МЕЛИОРАЦИЯ, РЕКУЛЬТИВАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

Научная статья

УДК 631.675

doi: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-39-52

Модель нормирования водопотребления и расчета эксплуатационного режима орошения сельскохозяйственных культур

Владимир Игоревич Ольгаренко¹, Валерий Алексеевич Монастырский²

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

¹Olgarenko_vi@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9609-5571>

²valerijmonastyrskij@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0881-4282>

Аннотация. Цель: разработка современной модели нормирования водопотребления и расчет соответствующих норм и сроков полива сельскохозяйственных культур при различных гидрометеорологических параметрах. **Материалы и методы:** базой для разрабатываемой модели является серия полевых опытов, проводимых в 2012–2014 гг., а также аналитические исследования, определена схема опыта, почвенные и гидрометеорологические характеристики, динамика водного баланса, обеспеченность осадками и общая влагообеспеченность орошаемого массива, водопотребление по фазам развития картофеля летнего срока посадки. **Результаты и обсуждение:** рассматриваемая модель включает учет водно-физических свойств почвы, наименьшей влагоемкости и влагозапасов, установку критических порогов режима орошения, температуры и дефицита влажности воздуха, длительности вегетационного и межполивного периодов, на основании чего происходит расчет водопотребления выбранной культуры в зависимости от фазы роста. Далее рассчитывается режим орошения: поливная норма и разница влагозапасов, сравнение которых с критическим порогом позволяет сделать вывод о необходимости проведения полива либо спрогнозировать в близкой перспективе количество дней (до пяти), через которые полив будет необходим. Предусмотрен комплекс по дифференциации режима орошения с установлением дефицитов и нормативов рассматриваемых параметров. **Выводы:** модель нормирования водопотребления, построенная на использовании двух гидрометеорологических факторов, учитываемых по фазам роста и развития рассматриваемой культуры, позволяет обосновать фактический расчет соответствующих норм и сроков полива сельскохозяйственных культур. Модель является стабильной и может быть использована в мелиоративной практике как часть общего технологического комплекса по возделыванию сельскохозяйственных культур на орошаемых землях.

Ключевые слова: эвапотранспирация, влагозапасы, эксплуатационные режимы орошения, динамика влажности почвы, динамика фактического водопотребления, картофель летнего срока посадки, пойма Нижнего Дона

LAND RECLAMATION, RECULTIVATION AND LAND PROTECTION

Original article

Model of water consumption rationing and calculating the operation regime of agricultural crops irrigation

Vladimir Ig. Olgarenko¹, Valeriy A. Monastyrskiy²

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

¹Olgarenko_vi@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9609-5571>

²valerijmonastyrskij@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0881-4282>

Abstract. Purpose: development of a current model of water consumption rationing and calculation of the corresponding rates and terms for agricultural crops irrigation under various hydrometeorological parameters. **Materials and methods:** the basis for the developed model is a series of field experiments conducted in 2012–2014, as well as analytical studies, the scheme of the experiment, soil and hydrometeorological characteristics, water balance dynamics, precipitation and total moisture supply of the irrigated massif, water consumption according to the development stages of summer planting potatoes were determined. **Results and discussion:** the model under consideration includes taking into account the water-physical properties of soil, the lowest moisture capacity and moisture reserves, setting critical limit for the irrigation regime, temperature and air humidity deficit, the duration of the growing and inter-irrigation periods, on the basis of which the water consumption of the selected crop is calculated according to the growth phase. Further, the irrigation regime is calculated: the irrigation rate and the difference in moisture reserves, which comparison with the critical limit allows to conclude on irrigation necessity or its prediction for the near future (up to five days) after which irrigation will be needed. A complex for differentiating the irrigation regime with the determining deficits and standards for the parameters under consideration is provided. **Conclusions:** the model of water consumption rationing, performed on the use of two hydrometeorological factors, taken into account the growth and development phases of the crop under consideration, makes it possible to substantiate the actual calculation of the corresponding norms and terms of agricultural crops irrigation. The model is stable and can be used in land reclamation practice as a part of general technological complex for agricultural crops cultivation on irrigated lands.

Keywords: evapotranspiration, moisture reserves, operating modes of irrigation, dynamics of soil moisture, dynamics of actual water consumption, potatoes of summer planting period, floodplain of the Lower Don river

Введение. Значительной проблемой в планировании и организации орошаемого земледелия является разработка и обоснование эксплуатационных режимов орошения сельскохозяйственных культур. Это обусловлено прежде всего влиянием целого комплекса различных почвенно-климатических, агрофизических и других факторов воздействия среды на продуктивность культурного растения в частности или орошаемого агроландшафта в целом [1–4].

Ранее [5] проведенным многофакторным корреляционным анализом научно обоснован подход к нормированию водопотребления с использованием двух гидрометеорологических факторов: температуры и дефицита влажности воздуха, изменение которых связано с изменчивостью величины водопотребления (по коэффициенту детерминации) на 79 %, что в зна-

чительной степени определяет возможность построения устойчивых моделей для установления изучаемого параметра.

Необходимо отметить общую тенденцию к усложнению систем и моделей в мелиоративной науке в настоящее время. Это обуславливается неизбежной потребностью в серьезной аргументации рассматриваемых природно-антропогенных связей, увеличении количества соответствующих рабочих характеристик вместе с определением четкой их иерархии, что в итоге позволит не только обеспечить планирование текущих технологических процессов и оперативное управление ими, но и учесть принцип многозадачности в орошаемом земледелии [6–11].

Процесс апробации новых моделей для определения эксплуатационных режимов орошения и нормирования водопотребления сельскохозяйственных культур позволяет определить наиболее важные критерии природопользования в условиях орошаемого земледелия, в то же время имеет большое значение для обеспечения продовольственной безопасности населения, экологического баланса эксплуатируемого природного объекта при учете разумных допусков к вызываемым антропогенным рискам, неизбежно проявляющимся при интенсивном и современном сельскохозяйственном производстве, что в итоге имеет высокую актуальность для развития мелиоративной науки и практики [12–17].

Целью исследования являлась разработка современной модели нормирования водопотребления и расчета соответствующих норм и сроков полива сельскохозяйственных культур при различных гидрометеорологических параметрах.

Материалы и методы. Базой для разрабатываемой модели является серия полевых опытов, проводимых в 2012–2014 гг. Основные методические положения, схема опытов, почвенные и гидрометеорологические характеристики, динамика водного баланса, обеспеченность осадками и общая влагообеспеченность орошаемого массива, водопотребление по фазам

развития картофеля летнего срока посадки, а также все используемые аналитические зависимости и др. доложены в предыдущих работах [5, 18–22].

Результаты и обсуждение. Создание искомой модели предполагает введение информационно-управляющей базы, на основании которой происходит реальное управление рассматриваемыми элементами технологии возделывания сельскохозяйственных культур с помощью программных компонентов современной дождевальной и другой техники. Алгоритм модели разделен на условные блоки (рисунок 1): ввод исходных данных, выбор культуры (блок 1); определение фазы роста и водопотребления выбранной культуры (блок 2); расчет эксплуатационного режима орошения (блок 3); дифференциация поливной нормы, определение дефицитов (блок 4) (рисунки 2–5).

Рисунок 1 – Структура рассматриваемого блока по возделыванию сельскохозяйственных культур «Орошение»

Анализ данных показал, что ввод исходной информации представлен следующими характеристиками: плотность сложения почвы (α , т/м³), влажность почвы фактическая и при наименьшей влагоемкости (H_B) (β_{HB} , β_F в % от м. с. п.), эффективные осадки (P , мм) (блок 1.1), далее производится выбор культуры и соответствующего расчетного слоя почвы (H , м) вместе с выбором предполивной влажности ($\beta_{кр}$ в % от м. с. п.) (блоки 1.2 и 1.3), что позволяет рассчитать влагозапасы при H_B (W_{HB}),

при критическом пороге ($W_{кр}$) и фактические ($W_{ф}$) (блок 1.4). Далее вводятся характеристики выбранной культуры: длительность вегетационного периода (N , сут), длительность межполивного периода (n , сут), сумма среднесуточных температур воздуха ($\sum t$, °C) за период n , средняя влажность воздуха (r , %) за период n (блок 1.5), которые необходимы для расчета суммы дефицитов влажности воздуха по общепринятой в гидрологии формуле (где l_a – максимальная упругость водяного пара, мбар, зависящая от температуры среды (блок 1.6)) и определения фазы роста и водопотребления выбранной культуры за рассматриваемый период (блок 2).

Рисунок 2 – Алгоритм ввода исходной информации и выбора культуры

Рисунок 3 – Алгоритм определения фазы роста и водопотребления выбранной культуры (на примере картофеля летнего срока посадки)

Рисунок 4 – Алгоритм расчета эксплуатационного режима орошения

Рисунок 5 – Алгоритм дифференциации поливной нормы и определения дефицитов

Так, фаза роста и развития зависит от длительности вегетационного периода (блоки 2.1–2.6), соответственно для каждой установленной фазы роста и развития культуры водопотребление ET_i , выраженное разницей влагозапасов, определяется по установленной зависимости (блоки 2.7–2.12). На основании полученных данных производится расчет эксплуатационного режима орошения (блок 3), который состоит из определения поливной нор-

мы (m , мм) (блок 3.1) и разницы влагозапасов (ΔW , мм) (блок 3.2), их сравнение с влагозапасами при установленном критическом пороге ($W_{кр}$, мм) позволяет сделать вывод о необходимости проведения полива (блок 3.3), далее в блоках 3.4–3.7 вводятся: $T_{пр}$ – расчетное количество дней до полива, сут; t_i' – переменная для расчета количества дней до полива, натуральное число от 1 до 5; $\overline{\Delta ET_i}$ – среднесуточное водопотребление за рассматриваемую фазу, мм.

Модель предусматривает, что в день окончания полива $W_{\phi} = W_{нв}$, тогда разница влагозапасов (ΔW , мм) не нуждается в инструментальном определении, а рассматривается как снижение фактических влагозапасов, равных влагозапасам при НВ, вследствие воздействия фактического водопотребления культуры, представленного криволинейной функцией суммы дефицитов влажности и температуры воздуха по фазам ее роста и развития за установленное количество дней, прошедших после полива (блок 3.2). В случае если величина разности влагозапасов выше установленного порога их критического значения (блок 3.3), в модели предусматривается прогноз количества дней до момента предполагаемого их снижения и соответствующего наступления условия возможности проведения полива. Данная функция исходит из того, что водопотребление, выражающееся в разнице влагозапасов, получено с использованием осредненных значений температуры и дефицита влажности воздуха за рассматриваемую фазу роста и развития культуры, применение которых как физических характеристик водного баланса на длинные прогнозные дистанции для конкретного орошаемого поля не дает обоснованно стабильных данных, это ограничивает использование аппарата прогнозирования пятью днями (блок 3.5).

Дифференциация поливной нормы и определение дефицитов режима орошения (блок 4) состоит из выбора нормативных значений (блок 4.1), выявления неоднородностей и сравнения их с нормативами (блоки 4.2 и 4.3). Если отмечен дефицит, то устанавливается и вносится разность (N_{pi}) нор-

мативных (N_i) и фактических значений ($N_{\Phi i}$) (блоки 4.4–4.7), в случае избытка (при положительной разнице) устанавливается его размер (N'_{pi}) и доводятся фактические значения до нормативных (блоки 4.8, 4.9), вследствие чего получаем нормативные значения (блок 4.10) и корректируем режим орошения (блок 4.11), затем проводят полив. Алгоритм не только предусматривает ручное ведение дифференциации режима орошения, но и служит прежде всего системой поддержки приемов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), как в общем, так и являясь составной частью с отдельными приборами по учету физических характеристик среды.

Выводы. Анализ данных показал, что модель нормирования водопотребления, построенная на использовании двух гидрометеорологических факторов (суммы дефицитов влажности и суммы температур воздуха) как основных при расчете водопотребления и соответствующей разницы влагозапасов в системе, учитываемых по фазам роста и развития рассматриваемой культуры, позволяет обосновать фактический расчет соответствующих норм и сроков полива сельскохозяйственных культур. Предусматривается не только расчет сроков проведения полива, но и прогноз водопотребления на ближайшую перспективу. Для дальнейшего совершенствования необходим конкретный учет водопотребления по фазам рассматриваемой культуры вместе с гидрометеорологическим и водно-физическим состоянием рассматриваемого орошаемого поля. Модель является стабильной и может быть использована в мелиоративной практике как часть общего технологического комплекса по возделыванию сельскохозяйственных культур на орошаемых землях. На настоящий момент составлена программа для ЭВМ для картофеля летнего срока посадки и кукурузы на зерно (рег. № 2019661769), являющаяся элементом предлагаемой технологии возделывания сельскохозяйственных культур в условиях дефицита водных ресурсов на юге России.

Список источников

1. Васильев С. М. Повышение экологической безопасности способов орошения для формирования устойчивых агроландшафтов в аридной зоне: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 06.01.02. Волгоград, 2006. 35 с.
2. Лихацевич А. П. Использование обобщенной математической модели для анализа результатов многофакторных агрономических опытов // Мелиорация и водное хозяйство. 2018. № 1. С. 19–23.
3. Бородычев В. В., Лытов М. Н. Техничко-технологические основы регулирования гидротермического режима агрофитоценоза в условиях орошения // Научная жизнь. 2019. Т. 14, № 10(98). С. 1484–1495. DOI: 10.35679/1991-9476-2019-14-10-1484-1495.
4. Солодунов А. А., Бандурин М. А. Вопросы безопасной эксплуатации внутрихозяйственной сети рисовых оросительных систем // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сб. тез. по материалам всерос. (нац.) конф. 2019. С. 492–493.
5. Васильев С. М., Ольгаренко В. Иг., Ольгаренко И. В. Теоретическое обоснование и расчет биоклиматических коэффициентов на примере возделывания картофеля летнего срока посадки // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2017. № 4(28). С. 37–19. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=506&id=509> (дата обращения: 28.03.2021).
6. Щедрин В. Н., Васильев С. М. Стратегические направления развития мелиоративного сектора в АПК // Стратегические направления развития АПК стран СНГ: материалы XVI Междунар. науч.-практ. конф., г. Барнаул, 27–28 февр. 2017 г. Новосибирск: СФНЦ РАН, 2017. Т. 2. С. 167–169.
7. Васильев С. М., Домашенко Ю. Е. Регулирование управленческих процессов в структурированных проблемных ситуациях АПК // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 4. С. 12–13.
8. Васильев С. М., Митяева Л. А. Мониторинг орошаемого агроландшафта с учетом калибровки данных дистанционного зондирования в рамках геоинформационных технологий // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. 2017. № 131. С. 216–231. URL: <http://ej.kubagro.ru/2017/07/pdf/23.pdf> (дата обращения: 28.03.2021).
9. Ольгаренко И. В. Методология функционирования экологически сбалансированных оросительных систем // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2010. № 6(27). С. 181–186.
10. Эффективность ресурсосберегающих приемов возделывания лука репчатого при орошении в условиях Нижнего Поволжья / Е. В. Калмыкова, А. А. Новиков, Н. Ю. Петров, О. В. Калмыкова // Овощи России. 2020. № 1. С. 58–63.
11. Бубер А. Л., Бубер А. А., Бубер В. Б. Водоресурсное обеспечение мелиоративных систем // Основные результаты научных трудов института за 2017 год: сб. науч. тр. М.: ВНИИГиМ, 2018. С. 89–94.
12. Ольгаренко И. В. Информационные технологии планирования водопользования и оперативного управления водораспределением на оросительных системах: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 06.01.02. Саратов, 2013. 46 с.
13. Обоснование эффективности применения дождевальных машин / В. И. Ольгаренко, И. В. Ольгаренко, Г. В. Ольгаренко, В. М. Игнатьев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. 2014. № 06(100). С. 956–973. URL: <http://ej.kubagro.ru/2014/06/pdf/16.pdf> (дата обращения: 28.03.2021).
14. Ольгаренко И. В. Оценка качества планирования и реализации водопользования на оросительных системах // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2009. № 4. С. 35–37.

15. Ольгаренко В. И., Ольгаренко И. В. Техничко-экономические показатели эффективности водопользования на оросительных системах // Природообустройство. 2009. № 4. С. 102–107.

16. Mbatha N., Xulu S. Time series analysis of MODIS-Derived NDVI for the Hluhluwe-Imfolozi Park, South Africa: Impact of recent intense drought // Climate. 2018. Vol. 6, iss. 4. Number of article: 95. <https://doi.org/10.3390/cli6040095>.

17. Long-term evapotranspiration rates for rainfed corn versus perennial bioenergy crops in a mesic landscape / M. Abraha, J. Chen, S. Hamilton, G. Robertson // Hydrological Processes. 2019. Vol. 34, iss. 3. P. 810–822. <https://doi.org/10.1002/hyp.13630>.

18. Водный баланс и урожайность посадок картофеля в условиях орошаемой поймы Нижнего Дона / В. И. Ольгаренко, И. В. Ольгаренко, В. Иг. Ольгаренко, В. Т. Ткаченко // Вестник Алтайского государственного университета. 2019. № 6(176). С. 47–52.

19. Методика определения фактического водопотребления сельскохозяйственных культур на примере картофеля летнего срока посадки для условий аридной зоны юга России / В. И. Ольгаренко, И. В. Ольгаренко, В. Иг. Ольгаренко, С. Д. Дезюра // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2020. № 2(38). С. 18–34. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=660&id=662> (дата обращения: 28.03.2021). DOI: 10.31774/2222-1816-2020-2-18-34.

20. Ольгаренко В. Иг. Управление орошением картофеля летнего срока посадки на пойменных землях Нижнего Дона: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02. Саратов, 2016. 20 с.

21. Обоснование эффективности планирования технологических процессов водопользования и оперативное управление водораспределением на базе использования метода Монте-Карло / В. И. Ольгаренко, И. Ф. Юрченко, И. В. Ольгаренко, Г. Г. Костюнин, М. С. Эфендиев, В. Иг. Ольгаренко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2018. № 1(29). С. 49–66. URL: <http://rosniipm-sm.ru/article?n=913> (дата обращения: 28.03.2021).

22. Ольгаренко В. И., Ольгаренко И. В., Ольгаренко В. Иг. Оценка эффективности использования отечественной дождевальной техники // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). 2015. Т. 1. С. 8–14.

References

1. Vasiliev S.M., 2006. *Povyshenie ekologicheskoy bezopasnosti sposobov orosheniya dlya formirovaniya ustoychivyykh agrolandshaftov v aridnoy zone. Avtoreferat diss. d-ra tekhn. nauk* [Improving the environmental safety of irrigation methods for the formation of sustainable agrolandscapes in the arid zone. Abstract of Dr. techn. sci. diss.]. Volgograd, 35 p. (In Russian).

2. Likhatsevich A.P., 2018. *Ispol'zovanie obobshchennoy matematicheskoy modeli dlya analiza rezul'tatov mnogofaktornykh agronomicheskikh opytov* [Generalized mathematical model for analyzing obtained results of agronomic experiments]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 1, pp. 19-23. (In Russian).

3. Borodichev V.V., Lytov M.N., 2019. *Tekhniko-tekhnologicheskie osnovy regulirovaniya gidrotermicheskogo rezhima agrofytotsenoza v usloviyakh orosheniya* [Technical and technological foundations for regulating the hydrothermal regime of agrophytocenosis under irrigation conditions]. *Nauchnaya zhizn'* [Scientific Life], vol. 14, no. 10(98), pp. 1484-1495, DOI: 10.35679/1991-9476-2019-14-10-1484-1495. (In Russian).

4. Solodunov A.A., Bandurin M.A., 2019. *Voprosy bezopasnoy ekspluatatsii vnutri-khozyaystvennoy seti risovykh orositel'nykh sistem* [Issues of safe operation of the intra-economic network of rice irrigation systems]. *Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa: sb. tezisov po materialam vserossiyskoy (natsional'noy) konferentsii* [Scientific

Support of Agro-Industrial Complex: Collection of Abstracts Based on Proc. of All Russian National Conference], pp. 492-493. (In Russian).

5. Vasiliev S.M., Olgarenko V.Ig., Olgarenko I.V., 2017. [Theoretical substantiation and calculation of bioclimatic coefficients on the example of potato cultivation of summer planting period]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 4(28), pp. 37-19, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=506&id=509> [accessed 28.03.2021]. (In Russian).

6. Shchedrin V.N., Vasiliev S.M., 2017. *Strategicheskie napravleniya razvitiya meliorativnogo sektora v APK* [Strategic directions of development of the reclamation sector in agro-industrial complex]. *Strategicheskie napravleniya razvitiya APK stran SNG: materialy XVI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Strategic Directions of Development of Agro-Industrial Complex of the CIS Countries: Proc. of the XVI International Scientific Practical Conference]. Novosibirsk, SFNTs RAN, vol. 2, pp. 167-169. (In Russian).

7. Vasiliev S.M., Domashenko Yu.E., 2018. *Regulirovanie upravlencheskikh protsessov v strukturirovannykh problemnykh situatsiyakh APK* [Regulating managerial processes in structured problematic situations of the agro-industrial complex]. *Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* [Bull. of Russian Agricultural Science], no. 4, pp. 12-13. (In Russian).

8. Vasiliev S.M., Mityaeva L.A., 2017. [Irrigated agrolandscape monitoring taking into account remote sensing data calibration under geoinformation technologies]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, no. 131, pp. 216-231, available: <http://ej.kubagro.ru/2017/07/pdf/23.pdf> [accessed 28.03.2021]. (In Russian).

9. Olgarenko I.V., 2010. *Metodologiya funktsionirovaniya ekologicheskii sbalansirovannykh orositel'nykh sistem* [Methodology of ecologically balanced irrigation systems functioning]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proc. of Kuban State Agrarian University], no. 6(27), pp. 181-186. (In Russian).

10. Kalmykova E.V., Novikov A.A., Petrov N.Yu., Kalmykova O.V., 2020. *Effektivnost' resursosberegayushchikh priemov vozdeystviya luka repchatogo pri oroshenii v usloviyakh Nizhnego Povolzh'ya* [The effectiveness of resource-saving methods of onion cultivation during irrigation in the Lower Volga region]. *Ovoshchi Rossii* [Vegetables of Russia], no. 1, pp. 58-63. (In Russian).

11. Buber A.L., Buber A.A., Buber V.B., 2018. *Vodoresursnoe obespechenie meliorativnykh sistem* [Water supply of land reclamation systems]. *Osnovnye rezul'taty nauchnykh trudov instituta za 2017 god: sbornik nauch. trudov* [Main Results of Scientific Works of the Institute for 2017: collection of articles]. Moscow, VNIIGiM, pp. 89-94. (In Russian).

12. Olgarenko I.V., 2013. *Informatsionnye tekhnologii planirovaniya vodopol'zovaniya i operativnogo upravleniya vodoraspredeleniem na orositel'nykh sistemakh. Avtoreferat diss. kand. tekhn. nauk* [Information technologies for planning water use and operational management of water distribution in irrigation systems. Abstract of cand. tech. sci. diss.]. Saratov, 46 p. (In Russian).

13. Olgarenko V.I., Olgarenko I.V., Olgarenko G.V., Ignatiev V.M., 2014. [Sprinkling machines application efficiency study]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, no. 06(100), pp. 956-973, available: <http://ej.kubagro.ru/2014/06/pdf/16.pdf> [accessed 28.03.2021]. (In Russian).

14. Olgarenko I.V., 2009. *Otsenka kachestva planirovaniya i realizatsii vodopol'zovaniya na orositel'nykh sistemakh* [Assessment of the quality of planning and realization in water use of irrigation systems]. *Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk* [Bull. of Russian Academy of Agricultural Sciences], no. 4, pp. 35-37. (In Russian).

15. Olgarenko V.I., Olgarenko I.V., 2009. *Tekhniko-ekonomicheskie pokazateli effektivnosti vodopol'zovaniya na orositel'nykh sistemakh* [Technical and economic indicators of efficiency of water use in irrigation systems]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 4, pp. 102-107. (In Russian).

16. Mbatha N., Xulu S., 2018. Time series analysis of MODIS-Derived NDVI for the Hluhluwe-Imfolozi Park, South Africa: Impact of recent intense drought. *Climate*, vol. 6, iss. 4, number of article: 95, <https://doi.org/10.3390/cli6040095>.

17. Abraha M., Chen J., Hamilton S., Robertson G., 2019. Long-term evapotranspiration rates for rainfed corn versus perennial bioenergy crops in a mesic landscape. *Hydrological Processes*, vol. 34, iss. 3, pp. 810-822, <https://doi.org/10.1002/hyp.13630>.

18. Olgarenko V.I., Olgarenko I.V., Olgarenko V.Ig., Tkachenko V.T., 2019. *Vodnyy balans i urozhaynost' posadok kartofelya v usloviyakh oroshayemoy poymy Nizhnego Dona* [Water balance and potato yields in irrigated floodplain of the Lower Don river]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bull. of Altai State University], no. 6(176), pp. 47-52. (In Russian).

19. Olgarenko V.I., Olgarenko I.V., Olgarenko V.Ig., Dzezyura S.D., 2020. [Determination methods of actual water consumption of agricultural crops by the example of summer planting potatoes for the arid zone conditions in the south of Russia]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 2(38), pp. 18-34, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=660&id=662> [accessed 28.03.2021], DOI: 10.31774/2222-1816-2020-2-18-34. (In Russian).

20. Olgarenko V.Ig., 2016. *Upravlenie oрошением kartofelya letnego sroka posadki na poymennykh zemlyakh Nizhnego Dona. Avtoreferat diss. kand. tekhn. nauk* [Management of summer planting potato irrigation on the floodplains of the Lower Don. Abstract of cand. tech. sci. diss.]. Saratov, 20 p. (In Russian).

21. Olgarenko V.I., Yurchenko I.F., Olgarenko I.V., Kostyunin G.G., Efendiev M.S., Olgarenko V.Ig., 2018. [Planning effectiveness substantiation of technological processes of water use and operating control of water distribution using the Monte Carlo method]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 1(29), pp. 49-66, available: <http://rosniipm-sm.ru/article?n=913> [accessed 28.03.2021]. (In Russian).

22. Olgarenko V.I., Olgarenko I.V., Olgarenko V.Ig., 2015. *Otsenka effektivnosti ispol'zovaniya otechestvennoy dozhdeval'noy tekhniki* [Assessment of efficiency of domestic irrigation machines]. *Modeli i tekhnologii prirodoobustroystva (regional'nyy aspekt)* [Models and Technologies of Environmental Engineering (Regional Aspect)], vol. 1, pp. 8-14. (In Russian).

Информация об авторах

В. Иг. Ольгаренко – старший научный сотрудник, кандидат технических наук;

В. А. Монастырский – старший научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук.

Information about the authors

V. Ig. Olgarenko – Senior Researcher, Candidate of Technical Sciences;

V. A. Monastyrskiy – Senior Researcher, Candidate of Agricultural Sciences.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 10.03.2021; одобрена после рецензирования 16.04.2021; принята к публикации 23.04.2021.

The article was submitted 10.03.2021; approved after reviewing 16.04.2021; accepted for publication 23.04.2021.