaporation from the soil and plant surfaces depends on soil moisture, crop condition, wind speed, temperature and humidity. In April and September, the study years showed elevated temperatures and low relative humidity. When comparing the average daily water consumption at irrigated areas at the top and at the base of the slope, it is seen that in all the months of vegetation it is more on the upper section by an average of 12%. Bioclimatic coefficients depend on humidity and air temperature. The zonal coefficients we have obtained allow us to determine the water consumption of crops, both in each growing season and in general for vegetation.

Keywords: average daily water consumption, total water consumption, zonal bioclimatic ratios, oats, barley, perennial herbs

Введение

Орошаемые земли во всём мире являются одним из главных факторов обеспечения стабильности сельскохозяйственного производства и продовольственной безопасности. В России, где более 70% всех сельскохозяйственных угодий расположены в зонах недостаточного или неустойчивого естественного увлажнения, вопрос ресурсосберегающего орошения сельскохозяйственных земель является одним из самых актуальных [1, 2].

В связи с распоряжением Президента РФ о субсидировании производителям сельскохозяйственной продукции части затрат (до 50 %) на строительство, реконструкцию и техническое переоснащение внутрихозяйственных мелиоративных систем и принятием федеральной целевой программы «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014–2020 гг.», наблюдается прирост орошаемых площадей [3, 4].

Важнейшими условиями успешного ведения орошаемого земледелия являются разработка стратегии инновационного развития мелиоративного комплекса, рациональное использование водных ресурсов и увеличение урожайности сельскохозяйственных культур на орошаемых землях. Для этого необходимо разработать и внедрить севообороты и структуру посевных площадей на орошаемых землях, отвечающие требованиям современного рынка, увеличить долю кормовых культур, и особенно многолетних трав, способствующих сохранению плодородия почвы [1, 2, 3].

Поскольку основными расходными статьями водного баланса являются транспирация и испарение влаги почвой, а климат в последние десятилетия претерпевает существенные изменения, становится актуальным уточнение величины водопотребления конкретными сельскохозяйственными культурами в разных климатических регионах [1].

Около 78% сельскохозяйственных угодий Центрального Района Российской Федерации расположено на склонах. Формирование урожая на склоновых землях является сложно прогнозируемым процессом, т.к. крутизна и экспозиция склона оказывают суще-

ственное влияние на распределение естественных климатических и антропогенных факторов. Урожай с.-х. культур, расположенных в верхней и нижней части одного склона, разнится. Становится всё более актуальным вопрос определения водопотребления и биоклиматических коэффициентов применительно не только к конкретному климатическому району и культуре, но и с учётом дифференциации по рельефу [2].

Цель исследований: определить суммарное водопотребление и зональные биоклиматические коэффициенты для овса, ячменя с подсевом многолетних трав и многолетних трав 1 года пользования на склонах южной экспозиции в условиях Центрального района РФ.

Материалы и методы

Исследования проводили на стационарном полевом опыте в Подольском районе МО в 2011–2012 годах. На опыте развёрнут во времени пятипольный севооборот: 1) овёс; 2) ячмень с подсевом многолетних трав; 3) многолетние травы первого года пользования; 4) многолетние травы второго года пользования; 5) озимая пшеница. В статье приведены данные по овсу, ячменю с подсевом многолетних трав и многолетним травам, т.к. именно они выращивались в севообороте в указанные годы исследований.

Схема полевого опыта показана в таблице 1.

Дождевание с.-х. культур проводили на водобалансовых площадках.

По фактору А предусматривали разработку режимов орошения и технологий полива для получения высокого урожая с.-х. культур.

По фактору В изучали агротехнические приёмы обработки почвы, способствующие сокращению стока поливной воды, предотвращению ирригационной эрозии, улучшению водно-воздушного режима почвы и повышению продуктивности зерновых и кормовых культур.

По фактору С определяли влияние крутизны на величину поверхностного стока и суммарного водопотребления.

Повторность опыта трёхкратная. Размещение вари-

Таблица 1. Схема полевого опыта (6х3х2)
Table 1. Scheme of the field experiment (6х3х2)

Фактор А	Фактор В	Фактор С
Поливная норма, м ³ /га	Приёмы обработки почвы	Крутизна склона
-	1) Поверхностная 2) Вспашка 3) Вспашка+щелевание	4°
100		
200		
300		
400		
200+200		
-		8°
100		
200		
300		
400		
200+200		

Таблица 2. Система удобрений под культуры севооборота, кг/га д.в.
Table 2. Fertilizer system for crop rotation, kg / ha a.v.

Культура	основное			припосевное			подкормка		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Овёс	-	-	60	70	-	-	-	-	-
Ячмень + мн.травы	-	-	50	90	-	-	-	-	-
Мн. травы 1 г.п.	-	-	-	-	-	-	95	80	170
Мн. травы 2 г.п.	-	-	-	-	-	-	35	80	170
Озимая пшеница	55	60	120	-	15	-	55	-	-

антов методом организованных повторений. Крутизна склона 4° и 8°. Экспозиция склона южная. Протяжённость 120 м. Для улучшения изучения отдельных элементов водного баланса в данных условиях были заложены стационарные водобалансовые площадки (S=200м²). Предполивной порог влажности почвы допускался не ниже 75%. Исследования проводились согласно общепринятым методикам и рекомендациям [5-11]. Методика полевого опыта (Доспехов, 1985). Водно-физические свойства почвы определялись по методикам А.А.Роде и Н.А.Качинского. Фактическая поливная норма учитывалась с помощью дождемеров Давитая. Расчёт поливной нормы проводили по формуле А.Н.Костякова. Суммарное водопотребление за вегетационный период и по фазам развития растений определялось методом водного баланса [11]. Смыв почвы со стоковых площадок определяли по мутности воды. Определение водопроницаемости почвы в период вегетации культур – методом заливки площадок. Влажность почвы – методом термостатной сушки. Фенологические наблюдения проводили по методике Госкомиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур. Учёт урожая проводили сплошным методом. Поливы осуществляли дождевальную установкой с интенсивностью дождя I=0,28 мм/мин. Статистическая обработка результатов исследований – методом дисперсионного анализа для многофакторных опытов (Доспехов Б.А.)

Система удобрений рассчитана с учётом агрохимической характеристики пахотного слоя на положительный баланс питательных элементов (табл.2).

Результаты и их обсуждение

Различные методы определения суммарного водопотребления условно можно разделить на прямые и косвенные. К прямым относятся методы определения испарения с поверхности почвенных испарителей, лизиметров, а также с помощью подсчёта баланса влаги в определённых слоях почвы.

Косвенные методы определения суммарного водопотребления подразделяются на три группы. К первой относятся теоретические, основанные на физических законах испарения. В данном вопросе известны формулы Пенмана Х.Л. [12], Тюрка Л. И. др. Ко второй группе – метеорологические, когда водопотребление функционально связано с метеорологическими факторами – температурой, относительной влажностью воздуха и дефицитом влажности воздуха. К ним относятся методы Шарова И.А. [13], Костякова А.Н. [14], Иванова Н.Н. [15], Будыко М.М., Волковского П.А. [16], Селянинова Г.Т. [5] и др. Третья группа – эмпирические, когда величина суммарного водопотребления или отдельные коэффициенты определяются экспериментальным путём. К этому методу относятся формулы Костякова А.Н., Алпатьева А.М. [9], Алпатьева С.М. [17] и др.

Водопотребление сельскохозяйственными культурами находится в тесной зависимости от метеорологических условий и возрастает при повышенных температуре и низкой относительной влажности воздуха, в результате которых наблюдается высокая потенциальная испаряемость.

Следует иметь в виду, что на точность методов влияет изменчивость коэффициентов культур, входящих в расчётные зависимости вследствие того, что суммарное испарение может изменяться в широких диапазонах климатических условий с одинаковыми значениями температуры воздуха и длины дня. Даже в условиях одного региона, в зависимости от влагообеспеченности конкретного года, величины испарения и испаряемости могут различаться на 10-30% при почти одинаковых температурах.

В ряде расчётных методов влияние метеорологических условий учитывается более надёжно на основе метода теплового баланса орошаемого поля. Однако поливные нормы и в этих методах определяются с помощью эмпирических коэффициентов. Недостаточная точность эмпирических параметров ведёт к ошибкам в расчётах режима орошения до 30%.

Таблица 3. Значение биологических коэффициентов и суммарного водопотребления для овса, выращиваемого в севообороте на склоне южной экспозиции крутизной 8° в условиях ЦР РФ
 Table 3. The value of biological coefficients and total water consumption for oats grown in crop rotation on the slope of the southern exposure with a steepness of 8° under the conditions of the Central District of the Russian Federation

Месяц	Декада	Водопотребление (E), мм	Сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха (Σd), мб	Биоклиматический коэффициент (Кб), мм/мб
Май	I	12,8	47,1	0,28
	II	11,84	21,1	0,56
	III	25,06	24,6	1,02
Июнь	I	25,34	29,6	0,73
	II	25,12	44,4	0,50
	III	24,57	48,4	0,51
Июль	I	24,69	81,3	0,30
	II	27,75	76,4	0,37
	III	27,02	79,2	0,34
Август	I	24,94	46,9	0,54
	II	24,45	45,3	0,54
	III	22,36	36,5	0,61
Сентябрь	I	20,65	22,5	0,92
	II	14,04	25,0	0,56
	III	12,08	17,2	0,70

Таблица 4. Значение биологических коэффициентов и суммарного водопотребления для ячменя с подсевом многолетних трав, выращиваемых в севообороте на склоне южной экспозиции крутизной 8° в условиях ЦР РФ
 Table 4. The value of biological coefficients and total water consumption for barley with over-sowing of perennial grasses grown in crop rotation on the slope of the southern exposure with a steepness of 8° under the conditions of the Central District of the Russian Federation

Месяц	Декада	Водопотребление (E), мм	Сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха (Σd), мб	Биоклиматический коэффициент (Кб), мм/мб
Май	I	21,63	52,0	0,42
	II	16,25	27,6	0,59
	III	19,06	46,4	0,42
Июнь	I	22,61	42,9	0,53
	II	24,57	46,1	0,54
	III	24,69	41,1	0,60
Июль	I	29,96	62,2	0,48
	II	28,85	58,9	0,49
	III	31,18	85,0	0,37
Август	I	25,18	51,4	0,49
	II	25,55	55,5	0,46
	III	22,86	45,6	0,50
Сентябрь	I	18,33	53,0	0,35
	II	21,14	19,1	1,11
	III	13,31	13,8	0,97

Таблица 5. Значение биологических коэффициентов и суммарного водопотребления для многолетних трав 1 г.п., выращиваемых в севообороте на склоне южной экспозиции крутизной 8° в условиях ЦР РФ
 Table 5. The value of biological coefficients and total water consumption for perennial grasses grown in crop rotation on the slope of the southern exposure with a steepness of 8° under the conditions of the Central District of the Russian Federation

Месяц	Декада	Водопотребление (E), мм	Сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха (Σd), мб	Биоклиматический коэффициент (Кб), мм/мб
Май	I	18,45	39,3	0,47
	II	22,73	51,3	0,44
	III	22,01	63,7	0,42
Июнь	I	18,63	28,6	0,64
	II	24,57	32,2	0,58
	III	26,41	20,2	1,01
Июль	I	21,45	47,7	0,39
	II	22,73	39,2	0,58
	III	26,89	70,9	0,38
Август	I	26,53	48,7	0,55
	II	24,08	25,8	0,93
	III	21,63	23,5	0,92
Сентябрь	I	16,61	16,0	1,04
	II	18,82	30,4	0,62
	III	16,86	26,0	0,65

Ряд методик расчёта основан на уравнениях связи составляющих теплового и водного балансов. Достоинством данных методов является возможность оценки влияния влагообеспеченности посевов на соотношение суммарного испарения и испаряемости, но испарение в этом случае принимается пропорциональным влагозапасам почвы во все фазы развития растений, что неверно с точки зрения физиологии растений.

Использование биологических кривых для нормирования орошения – наиболее обоснованный и универсальный метод. Он учитывает основные факторы, определяющие величину водопотребления сельскохозяйственных культур, их биологические особенности, погодные условия и влагозапасы почвы.

Идею необходимости использования биологических кривых в расчётах водопотребления воды при оптимальной влажности почвы разделяют многие: А.И. Будаговский [18], А.Р. Константинов [19], С.И. Харченко [20], Г.К. Льгов [6], Н.Н. Дубенок [7], А.Ю. Черемисинов [21] и др.

В тоже время, использование одних и тех же коэффициентов в различных почвенно-климатических зонах приводит к существенным ошибкам [10,14,15,18,19]. Серьёзным недостатком коэффициентов биологической кривой являются их колебания во времени. Значение коэффициентов больше во влажные годы и существенно меньше в засушливые годы. Временная изменчивость биоклиматических коэффициентов в фиксированном пункте соизмерима с их пространственной изменчивостью [15,17,18,19]. Все исследователи отмечают, что биоклиматические коэффициенты зональны и различаются по регионам.

Достоинства методов расчёта водопотребления по метеорологическим показателям – простота и доступность, недостатки – не учитывается влияние урожая на водопотребление культуры. Поэтому эти методы можно применять лишь в тех природных зонах, для которых установлены значения эмпирических коэффициентов.

Суммарную потребность в воде посевов за весь период вегетации можно рассчитать с точностью 10-15 % с помощью следующего уравнения: $E = Kf(R, D, t, v, i)$, где K – средний за весь период эмпирический коэффициент, $f(R, D, t, v, i)$ – функция радиационного баланса R , дефицита влажности воздуха D , температуры воздуха t , скорости ветра v , продолжительности дня i .

В нашем исследовании было определено, что суммарное водопотребление сельскохозяйственных культур в условиях оптимального увлажнения почвы в верхней части склона южной экспозиции крутизной 8° больше, чем в нижней части. Это можно объяснить тем, что верхняя часть склона получает больше солнечной радиации и в верхней части склона больше скорость ветра. Это общее логическое заключение, специальных замеров скорости ветра в нашем опыте не проводилось.

По нашим наблюдениям в разные по обеспеченности осадками и температурой годы с оптимальной влажностью суммарное водопотребление на склоне крутизной 8° на 9-11% больше, чем на склоне крутизной 4° по средним показателям, по всей площади склонов.

Экспериментально нами было определено суммарное водопотребление, сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха и биоклиматические коэффициенты для трёх культур из севооборота. Расчёты приведены в таблицах 3-5.

Как следует из приведенных в таблицах 3, 4 и 5 данных, водопотребление сельскохозяйственными культурами в условиях опыта возросло в июне и июле, по сравнению с остальными месяцами вегетации. Это объясняется метеорологическими показателями лет исследований, по которым были определены среднесуточные дефициты влажности воздуха, а затем их суммарные значения в течение декады. Дефицит влажности – разность между максимальной и абсолютной влажностью при данной температуре, который определяется по формуле: $d = p_s - p$. Это один из важнейших экологических параметров, поскольку характеризует сразу две величины: температуру и влажность. Чем выше дефицит влажности, тем суше и теплее. Биологические коэффициенты определялись подекадно.

В июне и июле в исследуемые годы наблюдались повышенные температуры и низкая относительная влажность воздуха (по данным метеорологической станции «Михайловское», расположенной по адресу: г.Москва, поселение Вороновское, д.Голохвастово, д.2г).

В ходе эксперимента также установлено, что суммарное водопотребление сельскохозяйственных культур (суммарное водопотребление за вегетационный период и по фазам развития растений в нашем эксперименте определяли методом водного баланса) существенно различается по элементам склона. Между верхними и нижними элементами склона южной экспозиции крутизной 8° разница составляет 12-15 мм, что необходимо учитывать при расчёте режимов орошения сельскохозяйственных культур на склоновых землях. В верхней части склона необходимо проводить на 1-2 полива больше, чем в основании склона. Дифференцированные поливы по длине склона позволяют экономить оросительную воду на 10-15%. На склоне крутизной 4° существенной разницы в суммарном водопотреблении в верхней части склона и в нижней его части, отмечено не было.

Полученные нами зональные биоклиматические коэффициенты (для условий Нечерноземной зоны) позволяют определять водопотребление овса, ячменя с подсевом многолетних трав и многолетних трав 1 года пользования на склонах южной экспозиции крутизной 8°, подставляя их в формулу Алпатъева $E = K_b \cdot \Sigma D$, где K_b – биоклиматический коэффициент, характеризующий испарение воды орошаемым полем, занятым сельскохозяйственной культурой, при увлажнении почвы не ниже 70% НВ, а ΣD – сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха за период вегетации культур.

Использование этих коэффициентов дает возможность проводить расчет режима орошения этих культур, определять и корректировать поливные нормы в период дефицита влаги для поддержания влажности почвы не ниже 70% НВ и, таким образом, получать стабильные урожаи сельскохозяйственных культур.

Об авторах:

Николай Николаевич Дубенок – академик РАН, доктор с.-х. наук, профессор, заведующий кафедрой сельскохозяйственных мелиораций, лесоводства и землеустройства, <https://orcid.org/0000-0002-9059-9023>

Роман Владимирович Калинин – кандидат с.-х. наук, доцент кафедры сельскохозяйственных мелиораций, лесоводства и землеустройства, <https://orcid.org/0000-0003-3136-8468>

Марина Владимировна Климахина – кандидат с.-х. наук, доцент кафедры сельскохозяйственных мелиораций, лесоводства и землеустройства, <https://orcid.org/0000-0002-2673-4964>

Елена Владимировна Мацыганова – кандидат с.-х. наук, доцент кафедры сельскохозяйственных мелиораций, лесоводства и землеустройства, <https://orcid.org/0000-0001-8207-2718>

Ксения Борисовна Шумакова – кандидат с.-х. наук, доцент кафедры сельскохозяйственных мелиораций, лесоводства и землеустройства, <https://orcid.org/0000-0003-3002-5420>

About the authors:

Nikolay N. Dubenok – Academician of the RAS, Doc. Sci. (Agriculture), Professor, Head of Department of Agricultural Reclamation, Forestry and Land Management, <https://orcid.org/0000-0002-9059-9023>

Roman V. Kalinichenko – Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Agricultural Land Reclamation, Forestry and Land Management, <https://orcid.org/0000-0003-3136-8468>

Marina V. Klimakhina – Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Agricultural Land Reclamation, Forestry and Land Management, <https://orcid.org/0000-0002-2673-4964>

Elena V. Matsyganova – Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Agricultural Land Reclamation, Forestry and Land Management, <https://orcid.org/0000-0001-8207-2718>

Ksenia B. Shumakova – Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Agricultural Land Reclamation, Forestry and Land Management, <https://orcid.org/0000-0003-3002-5420>

• Литература

1. Калинин Р.В., Климахина М.В., Шумакова К.Б., Мацыганова Е.В., Дудаков Н.К. Микробиологическая характеристика почвы при возделывании овощных культур на капельном поливе в условиях сухостепной зоны Нижнего Поволжья. *Мелиорация и водное хозяйство*. 2019;(2):18-22.
2. Евграфов А.В., Климахина М.В., Мацыганова Е.В. Особенности формирования поверхностного стока при поливе дождеванием в агроландшафтах. *Мелиорация и водное хозяйство*. 2013;(4):13-17.
3. Дубенок Н.Н., Климахина М.В. Обоснование необходимости страхового орошения сельскохозяйственных культур в Нечерноземной зоне РФ. *Достижения науки и техники АПК*. 2010;(4):46-47.
4. Климахина М.В. «Агромелиоративное обоснование страхового орошения склоновых земель в Центральной Нечерноземной зоне РФ. Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. с.-х. наук. М., 2010. 20 с.
5. Селянинов Г.Т. Методика сельскохозяйственной характеристики климата. Л.: Гидрометеиздат, 1937. С.5-27.
6. Льгов Г.К. Биологическое обоснование поливного режима с.-х. культур в предгорьях Северного Кавказа. *Биологические основы орошаемого земледелия*. М.: 1966. С.46-57.
7. Дубенок Н.Н. Суммарное водопотребление и режим орошения культурных сенокосов, расположенных на склоновых участках в условиях Нечерноземной зоны. *Доклады ВАСХНИЛ*, 1984;(6).
8. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979. 416 с.
9. Алпатьев А.М. Биологические основы водопотребления орошаемых культур. *Орошаемое земледелие в европейской части СССР*. М., 1965. С.54-66.
10. Шумаков Б.Б. Новые подходы к определению водопотребления и режим орошения с.-х. культур. *Мелиорация и водное хозяйство*. 1994;(2):27-28.
11. Методы расчёта водных балансов. Международное руководство по исследованиям и практике. Ленинград: Гидрометеиздат, 1976.
12. Пенман Х.Л. Растения и влага. Ленинград: Гидрометеиздат, 1968. 162 с.
13. Шаров И.А. Эксплуатация гидромелиоративных систем. М., Колос, 1968. 384 с.
14. Костяков А.Н. Основы мелиорации. М.: Сельхозгиз, 1960. 622 с.
15. Иванов Н.Н. Мирная карта испаряемости. Л.: Гидрометеиздат, 1957. 39 с.
16. Волковский П.А. Регулирование водного режима на осушительных системах двустороннего действия. М.: Колос, 1968. 43 с.
17. Алпатьев С.М. К вопросу о расчётной обеспеченности дефицита водного баланса при проектировании орошения. *Водное хозяйство. Вып.2. Киев, Урожай*, 1965. С.3-17.
18. Будаговский А.И. Испарение почвенной влаги. М.: Наука, 1964. 244 с.
19. Константинов А.Р., Астахова Н.И., Ливенко А.А. Методы расчёта испарения с сельскохозяйственных полей. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 126 с.
20. Харченко С.И., Волков А.С. Основы методов определения режима орошения. – Обнинск: ВНИИГИМ МЦД, 1979. 44 с.
21. Черемисинов А.Ю. Агроэкологические природоохранные аспекты сельскохозяйственных мелиораций. Воронеж, ВСХИ, 1990. С.5-16.
22. Zebe, J.A., Serna-Perez, A. Partial rootzone drying to save water while 'growing apples in a semi-arid region. Irrigation and Drainage. Managing water' for sustainable agriculture. John Wiley & Sons, Inc., NY, USA, 2012;61(2):251-259.
23. Kotaiah Swamy, D., Rajesh, G., Jaya Krishna Pooja, M., Rama Krishna, A. Microcontroller Based Drip Irrigation System. *International Journal of Emerging Science and Engineering (IJESE)*. 2013;1(6, April).
24. Postel, S. Drip Irrigation Expanding Worldwide. *Water Currents. National Geographic*. Режим доступа: <http://newswatch.nationalgeographic.com/2012/06/25/drip-irrigation-expanding-worldwide/>

• References

1. Kalinichenko, R.V., Komahina M.V., Shumakova K.B., Matsyganova E.V. Dudakov, N. To. Microbiological characteristics of the soil in the cultivation of vegetable crops drip irrigation in conditions of dry steppe zone of the Lower Volga region. *Melioration and water economy*. 2019;(2):18-22. (In Russ.)
2. Evgrafov A.V., Klimakhina M.V., Matsyganova E.V. Features of formation of surface runoff when watering by sprinkler irrigation in agricultural landscapes of black earth. *Melioration and water economy*. 2013;(4):13-17. (In Russ.)
3. Dubenok N.N., Komahina M.V. Substantiation of the need for insurance irrigation of crops in the Nonchernozem zone of the Russian Federation. *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2010;(4):46-47. (In Russ.)
4. Klimakhina M.V. "Agromeliorative justification of insurance irrigation of slope lands in the Central non-Chernozem zone of the Russian Federation. Autoref. dis. on the academic degree candidate of agricultural science. M., 2010. 20 p. (In Russ.)
5. Selyaninov G.T. Methodology for agricultural climate characteristics. L.: Gidrometeoizdat, 1937. P.5-27. (In Russ.)
6. Lgov G.K. Biological substantiation of the irrigation regime of agricultural crops in the foothills of the North Caucasus. *Biological bases of irrigated agriculture*. M.: 1966. P.46-57. (In Russ.)
7. Dubenok N.N. Total water consumption and irrigation regime of cultivated hayfields located on slopes in the Non-Chernozem zone. *Reports of VASKhNIL*, 1984;(6). (In Russ.)
8. Dospekhov B.A. Field experiment technique. M.: Kolos, 1979. 416 p. (In Russ.)
9. Alpatiev A.M. Biological bases of water consumption of irrigated crops. *Irrigated agriculture in the European part of the USSR*. M., 1965. P.54-66. (In Russ.)
10. Shumakov B.B. New approaches to the determination of water consumption and irrigation regimes for agriculture cultures. *Melioration and water management*. 1994;(2):27-28. (In Russ.)
11. Methods for calculating water balances. International research and practice guidelines. - Leningrad: Gidrometeoizdat, 1976. (In Russ.)
12. Penman H.L. Plants and moisture. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1968. 162 p. (In Russ.)
13. Sharov I.A. Operation of irrigation and drainage systems. M., Kolos, 1968. 384 p. (In Russ.)
14. Kostyakov A.N. Basics of land reclamation. M.: Selkhozgiz, 1960. 622 p. (In Russ.)
15. Ivanov N.N. World map of evaporation. L.: Gidrometeoizdat, 1957. 39 p. (In Russ.)
16. Volkovsky P.A. Regulation of the water regime on double-acting drainage systems. M.: Kolos, 1968. 43 p. (In Russ.)
17. Alpatiev S.M. On the issue of the estimated provision of water balance deficit in the design of irrigation. *Water industry. issue 2. Kiev, Harvest*, 1965. P.3-17. (In Russ.)
18. Budagovsky A.I. Evaporation of soil moisture. M.: Nauka, 1964. 244 p. (In Russ.)
19. Konstantinov A.R., Astakhova N.I., Liveko A.A. Methods for calculating evaporation from agricultural fields. L.: Gidrometeoizdat, 1971. 126 p. (In Russ.)
20. Kharchenko S.I., Volkov A.S. Fundamentals of methods for determining the irrigation regime. Obninsk: VNIIGIM MCD, 1979. 44 p. (In Russ.)
21. Cheremisinov A.Yu. Agroecological nature conservation aspects of agricultural reclamation. Voronezh, VSKHI, 1990. P.5-16. (In Russ.)
22. Zebe J.A., Serna-Perez A. Partial rootzone drying to save water while 'growing apples in a semi-arid region. Irrigation and Drainage. Managing water' for sustainable agriculture. John Wiley & Sons, Inc., NY, USA, 2012;61(2):251-259.
23. Kotaiah Swamy D., Rajesh G., Jaya Krishna Pooja M., Rama Krishna A. Microcontroller Based Drip Irrigation System. *International Journal of Emerging Science and Engineering (IJESE)*. 2013;1(6, April).
24. Postel, S. Drip Irrigation Expanding Worldwide. *Water Currents. National Geographic*. <http://newswatch.nationalgeographic.com/2012/06/25/drip-irrigation-expanding-worldwide/>