

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 628.171:633.18

doi: 10.31774/2712-9357-2022-12-3-106-122

Совершенствование водопользования на рисовых оросительных системах

Георгий Трифонович Балакай¹, Таисия Сергеевна Пономаренко²

^{1, 2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹balakaygt@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8021-6853>

²rosniipmovpvpark@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2003-1686>

Аннотация. Цель: совершенствование методов оперативной корректировки водопользования и управления водораспределением на рисовых оросительных системах. **Материалы и методы.** При проведении исследований использовались общепринятые методы закладки полевых опытов, водобалансовых опытов в полевых условиях и гидрологических лизиметрах, анализа и синтеза. **Результаты.** По разработанным биоклиматическим коэффициентам во взаимосвязи с испарением с открытой водной поверхности и по поправочным коэффициентам для испарения с водной поверхности чеков с растущим рисом, а также сопутствующих культур рисового севооборота разработаны алгоритмы расчета эвапотранспирации риса и сопутствующих культур рисового севооборота по метеопараметрам, позволяющие вычислять ежедневно эвапотранспирацию риса по среднесуточным данным о температуре воздуха, относительной влажности воздуха, скорости ветра и выпавших осадках, рассчитывать испарение с водной поверхности, оперативно определять водопотребление и корректировать водораспределение на оросительной сети. **Выводы.** Данные, полученные по результатам исследования в полевых условиях и гидрологических лизиметрах, позволили получить зависимости для транспирации риса и испарения воды с водной поверхности чеков, установить доли потерь воды на рисовых оросительных системах по статьям расходов, которые были использованы при разработке алгоритма расчета эвапотранспирации риса, вычисления испаряемости и потерь, и на основе алгоритма была разработана программа для электронно-вычислительной машины (ЭВМ) для расчета норм водопотребления и водоотведения риса и сопутствующих культур рисового севооборота. Разработанные и апробированные мероприятия на Пролетарской оросительной системе Ростовской области позволили в 2020 и 2021 гг. сэкономить около 15 % оросительной воды, экономический эффект составил 1,89 млн руб./год.

Ключевые слова: рис, водопользование, алгоритмы расчета эвапотранспирации, водораспределение, биоклиматические коэффициенты

Для цитирования: Балакай Г. Т., Пономаренко Т. С. Совершенствование водопользования на рисовых оросительных системах // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 3. С. 106–122. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-3-106-122>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Improving water use in rice irrigation systems

Georgiy T. Balakay¹, Taisiya S. Ponomarenko²

^{1,2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

¹balakaygt@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8021-6853>

²rosniipmovpvapk@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2003-1686>

Abstract. Purpose: improving methods for operational correction of water use and water distribution management in rice irrigation systems. **Materials and methods.** The generally accepted methods of field experiments, water balance experiments in the field and hydrological lysimeters, analysis and synthesis were used in the research. **Results.** The algorithms for calculating evapotranspiration of rice and companion crops of rice crop rotation by meteorological parameters have been developed, that allow calculating the rice evapotranspiration daily based on average daily data on air temperature, relative air humidity, wind speed and precipitation, calculating evaporation from water surface, quick determining water consumption and correcting water distribution in the irrigation network, on the basis of the developed bioclimatic coefficients in relation to evaporation from the open water surface and according to the correction factors for evaporation from the water surface of rice fields, as well as companion crops of rice crop rotation. **Conclusions.** The data obtained from the study in the field and hydrological lysimeters allowed obtaining dependences for rice transpiration and water evaporation from the rice fields water surface, determining the proportion of water losses in rice irrigation systems by cost items, used in the algorithm development for calculating rice evapotranspiration, calculation of evaporation and losses, and on the basis of the algorithm, a program for an electronic computing machine (computer) to calculate the water consumption and water disposal rate of rice and related crops of rice crop rotation was developed. The developed and tested measures in the Proletarian irrigation system Rostov region in 2020 and 2021 could save about 15 % of irrigation water and the economic benefit was 1.89 million rubles per year.

Keywords: rice, water use, algorithms for calculating evapotranspiration, water distribution, bioclimatic coefficients

For citation: Balakay G. T., Ponomarenko T. S. Improving water use in rice irrigation systems. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2022;12(3):106–122. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-3-106-122>.

Введение. Внедрение современных технологий орошения сельскохозяйственных культур во многом зависит от состояния водопроводящей сети и организации научно обоснованного водопользования на разветвленной оросительной сети. Плановое водопользование включает комплекс организационных, технических и технологических мероприятий по обеспечению надежной работы всех элементов оросительной сети и управлению водораспределением [1–3]. Особенно сложно выполнение этих мероприятий на рисовых оросительных системах, отличающихся потреблением больших оросительных норм [4], в т. ч. дренажно-сбросных вод [5]. Так, для формирования 1 т риса-сырца расходуется от 4,02 тыс. м³ в АО «Цимлянский» Мартыновского района до 8,45 тыс. м³ в ООО «Приманычский» Пролетарского района Ростовской области, т. е. разница в водоемкости достигает

100 % [5], а у кукурузы на зерно – всего 230–300 м³/т. В связи с этим во всем мире перед наукой стоят задачи разработки методов оценки и снижения объемов водопользования, уменьшения водоемкости и повышения эффективного использования водных ресурсов в орошаемом земледелии [6–8].

Уменьшение расходов воды на рисовых оросительных системах возможно путем разработки различных мероприятий, направленных на совершенствование водопользования и управления водораспределением, снижение потерь воды на фильтрацию в оросительной сети и чеках, технологические сбросы для обмена воды при повышении минерализации и температуры воды в чеках [9].

В практике планы водопользования разрабатываются сельхозпредприятиями на поливной сезон для года 75% обеспеченности по дефициту водного баланса, а в период вегетации полевых культур производится еженедельная подача заявки на корректировку объема подачи воды из головного канала в определенные точки-водовыделы в межхозсеть, внутрихозяйственную сеть или на севооборот (карты рисовые). Изменения в системных планах водопользования производятся водопользователями на основе заявок водопотребителей (сельхозпредприятий) [10]. Однако при выпадении эффективных осадков еще продолжительное время продолжает подаваться вода в оросительную сеть с прежним расходом, большая часть которой не используется и сбрасывается в водные объекты. Поэтому весьма актуальной является разработка водосберегающих мероприятий путем проведения полевых исследований и создания системы ежесуточной корректировки подачи плановых объемов воды на орошение риса и сопутствующих культур, основанной на методах расчета потребности в объемах подачи воды, определенных по показателям суточной эвапотранспирации с рисовых чеков и потерь на фильтрацию и технологические сбросы [11, 12]. В связи с этим цель исследований – совершенствование методов и моделей оперативной корректировки водопользования и управления водораспределением на рисовых оросительных системах.

Материалы и методы. Полевые опыты и исследования, посвященные изучению особенностей водопользования риса и сопутствующих культур, проводились по методикам Доспехова [13]. Водобалансовые исследования на рисовых системах проводились по методике, изложенной в монографии «Временные нормативы водопотребления риса и водоотведения с рисовых оросительных систем в различных агроклиматических зонах России» [14]. Изучали три метода определения водопотребления риса: 1) транспирация, испарение и потери воды в полевых условиях в чеках Нижне-Манычской рисовой оросительной системы; 2) в гидрологических лизиметрах; 3) расчетные методы по метеопараметрам. В полевых опытах использовался испаромер ГГИ-3000. Проводились водобалансовые исследования при возделывании риса в производственных условиях в ООО «Маныч-Агро» Багаевского района Ростовской области и в гидрологических лизиметрах на полигоне ФГБНУ «РосНИИПМ» в станице Багаевской в 2018–2020 гг. Лизиметрический метод предполагает исследование растений и свойств почвы в полевых опытах для изучения приходной и расходной части баланса влаги или, например, элементов питания [15, 16]. В лизиметрах использовались монолиты, отобранные в день посева в рисовых чеках в ООО «Маныч-Агро» с уже посеянным рисом, где проводились наблюдения за составляющими водного баланса риса. Расстояние от рисового севооборота ООО «Маныч-Агро» до полигона РосНИИПМ составляло по прямой менее 6 км.

Расчет норм водопотребности производился по методике, изложенной в монографии Г. Т. Балакая и др. [14]. Математическая обработка данных проведена с использованием программного обеспечения Microsoft Excel, расчеты эвапотранспирации, объемов водоподачи выполнены с использованием программного обеспечения для ЭВМ [17, 18].

Результаты и обсуждение. Предлагаемая концепция ресурсосбережения заключается в автоматизации расчета планов водопользования и во-

дораспределения на рисовых оросительных системах с ежесуточным расчетом параметров водопотребления рисовых севооборотов сельхозпредприятий (водопотребителей) по метеопараметрам, корректировке и управлении объемами водоподачи (водораспределения) на межхозяйственной, внутрихозяйственной оросительной сети до уровня карт и отдельных чеков путем использования разработанного авторами программного обеспечения на уровне межрайонного управления оросительных систем (УОС) [10]. Вопросы современного управления водораспределением являются актуальными и востребованными практикой [19, 20].

В сложившихся условиях планирование водопользования на оросительной системе принято осуществлять снизу вверх, т. е. сельхозпредприятие на основе набора культур рисового севооборота и их водопотребности разрабатывает план внутрихозяйственного водопользования, начиная с каждой культуры (от поля, чека, карты, участкового, рисового севооборота до хозяйственного водозабора из канала более высокого уровня), и передает план водопользования сельхозпредприятия в УОС – филиал ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз» для согласования. УОС рассматривает запросы сельхозпредприятий на выделение объемов воды по срокам и объемам, рассчитывает возможности подачи запрашиваемых объемов воды, корректирует план водопользования сельхозпредприятия с системным планом водопользования (по оросительной системе в целом) и при возможности исполнения расчетного графика водоподачи согласовывает сельхозпредприятию план водопользования (рисунок 1).

При необходимости производится корректировка посевных площадей и культур с целью выхода на плановые (возможные) расходы канала. После согласования внутрихозяйственного и системного плана водопользования исполнение эксплуатационного режима водопользования осуществляет УОС.



Рисунок 1 – Блок-схема порядка разработки и согласования хозяйственных и системных планов водопользования

Figure 1 – Flowchart of the procedure for developing and coordinating economic and system water use schedule

Для автоматизации процессов расчета водопотребности риса и сопутствующих культур в рисовых севооборотах возникла необходимость проведения водобалансовых исследований для установления особенностей водопотребления риса, а также для получения биоклиматических коэффициентов и математических зависимостей, позволяющих оперативно рассчитывать суточные расходы и потребность в воде и управлять объемами водоподачи в оросительную сеть. Для этого было изучено три метода определения водопотребления риса: в производственных условиях в ООО «Маньч-Агро», в гидрологических лизиметрах на полигоне ФГБНУ «РосНИИПМ», расчетные методы вычисления по метеопараметрам, использованные в дальнейшем для автоматизации процессов расчета водопотребления и водораспределения.

Установлено, что испарение с водной поверхности имеет свои осо-

бенности. Наибольшее испарение воды с открытой водной поверхности (49 % от всей суммы за период вегетации риса – 436,5 мм) происходит в наиболее продолжительные периоды роста: от посева до всходов риса – 23 сут с испарением 80,5 мм, в период кущения – выхода в трубку – соответственно 25 сут и 134 мм [11].

Полученные кривые и уравнения взаимосвязи испарения ($E_{\text{исп.}}$) и транспирации ($E_{\text{тр.}}$) в период вегетации показывают, что транспирация увеличивается по мере роста растений, достигает максимума 7,5 мм/сут в период выметывания, максимум совпадает с самыми интенсивными темпами нарастания надземной массы растений риса, приходящимися на 90–100-е сутки после посева, а затем показатель снижается (рисунок 2).

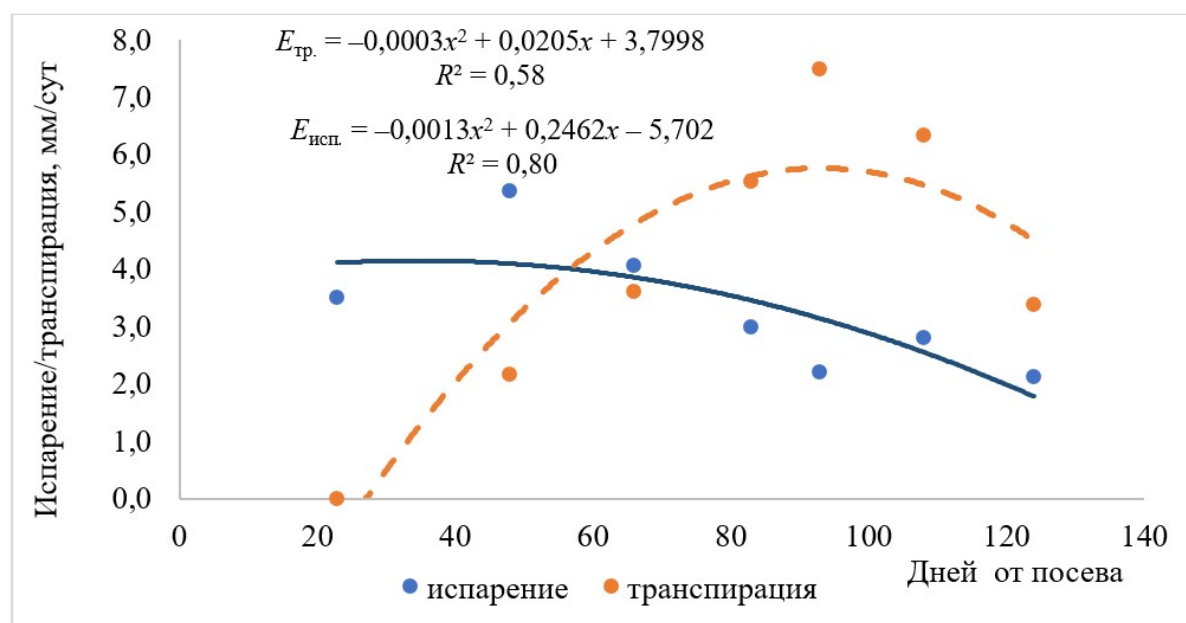


Рисунок 2 – Кривые испарения и транспирации риса в лизиметрах
Figure 2 – Rice evaporation and transpiration curves in lysimeters

Для разработки программного обеспечения нами изучена динамика эвапотранспирации риса за период вегетации путем инструментальных измерений в лизиметрах и сравнения с испаряемостью воды в испарителях ГГИ-3000. Полученные данные сравнивали с результатами расчетов эвапотранспирации по метеопараметрам по методике Н. Н. Иванова [21] (рисунок 3).

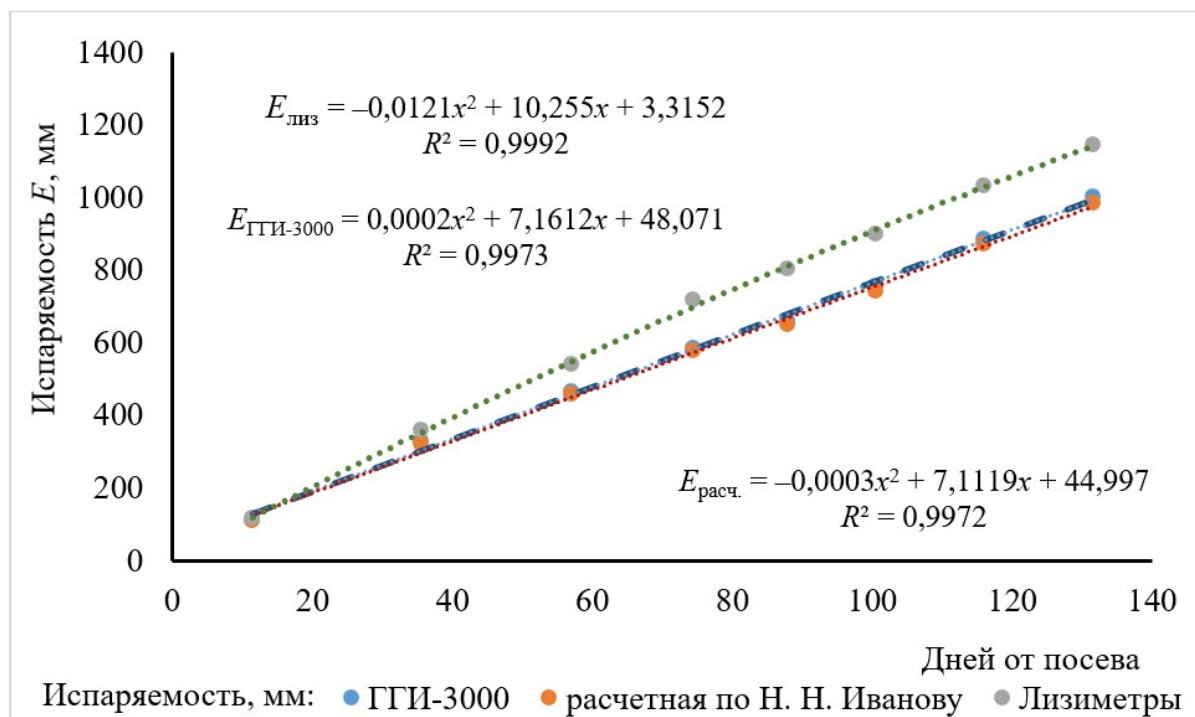


Рисунок 3 – Кривые изменения испаряемости за период вегетации риса, полученные в гидрологических лизиметрах, ГГИ-3000 и расчетным методом по Н. Н. Иванову

Figure 3 – Curves of changes in evaporation during the rice growing season of rice, obtained in hydrological lysimeters, GGI-3000 and the calculation method according to N. N. Ivanov

Полученные зависимости использованы при разработке алгоритма расчета эвапотранспирации риса для вычисления испаряемости (потенциальной эвапотранспирации) по модифицированной профессором Н. В. Данильченко формуле Н. Н. Иванова [21].

В ходе исследований нами было установлено, что с ростом растений увеличивается проективное покрытие растениями поверхности воды в лизиметре ($kn_{\text{лиз}}$), определяемое как отношение покрытия тенью растений поверхности воды в лизиметре (m^2) к единице площади водной поверхности (S , m^2). Вследствие изменения проективного покрытия варьирует испаряемость с водной поверхности лизиметра. Получен поправочный коэффициент (k_q) на испарение во взаимосвязи с испаряемостью в ГГИ-3000 без растений (рисунок 4).

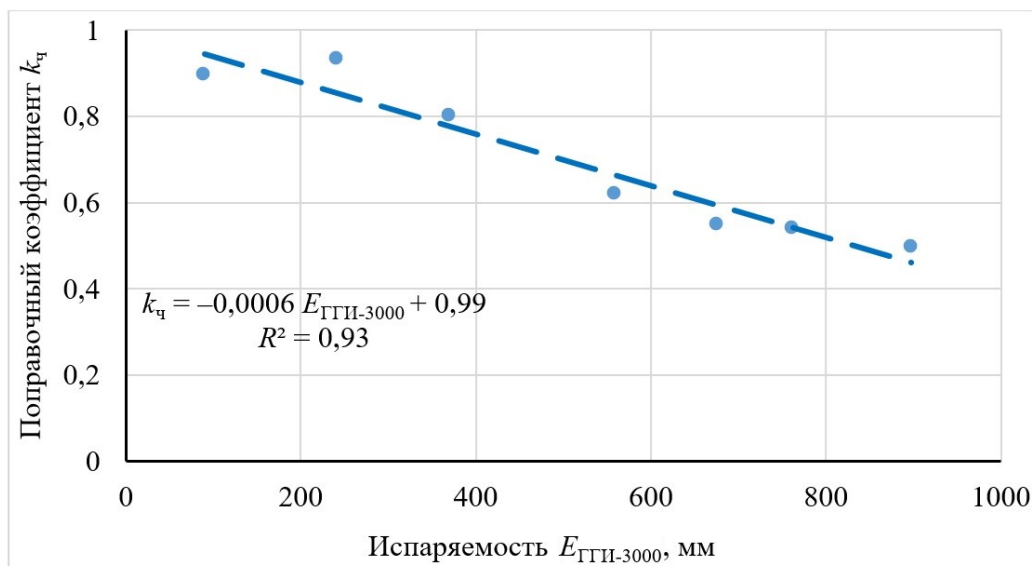


Рисунок 4 – Поправочный коэффициент к испаряемости, 2018–2020 гг.
Figure 4 – Evaporation correction factor, 2018–2020

Биоклиматические коэффициенты транспирации риса в связи с суммой температур нарастающим итогом были получены ранее [4]. Однако для условий способа орошения риса путем затопления, по нашему мнению, более практичными являются биоклиматические коэффициенты $k_{б.к.}$, полученные в связи с испаряемостью (рисунок 5).

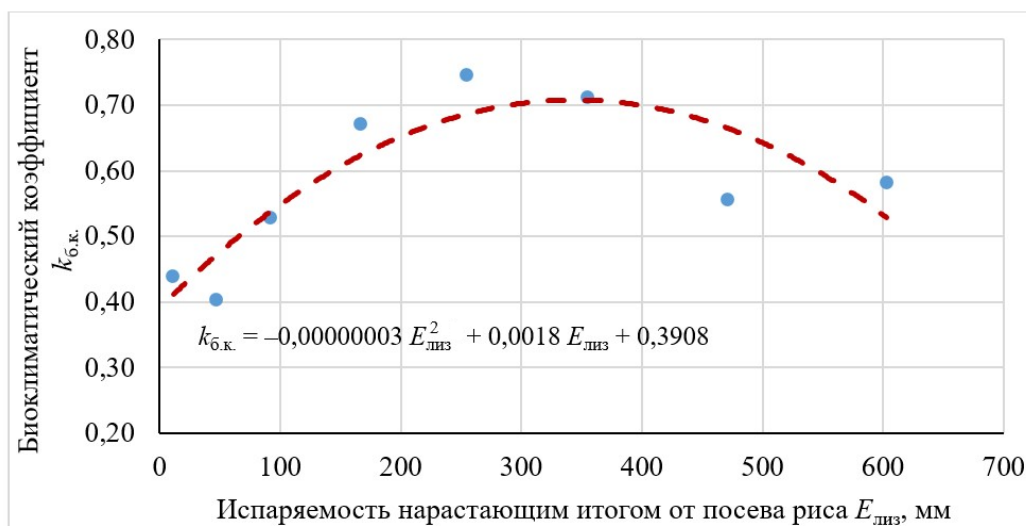


Рисунок 5 – Биоклиматические коэффициенты водопотребления риса в связи с испаряемостью, полученные в гидрологических лизиметрах, в мм на 1 мм испаряемости

Figure 5 – Bioclimatic coefficients of water consumption of rice in relation to evaporation, obtained in hydrological lysimeters, in mm per 1 mm of evaporation

Полученные зависимости (приведенные на рисунках 4 и 5) позволили разработать алгоритм расчета эвапотранспирации рисового поля (рисунок 6), где: ET – эвапотранспирация, мм; $E_{\text{лиз}}$ – испаряемость в лизиметрах, мм; T – транспирация, мм; k_t – энергетический фактор испарения, мм/мбар; d_ϕ – дефицит влажности воздуха, мбар; $f(v)$ – функция, учитывающая влияние скорости ветра; $k_{\text{ч}}$ – поправочный коэффициент на испарение с водной поверхности чека (лизиметра) с растущим рисом; $k_{tr.}$ – показатель температурного режима, °C; l_a – упругость насыщенного пара, соответствующая этой температуре, мбар; a – относительная влажность воздуха, %; v_2 – скорость ветра на высоте 2 м, м/с; $E_{\text{ГГИ-3000}}$ – испаряемость по данным испаромера ГГИ-3000, мм; $k_{\text{б.к.}}$ – биоклиматический коэффициент; $E_{\text{ср.сут}}$ – среднесуточная испаряемость, мм [11].

Алгоритм позволяет определять эвапотранспирацию риса за периоды роста и развития, а также посуточно, что особенно важно для расчета и корректировки объемов водоподдачи.

Однако, в отличие от сельскохозяйственных культур, возделываемых в полевых севооборотах, где оросительная норма примерно равна дефициту влагообеспеченности, на рисовых системах около 72 % водопотребности составляют потери воды на первичное промачивание почвы после посева, потери на фильтрацию и технологические сбросы (таблица 1).

Полученные данные показывают, что в условиях 2018–2020 гг. в производственных посевах риса на опытном участке ООО «Маньч-Агро» оросительная норма составила 29340 м³/га, в т. ч. из них было расходовано на транспирацию и испарение с водной поверхности чека 33 % воды и на потери 67 %.

Блок-схема расчета и корректировки водопотребления и водораспределения приводится на рисунке 7.

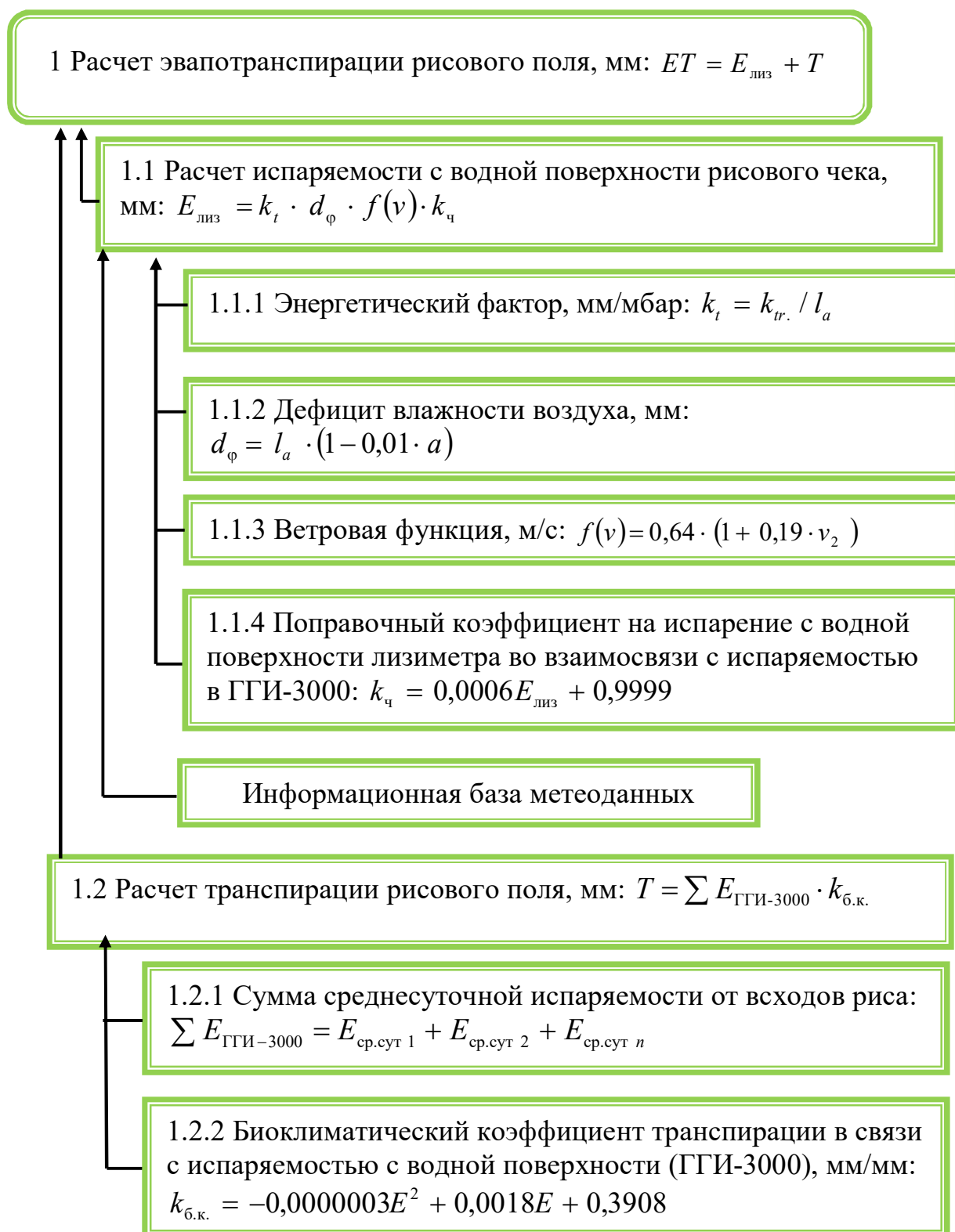


Рисунок 6 – Алгоритм расчета эвапотранспирации рисового поля

Figure 6 – Algorithm for calculating the evapotranspiration of a rice field

Таблица 1 – Сложившиеся оросительные нормы и потери воды на опытном участке

Table 1 – Current irrigation rates and water losses in the experimental plot

Год	Обеспеченность года по испаряемости, %	Оросительная норма, м ³ /га	Эвапотранспирация, м ³ /га			Потери, м ³ /га			
			всего	испарение	транспирация	всего	технологические сбросы	первичное промачивание почвы	потери на фильтрацию
2018	95	30180	10014	5508	4506	20166	4033	6050	10083
2019	74	28480	9258	5092	4166	19222	3844	5767	9611
2020	84	29360	10084	5546	4538	19276	3855	5783	9638
Средняя	86	29340	9785	5382	4403	19555	3911	5867	9778



Рисунок 7 – Блок-схема расчета и корректировки планов водопользования и распределения уточненных объемов воды на рисовые севообороты

Figure 7 – Flowchart of calculation and correction of water use plans and distribution of corrected water volumes for rice crop rotations

На сегодняшний день нет нормативных документов, регламентирующих методику наблюдений и расчетов показателей, и методов поправок в планы водопользования и водораспределения, поэтому специалисты УОС сами вносят поправки, надеясь на свой опыт и квалификацию. В связи с этим авторами проведены исследования и получены зависимости, раз-

работаны алгоритмы и программное обеспечение [17] для расчета водопотребления риса и сопутствующих культур с учетом потерь воды и предложена методика корректировки планов водопользования по метеопараметрам на основе ежесуточных расчетов объемов водоподачи и корректировок водораспределения на межхозяйственной и внутрихозяйственной сети.

Выводы

1 Рис – одна из самых водоемких культур, на создание 1 т риса-сырца в Ростовской области расходуется от 5,10 до 8,88 тыс. м³ воды, что значительно больше других зерновых культур, например, у кукурузы на зерно – 0,25–0,30 тыс. м³/га, поэтому снижение норм водопотребления является одной из актуальных задач.

2 Данные, полученные по результатам исследования в полевых условиях и гидрологических лизиметрах, позволили получить зависимости для транспирации риса и испарения воды с водной поверхности чеков, установить доли потерь воды на рисовых оросительных системах по статьям расходов, которые были использованы при разработке алгоритма расчета эвапотранспирации риса, вычисления испаряемости и потерь, и на основе алгоритма была разработана программа для ЭВМ для расчета норм водопотребления и водоотведения риса и сопутствующих культур рисового севооборота.

3 Разработанная программа для ЭВМ позволяет рассчитывать и корректировать объемы водоподачи с учетом особенностей мелиорированных земель, потребности риса в воде и снижать на 15 % оросительные нормы на рисовых оросительных системах без падения урожайности.

Список источников

1. Ольгаренко В. И., Ольгаренко Г. В., Рыбкин И. И. Эксплуатация и мониторинг мелиоративных систем: учеб. для вузов / под ред. В. И. Ольгаренко. Коломна, 2006. 391 с.
2. Чураев А. А., Юченко Л. В. Правила водораспределения и водоучета на оросительных системах [Электронный ресурс]. Новочеркасск, 2013. 16 с. URL: <http://www.eecca-water.net/file/Chur120313.pdf> (дата обращения: 05.03.2022).
3. Опрышко О. А. Управление процессами водораспределения на оросительных

системах // Студенческий научный форум – 2015: материалы VII Междунар. студенчес. науч. конф. [Электронный ресурс]. 2015. URL: <https://scienceforum.ru/2015/article/2015017058> (дата обращения: 05.03.2022).

4. Балакай Г. Т., Докучаева Л. М., Юркова Р. Е. К вопросу разработки норм водопотребности риса и водоотведения с рисовых оросительных систем // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2018. № 3(31). С. 1–22. URL: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec557-field6.pdf (дата обращения: 05.03.2022). DOI: 10.31774/2222-1816-2018-3-1-22.

5. Балакай Г. Т., Масный Р. С. Обоснование мероприятий по водосбережению на рисовых оросительных системах // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2021. Т. 11, № 4. С. 1–16. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1234> (дата обращения: 05.03.2022). DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-4-1-16.

6. Koech R., Langat P. Improving irrigation water use efficiency: A review of advances, challenges and opportunities in the Australian context // Water. 2018. 10(12). 1771. <https://doi.org/10.3390/w10121771>.

7. Roost N. Improving irrigation water use efficiency, productivity and equity. Simulation experiments in the downstream Yellow River basin // Journal of Geoscience and Environment Protection [Electronic resource]. 2017. July 14. URL: https://www.iwmi.cgiar.org/assessment/files_new/publications/Workshop%20Papers/IYRF_2003_Roost.pdf (date of access: 05.03.2022).

8. Hatfield J. L., Dold C. Water-use efficiency: Advances and challenges in a changing climate // Front. Plant Sci. 2019. 19 Febr. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00103>.

9. Временные рекомендации по составлению и реализации планов водопользования на оросительных системах Ростовской области / В. И. Ольгаренко, И. В. Ольгаренко, О. А. Ткачева, Г. В. Ольгаренко, Т. А. Капустина, Е. И. Тарасенко, В. М. Волошков, В. А. Назаренко, В. А. Докучаев. Коломна: Инлайт, 2009. 104 с.

10. Пути совершенствования планового водопользования на оросительных системах: науч. обзор / В. Н. Щедрин, А. С. Штанько, О. В. Воеводин, А. Л. Кожанов, С. Л. Жук, А. Е. Шепелев; ФГБНУ «РосНИИПМ». Новочеркасск, 2014. 36 с. Деп. в ВИНТИ 03.07.14, № 194-В2014.

11. К проблеме автоматизации процесса расчетов эвапотранспирации риса / Г. Т. Балакай, Р. Е. Юркова, Л. М. Докучаева, В. Иг. Ольгаренко, Т. С. Пономаренко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2019. № 1(33). С. 72–91. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=988> (дата обращения: 05.03.2022). DOI: 10.31774/2222-1816-2019-1-72-91.

12. Бабичев А. Н., Балакай Г. Т., Монастырский В. А. Оперативное управление режимом орошения при программировании урожайности сельскохозяйственных культур // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2017. № 3(27). С. 83–96. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=285> (дата обращения: 05.03.2022).

13. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 3-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 1973. 336 с.

14. Временные нормативы водопотребления риса и водоотведения с рисовых оросительных систем в различных агроклиматических зонах России: монография / Г. Т. Балакай, Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова, В. Ц. Челахов, С. Н. Якуба, Н. Н. Малышева, С. В. Кизинёк. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2019. 122 с.

15. Созинов А. В., Плотников А. М., Порсев И. Н. Методы исследования агроэкосистем: метод. указания для лаб. занятий. Лесниково: КГСХА, 2014. 57 с.

16. Лизиметрические исследования водного, теплового и пищевого режимов почв в луговодстве и полеводстве: метод. рук. Немчиновка: НИИСХ ЦРНЗ, 2007. 56 с.

17. Программа для расчета норм водопотребления и водоотведения риса и сопут-

ствующих культур рисового севооборота: свидетельство о гос. регистрации прогр. для ЭВМ № 2022610534 / Р. С. Масный, Г. Т. Балакай, Т. С. Пономаренко; правообладатель ФГБНУ «РосНИИПМ». Заявка № 2021681783; заявл. 23.12.21; опубл. 12.01.22. 1 с.

18. Программа для корректировки расчета объема водоподачи на рисовый севооборот с учетом актуальных метеоданных: свидетельство о гос. регистрации прогр. для ЭВМ № 2022610533 / Р. С. Масный, Г. Т. Балакай, Т. С. Пономаренко; правообладатель ФГБНУ «РосНИИПМ». Заявка № 2021681782; заявл. 23.12.21; опубл. 12.01.22. 1 с.

19. Ткачев А. А., Ольгаренко И. В. Современные проблемы в управлении водораспределением в магистральных каналах оросительных систем // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2021. Т. 11, № 2. С. 1–23. URL: <http://rosniipm-sm.ru/article?n=1192> (дата обращения: 05.03.2022). DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-1-23.

20. Ольгаренко В. И., Ольгаренко Г. В., Ольгаренко И. В. Оптимизация процессов водопользования на основе методологии ландшафтно-экологического подхода. Новочеркасск: Лик, 2019. 623 с.

21. Мелиорация и водное хозяйство. Орошение: справочник / под ред. Б. Б. Шумакова. М.: Колос, 1999. 732 с.

References

1. Olgarenko V.I., Olgarenko G.V., Rybkin I.I., 2006. *Ekspluatatsiya i monitoring meliorativnykh sistem: ucheb. dlya vuzov* [Operation and Monitoring of Reclamation Systems: textbook for universities]. Kolomna, 391 p. (In Russian).

2. Churaev A.A., Yuchenko L.V., 2013. *Pravila vodoraspredeleniya i vodoucheta na orositel'nykh sistemakh* [Rules for Water Distribution and Water Metering for Irrigation Systems]. Novocherkassk, 16 p., available: <http://www.eecca-water.net/file/Chur120313.pdf> [accessed 05.03.2022]. (In Russian).

3. Opryshko O.A., 2015. *Upravlenie protsessami vodoraspredeleniya na orositel'nykh sistemakh* [Water distribution processes management in irrigation systems]. *Studencheskiy nauchnyy forum – 2015: materialy VII Mezhdunarodnoy studencheskoy nauchnoy konerentsiii* [Student Scientific Forum – 2015: Proceedings of the VII International Student Scientific Conference], available: <https://scienceforum.ru/2015/article/2015017058> [accessed 05.03.2022]. (In Russian).

4. Balakay G.T., Dokuchaeva L.M., Yurkova R.E., 2018. [The issue of rate development of rice water consumption and water diversion from rice irrigation systems]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 3(31), pp. 1-22, available: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec557-field6.pdf [accessed 05.03.2022], DOI: 10.31774/2222-1816-2018-3-1-22. (In Russian).

5. Balakai G.T., Masny R.S., 2021. [Water saving measures substantiation for rice irrigation systems]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 11, no. 4, pp. 1-16, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1234> [accessed 05.03.2022], DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-4-1-16. (In Russian).

6. Koech R., Langat P., 2018. Improving irrigation water use efficiency: A review of advances, challenges and opportunities in the Australian context. *Water*, no. 10(12), 1771, <https://doi.org/10.3390/w10121771>.

7. Roost N., 2017. Improving irrigation water use efficiency, productivity and equity. Simulation experiments in the downstream Yellow River basin. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, July 14, available: https://www.iwmi.cgiar.org/assessment/files_new/publications/Workshop%20Papers/IYRF_2003_Roost.pdf [accessed 05.03.2022].

8. Hatfield J.L., Dold C., 2019. Water-use efficiency: Advances and challenges in a changing climate. *Front. Plant Sci.*, 19 Febr., <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00103>.

9. Olgarenko V.I., Olgarenko I.V., Tkacheva O.A., Olgarenko G.V., Kapustina T.A., Tarasenko E.I., Voloshkov V.M., Nazarenko V.A., Dokuchaev V.A., 2009. *Vremennyye rekomendatsii po sostavleniyu i realizatsii planov vodopol'zovaniya na orositel'nykh sistemakh Rostovskoy oblasti* [Temporary Recommendations for Preparation and Implementation of Water Use Plans for Irrigation Systems of Rostov Region]. Kolomna, Inlight Publ., 104 p. (In Russian).

10. Shchedrin V.N., Shtanko A.S., Voevodin O.V., Kozhanov A.L., Zhuk S.L., Shepelev A.E., 2014. *Puti sovershenstvovaniya planovogo vodopol'zovaniya na orositel'nykh sistemakh: nauchnyy obzor* [Ways of Improving Planned Water Use in Irrigation Systems: Scientific Review]. Novocherkassk, 36 p., deposited in VINITI on 03.07.2014, no. 194-B2014. (In Russian).

11. Balakay G.T., Yurkova R.E., Dokuchaeva L.M., Olgarenko V.Ig., Ponomarenko T.S., 2019. [On issue of automation of rice evapotranspiration calculation process]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 1(33), pp. 72-91, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=988> [accessed 05.03.2022], DOI: 10.31774/2222-1816-2019-1-72-91. (In Russian).

12. Babichev A.N., Balakay G.T., Monastyrsky V.A., 2017. [Operational control of the irrigation regime when programming the productivity of agricultural crops]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 3(27), pp. 83-96, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=285> [accessed 05.03.2022]. (In Russian).

13. Dospekhov B.A., 1973. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methods of Field Experiment (with the Basics of Statistical Processing of Research Results)]. 3rd ed., rev., Moscow, Kolos Publ., 336 p. (In Russian).

14. Balakay G.T., Dokuchaeva L.M., Yurkova R.E., Chelakhov V.Ts., Yakuba S.N., Malysheva N.N., Kizinek S.V., 2019. *Vremennyye normativy vodopotrebleniya risa i vodootvedeniya s risovykh orositel'nykh sistem v razlichnykh agroklimaticheskikh zonakh Rossii: monografiya* [Temporary Standards for Rice Water Consumption and Water Disposal from Rice Irrigation Systems in Various Agro-climatic Zones of Russia: monograph]. Novocherkassk, RosNIIPM Publ., 122 p. (In Russian).

15. Sozinov A.V., Plotnikov A.M., Porsev I.N., 2014. *Metody issledovaniya agroekosistem: metod. ukazaniya dlya lab. zanyatiy* [Research Methods of Agro-ecosystems: guides for laboratory classes]. Lesnikovo, KGSHA Publ., 57 p. (In Russian).

16. *Lizimetricheskie issledovaniya vodnogo, teplovogo i pishchevogo rezhimov pochv v lugovodstve i polevodstve: metod. ruk.* [Lysimetric Studies of Water, Thermal and Nutritional Regimes of Soils in Meadow and Field Cultivation: method. guide]. Nemchinovka, NIISKh TsRNZ Publ., 2007, 56 p. (In Russian).

17. Masny R.S., Balakay G.T., Ponomarenko T.S., 2022. *Programma dlya rascheta norm vodopotrebleniya i vodootvedeniya risa i soputstvuyushchikh kul'tur risovogo sevooborota* [Program for Calculating the Norms of Water Consumption and Water Disposal of Rice and Associated Crops of Rice Crop Rotation]. Certificate of State Software Registration for Computer, no. 2022610534. (In Russian).

18. Masny R.S., Balakay G.T., Ponomarenko T.S., 2022. *Programma dlya korektirovki rascheta ob'ema vodopodachi na risovyy sevooborot s uchetom aktual'nykh meteorodannykh* [Program for Adjusting Calculation of the Volume of Water Supply for Rice Crop Rotation, Taking into Account Current Weather Data]. Certificate of State Software Registration for Computer, no. 2022610533. (In Russian).

19. Tkachev A.A., Olgarenko I.V., 2021. [Urgent problems of water distribution management in main canals of irrigation systems]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, vol. 11, no. 2, pp. 1-23, available: <http://rosniipm-sm.ru/article?n=1192> [accessed 05.03.2022]. DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-1-23. (In Russian).

20. Olgarenko V.I., Olgarenko G.V., Olgarenko I.V., 2019. *Optimizatsiya protsessov vodopol'zovaniya na osnove metodologii landshaftno-ekologicheskogo podkhoda* [Optimization of Water Use Processes Based on the Landscape-Ecological Approach Methodology]. Novocherkassk, Lik Publ., 623 p. (In Russian).

21. Shumakov B.B., 1999. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo. Oroshenie: spravochnik* [Land Reclamation and Water Management. Irrigation: a reference book]. Moscow, Kolos Publ., 732 p. (In Russian).

Информация об авторах

Г. Т. Балакай – главный научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, профессор;

Т. С. Пономаренко – научный сотрудник.

Information about the authors

G. T. Balakay – Chief Researcher, Doctor of Agricultural Sciences, Professor;

T. S. Ponomarenko – Researcher.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 11.05.2022; одобрена после рецензирования 29.06.2022; принята к публикации 12.07.2022.

The article was submitted 11.05.2022; approved after reviewing 29.06.2022; accepted for publication 12.07.2022.