

5. ГОСТ Р 52769-2007. Вода. Методы определения цветности. – Введ. 2009-01-01. – Москва: Минздрав России, 2001. – Текст: непосредственный.

6. ГОСТ Р 52963-2008. Вода. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов. – Введ. 2008-29-08. – Москва: Стандартинформ, 2009. – Текст: непосредственный.

7. СП 31.13330.2021. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84. – Москва: Минрегионразвития, 2021. – Текст: непосредственный.

8. Абрамов, Н. Н. Водоснабжение: учебник для вузов / Н. Н. Абрамов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Интеграл, 2014. – Текст: непосредственный.

### References

1. Postanovlenie Pravitelstva Altaiskogo kraia. Ob utverzhdenii gosudarstvennoi programmy Altaiskogo kraia «Kompleksnoe razvitie selskikh territorii Altaiskogo kraia» ot 20 dekabria 2019 g. N 530.

2. SanPiN 2.1.4.1074-01. «Pitevaia voda. Gigienicheskie trebovaniia k kachestvu vody tsentralizovannykh sistem pitevogo vodosnabzheniia. Kontrol kachestva. Gigienicheskie trebovaniia k obespecheniiu sistem goriachego vodosnabzheniia».

3. GOST 31937-2011. Pravila obsledovaniia i monitoringa tekhnicheskogo sostoianiia.

4. GOST R 52407-2005. Voda pitevaia. Metody opredeleniia zhestkosti. – Vved. 2007-01-01. – Moskva: Standartinform, 2007.

5. GOST R 52769-2007. Voda. Metody opredeleniia tsvetnosti. – Vved. 2009-01-01. – Moskva: Minzdrav Rossii, 2001.

6. GOST R 52963-2008. Voda. Metody opredeleniia shchelochnosti i massovoi kontsentratsii karbonatov i gidrokarbonatov. – Vved. 2008-29-08. – Moskva: Standartinform, 2009.

7. SP 31.13330.2021. Vodosnabzhenie. Naruzhnye seti i sooruzheniia. Aktualizirovannaia redaksiia SNiP 2.04.02-84. – Moskva: Minregionrazvitiia. 2021.

8. Abramov, N.N. Vodosnabzhenie: uchebnik dlia vuzov / N.N. Abramov. – 3-e izd., pererab. i dop. – Moskva: Integral, 2014.



УДК 631.332.368 (578.2)  
DOI: 10.53083/1996-4277-2023-221-3-44-50

Д.Ж. Кендирбаева, А.Р. Жунусакунова, К.А. Сарыгулова  
D.J. Kendirbaeva, A.R. Junusakunova, K.A. Sarygulova

## АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОРМЫ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ЗА ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД В КЫРГЫЗСТАНЕ

### ALGORITHM FOR DETERMINING WATER CONSUMPTION RATES FOR AGRICULTURAL CROPS THROUGHOUT GROWING SEASON IN KYRGYZSTAN

**Ключевые слова:** орошаемое земледелие, оросительная норма, водопотребление, коэффициент водопотребления, вегетационный период.

**Keywords:** irrigated agriculture, irrigation rate, water consumption, water consumption coefficient, growing season.

В засушливых районах, а также в зонах неустойчивого увлажнения Кыргызстана одним из действенных приемов повышения урожайности культур является орошаемое земледелие. При этом более 80% территорий заняты горными массивами, а площади, пригодные для выращивания культур, распространены лишь в нижних зонах долин. Вывод высокопродуктивных участков из сельскохозяйственного оборота вызывает серьезную озабоченность среди крестьянских и фермерских хозяйств. Дело в том, что из-за несоблюдения норм полива и высокого стояния уровня грунтовых вод (УГВ) круглый год происходит снижение продуктивности почв, а также наблюдаются процессы их засоления и заболачивания, приводящие к сокращению агроландшафтов. Возникла острая необходимость определения нормы оптимального водопотребления сельскохозяйственных культур по сортам. Предлагаемый алгоритм определения нормы водопотребления сельскохозяйственных культур, объединенных в группы ( $A_1$ ,  $A_5$ ,  $B_1$ ,  $B_5$ ), состоит из 3 этапов, где используются методы математической статистики. Сначала создают базы данных, включающие сведения о температуре, атмосферных осадках, дефиците и относительной влажности воздуха как важного показателя в регулировании нормы поливной воды от сева до полноценного созревания культур. Запасы почвенной влаги по конкретным участкам орошаемых земель на начало ( $W_n$ ) и конец ( $W_k$ ) вегетационного периода определены по сумме осадков за осенне-зимне-весенний период, а на конец вегетации ( $W_k$ ) – за весенне-летний. В конечном итоге были выявлены обратные взаимосвязи между сухостью климата, коэффициентом водопотребления куль-

туры и почвами с глубиной залегания уровня грунтовых вод.

In arid areas as well as in areas of Kyrgyzstan with unstable moisture, one of the effective ways to increase productivity is irrigated agriculture. More than 80% of the territories are occupied by mountain ranges, and areas suitable for crop growing are distributed only in the lower zones of the valleys. The withdrawal of highly productive plots from agricultural use causes serious concern for peasants and farms. The fact is that due to non-compliance with the irrigation rates and the high level of groundwater (GWL), soil productivity decreases during the year, salinization and waterlogging processes are observed, leading to decrease of agricultural landscapes. Therefore, the urgent need to determine the rates of optimal water consumption of crops by varieties has become on the agenda. The proposed algorithm for calculating the water consumption rate for crops of groups ( $A_1$ ,  $A_5$ ,  $B_1$ ,  $B_5$ ) consists of 3 stages and uses methods of mathematical statistics. First, databases are created that include information on temperature, precipitation, moisture deficit and relative air humidity as an important indicator in regulating the rate of irrigation water from sowing to complete maturation of crops. Soil moisture reserves for specific plots of irrigated lands at the beginning ( $W_n$ ) and the end ( $W_k$ ) of the growing season are determined by the amount of precipitation for the autumn-winter-spring period, and at the end of the growing season ( $W_k$ ) - for spring-summer. Ultimately, it is concluded that there are inverse relationships between the dryness of the climate, crop water consumption coefficient and soils with the depth of the groundwater level.

**Кендирбаева Джумагуль Жумаевна**, д.г.-м.н., профессор, вед. науч. сотр., Институт сейсмологии НАН Киргизской Республики, г. Бишкек, Киргизская Республика, e-mail: jumaevna48@gmail.com.

**Жунусакунова Айнура Рыскуловна**, аспирант, ст. преподаватель, Киргизский национальный аграрный университет им. К.И. Скрябина, г. Бишкек, Киргизская Республика, e-mail: aiunusakunova@mail.ru.

**Сарыгулова Кайырса Айтмамбетовна**, аспирант, ст. преподаватель, Киргизский национальный аграрный университет им. К.И. Скрябина, г. Бишкек, Киргизская Республика, e-mail: kaiyrsa@mail.ru.

**Kendirbaeva Dzhumagul Jumaevna**, Dr. Geo.-Min. Sci., Prof., Leading Researcher, Institute of Seismology of National Academy of Sciences of Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyz Republic, e-mail: jumaevna48@gmail.com.

**Junusakunova Ainura Ryskulovna**, post-graduate student, Asst. Prof., Kyrgyz National Agricultural University named after K.I. Skryabin, Bishkek, Kyrgyz Republic, e-mail: aiunusakunova@mail.ru.

**Sarygulova Kaiyrsa Aitmambetovna**, post-graduate student, Asst. Prof., Kyrgyz National Agricultural University named after K.I. Skryabin, Bishkek, Kyrgyz Republic, e-mail: kaiyrsa@mail.ru.

### Введение

Одним из приемов повышения урожайности культур в засушливых районах и зонах неустойчивого увлажнения, к каковым относится Кыргызстан, является орошение земель. В нашей республике, как показано в работе [1], площади для выращивания сельскохозяйственных культур, расположенных в пределах высот 400-3400 м над уровнем моря, составляют более 2,5 млн га, из которых на 230-250 тыс. га с

использованием инновационных технологий сеют зерновые и овощные культуры.

В то же время на территории Кыргызстана из-за усиления процессов заболачивания и вторичного засоления земель происходит выпадение орошаемых площадей из сельскохозяйственного оборота. Во избежание таких последствий [2] предлагают расширить сельскохозяйственные площади за счет применения подземных вод, учитывая, что среди населения конфликты возникают не столько из-за территори-

альной неразберихи и национальной принадлежности, сколько из-за дефицита влаги в земледельческом секторе, где доминируют влаголюбивые культуры. С другой стороны, это происходит из-за несоблюдения нормы полива и высокого уровня грунтовых вод (УГВ) круглый год, так как дополнительно накапливается около 1 млн м<sup>3</sup> поливной воды, способной не только покрыть ее дефицит, но и привести, как сказано выше, к заболачиванию и засолению территорий. Постоянное стремление на орошаемых площадях республики к улучшению способов по доставке/понижению УГВ ↔ сохранению водно-воздушного режима в почво-грунтах ↔ обеспечению продуктивности фитоценозов не теряет своей актуальности.

### Изученность вопроса

На территории СНГ Д.И. Шашко, П.И. Колосов, Н.Н. Иванов, А.В. Процеров, Л.С. Кольчевская, С.А. Сапожникова, Ю.И. Чиркова и Г.А. Белобородова, объединяя сельскохозяйственные культуры в группы, широко использовали усредненные характеристики продуктивной влаги в почве, геолого-гидрогеологические условия и водообеспеченность территорий (50, 75, 95%). Зоны выращивания культур с помощью этого коэффициента, разделяющего количество запасов влаги в почве (ЗПВ), ранжируют на различные уровни, например, «яровые зерновые», включающие различные сорта пшеницы, ячменя и рожь, а также овощные, бахчевые и садовые. Не принято во внимание время полноценного созревания культур по сортам, так как водопотребление даже внутри одной группы за счет влияния климатических условий и свойств почвы, а также способов полива и технологии выращивания растений различное. Примером может послужить опыт РФ, где для выращивания сельскохозяйственных культур расходы поливной воды рассчитывают с помощью испаряемости с водной поверхности по формуле [3], основанной на учете коэффициента природного увлажнения  $K_y$ .

Вопросами повышения продуктивности сельскохозяйственных культур в Кыргызстане занимаются издавна, но до сих пор нормы полива обоснованы недостаточно. В результате плодородие почв снижается, а несоблюдение агро-

технических норм, как сказано выше, приводит на почвах с неглубоким залеганием уровня грунтовых вод к активизации процессов вторичного засоления и заболачивания. Предложен расчет нормы оросительной воды на примере Казахстана [4] по формуле:

$$M_n = E_c - 10 \mu P_v - \Delta W - W_f,$$

где  $M_n$  – расчетная норма поливной воды, м<sup>3</sup>/га;

$E_c$  – суммарное водопотребление культуры от сева до созревания, м<sup>3</sup>/га;

10 – средний коэффициент перевода атмосферных осадков, мм/м<sup>3</sup>/га;

$\mu$  – теоретический коэффициент расходов осадков;

$P_v$  – сумма осадков, выпавших за вегетационный период, мм.

$$\Delta W = (W_n - W_k),$$

где  $W_n$  – запас почвенной влаги (ЗПВ) до глубины 10-20 см на начало вегетационного периода, м<sup>3</sup>/га;

$W_k$  – ЗПВ на конец вегетационного периода, м<sup>3</sup>/га;

$W_f$  – количество воды в расчетном слое почвы, поступающей из грунтовых вод, м<sup>3</sup>/га.

Набор этих параметров для определения водопотребления растений в Кыргызстане несмотря на изменчивость режима погодных условий представляет определенный практический интерес.

В связи с этим **целью** работы является разработка алгоритма определения водопотребления сельскохозяйственных культур в Кыргызстане за периоды от сева до полного созревания.

### Методика исследований

В качестве примера приводится Чуйская впадина, обладающая всеми предпосылками стать в Центральной Азии образцовой зоной орошаемого земледелия (рис. 1). Для улучшения состояния орошаемых сельскохозяйственных земель и повышения плодородия почв, наряду с комплексом мелиоративных мероприятий, предлагают автоматизировать водораспределение окольцеванием крупных ирригационных систем и расширением использования подземных вод.

Предлагаемый алгоритм определения нормы водопотребления сельскохозяйственных культур, объединенных в группы ( $A_1, A_5, B_1, B_5$ ), состоит из 3 этапов (рис. 2).

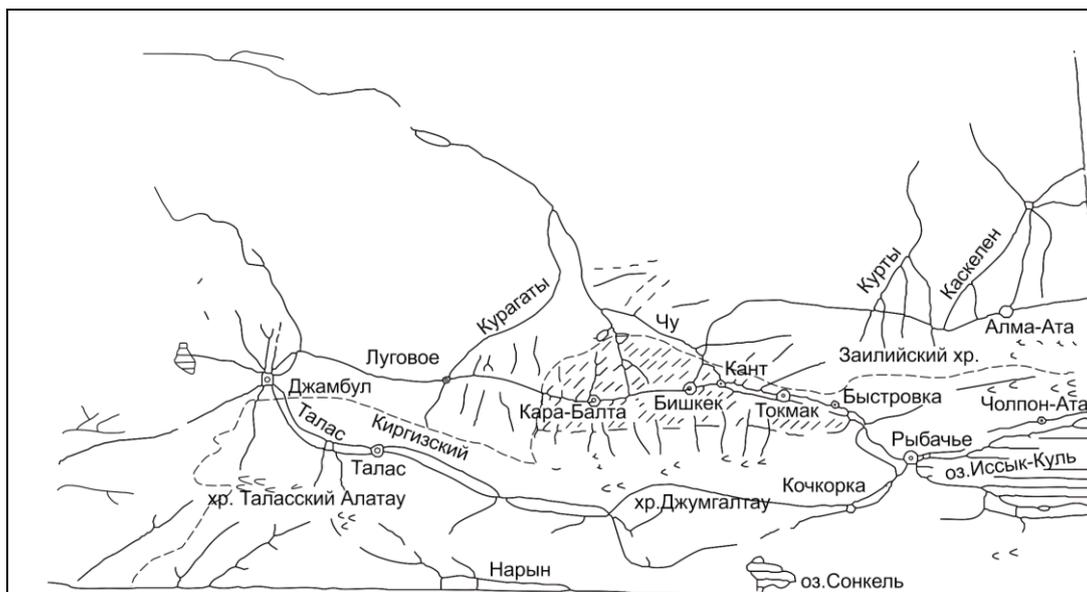


Рис. 1. Обзорная карта Чуйской впадины

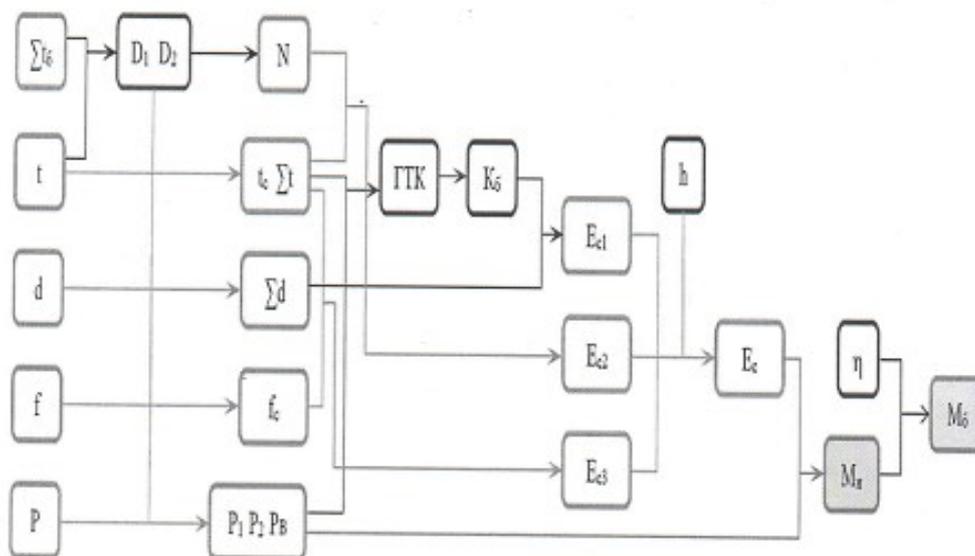


Рис. 2. Алгоритм основных этапов расчета нормы орошения

На 1-м этапе по сведениям о количестве выпадающих осадков, температуре, дефиците и относительной влажности воздуха, а также по датам от сева до полноценного созревания растений конкретного региона создают базы данных. На 2-м этапе после обработки их методами математической статистики [5] в Excel автоматически рассчитывают водопотребление культуры ( $E_c$ ). На 3-м этапе суммарное водопотребление культуры как среднее в зависимости от гипсометрических высот местности ( $h$ ) определено для равнины (до 1000 м) методами А.М. Алпатьева [6], И.А. Шарова [7] и Д.А. Штойко [8], тогда как для предгорных зон ( $h \geq 1000$  м) – А.М. Алпатьева [6] и Д.А. Штойко [8].

Исходя из вышесказанного для определения суммарного водопотребления культуры ( $E_c$ ) использованы формулы  $E_{c1} = K_6 \sum d$  (мм) =  $10 \cdot K_6 \sum d$  (м<sup>3</sup>/га) [6];  $E_{c2} = e \sum t_c + 4N$  (м<sup>3</sup>/га) [7], а также  $E_{c3} = \sum_t (0,1 \cdot t_c (1 - f_d/100))$  (м<sup>3</sup>/га) [8].

### Полученные результаты и их обсуждение

Обнаружены почти все типы почв: черноземы, каштановые, сероземы северные, луговые, болотно-луговые, солончаки и солонцы, представленные в равнинных частях автоморфными и гидроморфными разновидностями, причем, на низких гипсометрических высотах преобладают пустыни, а в высокогорье – арктические ландшафты. На рисунке 3 видно, что между температурой воздуха и высотами местности существуют взаимосвязи: абсолютный максимум (°С),

колеблющийся от 30 до 40, и минимум – от 30 до 45 ниже нуля.

Годовое количество выпадения осадков колеблется от 300 до 800-1000 мм, причем их прямая зависимость связана с теплым периодом (рис. 4).

Сумма биологических температур ( $\sum t_b$ ) – это сумма среднесуточных температур воздуха, необходимая для расчета водопотребления конкретной культуры, т.к. коэффициент водопо-

требления культуры зависит от почвенно-климатических условий. Например, по данным [9], коэффициент водопотребления в условиях Илейского Алатау, аналогичных для Чуйской впадины Кыргызстана, по яровой пшенице предложен в количестве 0,40, выход в трубку – 0,71, цветение – 0,65, налив зерна – от 0,31 до 0,55, тогда как эта же величина [10] принята на уровне 0,60, а восковая спелость на период колосения – 0,40.

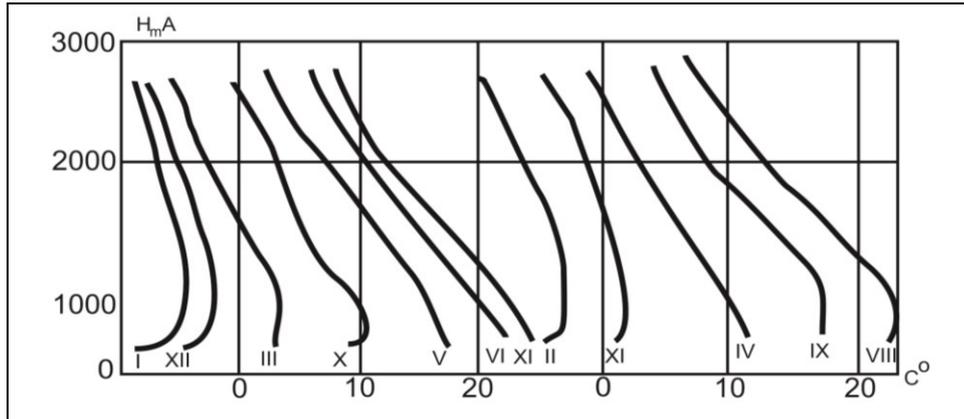


Рис. 3. Изменение температуры воздуха и атмосферных осадков от высоты местности

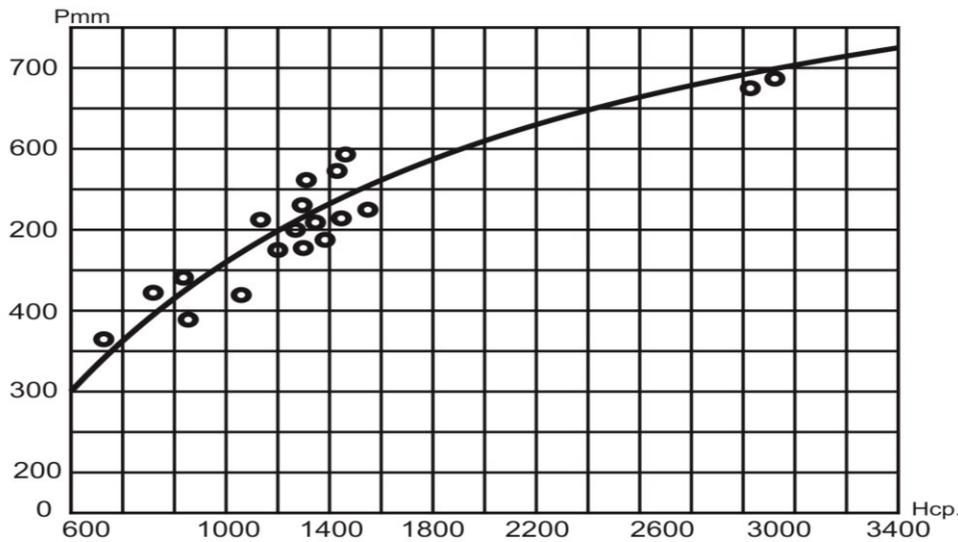


Рис. 4. Зависимость атмосферных осадков от высоты местности

К коэффициентам использования осадков сельскохозяйственными культурами ( $\mu$ ) относится [11] испарение с почвы при слабо засушливых условиях – от 0,65 до 0,70, на сухих территориях – от 0,75 до 0,80 и во влажных зонах – от 0,55 до 0,60. Этот же показатель предложен для структурных почв – от 0,80 до 0,90, для бесструктурных – от 0,30 до 0,50.

Для Чуйской впадины по засушливости климата и суммарным коэффициентам водопо-

требления культуры ( $K_6$ ) характерны обратные связи, в связи с чем коэффициент использования осадков ( $\mu$ ), равный 0,75, укладывается в нормы орошения для аридных зон. Средний коэффициент аккумуляции осадков почвой в республике, учитывая относительно короткий период промерзания почвы и повышение с наступлением тепла, предложен за октябрь-февраль в пределах 0,55, за март – 0,60 как время начала сева культуры. Это свидетельствует о том, что

запасы почвенной влаги по площади орошаемых земель по региону различны.

С нашей точки зрения, коэффициент использования осадков ( $\mu$ ) составил 0,70 за счет весенне-летних периодов, но для осадков, оставшихся на глубине 1 м в почве, вследствие отсутствия летом активной инфильтрации ниже глубины 1 м, а также их незначительного количества выпадения и высоких температур воздуха, снижен до 0,30.

В итоге в Кыргызстане благоприятными температурами для сельскохозяйственных культур от посева до полного созревания являются следующие значения: для групп яровых и клубневых культур – выше  $+9-10^{\circ}\text{C}$ , а для теплолюбивых культур – более  $+13-15^{\circ}\text{C}$ .

Данный алгоритм [12] апробирован в Кыргызстане на автоморфных почвах с глубиной залегания грунтовых вод более 10-15 м, где их уровень находится в пределах 1-2 м. Во избежание поднятия почвенных солей нормы водопотребления культуры предлагаем снизить в 1,5-2 раза, в результате чего уменьшается и норма орошения. В нормы водопотребления также включены объемы воды, расходуемой на технологические сбросы и испарение с полей, а также на создание условий проточности и фильтрации воды.

### Выводы

Полученные данные отражают 3 этапа исследований в Кыргызстане и указывают на сельскохозяйственные культуры, объединенные в группы. Определение водопотребления сельскохозяйственных культур произведено с учетом климатических условий, гипсометрических высот и выпавших осадков. Его нормы основываются на данных о температуре, относительной влажности и дефиците влажности воздуха, а также о количестве осадков.

Данный алгоритм предназначен для возделывания полей в предгорных зонах с глубоким залеганием грунтовых вод.

### Библиографический список

1. Инновационные технологии орошения / Б. Саипов, Б. О. Аскаралиев, Дж. К. Садабаева [и др.]. – Текст непосредственный // Вестник КНАУ им. К. И. Скрябина. – 2018. – № 4 (49). – С. 106-113.
2. Иманкулов, Б. Перспективы использования подземных вод в орошаемом земледелии Кыргызстана / Б. Иманкулов, К. Суранова. –

Текст: непосредственный // Вестник КНАУ им. К. И. Скрябина № 1 (33). – 2015. – С. 163-166..

3. Иванов, Н. Н. Об определении величины испаряемости / Н. Н. Иванов. – Москва: Изд-во ГГО, 1954. – С. 189-196. – Текст непосредственный.

4. Бейшоланов, С. С. Модуль расчета оросительной нормы сельскохозяйственных культур на основе метеорологических данных / С. С. Бейшоланов. – Текст: непосредственный // Гидрометеорология и экология. – Алматы, 2020. – № 2. – С. 165-176.

5. Дмитриев, Е. А. Математическая статистика в почвоведении / Е. А. Дмитриев. – Москва: Изд-во МГУ, 1995. – 320 с. – Текст: непосредственный.

6. Алпатьев, А. М. Влагообороты в природе и их преобразования / А. М. Алпатьев. – Москва: Гидрометеиздат, 1969. – 323 с. – Текст: непосредственный.

7. Шаров, И. А. Эксплуатация гидромелиоративных систем / И. А. Шаров. – Москва: Колос, 1968. – 384 с. – Текст: непосредственный.

8. Штойко, Д. А. Нормативы проектирования сельскохозяйственных культур и гидромодуля в условиях интенсивного использования орошаемых земель / Д. А. Штойко. – Текст: непосредственный // Орошаемое земледелие в Европейской части СССР. – Москва: Колос, 1965. – С. 171-185.

9. Белобородова, Г. Г. Об агрономелиоративном обосновании режимов орошения сельскохозяйственных культур / Г. Г. Белобородова. – Текст: непосредственный // Вестник сельскохозяйственных культур. – 1960. – № 2.

10. Процеров, А. Р. Зависимость весеннего стока и аккумуляция осадков от осеннего влагонакопления в почве / А. Р. Процеров. – Текст: непосредственный // Советская агрономия. – 1957. – № 2. – С. 122-124.

11. Химический состав и функциональные свойства рисовых белковых концентратов / В. В. Колпакова, Д. Н. Лукин, Л. В. Чумакин, Л. В. Шевякова. – Текст: непосредственный // Вестник ВГУНТ. – 2015. – № 4. – С. 122-124.

12. Кендирбаева, Дж. Ж. Перспективы использования энергии природных вод Кыргызстана в малой гидроэнергетике и агрорекреации / Дж. Ж. Кендирбаева, А. Р. Жунусакунова, К. А. Сарыгулова. – Текст: непосредственный // Вестник КНАУ им. К. И. Скрябина. – Бишкек, 2019. – № 3. – С. 30-35.

## References

1. Saipov B., Askaraliev B.O., Sadabaeva Dzh.K., Drugaleva E.E. i dr. Innovatsionnye tekhnologii orosheniia // Vestnik KNAU im. K.I. Skriabina. – 2018. – No. 4 (49). – S. 106-113.
2. Imankulov B., Suranova K.. Perspektivy ispolzovaniia podzemnykh vod v oroshaemom zemledelii Kyrgyzstana // Vestnik KNAU im. K.I. Skriabina. – 2015. – No. 1 (33). – S. 163-166.
3. Ivanov N.N. Ob opredelenii velichiny ispariaemosti. – Moskva: Izd-vo GGO, 1954. – S.189-196.
4. Beisholanov S.S. Modul rascheta orositelnoi normy selskokhoziaistvennykh kultur na osnove meteorologicheskikh dannyykh / Hidrometeorologiya i ekologiya. – 2020. – No. 2. – S. 165-176.
5. Dmitriev E.A. Matematicheskaya statistika v pochvovedenii. – Moskva: Izd-vo MGU, 1995. – 320 s.
6. Alpatov A.M. Vlogooboroty v prirode i ikh preobrazovaniia. – Moskva: Hidrometeoizdat, 1969. – 323 s.
7. Sharov I.A. Eksploatatsiya gidromeliorativnykh sistem. – Moskva: Kolos, 1968. – 384 s.
8. Shtoiiko D.A. Normativy proektirovaniia selskokhoziaistvennykh kultur i gidromodulia v usloviakh intensivnogo ispolzovaniia oroshaemykh zemel // Oroshaemoe zemledelie v Evropeiskoi chasti SSSR. – Moskva: Kolos, 1965. – S. 171-185.
9. Beloborodova G.G. Ob agromeliorativnom obosnovanii rezhimov orosheniia selskokhoziaistvennykh kultur // Vestnik selskokhoziaistvennykh kultur. – 1960. – No. 2.
10. Protserov A.R. Zavisimost vesennego stoka i akumulatsiya osadkov ot osennego vlagonakopleniia v pochve // Sovetskaya agronomiya. – 1957. – No. 2. – S. 122-124.
11. Kolpakova V.V., Lukin D.N., Chumakin L.V., Sheviakova L.V. Khimicheskii sostav i funktsionalnye svoystva risovykh belkovykh koncentratov // Vestnik VGUNT. – 2015. – No. 4. – S. 122-124.
12. Kendirbaeva Dzh.Zh., Zhunusakunova A.R., Sarygulova K.A. Perspektivy ispolzovaniia energii prirodnykh vod Kyrgyzstana v maloi gidroenergetike i agrokreatsii // Vestnik KNAU im. K.I. Skriabina. – 2019. – No. 3. – S. 30-35.

