

EDN: MYAXCJ

DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-4-49-54



Научная статья

УДК 631.671



## Суммарное водопотребление люцерны в зависимости от активной поверхности почвы и биоклиматических коэффициентов

**Татьяна Анатольевна Панкова,**  
кандидат технических наук, доцент,  
e-mail: vtanja@mail.ru;

**Алексей Владимирович Кравчук,**  
доктор технических наук, профессор,  
e-mail: aleks100sgau@yandex.ru;

**Светлана Сергеевна Орлова,**  
кандидат технических наук, доцент,  
e-mail: orlovass77@mail.ru;

**Ольга Валентиновна Михеева,**  
кандидат технических наук, доцент,  
e-mail: omuk@inbox.ru;

**Елена Николаевна Миркина,**  
кандидат технических наук, доцент,  
e-mail: docentmirkina@rambler.ru

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

**Реферат.** Орошение оказывает сильное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур, а в сложных климатических условиях сухостепного Заволжья получение стабильно высокого урожая люцерны без орошения невозможно. Орошение имеет как положительные, так и отрицательные последствия и требует крайне грамотного подхода к использованию орошаемых земель и поливной воды. Для расчета суммарного водопотребления люцерны в условиях сухостепного Заволжья предлагается использование биоклиматических коэффициентов и показатели активности поверхностей почвы. (*Цель исследования*) Определить суммарное водопотребление люцерны с использованием биоклиматических коэффициентов и величины активной поверхности почвы для повышения эффективности поливных режимов. (*Материалы и методы*) Проанализировали основные приходные элементы, формирующие объем суммарного водопотребления. Изучили изменение общего водопотребления в зависимости от испарения, относительных запасов продуктивной влаги для определенной фазы развития люцерны, используя экспериментальные данные по водопотреблению этой культуры. (*Результаты и обсуждение*) Определили значения эмпирических коэффициентов состояния активной поверхности на посевах люцерны в зависимости от суммы среднесуточных температур на основании расчета испаряемости с водной поверхности методом Будыко-Зубенка. Установили, что значения коэффициентов состояния активной поверхности существенно изменяются в процессе развития растений от 0,5 в период отрастания-ветвления до 0,78 при ветвлении-бутонизации и до 0,99-1,0 в период бутонизации-цветения. (*Выводы*) Экспериментально установили криволинейные зависимости отношения общего водопотребления к испаряемости от относительных запасов продуктивной влаги в различные фазы роста и развития люцерны. Получили эмпирические коэффициенты, для расчета суммарного водопотребления за разные периоды вегетации люцерны при возделывании на темно-каштановых почвах сухостепного Заволжья.

**Ключевые слова:** орошение, люцерна, условия окружающей среды, суммарное водопотребление, испаряемость, влажность почвы, активная поверхность почвы, биоклиматические коэффициенты.

■ **Для цитирования:** Панкова Т.А., Кравчук А.В., Орлова С.С., Михеева О.В., Миркина Е.Н. Суммарное водопотребление люцерны в зависимости от активной поверхности почвы и биоклиматических коэффициентов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. N4. С. 49-54. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-4-49-54. EDN: MYAXCJ.

Scientific article

## Total Water Consumption of Alfalfa as a Function of Active Soil Surface and Bioclimatic Coefficients

**Tatyana A. Pankova,**  
Ph.D.(Eng.), associate professor,  
e-mail: vtanja@mail.ru;  
**Alexey V. Kravchuk,**  
Dr.Sc.(Eng.), professor,  
e-mail: aleks100sgau@yandex.ru;

**Svetlana S. Orlova,**  
Ph.D.(Eng.), associate professor,  
e-mail: orlovass77@mail.ru;  
**Olga V. Mikheeva,**  
Ph.D.(Eng.), associate professor,  
e-mail: omuk@inbox.ru;

**Elena N. Mirkina,**  
Ph.D.(Eng.), associate professor,  
e-mail: docentmirkina@rambler.ru

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

**Abstract.** The paper highlights the significant impact of irrigation on crop yields, emphasizing that in the challenging climatic conditions of the dry-steppe Trans-Volga region, it is impossible to obtain a consistently high alfalfa yield without irrigation. Since irrigation presents both substantial benefits and potential drawbacks, it requires a highly skilled approach to managing irrigated lands and water resources. To estimate the total water consumption of alfalfa in the dry-steppe Trans-Volga region, it is proposed to use bioclimatic coefficients and soil surface activity indicators. (*Research purpose*) The study aims to determine the total water consumption of alfalfa by using bioclimatic coefficients and active soil surface values to improve the efficiency of irrigation regimes. (*Materials and methods*) The primary input factors influencing the total water consumption volume were analyzed. Changes in total water consumption during specific phases of alfalfa development were assessed based on evapotranspiration and the relative reserves of productive moisture, using experimental data on the crop's water consumption. (*Results and discussion*) The empirical coefficients representing the active surface state of alfalfa crops were determined based on the sum of average daily temperatures, calculated using Budyko-Zubenko method for estimating evaporation from the water surface. It was found that the coefficients of active surface state change significantly during plant development, increasing from 0.5 during the growth-branching period to 0.78 during branching-budding and reaching 0.99-1.0 during the budding-flowering period. (*Conclusions*) Curvilinear relationships between the ratio of total water consumption to evaporation and the relative reserves of productive moisture during different phases of alfalfa growth and development were experimentally established. Empirical coefficients were derived for calculating total water consumption during different periods of alfalfa vegetation grown on dark chestnut soils in the dry steppe Trans-Volga region.

**Keywords:** irrigation, alfalfa, environmental conditions, total water consumption, evaporation, evapotranspiration, soil moisture, active soil surface, bioclimatic coefficients.

**For citation:** Pankova T.A., Kravchuk A.V., Orlova S.S., Mikheeva O.V., Mirkina E.N. Total water consumption of alfalfa as a function of active soil surface and bioclimatic coefficients. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024. Vol. 18. N4. 49-54 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-4-49-54. EDN: MYAXCJ.

Суммарное водопотребление составляет основную расходную часть водного баланса расчетного слоя почвы, которая зависит от фаз развития сельскохозяйственных культур и метеорологических условий [1]. К основным кормовым культурам, возделываемым на орошаемых землях в сухостепном Заволжье, относится люцерна. Это растение отличается важными достоинствами: азотфиксирующая способность позволяет повысить питательность почвы; за счет сбалансированного состава оно служит прекрасным кормом; используется на сено, зеленую массу, сенаж, травяную муку [2]. Выращивание люцерны помогает решить проблему защиты почвы от ветровой и водной эрозии, поэтому крайне важно правильное регулирование водного питания этой культуры [3].

Для оптимального режима орошения помимо данных о величине суммарного водопотребления за вегетационный период необходимо знать интенсивность потребления воды по отдельным периодам развития культуры [4]. Среднесуточное водопотребление люцерны увеличивается по мере развития травостоя: в период отрастания-ветвления оно колеблется в пределах 10-30 м<sup>3</sup>/га, ветвления-бутонизации – 30-50 м<sup>3</sup>/га и в период бутонизации-цвете-

ния – 50-70 м<sup>3</sup>/га [5]. Водопотребление люцерны имеет характерную для укосов динамику: наибольшее приходится на первый укос (36,3-38,7% от суммарного), несколько меньший расход воды во втором укосе (31,1-33,1%), на третий укос при снижении продуктивности культуры водопотребление составляет порядка 27,5-28,9% от суммарного за вегетацию [6].

Анализ методов определения суммарного водопотребления показывает, что каждый метод имеет свои преимущества и недостатки в конкретных природных условиях. В каждом случае для расчета количества водопотребления необходимо установить эмпирические коэффициенты [7].

**Цель исследования** – расчет суммарного водопотребления люцерны с использованием биоклиматических коэффициентов и величины активной поверхности почвы для повышения эффективности проведения поливных режимов в разные периоды вегетации при возделывании на темно-каштановых почвах сухостепного Заволжья.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.** Установлено, что основными элементами, формирующими объем суммарного водопотребления, являются оросительная норма и атмосферные осадки за вегетационный период [8].

По обеспеченности дефицита водного баланса (ДВБ) доля атмосферных осадков в общем объеме потребляемой люцерной воды составляет: в среднем по влажности году – 35%, в засушливом – 30,6%, во влажном – 48,4% [9]. Доля увлажнения за счет орошения составила 46,3% (влажный год), 57,1% (средний), 58,6% (сухой). Величина естественных запасов влаги в почве зависела от обеспеченности года исследований и составила в среднем за годы 6,4%, 5,3%, 12,3% от общего водопотребления [10]. Для условий сухостепного Заволжья с учетом формирующегося водного режима почвы, погодных условий, биологических особенностей сельскохозяйственных культур и состояния активной поверхности почвы для определения суммарного водопотребления ЕТ подходит модель, предложенная С.В. Затицаким [11]:

$$ET = \frac{E \cdot A_n}{\left(1 + 10^{\gamma - \beta \frac{W_{act} - W_{pwp}}{W_{FC} - W_{pwp}}}\right)}, \text{ мм}, \quad (1)$$

где  $E$  – испаряемость, мм;  $\bar{W}_{act}$  – фактические влагозапасы, мм;  $W_{pwp}$  – влагозапасы почвы, соответствующие влажности завядания, мм;  $W_{FC}$  – влагозапасы почвы, соответствующие наименьшей влагоемкости, мм;  $A_n$ ,  $\gamma$  и  $\beta$  – эмпирические коэффициенты, определяющие состояние деятельной (активной) поверхности и биологические особенности культуры в процессе онтогенеза.

Для определения суммарного водопотребления успешно используется уравнение А.М. Алпатьева [12]:

$$E_T = k_6 \Sigma d_{\phi}. \quad (2)$$

Из выражений (1) и (2) коэффициент состояния активной поверхности:

$$A_n = \frac{k_6 \cdot \Sigma d_{\phi} \cdot (1 + 10^{\gamma - \beta \cdot \bar{W}_{act}})}{E}, \quad (3)$$

где  $k_6$  – биоклиматический коэффициент, мм/мБ;  $\Sigma d_{\phi}$  – сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха, мБ;  $\bar{W}_{act}$  – относительные запасы продуктивной влаги в почве, %.

Для изучения зависимости общего расхода воды на испарение от относительных продуктивных запасов влаги в почве использовались материалы непосредственных полевых исследований [13]. На основе экспериментальных данных установлено, как меняется общее водопотребление люцерны от испарения в зависимости от относительных запасов продуктивной влаги для определенной фазы развития культуры [14]. Данная модель позволяет оценить влагообеспеченность сельскохозяйственного поля и определить объем суммарного водопотребления с целью получения планируемой урожайности без перерасхода оросительной воды [15].

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.** На основании расчета испаряемости с водной поверхности методом Будыко-Зубенка были определены значения эмпирических коэффициентов состояния активной поверхности на посевах люцерны в зависимости от суммы среднесуточных температур (табл. 1). Построены криволинейные зависимости отношения суммарного водопотребления к испаряемости от относительных запасов продуктивной влаги для различных этапов роста и развития люцерны.

В результате исследований установлены значения коэффициента состояния активной поверхности. По фазам развития растений этот параметр существенно изменяется от 0,5 в период отрастания-ветвления до 0,78 во время ветвления-

Таблица 1

Table 1

**Коэффициенты состояния активной поверхности почвы  $A_n$  для трех укосов люцерны (испаряемость по методу Будыко-Зубенка)**  
**ACTIVE SOIL SURFACE COEFFICIENTS  $A_n$  FOR THREE ALFALFA HARVESTS (EVAPOTRANSPIRATION DETERMINED USING BUDYKO-ZUBENOK METHOD)**

| Сумма температур, °С | $A_n$ | Сумма температур, °С | $A_n$ | Сумма температур, °С | $A_n$ |
|----------------------|-------|----------------------|-------|----------------------|-------|
| 1-100                | 0,54  | 1301-1400            | 1,0   | 2601-2700            | 0,97  |
| 101-200              | 0,56  | 1401-1500            | 0,52  | 2701-2800            | 0,98  |
| 201-300              | 0,58  | 1501-1600            | 0,56  | 2801-2900            | 0,48  |
| 301-400              | 0,60  | 1601-1700            | 0,62  | 2901-3000            | 0,52  |
| 401-500              | 0,62  | 1701-1800            | 0,66  | 3001-3100            | 0,57  |
| 501-600              | 0,65  | 1801-1900            | 0,72  | 3101-3200            | 0,62  |
| 601-700              | 0,68  | 1901-2000            | 0,78  | 3201-3300            | 0,68  |
| 701-800              | 0,72  | 2001-2100            | 0,79  | 3301-3400            | 0,72  |
| 801-900              | 0,76  | 2101-2200            | 0,80  | 3401-3500            | 0,77  |
| 901-1000             | 0,82  | 2201-2300            | 0,82  | 3501-3600            | 0,86  |
| 1001-1100            | 0,89  | 2301-2400            | 0,86  | 3601-3700            | 0,96  |
| 1101-1200            | 0,92  | 2401-2500            | 0,90  | 3701-3800            | 0,50  |
| 1201-1300            | 0,98  | 2501-2600            | 0,94  | 3801-3900            | 0,51  |
| -                    | -     | -                    | -     | 3901-4000            | 0,52  |

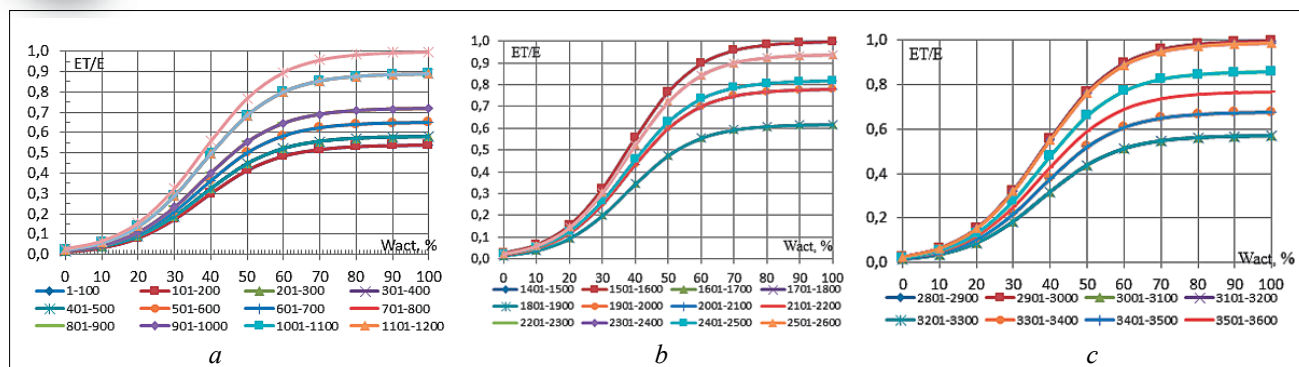


Рисунок. Зависимость отношения суммарного водопотребления к испаряемости ( $ET/E$ ) от относительных запасов влаги в почве под люцерной: а – I укос (сумма температур 0-1400 °C); б – II укос (1401-2800 °C); в – III укос (2800-4000 °C)

Figure. Relationships between the ratio of total water consumption to evapotranspiration and relative moisture reserves in the soil under alfalfa: а – harvest I (total temperature: 0-1400 °C); б – harvest II (1401-2800 °C); в – harvest III (2800-4000 °C)

бутионизации и до 0,99-1,0 в период бутонизации-цветения.

Графические зависимости отношения суммарного расхода воды к испаряемости ( $ET/E$ ) от относительных запасов влаги в почве (по методу Будыко-Зубенка) по укосам представлены на рисунке.

На графиках зависимости  $ET/E = f(\bar{W}_{act})$  можно выделить три характерные области:

- *участок 1.* Отношение  $ET/E$  увеличивается, интенсивность водопотребления растет быстрее и нарушается прямая пропорциональность между относительными продуктивными запасами влаги почвы и водопотреблением;
- *участок 2.* На нем  $ET/E$  линейно зависит от относительных запасов продуктивной влаги почвы  $\bar{W}_{act}$ ;
- *участок 3.* Показатель  $ET/E$  незначительно увеличивается, асимптотически приближаясь к свое-

му пределу, который можно определить как коэффициент состояния активной поверхности почвы.

В исследовании определили биоклиматические коэффициенты люцерны в зависимости от температурных условий и вегетационного периода от отрастания до скашивания в отдельные укосы. По данным таблицы 2 четко прослеживаются возрастание и спад значений биоклиматических коэффициентов по фазам внутри каждого укоса и начало отрастания следующего укоса. Начало отрастания второго укоса приходится на значение суммы температур 801-900 °C при значении биоклиматических коэффициентов 0,29, третий укос люцерны начинает формироваться при значениях температуры 2301-2400 °C с коэффициентом 0,31.

Сопоставляя значения и делая анализ выше приведенных значений таблиц и зависимостей отношения суммарного водопотребления к испаряемо-

| Биоклиматические коэффициенты для люцерны, мм/мб<br>Bioclimatic coefficients for alfalfa, mm/mv |       |                      |       |                      |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------------|-------|----------------------|-------|
| Сумма температур, °C                                                                            | $K_6$ | Сумма температур, °C | $K_6$ | Сумма температур, °C | $K_6$ |
| 1-100                                                                                           | 0,29  | 1401-1500            | 0,44  | 2801-2900            | 0,41  |
| 101-200                                                                                         | 0,32  | 1501-1600            | 0,42  | 2901-3000            | 0,38  |
| 201-300                                                                                         | 0,33  | 1601-1700            | 0,43  | 3001-3100            | 0,34  |
| 301-400                                                                                         | 0,35  | 1701-1800            | 0,42  | 3101-3200            | 0,32  |
| 401-500                                                                                         | 0,36  | 1801-1900            | 0,41  | 3201-3300            | 0,29  |
| 501-600                                                                                         | 0,37  | 1901-2000            | 0,40  | 3301-3400            | 0,27  |
| 601-700                                                                                         | 0,34  | 2001-2100            | 0,38  | 3401-3500            | 0,26  |
| 701-800                                                                                         | 0,34  | 2101-2200            | 0,36  | 3501-3600            | 0,25  |
| 801-900                                                                                         | 0,29  | 2201-2300            | 0,34  | 3601-3700            | 0,24  |
| 901-1000                                                                                        | 0,29  | 2301-2400            | 0,31  | 3701-3800            | 0,22  |
| 1001-1100                                                                                       | 0,33  | 2401-2500            | 0,33  | 3801-3900            | 0,24  |
| 1101-1200                                                                                       | 0,34  | 2501-2600            | 0,37  | 3901-4000            | 0,27  |
| 1201-1300                                                                                       | 0,36  | 2601-2700            | 0,41  |                      |       |
| 1301-1400                                                                                       | 0,40  | 2701-2800            | 0,45  |                      |       |

Таблица 3

Table 3

**ЗНАЧЕНИЯ ЭМПИРИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ БИОЛОГИЧЕСКИХ КРИВЫХ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ ЛЮЦЕРНЫ**  
**EMPIRICAL COEFFICIENTS OF BIOLOGICAL CURVES FOR ALFALFA WATER CONSUMPTION**

| Коэффициент | Период вегетации     |                       |                      |
|-------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
|             | отрастание–ветвление | ветвление–бутонизация | бутонизация–цветение |
| $A_n$       | 0,54                 | 0,81                  | 1,00                 |
| $\gamma$    | 1,54                 | 1,58                  | 1,62                 |
| $\beta$     | 0,041                | 0,042                 | 0,044                |
| $k_6$       | 0,31                 | 0,38                  | 0,45                 |

сти от относительных запасов влаги в почве на посевах люцерны, устанавливаем значения эмпирических коэффициентов, учитывающих биологические особенности культуры (таблица 3).

**Выводы.** Экспериментально установлены криволинейные зависимости отношения суммарного водопотребления к испаряемости от относительных запасов продуктивной влаги для различных фаз роста и развития люцерны.

Точность и достоверность определения интенсивности суммарного водопотребления люцерны

обеспечивалась за счет большой повторяемости измерений. Использование показателей состояния деятельной (активной) поверхности почвы и биологических особенностей люцерны в модели Затицацкого С.В. для расчета суммарного водопотребления с учетом интересующих влагозапасов в период отрастания каждого укоса позволяет разработать экологически и экономически обоснованные режимы орошения люцерны для условий сухостепного Заволжья.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Grigorov M.S., Chumakova L.N. Maintenance of optimal soil-hydrologic conditions upon irrigation of dark chestnut soils in the Volga Region. *Eurasian Soil Science*. 2000. Vol. 33. N3. 308-310. EDN: LGHQPT.
2. Тимошкин О.А. Конкурентная способность люцерны и кострца в смешанных посевах при возделывании в лесостепи Средневолжья // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2023. N1(391). С. 80-84. DOI: 10.55186/25876740\_2023\_66\_1\_80.
3. Епифанова И.В. Кормовая продуктивность и энергетическая эффективность возделывания люцерны изменчивой в покровных посевах в условиях лесостепи Среднего Поволжья // *Кормопроизводство*. 2024. N3. С. 9-16. DOI: 10.30906/1562-0417-2024-3-9-16.
4. Калайда Д.Д., Василько В.П. Водно-воздушный режим под люцерной 2-го года жизни в зависимости от агроприемов возделывания // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2022. N96. С. 107-113. DOI: 10.21515/1999-1703-96-107-113.
5. Пчелкин В.В., Сухарев Ю.И., Кузина О.М., Владимиров С.О. Суммарное водопотребление люцерны на дерново-подзолистых почвах водоразделов Московской области // *Природообустройство*. 2020. N1. С. 47-53. DOI: 10.34677/1997-6011/2020-1-47-54.
6. Чумакова Л.Н., Плотников Д.В., Исаков С.Б. Определение испарения различными методами при возделывании кормовых культур // *Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова*. 2012. N4. С. 36-39. EDN: OXBJPR.
7. Затицацкий С.В., Панкова Т.А., Шмагина Э.Ю., Кочетков А.В. Модели валидации в техническом нормировании (на примере ресурсосберегающих моделей водопотребления) // *Науковедение*. 2014. N5(24). С.49. EDN: TKELUP.
8. Панкова Т.А., Кравчук А.В., Орлова С.С. и др. Адаптивное нормирование орошением // *Природообустройство*. 2023. N2. С. 28-35. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-28-35.
9. Кониева Г.Н., Джиргалова Е.А., Батыров В.А., Оросов С.А. Оптимизация водообеспечения и минерального питания посевов кормовых культур // *Орошаемое земледелие*. 2023. N2(41). С. 41-44. DOI: 10.35809/2618-8279-2023-2-3.
10. Ольгаренко В.И., Ольгаренко И.В., Семенов С.Я., Ольгаренко В.И. Формирование структуры влагообмена зоны аэрации орошаемого поля в условиях присутствия капиллярной каймы в толще грунта // *Мелиорация и гидротехника*. 2023. N3 (13). С. 1-16. DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-3-1-16.
11. Затицацкий С.В., Панкова Т.А. Ресурсосберегающая математическая модель нормирования орошения // *Научное обозрение*. 2013. N11. С. 10-12. EDN: RWISXB.
12. Черемисинов А.А., Черемисинов А.Ю. Обзор расчетных методов определения суммарного испарения орошаемых сельскохозяйственных полей // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. 2016. N1(21). С. 113-133. EDN: VQUGID.
13. Соловьев Д.А., Камышова Г.Н., Колганов Д.А., Терехова Н.Н. Повышение эффективности орошения на основе внедрения цифровых моделей прогнозирования водопотребления // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2020. N4(60). С. 402-414. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-04-38.

14. Cao X., Li H., Zheng H. et al. Effects of subsurface drip irrigation on water consumption and yields of alfalfa under different water and fertilizer conditions. *Journal of Sensors*. 2021. 6617437. DOI: 10.1155/2021/6617437.
15. Abdrazakov F.K., Pankova T.A., Zatinatsky S.V. et al. Increasing efficiency of water resources use in forage crops irrigation. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*. 2017. Vol. 8. N1. 283–293. EDN: ZGTLHB.

## REFERENCES

1. Grigorov M.S., Chumakova L.N. Maintenance of optimal soil-hydrologic conditions upon irrigation of dark chestnut soils in the Volga Region. *Eurasian Soil Science*. 2000. Vol. 33. N3. 308-310 (In English). EDN: LGHQPT.
2. Timoshkin O.A. Competitive ability of alfalfa and brome in mixed crops when cultivated in the forest-steppe of the Middle Volga. *International Agricultural Journal*. 2023. N1(391). 80-84 (In Russian). DOI: 10.55186/25876740\_2023\_66\_1\_80.
3. Epifanova I.V. Fodder productivity and energy efficiency of cultivation of alfalfa variegated in cover crops in the conditions of forest-steppe of the middle Volga region. *Fodder production*. 2024. N3. 9-16 (In Russian). DOI: 10.30906/1562-0417-2024-3-9-16.
4. Kalaida D.D., Vasilko V.P. Water-air regime under alfalfa of the 2nd year of life depending on agro-techniques of cultivation. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2022. N96. 107-113 (In Russian). DOI: 10.21515/1999-1703-96-107-113.
5. Pchelkin V.V., Sukharev Y.I., Kuzina O.M., Vladimirov S.O. Total water consumption of alfalfa on sod-podzolic soils of watersheds of the Moscow region. *Environmental management*. 2020. N 1. 47-53 (In Russian). DOI: 10.34677/1997-6011/2020-1-47-54.
6. Chumakova L.N., Plotnikov D.V., Ishakov S.B. Determination of evaporation of forage crops by different methods. *Bulletin of Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov*. 2012. N4. 36-39 (In Russian). EDN: OXBJPR.
7. Zatinatsky S.V., Pankova T.A., Shmagina E.Yu., Kochetkov A.V. Validation models in technical example of resource-saving models of water consumption). *Internet journal Naukovedenie*. 2014. N5(24). 49 (In Russian). EDN: TKELUP.
8. Pankova T.A., Kravchuk A.V., Orlova S.S., Mikheeva O.V., Mirkina E.N. Adaptive irrigation rationing. *Environmental management*. 2023. N2. 28-35 (In Russian). DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-28-35.
9. Konieva G.N., Dzhirgalova E.A., Batyrov B.A., Orosov C.A. Optimization of water supply and mineral nutrition forage crops. *Irrigated Agriculture*. 2023. N2(41). 41-44 (In Russian). DOI: 10.35809/2618-8279-2023-2-3.
10. Olgarenko V.I., Olgarenko I.V., Semenenko S.Ya., Olgarenko V.I. Structure formation of moisture exchange in the aeration zone of an irrigated field in presence of a capillary fringe in soil thickness. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2023. N3 (13). 1-16 (In Russian). DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-3-1-16.
11. Zatinatsky S.V., Pankova T.A. Resource-saving mathematical model of irrigation rationing. *Scientific Review*. 2013. N11. 10-12 (In Russian). EDN: RWISXB.
12. Cheremisinov A.A., Cheremisinov A.Yu. Review of calculating methods for evapotranspiration of irrigated fields. *Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems*. 2016. N1 (21). 113-133 (In Russian). EDN: VQUGID.
13. Solovyev D.A., Kamyshova G.N., Kolganov D.A., Terekhova N.N. Improving irrigation efficiency based on introducing of digital models for forecasting water consumption.. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agro-university complex: science and higher professional education*. 2020. N4(60). 402-414 (In Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2020-04-38.
14. Cao X., Li H., Zheng H., Wang J. et al. Effects of subsurface drip irrigation on water consumption and yields of alfalfa under different water and fertilizer conditions. *Journal of Sensors*. 2021. 6617437 (In English). DOI: 10.1155/2021/6617437.
15. Abdrazakov F.K., Pankova T.A., Zatinatsky S.V. et al. Increasing efficiency of water resources use in forage crops irrigation. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*. 2017. Vol.8. N1. 283-293 (In English). EDN: ZGTLHB.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

## Заявленный вклад соавторов:

Все авторы внесли равный вклад.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

## Coauthors' contribution:

All authors contributed equally to this publication. The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

03.10.2024

28.11.2024