

4. Vaucelle S. The Niger River and Its Drainage Basin: Management, Governance and Climate Change Adaptation Strategies. Cahiers d'Outre-Mer, vol. 68, no. 270, Apr. 2015, pp. 243–270. Crossref, <https://doi.org/10.4000/com.7458>.

5. Bilan hydrologique du Bassin du Niger de l'année 2019/2020, 06 juillet 2020 <http://www.abn.ne/index.php?limitstart=35&lang=fr>

6. Plan d'Action National de Gestion Intégrée des Ressources en Eau, Pangire Niger/ République du Niger, Ministère de l'Hydraulique et de l'Assainissement, Adopté par Décret n 2017/356/PRN/MHA du 09 mai 2017, P. 158.

7. Diarra L., et al. Chapitre 3. Connaissance Du Fleuve, Évolution et Indicateurs. Avenir Du Fleuve Niger, pp. 193–309. Crossref, <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.5215>.

8. Le Clerc Sandrine, Galet-Lalande Noel, Enoumba Henri-Claude, Yansane A.-B. La définition de la gestion hydraulique du barrage de FOMI (Guinée) en regard de ses impacts environnementaux aval. In: 32èmes Journées de l'Hydraulique de la Société Hydrotechnique de France Environnement et Hydroélectricité Lyon – 6 et 7 octobre 2010. Pp. 129–135.

9. Direction Nationale de la Météorologie (Agence Nationale de la Météorologie) URL: <https://www.developmentaid.org/donors/view/507630/agence-nationale-de-la-meteorologie>

10. Rapport national sur l'état des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture, république de guinée/ Ministère de l'Agriculture Institut de Recherche Agronomique de Guinée (IRAG) P. 38.

11. Condé, Soumaïla., Structure et fonctionnement des ripisylves de la rivière Milo (affluent du haut Niger) en Guinée. Écologie fonctionnelle. Thèse de doctorat. Université de Toulouse, 12 Avril 2018, P. 141.

12. Assessment of the Impact of Changes in Storm Rainfall and Landscape Characteristics on the Maximum Flow of Small Rivers / V. Ilinich, A. Perminov, A. Belolybcev, A. Naumova // Springer Water. 2020. P. 717–725. DOI 10.1007/978-981-15-5436-0_55. EDN KDLPNN.

13. Ilinich V.V., Perminov A.V., Naumova A.A. Influence of landscape and climate changes on the maximum discharge of small catchment areas // Power Technology and Engineering. 2023. Vol. 56, No. 5. P. 635–638. DOI 10.1007/s10749-023-01565-1. EDN VZPMWL.

14. Ilinich V.V., Perminov A.V., Naumova A.A. Vliyaniye landshaftnykh i klimaticheskikh izmeneniy na maksimal'nyy stok malykh vodosborov // Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo. 2022. № 7. S. 15–19.

15. Ilinich V.V., Perminov A.V., Naumova A.A. Otsenka vliyaniya klimaticheskikh kharakteristik i landshaftnykh izmeneniy na maksimal'nyy stok malykh vodosborov // Vestnik MGSU. 2021. T. 16, № 9. S. 1228–1235

16. S. Condé, T. Otto, I. Moussa, L. Lambs, and D. Corenblit, «Exploratory dendrochronological and dendroisotopic analyzes of riparian forests along the Milo river (Guinea),» Physio-Géo, no. Volume 15, pp. 211–231, Mar. 2020. DOI: 10.4000/physio-geo.11681.

17. Sylla A., Matveeva T.I. Analysis of the ecological and water management situation in the Milo River watershed in the Republic of Guinea // Problems of development of modern society: collection of

scientific articles of the 10th All-Russian national scientific and practical conference, Kursk, January 23–24, 2025. Kursk: Universitetskaya kniga, 2025. P. 271–276. DOI 10.47581/2025.ML-20/Sulla-Amadu-01

18. Mamadou Alpha Sow. Hydrologie et géochimie des transports fluviaux dissous et particulaires dans le bassin versant du Milo (République de Guinée). Sciences de la Terre. Institut National Polytechnique de Toulouse – INPT, 2018. Français

19. Plan d'action national d'adaptation aux changements climatiques de la guinea // Ministère de l'agriculture, de l'élevage, de l'environnement, des eaux et forets, Conakry juillet 2007. P. 118.

20. Monographie du regime hydrologique du Niandan a Baro. Paris, 1955. P. 105.

21. Andersen Inger, Ousmane Dione, Martha Jarosewich-Holder, Jean-Claude Olivry, Le Bassin du fleuve Niger: vers une vision de développement durable / Directions in development, Banque Mondiale, 2006. P. 172.

22. Leo Zwarts, Pieter van Beukering, Bakary Kone, Eddy Wymenga, Le Niger, une artère vitale: gestion efficace de l'eau dans le bassin du Haut Niger / Lelystad, NL: RIZA; Sévaré, ML: Wetlands International; Amsterdam: IVM; Veenwouden, NL: A&Wecological research, 2005. P. 305.

23. Sangare S., Mahe G., Paturel J.E., Bangoura Y. Bilan hydrologique du fleuve Niger en Guinée de 1950 à 2000 // Sud sciences&technologies. № 9. Décembre 2002. Pp. 4–16.

24. Climat et moyennes météorologiques tout au long de l'année pour Kouroussa / Weather Spark, 01.01.1980 au 31.12.2016 URL: <https://fr.weatherspark.com/y/31952/M%C3%A9t%C3%A9o-moyenne-%C3%A0-Kouroussa-Guin%C3%A9e-tout-au-long-de-l'ann%C3%A9e>

25. L. Ferry, M. Mietton, A. Renard-Toumi, D. Martin, M. A. Barry, and N. Muther, «Plaine alluviale du Niger supérieur et mare de Baro (Guinée),» Territoire en mouvement, no. 25–26, Mar. 2015, doi: 10.4000/tem.2786.

26. Moriba Kourouma, Daouda Keita, Mory Kourouma, and Ousmane Djènè Kaba, Perception of climate changes on the hydrological balance and natural opportunities for exploiting solar energy in the Kouroussa area // International Journal of Innovation and Applied Studies, vol. 42, no. 2, pp. 295–306, April 2024.

Силла Амаду, аспирант, amadousyllasylla165@gmail.com; **Матвеева Татьяна Ивановна**, канд. техн. наук, доцент кафедры гидравлики, гидрологии и управления водными ресурсами, ti-matveeva@mail.ru; **Владимиров Станислав Олегович**, канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры сельскохозяйственных мелиораций, vladimirov_so@rgau-msha.ru; **Перминов Алексей Васильевич**, канд. техн. наук, доцент, и.о. зав. кафедрой гидравлики, гидрологии и управления водными ресурсами, alexperminov@gmail.com (Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия).

УДК 628.355.2:628.357.2

DOI: 10.32962/0235-2524-2025-6-30-33

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ОЧИСТКИ ДРЕНАЖНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ

О.А. СТРИЖНИКОВ

Ключевые слова: математическая модель, микроводоросли, биологическая очистка, дренажные воды.

Keywords: mathematical model, microalgae, biological treatment, drainage water.

Аннотация. В статье рассматриваются основные принципы и подходы к созданию математических динамических моделей процесса биологической очистки дренажного стока с мелиорируемых земель с использованием микроводорослей. Анализируются ключевые факторы, влияющие на эффективность очистки, такие как состав сточных вод, условия роста и развития микроводорослей. Представлены методы формализации процессов, включая описание кинетики роста микроводорослей, динамику потребления загрязняющих веществ и изменения параметров среды. Особое внимание уделяется разработке уравнений, описывающих динамику системы и интеграции экспериментальных данных для повышения точности моделирования. Результаты работы могут быть использованы для оптимизации технологий

очистки дренажных вод и разработки устойчивых экологических решений, направленных на снижение антропогенного воздействия на окружающую среду.

Abstract. The article discusses the basic principles and approaches to creating mathematical dynamic models of the biological treatment process of drainage runoff from reclaimed lands using microalgae. It analyzes the key factors affecting the efficiency of treatment, such as the composition of wastewater, the growth and development conditions of microalgae. The article presents methods for formalizing the processes, including the description of the kinetics of microalgae growth, the dynamics of pollutant consumption, and changes in environmental parameters. Special attention is given to the development of equations that describe the dynamics of the system and the integration of experimental data to improve the accuracy of modeling. The results of this work can be used to optimize drainage water treatment technologies and develop sustainable environmental solutions aimed at reducing anthropogenic impact on the environment.

Введение. В последние десятилетия внимание научного сообщества к вопросам охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов стало особенно актуальным. Одной из ключевых проблем является утилизация дренажного стока с мелиорируемых земель, который часто содержит значительное количество загрязняющих веществ, таких как нитраты, фосфаты и другие питательные вещества, способные вызывать эвтрофикацию водоемов и негативно сказывающиеся на экосистемах [1]. В этом контексте биологическая очистка стоков с использованием микроводорослей представляется перспективным и экологически безопасным подходом, способным не только эффективно очищать сточные воды, но и одновременно производить биомассу, которая может быть использована в различных отраслях экономики, включая сельское хозяйство.

Создание динамических моделей этого процесса представляет собой многогранную задачу, включающую в себя теоретические и практические аспекты, позволяющие глубже понять механизмы, происходящие при взаимодействии микроводорослей с факторами внешней среды. Эти модели служат инструментом для предсказания поведения систем в различных условиях, что, в свою очередь, способствует оптимизации процессов очистки и обеспечивает эффективное управление ими [2]. Основными задачами моделирования являются выявление ключевых факторов, влияющих на скорость удаления загрязняющих веществ, а также анализ воздействия различных параметров среды на деятельность микроводорослей.

Введение математических моделей в исследование процессов биологической очистки дренажного стока требует комплексного подхода и междисциплинарного взаимодействия, объединяющего знания из области экологии, биологии, химии и математики. Такие модели могут включать в себя не только кинетические параметры, характеризующие рост и метаболизм микроводорослей, но и физико-химические свойства сточных вод, влияние внешних факторов, таких как температура воды, освещенность и другие.

Материалы и методы. Основным элементом данной статьи является литературный анализ математических моделей роста и развития микроводорослей в зависимости от различных факторов окружающей среды. Проведен обзор источников, описывающих влияние температуры, освещенности, концентрации питательных веществ и уровня pH на скорость роста и биомассу микроводорослей, анализируются преимущества и недостатки различных подходов к моделированию, а также их применимость для решения конкретных задач. Также рассматриваются возможности использования математических моделей для разработки стратегий управления ростом и развитием микроводорослей в открытых системах, которыми могут являться очистные сооружения, например, естественные и искусственные водоемы.

Результаты и обсуждение. Современные исследования в области моделирования роста водорослей и их применения в биоремедиации сточных вод позволили существенно углубить понимание взаимодействия

между биологическими системами, окружающей средой и технологическими процессами. Одним их примеров являются зарубежные и отечественные модели биологической очистки городских и производственных сточных вод ASMD2 и ВОДГЕО-СамГУ [3].

Математические модели очистки стоков различной категории микроводорослями описывают процессы, происходящие при культивировании микроводорослей в сточных водах, и учитывают влияние различных факторов на рост и очистную способность водорослей.

Анализ современных моделей роста водорослей показывает, что их ключевыми элементами являются световая зависимость фотосинтеза, кинетика усвоения азота и фосфора, а также другие параметры внешней среды. Данная концепция предполагает, что в условиях лимитирования по субстрату скорость роста микроорганизмов растет пропорционально концентрации субстрата, а при его избытке выходит на постоянную величину, определяемую генетическими возможностями популяции [4].

Используя закон минимума Либиха, согласно которому интенсивность роста определяется наименьшим количеством питательных веществ, ограничение питательных веществ для роста водорослей выражается как совокупность биогенных элементов [5]:

$$f(N) = \min \left(\frac{NH_4 + NO_3}{K_{NH_4} + NH_4 + NO_3}, \frac{PO_4}{K_P + PO_4} \right)$$

Согласно уравнению Моно, скорость роста культуры нелинейно увеличивается при повышении концентрации субстрата, достигая плато при исчерпании ресурсов ферментативной системы [6]. В этом состоянии дальнейший прирост биомассы стабилизируется, что отражает предельную метаболическую емкость организма по усвоению питательного компонента.

$$\mu = \mu_{\max} \frac{S}{K_S + S},$$

где μ_{\max} – максимальная удельная скорость роста, $ч^{-1}$; S – концентрация субстрата, ограничивающего рост, г/л; K_S – константа полунасыщения по субстрату, г/л.

Модель Моно применяется для исследования роста многих видов микроводорослей, таких как *Chlorella* и *Scenedesmus*, но лимитирующим компонентом может выступать только один элемент, например, азот, фосфор или углерод. Стоит отметить, что модель Моно не учитывает ингибирование роста клеток при избыточных концентрациях субстрата. Однако модель Холдейна–Андрюса, описывает ингибирование субстратом роста микроводорослей, вследствие недостатка или избытка питательных веществ. Особенность модели – включение в уравнение константы ингибирования, которая позволяет снижать удельную скорость роста при высоких концентрациях субстрата. Уравнение Холдейна–Андрюса имеет вид:

$$\mu = \mu_{\max} \frac{S}{S + K_s + \frac{S^2}{K_i}},$$

где K_i – константа ингибирования (эмпирическая).

Ингибиторные модели служат эффективным инструментом для определения оптимальных стартовых параметров культивирования, обеспечивающих достижение максимальной клеточной концентрации и продуктивности. Эти математические подходы демонстрируют высокую результативность в установлении зависимостей между накоплением биомассы (на примере микроводорослей *C. reinhardtii*, *Chlorella* sp. и *Nannochloropsis* sp.) и ключевыми параметрами среды: доступностью субстрата, pH, интенсивностью света и температурой.

Воздействие на pH сточных вод оказывает значительное влияние на метаболические процессы и структуру клеток.

Гипотеза о том, что рост водорослей напрямую связан с изменениями уровня pH, находит свое отражение в соответствующем уравнении, которое аналогично уравнению Моно:

$$f(\text{pH}) = \frac{K_{\text{pH}}}{K_{\text{pH}} + y};$$

$$y = 10^{|\text{optpH} - \text{pH}|} - 1,$$

где optpH – это оптимальный уровень pH для культивирования водорослей, моль/л; K_{pH} – постоянная половинной скорости, моль/л.

Для водорослей и других фототрофов освещенность служит главным энергетическим ресурсом. Интенсивность и спектральный состав света играют определяющую роль в процессе фотосинтеза. Однако в определенных условиях возможно возникновение фотоингибирования, которое оказывает негативное влияние на жизнедеятельность водорослей [7]. Для оценки влияния интенсивности света на эффективность очистки дренажного стока микроводорослями, предлагается использовать уравнение Стила [8], применяемое для открытых систем:

$$\mu = \mu_{\text{max}} \frac{I}{I_{\text{opt}}} e^{\left(1 - \frac{I}{I_{\text{opt}}}\right)},$$

где I – интенсивность света, $\text{мкмоль}/\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$; I_{opt} – интенсивность света, при которой наблюдается μ_{max} , $\text{мкмоль}/\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$.

Также при культивировании водорослей в открытых системах с различной глубиной влияние интенсивности света описывается законом Бера-Ламберта. Этот закон утверждает, что интенсивность света экспоненциально снижается по мере проникновения вглубь культивационной системы от ее внешней поверхности.

$$I_z = I_0 e^{-k_{\text{abs}} B(z)},$$

где I_0 – интенсивность света на поверхности, $\text{мкмоль}/\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$; k_{abs} – коэффициент поглощения света; $B(z)$ – биомасса хлореллы на глубине z , м.

Количество солнечного света, достигающего поверхности Земли, может существенно меняться с течением времени, оценка изменчивости интенсивности освещения в течении суток описывается уравнением предложенного Смитом [9]:

$$I_{(0)} t = \frac{\pi I}{2f} \sin\left(\frac{\pi t}{f}\right),$$

где $I_{(0)}$ – изменяющаяся во времени интенсивность освещения на поверхности воды, которая, как предполагается, имеет синусоидальную форму в течение светового дня; I – дневная общая интенсивность освещения на поверхности воды.

Для оценки влияния температуры на скорость химической реакции используется коэффициент Вант-Гоффа Q_{10} , равный отношению константы скорости при температуре $T + 10$ к константе при температуре T . Правило Вант-Гоффа применимо в узком диапазоне температур и дает лишь приближенную оценку [10]. Более точную зависимость скорости ферментативной реакции от температуры описывает модифицированное уравнение Аррениуса:

$$kT = k_{20} \theta^{(T-20)},$$

где k – константа скорости химической реакции (при температуре 20 °C); T – температура, °C; θ – поправочный коэффициент температуры.

Для описания кинетики окисления органических загрязнений, оцениваемых по БПК, применяют уравнение Михаэлиса-Ментен:

$$\rho = V_{\text{max}} \frac{S}{S + K_m}$$

где ρ – удельная скорость окисления, $\text{мг}/(\text{г} \cdot \text{ч})$; V_{max} – максимальная скорость окисления, $\text{мг}/(\text{г} \cdot \text{ч})$; S – концентрация органических веществ в очищенной воде, $\text{мг}/\text{л}$.

Приведенные выше уравнения и входящие в параметры, описывают жизнедеятельность микроводорослей при воздействии различных факторов, которые оказывают влияние на их продуктивность, в том числе и на производство фотосинтеза и очистку сточных вод. Однако стоит отметить, что данные решения используются в основном только в полузакрытых и закрытых системах, такие как азротенки или же фотобиореакторы, соответственно необходимо разработать комплексную модель, учитывающую динамику природных явлений (географическое расположение, поступление солнечной радиации, формирование теплового и светового режима, поступление загрязняющих веществ), которые изменяются в естественных условиях. Комплексная гидробиологическая динамическая модель должна состоять из двух блоков: экологического, описывающего динамику условий окружающей среды (например, температуру, освещенность и т. д.) и биологического, характеризующий процессы жизнедеятельности микроводорослей.

Во многих странах, в том числе и в России на протяжении последних десятилетий разрабатываются комплексные математические модели [11], которые интегрируют биологические и экологические параметры для прогнозирования продуктивности микроводорослей в условиях изменяющейся световой нагрузки, температуры, кислотности и доступности питательных веществ, например, азота:

$$G_A = \mu_{\text{Alg}} \min[f_1(N) f_2(I)] f_3(\text{pH}) f_4(T),$$

где μ_{Alg} — максимальная удельная скорость роста водорослей (сутки⁻¹); $f_1(N)$ — отражает влияние концентрации питательных веществ ($0 \leq f_1 \leq 1$); $f_2(I)$ — отражает влияние интенсивности освещения ($0 \leq f_2 \leq 1$); $f_3(\text{pH})$ — отражает влияние pH ($0 \leq f_3 \leq 1$); и $f_4(T)$ символизирует влияние температуры ($f_4 > 1$ при $T > 20^\circ\text{C}$).

Эта модель используется для оптимизации условий в очистных сооружениях, оценки эффективности удаления питательных (загрязняющих) веществ из состава сточных вод.

Выводы. Математическое моделирование зарекомендовало себя как эффективный инструмент для оценки степени очистки сточных вод с помощью микроорганизмов, в частности водорослей. Существенным достоинством математического моделирования выступает возможность принимать во внимание широкий спектр параметров, оказывающих влияние на процесс очистки сточных вод с использованием микроводорослей. Среди таких параметров — температурный режим, уровень освещения, концентрация питательных элементов, кислотно-щелочной баланс (pH) и присутствие загрязняющих компонентов. Однако для адаптации существующих кинетических уравнений к открытым системам, такие как пруды отстойники и иные очистные сооружения требуется разработка комплексного инструмента, учитывающий не только процессы жизнедеятельности микроводорослей, но также особенности формирования таких факторов как географическое расположение объекта, состав сточных вод и другие, что повысить точность моделирования процессов очистки сточных вод в открытых системах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Головинов Е.Э., Стрельбицкая Е.Б., Соломина А.П. Использование и совершенствование сорбционного метода очистки дренажного стока мелиоративных систем // Мелиорация и водное хозяйство. 2021. № 4. С. 30–35.
2. Грудяева Е.К., Дущин С.Е., Кузьмин Н.Н. Динамические модели управляемых биохимических процессов очистки сточных вод // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2015. № 9. С. 732–737.
3. Харьковина О.В. Эффективная эксплуатация сооружений биологической очистки. Волгоград: Панорама, 2015. 433 с.
4. Варфоломеев С.Д., Гуревич К.Г. Биокинетика. Практик. курс: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по хим., биолог. и мед. специальностям. М.: Изд.-торговый дом «ГРАНД», ФАИР-ПРЕСС, 1999. 716 с.

5. Jørgensen, S.E., 2002. Diurnal cycles of variation of physical-chemical parameters in waste stabilization ponds. Ecol. Eng. 18, 287–291.
6. Monod J. The growth of bacterial cultures // Annu. Rev. Microbiol. 1949. V. 3. P. 371–394.
7. Ación Fernández F.G. A Model for Light Distribution and Average Solar Irradiance Inside Outdoor Tubular Photobioreactors for the Microalgal Mass Culture // Biotechnol. Bioeng. 1997. V. 55(5). P. 701–714.
8. Steele J.H. Environmental control of photosynthesis in the sea // Limnol. Oceanogr. 1962. Vol. 7, no 2. P. 137–150.
9. Smith R.A., 1980. The theoretical basis for estimating phytoplankton production and specific growth rate from chlorophyll, light and temperature data. Ecol. Model. 10, 243–264.
10. Тренкеншу Р.П. Расчет удельной скорости роста микроводорослей // Морской биологический журнал. 2019. Т. 4, № 1. С. 100–108. <https://doi.org/10.21072/mbj.2019.04.1.09>
11. Beran B., Kargi F. A Dynamic Mathematical Model for Wastewater Stabilization Ponds // Ecol. Model. 2005. V. 181. P. 39–57.

REFERENCES

1. Golovinov E.E., Strelbitskaya E.B., Solomina A.P. The use and improvement of the sorption method for cleaning drainage runoff of meliorative systems // Melioration and water management. 2021. No. 4. Pp. 30–35.
2. Grudyaeva E.K., Dushin S.E., Kuzmin N.N. Dynamic models of controlled biochemical wastewater treatment processes // News of higher educational institutions. Instrument-making. 2015. No. 9. P. 732–737.
3. Kharkina O.V. Effective operation of biological treatment facilities. Volgograd: Panorama, 2015. 433 p.
4. Varfolomeev S.D., Gurevich K.G. Biokinetics Prakt. course, Textbook for university students studying chemistry, biology. and medical specialties. Moscow: Publishing and Trading House «GRAND», FAIR-PRESS, 1999. 716 p.
5. Jørgensen S.E., 2002. Diurnal cycles of variation of physical-chemical parameters in waste stabilization ponds. Ecol. Eng. 18, 287–291.
6. Monod J. The growth of bacterial cultures // Annu. Rev. Microbiol. 1949. V. 3. P. 371–394.
7. Ación Fernández F.G. A Model for Light Distribution and Average Solar Irradiance Inside Outdoor Tubular Photobioreactors for the Microalgal Mass Culture // Biotechnol. Bioeng. 1997. V. 55(5). P. 701–714.
8. Steele J.H. Environmental control of photosynthesis in the sea // Limnol. Oceanogr. 1962. Vol. 7, no 2. P. 137–150.
9. Smith R.A., 1980. The theoretical basis for estimating phytoplankton production and specific growth rate from chlorophyll, light and temperature data. Ecol. Model. 10, 243–264.
10. Trenkenshu R.P. Calculation of the Specific Growth Rate of Microalgae // Marine Biological Journal. 2019. Vol. 4, No. 1. Pp. 100–108. <https://doi.org/10.21072/mbj.2019.04.1.09>
11. Beran B., Kargi F. A Dynamic Mathematical Model for Wastewater Stabilization Ponds / B. Beran, // Ecol. Model. 2005. V. 181. P. 39–57.

Стрижников Олег Александрович, аспирант, oleg.strijnikov@yandex.ru (ФГБНУ ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, Москва, Россия).

УДК 631.617

DOI: 10.32962/0235–2524–2025–6–33–38

ОРОШЕНИЕ КАК ФАКТОР РЕАЛИЗАЦИИ БИОПРОДУКЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ПАСТБИЦ АРИДНОЙ ЗОНЫ ЗАВОЛЖЬЯ

В.А. ТАРБАЕВ, В.М. ЯНЮК

Ключевые слова: пастбища, орошаемая пашня, площадь, нормативная продуктивность, проектная урожайность, зеленые корма, поголовье скота.

Keywords: pastures, irrigated arable land, area, standard productivity, projected yield, green fodder, livestock.

Аннотация. Значительная доля продукции с орошаемой пашни, наряду с продукцией естественных кормовых угодий, служит сырьем для получения животноводческой продукции. Адекватное отражение оценки эффективности использования отдельных сельскохозяйственных угодий на основе совокупного конечного дохода животноводства, предпо-

лагает рациональное сочетание структуры продукции растениеводства с различных видов угодий.

Цель работы — обосновать метод оценки дополнительного эффекта орошения, связанного с более полной реализацией биопродукционного потенциала не орошаемого компонента агроландшафта — пастбищ. В условиях засушливой и полупустынной зон Саратовского Заволжья основным лимитирующим фактором эффективного использования пастбищ является короткий период потребления основной части их продуктивности. На основе разработанного авторами ресурсного подхода оценки проектной урожайности орошаемых земель установлены