

УДК 639.3.043.13, 639.3.043.2, 504.062.2

Н.П. ДМИТРОВИЧ, канд. с.-х. наук,
доцент кафедры биотехнологии, доцент¹

Т.В. КОЗЛОВА, доктор с.-х. наук,
профессор кафедры биотехнологии, доцент¹

А.А. КАЗИМИРЧИК
студент¹

¹Полесский государственный университет,
г. Пинск, Республика Беларусь

Статья поступила 1.04.2026 г.

ПИТАТЕЛЬНАЯ СРЕДА С ДОБАВЛЕНИЕМ КЕКА ПРИ АВТОТРОФНОМ КУЛЬТИВИРОВАНИИ *CHLORELLA VULGARIS* ДЛЯ ВВЕДЕНИЯ В РЫБНЫЕ КОМБИКОРМА

В условиях современного агропромышленного комплекса довольно остро стоит проблема наличия дешевых и эффективных питательных субстратов для культивирования микроорганизмов. Одновременно с этим в Беларуси, как и в мире в целом, нарастает проблема утилизации разнообразных отходов и поиска способов их биоконверсии. Одним из решений этого вопроса может служить контролируемое культивирование микроводорослей, в том числе и хлореллы, с введением в состав питательной среды отходов с целью получения биомассы, богатой белком и витаминами для последующего внесения в качестве добавки при производстве комбикормов для рыб.

Материалы и методы. Объектами исследований являлись *Chlorella vulgaris* и КЕК-отход как компонент питательной среды. Для проведения опыта в среду Тамия вводили КЕК-отход микробного синтеза в концентрациях 1,0 %, 0,5 % и 0,1 %.

Результаты и их обсуждение. Экспериментально подтверждена возможность применения КЕК-отхода в качестве компонента питательной среды для культивирования микроводоросли *C. vulgaris* с целью получения суспензии для последующего введения в состав комбикормов для рыб. Установлено, что добавление КЕК-отхода во всех исследованных концентрациях (0,1 %, 0,5 % и 1,0 %) приводило к увеличению численности клеток и накоплению биомассы по сравнению с контрольной группой. Выявлено, что для достижения максимального выхода абсолютно сухой биомассы оптимальной являлась концентрация КЕК-отхода равная 1,0 %.

Заключение. Получение суспензии хлореллы для последующего введения в состав комбикормов для рыб в качестве высокоэффективного белкового компонента возможно при использовании КЕК-отхода как источника питательных веществ и органического компонента в составе сред для ее культивирования. При этом концентрация 0,1 % КЕКа способна обеспечивать более стабильный и продолжительный рост, а концентрация 1,0 % КЕКа – более эффективное и продолжительное накопление биомассы.

Ключевые слова: кормовая добавка, микроводоросли, *Chlorella*, комбикорм, кек-отход, питательная среда, культивирование.

DMITROVICH N.P., PhD in Agric. Sc., Associate Professor
Associate Professor of the Department of Biotechnology¹

KOZLOVA T.V., Doctor of Agric. Sc., Associate Professor
Professor of the Department of Biotechnology¹

KAZIMIRCHIK A.A., Student¹

¹Polesky State University, Pinsk, Republic of Belarus

NUTRIENT MEDIUM WITH THE ADDED SLAGS WASTE FOR AUTOTROPHIC CULTIVATION OF *CHLORELLA VULGARIS* FOR INTRODUCTION TO FISH COMPOUND FEED

In the modern agro-industrial complex, the availability of affordable and effective nutrient substrates for microorganism cultivation is a pressing issue. At the same time, in Belarus, as worldwide, the problem of waste disposal and methods for their bioconversion is growing. One solution to this problem could be the controlled cultivation of microalgae, including Chlorella, with the addition of waste to the nutrient medium to produce biomass rich in protein and vitamins for subsequent use as an additive in the production of fish compound feed.

Materials and Methods. *The study subjects were Chlorella vulgaris and slags waste as a component of the nutrient medium. For the experiment, slags waste from microbial synthesis was added to Tamiya medium at concentrations of 1.0%, 0.5%, and 0.1%.*

Results and Discussion. *The feasibility of using slags waste as a component of a nutrient medium for cultivating the microalga C. vulgaris to produce a suspension for subsequent addition to fish feed was experimentally confirmed. It was found that the addition of slags waste at all studied concentrations (0.1%, 0.5%, and 1.0%) resulted in an increase in cell numbers and biomass accumulation compared to the control group. A slags waste concentration of 1.0% was found to be optimal for achieving the maximum yield of absolutely dry biomass.*

Conclusion. *It is possible to produce a chlorella suspension for subsequent addition to fish feed as a highly effective protein component using slags waste as a source of nutrients and an organic component in the culture media. Moreover, a concentration of 0.1% slags ensures more stable and prolonged growth, while a concentration of 1.0% slags ensures more effective and prolonged biomass accumulation.*

Keywords: *feed additive, microalgae, Chlorella, compound feed, slags, nutrient medium, cultivation.*

Введение. В настоящее время микроводоросли вносят существенный вклад в развитие мировой экономики благодаря своей способности производить востребованные ценные продукты. Более того, они могут расти на недорогих субстратах, таких как побочные продукты и отходы различных промышленных производств, что приводит к удалению загрязняющих веществ с одновременным производством соединений, представляющих коммерческий интерес [1].

Особое место среди микроводорослей занимает хлорелла, которая широко используется для получения биомассы, очистки сточных вод, производства кормовых добавок и биоудобрений [2, 3]. В аквакультуре она находит применение в качестве источника питания для рыб разных возрастных групп и сырья для производства кормовых добавок [4, 5]. Это связано с тем, что микроводоросли являются богатейшим источником белков, минералов, витаминов, аминокислот.

Отходы различных производств могут стать потенциальным богатым питательными веществами субстратом для выращивания микроводорослей с целью производства бел-

ка [6]. Одним из таких отходов является КЕК, содержащий остаточные количества органических кислот, азотистые основания, витамины группы В и микроэлементы, что потенциально может стимулировать рост хлореллы. Его использование в качестве компонента питательной среды позволит решить одновременно две задачи: снизить себестоимость культивирования хлореллы и утилизировать данный отход. Исходя из этого, целью работы была оценка влияния КЕК-отхода как компонента питательной среды для культивирования хлореллы в автотрофном режиме с целью введения в комбикорма для рыб.

Материалы и методы. Объектами исследований являлись микроводоросль *Chlorella vulgaris* (штамм IBCE C-19) из коллекции водорослей Института биофизики и клеточной инженерии НАНБ и КЕК-отход в качестве органического компонента в составе питательной среды.

Для проведения опыта были приготовлены питательные среды в трех повторностях: среда Тамия [7] (контроль), вариант 1 – среда Тамия + 1,0 % КЕК-отхода, вариант 2 – среда

Тамія + 0,5 % КЕК-отхода, вариант 3 – среда Тамія + 0,1 % КЕК-отхода.

Накопительное культивирование проводилось в стеклянных емкостях объемом 200 мл без барботажа. Фотопериод составлял 16 часов света и 8 часов темноты. В качестве источника освещения использовались светодиодные лампы холодного и теплого белого света.

С целью определения численности клеток *C. vulgaris* оптическая плотность (ОП) суспензии измерялась на спектрофотометре РЕАК Е-2000UV при длине волны 682 нм [8]. Биомасса также определялась на длине волны 682 нм [9]. Все измерения проводили в трехкратной повторности. Статистическую обработку данных выполняли с помощью программы MS EXCEL.

Результаты и их обсуждение. При анализе динамики численности *C. vulgaris* выявлена прямая зависимость повышения скорости роста от концентрации вносимого КЕК-отхода (рисунок 1).

Наиболее высокая численность зафиксирована при использовании концентрации 0,1 % КЕК ($45,284 \pm 0,696$ млн. кл./мл), превышавшая в 3,04 раза значение контроля. С увеличением концентрации образцы с 1,0 % КЕК достигали максимального значения на 10-е сутки культивирования $-61,570 \pm 7,175$ млн. кл./мл (в 3,41 раза выше контроля). Численность клеток в образце с 0,5 % КЕК к 11-м суткам культивирования достигала $42,031 \pm 5,461$ млн. кл./мл, что в 2,82 раза пре-

высило значение в контроле. Отмечено, что увеличение количества вводимого КЕК (0,5 % и 1 % КЕК) приводило к снижению численности клеток. Это возможно связано с ингибирующим действием на ферментативные системы клеток за счет эффекта субстратного насыщения. Одновременно с этим в течение всего периода культивирования численность клеток в контрольных образцах оставалась на сравнительно низком уровне.

При анализе динамики накопления биомассы *C. vulgaris* выявлена аналогичная динамике численности зависимость скорости ростовых процессов от концентрации вносимого КЕК-отхода (рисунок 2).

В контрольных образцах биомасса была ниже в сравнении с опытными образцами на протяжении всего времени проведения опыта. Максимальное значение биомассы ($0,848 \pm 0,099$ г/л) было отмечено на 10-е сутки при введении 1,0 % КЕК в состав питательной среды. В образце с 0,5% КЕК на 5-е сутки произошел резкий подъем до $0,611 \pm 0,062$ г/л, а затем снижение биомассы к 7-м суткам. Однако к концу опыта значение показателя биомассы превысило таковое в контроле в 2,81 раза. В образце с 0,1% КЕК биомасса достигала $0,637 \pm 0,005$ г/л, при этом наблюдался постепенный и устойчивый рост культуры по сравнению с контролем. В контрольной группе биомасса была самой низкой на протяжении всего периода культивирования.

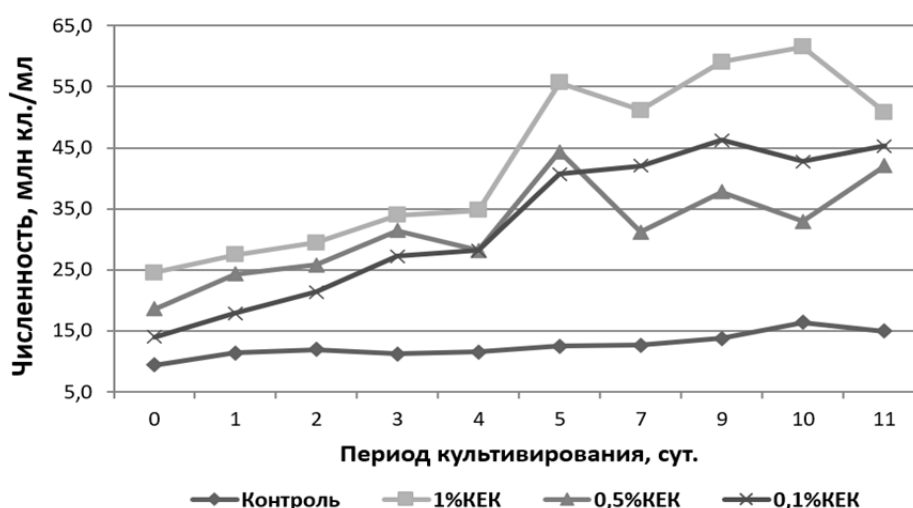


Рисунок 1. – Динамика численности клеток микроводоросли *C. vulgaris* при автотрофном режиме культивирования



Рисунек 2. – Дынаміка біомасы мікрыводарослі *C. vulgaris* пры автотрофным рэжыме культивіравання

Заклучение. Такім образом, было выявлено, что КЕК-отход стимулировал рост *C. vulgaris*, так как все исследованные его концентрации обеспечивали увеличение численности и биомассы по сравнению с контрольной группой. Во всех опытных образцах при культивировании в автотрофном режиме экспоненциальная фаза роста начиналась на 4-е сутки и заканчивалась при наступлении 5-ых суток. Исключением составляли контрольные образцы, где не наблюдалось стремительного роста и нарастание количества клеток и их биомассы было равномерным. Максимальная численность клеток была зафиксирована при использовании минимальной концентрации – 0,1 % КЕК, в то время как введение в питательную среду 1,0 % КЕК-отхода обеспечивало максимальный выход биомассы. В свою очередь, повышение концентрации КЕК-отхода (0,5 % и 0,1 %) также оказывало положительный эффект по сравнению с контролем, но менее выраженный. Учитывая вышесказанное при дальнейшем культивировании целесообразно применять различные концентрации КЕК-отхода в питательную среду в зависимости от фазы роста хлореллы.

Таким образом, результаты работы подтверждают, что КЕК-отход является перспективным компонентом питательной среды для микроводоросли *C. vulgaris*, способным в значительной мере интенсифицировать рост клеток и обеспечить получение, как суспен-

зии, так и биомассы для последующего применения в сфере рыбного хозяйства в качестве добавки, богатой белком, в комбикорма для рыб. Одновременно с этим использование КЕК-отхода в составе питательных сред способно обеспечить его биоконверсию и снижение количества отходов, а, следовательно, неблагоприятного воздействия на окружающую среду.

Список использованных источников

1. The Dark Side of Microalgae Biotechnology: A Heterotrophic Biorefinery Platform Directed to ω -3 Rich Lipid Production / T. L. Silva [et al.] // Microorganisms. – 2019. – Vol. 7. – P. 1–21.
2. Cultivation of a Novel Strain of *Chlorella vulgaris* S2 under Phototrophic, Mixotrophic, and Heterotrophic Conditions, and Effects on Biomass Growth and Composition / M. Grubišić [et al.] // Fermentation. – 2024. – Vol. 10. – P. 1–23.
3. Зибарев, Н. В. Культивирование микроводорослей *Chlorella* на сточных водах пивоваренного производства для получения биодизеля: дис. ... канд. техн. наук : 03.01.06 / Н. В. Зибарев. – Санкт-Петербург, 2024. – 129 л.
4. Микроводоросли. Аквакультура России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https:// aquacultura.org/](https://aquacultura.org/). – Дата доступа: 25.03.2026.

5. Дмитривич, Н. П. Влияние на витаминный состав *Chlorella vulgaris* (Beijerinck) условий культивирования при ее использовании в кормах для личинок рыб / Н. П. Дмитривич // Сб. ГГАУ. Сельское хозяйство – проблемы и перспективы. – 2018. – Т. 41. – С. 76–84.
6. Отдел молекулярных биосистем. Биотехнология микроводорослей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cellreg.org/>. – Дата доступа: 27.03.2026.
7. Сохранение и воспроизведение хозяйственно полезных видов водорослей в альгологической коллекции : методические указания / С. С. Мельников [и др.]. – Минск : Право и экономика, 2010. – 40 с.
8. Optimal growth conditions to enhance *Chlorella vulgaris* biomass production in indoor phyto tank and quality assessment of feed and culture stock / T. J. Jui [et al.] // Heliyon. – 2024. – Vol. 10, № 11. – P. 1–11.
9. Singh, V. Spectral Monitoring and Quantification of *Chlorella sorokiniana* for Biomass Production / V. Singh, J. S. Lauraz // Annals of Biology. – 2020. – Vol. 36, № 1. – P. 43–47.
10. [Dmitrovich N.P. Vliyanie na vitaminnyj sostav *Chlorella vulgaris* (Beijerinck) uslovij kul'tivirovaniya pri ee ispol'zovanii v kormah dlya lichinok ryb [Influence of cultivation conditions on the vitamin composition of *Chlorella vulgaris* (Beijerinck) when using it in feed for fish larvae]. Sb. GGAU. Sel'skoe hozyajstvo – problemy i perspektivy [Collection of GSU. Agriculture - Problems and Prospects], 2018, no. 41, pp. 76–84. (In Russian)]
11. [Otdel molekulyarnyh biosistem. Biotekhnologiya mикrovodoroslej [Molecular Biosystems. Biotechnology of Microorganisms]. (In Russian). Available at: <https://cellreg.org/> (accessed: 25.03.2026).6. Department of [Electronic resource]. - Access mode: <https://cellreg.org/>. - Access data: 03/27/2026.
12. Mel'nikov S.S. Manankina E.E., Budakova E.A., Shalygo N.V. Sohranenie i vosproizvedenie hozyajstvenno poleznyh vidov vodoroslej v al'gologicheskoy kollekcii : metodicheskie ukazaniya [Conservation and reproduction of economically useful species of algae in algological collection: methodological guidelines]. Minsk : Pravo i ekonomika, 2010. 40 p.
13. Jui T.J., Tasnim A., Islam SM R., Manjur O.H.B., Hossain Md S., Tasnim N., Karmakar D., Hasan Md R., Karim Md R. Optimal growth conditions to enhance *Chlorella vulgaris* biomass production in indoor phyto tank and quality assessment of feed and culture stock. Heliyon, 2024, Vol. 10, no. 11, pp. 1–11.
14. Singh V., Lauraz J.S. Spectral Monitoring and Quantification of *Chlorella sorokiniana* for Biomass Production. Annals of Biology, 2020, Vol. 36, no 1, pp. 43–47.

References

Received 1.04.2026