

## СТАТЬИ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

## БИОЛОГИЯ

## БИОТЕХНОЛОГИИ И БИОНАНОТЕХНОЛОГИИ

Статья поступила в редакцию: 14.07.2026

Статья принята к публикации: 04.08.2026

Статья опубликована: 07.09.2026

УДК 576.8+579.26

**Новый локальный штамм *Tetrademus obliquus*: выделение,  
морфолого-культуральная и молекулярно-генетическая характеристика**

**Миракбарова Мохира Алишеровна**  
докторант

Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [moximira2@gmail.com](mailto:moximira2@gmail.com)

**Абдуллаев Хуршидбек Одилович**  
докторант

Ташкентский химико-технологический институт  
Республика Узбекистан, г. Ташкент

**A new local strain of *Tetrademus obliquus*: isolation, morphological-cultural  
and molecular-genetic characteristics**

**Mirakbarova Mokhira**  
PhD student

Tashkent State Technical University named after Islam Karimov  
Republic of Uzbekistan, Tashkent

**Abdullayev Khurshidbek**  
PhD student

Tashkent Institute of Chemical Technology  
Republic of Uzbekistan, Tashkent

**Аннотация**

В данной статье представлены результаты исследования нового локального штамма *Tetrademus obliquus* Nam-Uz-23, выделенного из термальных минеральных вод Чартакского района Наманганской области Республики Узбекистан. Целью исследования являлись

выделение штамма, его молекулярно-генетическая идентификация и изучение морфологических и культуральных особенностей. Методология работы включала отбор проб водорослевых обрастаний с поверхности камней, получение альгологически чистой культуры, световую микроскопию и филогенетический анализ ITS-региона методом Neighbor-Joining. Идентификация штамма выполнена на основе анализа последовательности ITS-региона, проведенного в лаборатории «Почвенная микробиология и биотехнология» Института микробиологии Академии наук Республики Узбекистан. Полученная нуклеотидная последовательность ITS-региона депонирована в международной базе данных NCBI GenBank. Для изучения культуральных особенностей штамм культивировали на питательной среде BG-11 в результате чего были определены оптимальные условия его поддержания в культуре. Научная новизна работы заключается в выделении, молекулярно-генетической идентификации и морфолого-культуральной характеристике нового локального штамма *Tetradismus obliquus* Nam-Uz-23. Проведенная молекулярно-генетическая идентификация в сочетании с морфологической и культуральной характеристикой позволила подтвердить принадлежность выделенного штамма к виду *Tetradismus obliquus*. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности дальнейшего изучения данного штамма и биоразнообразия микроводорослей природных экосистем. Возможности его практического применения в кормопроизводстве, очистке сточных вод и других направлениях биотехнологии рассматриваются как перспективные направления дальнейших исследований и требуют дополнительного экспериментального подтверждения. Практическая значимость работы заключается в пополнении коллекции местных штаммов микроводорослей и возможности использования штамма Nam-Uz-23 в дальнейших работах по подбору условий культивирования. Представленные данные вносят вклад в накопление сведений о микроводорослях, выделенных из природных источников Республики Узбекистан.

### Abstract

This article presents the results of a study of a new local strain of *Tetradismus obliquus* Nam-Uz-23 isolated from the thermal mineral waters of the Chartak district of the Namangan region of the Republic of Uzbekistan. The aim of the study was to isolate the strain, perform its molecular genetic identification and study its morphological and cultural characteristics. The methodology included sampling of algal growths, obtaining an algologically pure culture, light microscopy, and phylogenetic analysis of the ITS region sequence using the Neighbor-Joining method. The strain was identified based on the ITS region sequence analysis conducted in the Soil Microbiology and Biotechnology Laboratory of the Institute of Microbiology of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan. The obtained nucleotide sequence of the ITS region was deposited in the NCBI GenBank international database. To study the cultural characteristics, the strain was cultivated on the BG-11 nutrient medium, as a result of which the optimal conditions for its maintenance in culture were determined. The scientific novelty of the work lies in the isolation, molecular genetic identification and morphological-cultural characteristics of a new local strain of

---

**Библиографическое описание:** Миракбарова М.А., Абдуллаев Х.О. Новый локальный штамм *Tetradismus obliquus*: выделение, морфолого-культуральная и молекулярно-генетическая характеристика // *Universum: химия и биология* : электрон. научн. журн. 2026. 9(147). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23275>

*Tetrademus obliquus* Nam-Uz-23. The conducted molecular genetic identification in combination with morphological and cultural characteristics allowed us to confirm that the isolated strain belongs to the species *Tetrademus obliquus*. The obtained results indicate potential for further study of this strain and the biodiversity of microalgae in natural ecosystems.

**Ключевые слова:** *Tetrademus obliquus*, Nam-Uz-23, микроводоросли, термальные воды, молекулярная идентификация, BG-11, ITS-регион.

**Keywords:** *Tetrademus obliquus*, Nam-Uz-23, microalgae, thermal waters, molecular identification, BG-11, ITS region.

## Введение

Микроводоросли — это разнообразная группа фотосинтезирующих организмов, которые играют важнейшую роль в различных экологических и промышленных процессах [11;22]. Водоросли представлены как микроскопическими микроводорослями, так и макроводорослями— все они являются неотъемлемой частью водных экосистем, формируя основу пищевых цепочек и внося значительный вклад в глобальное производство кислорода [21].

Помимо экологической значимости, водоросли привлекают внимание своим потенциалом в области биотехнологий, в том числе в фармацевтике, нутрицевтике, очистке сточных вод и, что особенно важно, в производстве энергии [5;8;24]. Благодаря высокой скорости роста, большому выходу биомассы и способности вырабатывать ценные метаболиты, они являются перспективными кандидатами для создания устойчивых энергетических решений [4]. Например, *Chlorella vulgaris* может давать до 1,20 г/л/день биомассы в оптимальных условиях и имеет содержание липидов около 28 – 32 % от сухой биомассы [3;7;9]. *Nannochloropsis sp.* — еще одна микроводоросль, известная высоким содержанием липидов, которое достигает 50 – 60 % от сухого веса, при этом продуктивность биомассы составляет до 0,64 г/л/день [24]. *Scenedesmus obliquus*, изучаемый для очистки сточных вод и производства биотоплива, характеризуется содержанием липидов 20 – 30 % и содержанием белка 40 – 45 % от сухой биомассы [3;22].

Род *Tetrademus*, наряду с другими родами микроводорослей, широко изучался благодаря высокой скорости роста и адаптивности к различным условиям сточных вод [10;18;25;26]. Содержание липидов в микроводорослях, достигающее до 50 % от их сухой биомассы у штаммов *Tetrademus sp.*, открывает значительный потенциал для производства биодизеля [12;20]. Более того, *Tetrademus sp.* может эффективно использовать питательные вещества, присутствующие в различных средах для выращивания, таких как сточные воды и сельскохозяйственные стоки, снижая потребность в синтетических удобрениях и связанные с этим затраты [4]. Особый интерес к представителям рода *Tetrademus* обусловлен их способностью эффективно использовать минеральные вещества из различных водных сред, включая сточные воды, а также высокой устойчивостью к изменениям условий культивирования. Современные исследования показывают, что представители данного рода способны поддерживать стабильный рост в широком диапазоне условий, что делает их перспективными объектами для дальнейших фундаментальных и прикладных исследований в области биотехнологии [16;19].

В последние годы представители рода *Tetradesmus* привлекают все большее внимание исследователей благодаря способности эффективно накапливать биомассу, адаптироваться к различным условиям культивирования и использоваться в ряде биотехнологических процессов. Штаммы данного рода рассматриваются как перспективные объекты для получения биомассы, очистки сточных вод, производства кормовых продуктов и других ценных биопродуктов. Вместе с тем поиск новых природных штаммов и их комплексная морфологическая и молекулярно-генетическая характеристика остаются актуальными задачами, поскольку локальные изоляты могут обладать специфическими биологическими свойствами и представлять интерес для дальнейших фундаментальных и прикладных исследований [22].

**Цель исследований:** Целью исследования являлись выделение нового локального штамма *Tetradesmus obliquus* из термальных минеральных вод Чартакского района Наманганской области Республики Узбекистан, его молекулярно-генетическая идентификация, а также изучение морфологических, культуральных особенностей.

### Материалы и методы

**Объект исследования:** Объектом исследования служил штамм зелёной микроводоросли *Tetradesmus obliquus* Nam-Uz-23, выделенный в 2023 году из термальных минеральных вод Чартакского района Наманганской области Республики Узбекистан (41,0689° с.ш.; 71,8153° в.д.; около 650 м над уровнем моря). Температура воды в источнике составляла 40–60 °С. Поскольку целью работы являлись выделение и идентификация штамма, химический состав и степень минерализации источника в рамках настоящего исследования не определялись. Пробы отбирали 23 мая 2023 г. на термальном минеральном источнике Чартакского района Наманганской области Республики Узбекистан. Отбор проводили по методике, описанной в работе [17]. Водорослевые обрастания аккуратно снимали с камней стерильным скальпелем и помещали в стерильные полиэтиленовые ёмкости объёмом 50 мл. Выделение штамма проводили по общепринятой методике [17] на плотных питательных средах с использованием классических микробиологических методов. Культуру вели как клональную моноальгальную, полученную из единичной колонии; пересев на свежую среду повторяли до получения альгологически чистого состояния, которое контролировали микроскопически. Морфологические признаки штамма изучали с помощью светового тринокулярного микроскопа N-300M, оснащённого цифровой камерой MD101 (5,0 Мп) и встроенным экраном 11 дюймов, при увеличениях  $\times 400$  и  $\times 1000$  (масляная иммерсия). Размеры клеток определяли по 30 клеткам с использованием программного обеспечения камеры микроскопа; чистоту культуры контролировали микроскопически перед каждым пересевом. Штамм выделяли и поддерживали регулярным пересевом на модифицированной среде BG-11 с азотом. Она является универсальной питательной средой с высоким содержанием азота и минералов и адаптирована к стандартам «Коллекции культур водорослей и простейших» [1;23;27].

Культивирование проводили в колбах Эрленмейера объёмом 750 мл на роторном шейкере (150 об/мин) путём добавления 5–10 % инокулята к жидкой модифицированной питательной среде BG-11 при температуре 27 °С и освещённости 25–27 тыс. люкс. Состав

модифицированной питательной среды BG-11 (на 1 л):  $\text{NaNO}_3$  — 1,50 г;  $\text{K}_2\text{HPO}_4 \times 3\text{H}_2\text{O}$  — 0,04 г;  $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$  — 0,075 г;  $\text{CaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$  — 0,05 г;  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  — 0,02 г; лимонная кислота — 0,006 г; ЭДТА· $\text{Na}_2$  — 0,001 г;  $\text{Fe}^{3+}/\text{NH}_4^+$ -цитрат (Fe 16–19 %) — 0,006 г; раствор микроэлементов — 1,0 мл; 0,5 М раствор HEPES, pH 7,5 — 40 мл; дистиллированная вода — до 1 л [27]. Для длительного хранения штамм поддерживали на среде BG-11 при +4 °C с пересевом каждые 2 месяца либо в 10 % глицерине при –80 °C. Идентификация штамма проводилась в лаборатории «Почвенная микробиология и биотехнология» Института микробиологии Академии наук Республики Узбекистан на основании морфолого-культуральных признаков [13;14;15], а также молекулярно-генетического анализа. Выделение тотальной ДНК, амплификацию целевого фрагмента, очистку ПЦР-продукта и определение нуклеотидной последовательности проводили сотрудники указанной лаборатории по стандартным методикам, применяемым для идентификации микроводорослей.

В качестве молекулярного маркера использовали участок ITS1–5.8S–ITS2 рибосомальной ДНК [2], фланкированный консервативными последовательностями генов 18S и 28S рРНК. Данный участок широко применяется для видовой идентификации зелёных микроводорослей благодаря высокой вариабельности внутренних транскрибируемых спейсеров при консервативности фланкирующих областей. Амплификацию проводили с использованием универсальных праймеров ITS1 (5'-TCCGTAAGGTGAACCTGCGG-3') и ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3') [28]. Полученную нуклеотидную последовательность сравнивали с последовательностями международной базы данных NCBI GenBank с использованием алгоритма BLASTn.

Филогенетический анализ выполняли на основе последовательности участка ITS1–5.8S–ITS2. Для построения дерева использовали гомологичные последовательности представителей родов *Tetradesmus*, *Acutodesmus* и *Scenedesmus*, депонированные в GenBank. Множественное выравнивание последовательностей выполняли алгоритмом ClustalW. Дерево реконструировали методом Neighbor-Joining на основе p-дистанций; статистическую поддержку узлов оценивали методом bootstrap (300 повторностей). В качестве внешней группы использовали *Chlorella sorokiniana* SM9\_4 (KM514851.1). Анализ проводили в программе MEGA 11.

Результаты и обсуждение: В результате проведённой идентификации и анализа морфологических, культуральных и молекулярно-генетических характеристик установлено, что выделенный штамм *Tetradesmus obliquus* Nam-Uz-23 соответствует диагностическим признакам представителей рода *Tetradesmus*. Использование ITS-региона рДНК в сочетании с морфологическими особенностями является общепринятым подходом к достоверной идентификации микроводорослей данного рода. Полученная нуклеотидная последовательность депонирована в международной базе данных NCBI GenBank под регистрационным номером PZ027968. Выявленные морфологические признаки согласуются с современными литературными данными о виде *Tetradesmus obliquus* [2;13;14;15]. Для исследуемого штамма характерны эллипсоидная или удлинённая форма клеток, образование ценобиев из 2, 4 и 8 клеток и отсутствие жгутиков (рисунок 1). Совокупность указанных признаков соответствует диагностическим характеристикам данного вида и дополнительно подтверждает правильность проведённой идентификации.

Согласно характеристике депонированного штамма, оптимальными условиями его культивирования являются температура 26–30 °С, значение pH 6,8–7,5, использование модифицированной питательной среды BG-11, освещённость 25–27 тыс. лк и культивирование на роторном шейкере со скоростью 150 об/мин. Указанные условия рекомендованы для стабильного культивирования и поддержания жизнеспособности депонированного штамма. Сравнительный анализ полученной нуклеотидной последовательности участка ITS1–5.8S–ITS2 с последовательностями международной базы данных NCBI GenBank, выполненный с использованием алгоритма BLASTn, показал её высокую степень соответствия последовательностям вида *Tetradesmus obliquus*. Уровень сходства с наиболее близкими депонированными последовательностями составил 99,84 % при покрытии запроса 100 % и значении E-value 0,0. Среди наиболее близких оказались последовательности штаммов *Tetradesmus obliquus* UTEX 1450 и UTEX 1237, а также последовательности, депонированные под номерами MW065554.1, KJ676127.1 и KP645232.1. Часть близких последовательностей депонирована в GenBank под названием *Scenedesmus obliquus* (в том числе штаммы 1 – 10 и GS3b), что связано с проведённой ревизией рода и рассматривается как таксономический синоним *Tetradesmus obliquus*. Полученные значения сходства превышают порог, принятый для видовой идентификации зелёных микроводорослей по ITS-региону, и подтверждают принадлежность штамма Nam-Uz-23 к виду *Tetradesmus obliquus*.



**Рисунок 1. Штамм *Tetradesmus obliquus* Nam-Uz-23, выделенный из термальных минеральных вод Чартакского района Наманганской области Республики Узбекистан**

Полученные данные согласуются с современными представлениями о систематическом положении представителей рода *Tetradesmus* и могут служить основой для дальнейших исследований данного штамма. Для оценки соответствия выделенного штамма диагностическим признакам вида *Tetradesmus obliquus* проведено сравнение его основных морфологических характеристик с опубликованными литературными данными для штамма *Tetradesmus obliquus* BR003 [6]. Сравнение включало форму и размеры клеток, тип колоний,

способ размножения и другие морфологические признаки, наиболее часто используемые при идентификации представителей данного вида. Результаты сравнительного анализа представлены в таблице 1.

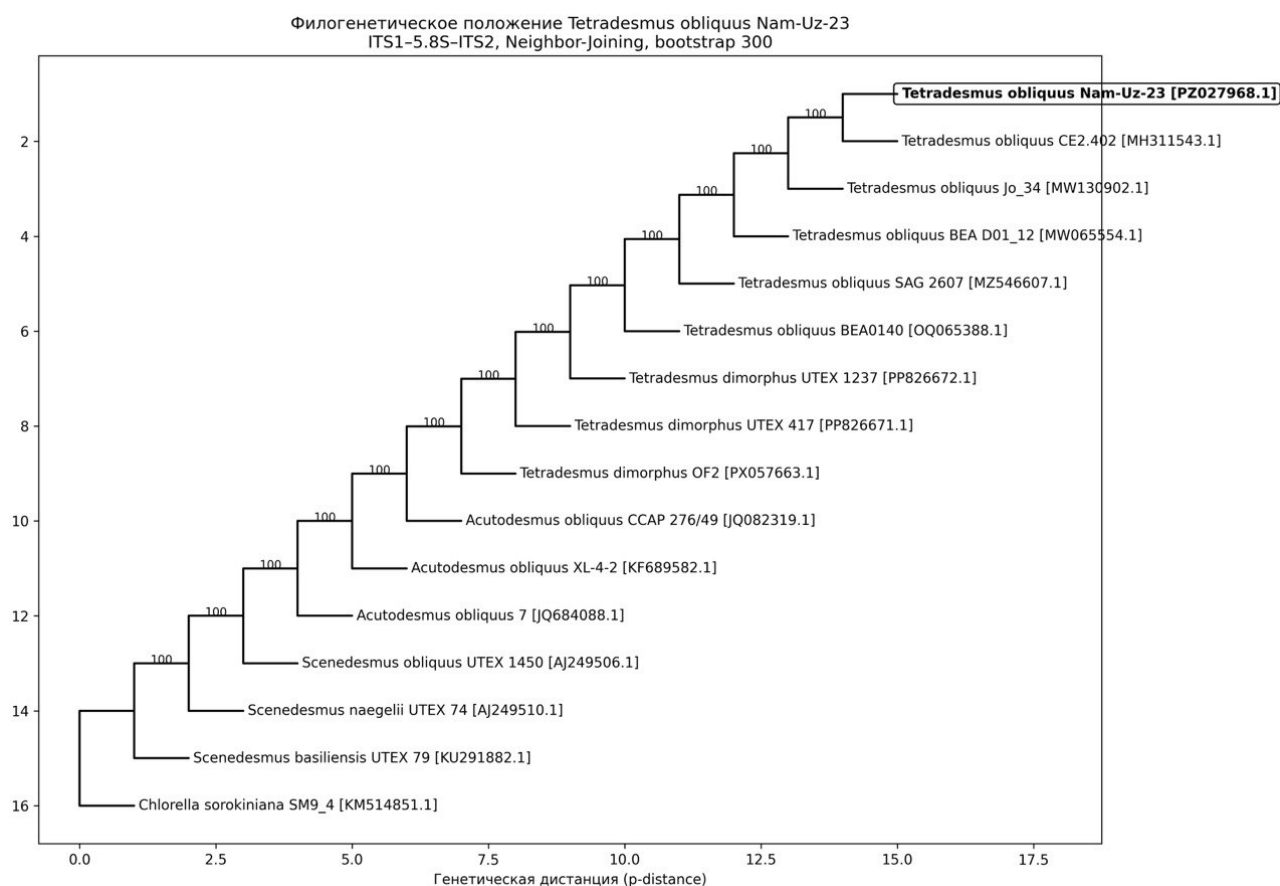
Таблица 1.

**Сравнительная характеристика морфологических и культуральных признаков штаммов *Tetradasmus obliquus* Nam-Uz-23 и BR003**

| Показатель                              | <i>Tetradasmus obliquus</i> Nam-Uz-23 | <i>Tetradasmus obliquus</i> BR003    |
|-----------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| Форма клеток                            | Эллипсоидная или удлинённая           | Эллипсоидная с закругленными концами |
| Размер клеток                           | 6–18 мкм                              | около 10 мкм                         |
| Тип колоний                             | Ценобии из 2, 4 и 8-клеток            | Ценобии из 4-8 клеток                |
| Подвижность                             | Отсутствует                           | Отсутствует                          |
| Способ размножения                      | Автоспоры                             | Автоспоры                            |
| Оптимальная температура культивирования | 26–30 °C                              | Не приведены                         |
| Оптимальное значение pH                 | 6,8–7,5                               | Не приведены                         |
| Питательная среда                       | Модифицированная BG-11                | BG-11                                |
| Освещённость                            | 25–27 тыс. люкс                       | Не приведены                         |
| Скорость перемешивания                  | 150 об/мин                            | Не приведены                         |
| Условия хранения                        | BG-11 при +4 °C                       | Не приведены                         |

Как видно из данных таблицы 1, штамм *Tetradasmus obliquus* Nam-Uz-23 по основным морфологическим признакам соответствует опубликованным характеристикам штамма *Tetradasmus obliquus* BR003. Оба штамма имеют эллипсоидную форму клеток, образуют ценобии, размножаются автоспорами и не обладают подвижностью. Незначительные различия в размерах клеток могут быть связаны с происхождением штаммов и различиями условий культивирования. Полученные результаты согласуются с литературными данными и дополнительно подтверждают правильность идентификации исследуемого штамма как *Tetradasmus obliquus* [6].

Для уточнения филогенетического положения штамма *Tetradasmus obliquus* Nam-Uz-23 использовали последовательность участка ITS1–5.8S рДНК–ITS2, депонированную в базе GenBank под номером PZ027968. Последовательность сравнивали с гомологичными последовательностями представителей родов *Tetradasmus*, *Acutodesmus* и *Scenedesmus*. Для подтверждения таксономического положения штамма был выполнен филогенетический анализ. Полученное филогенетическое дерево представлено на рисунке 2.



**Рисунок 2. Филогенетическое положение штамма *Tetradasmus obliquus***

Nam-Uz-23 (PZ027968), установленное на основе сравнительного анализа нуклеотидных последовательностей участка ITS1–5.8S рДНК–ITS2. Филогенетическое дерево построено методом Neighbor-Joining с использованием р-дистанций. Надёжность топологии оценивали методом bootstrap на основе 300 повторностей. В качестве внешней группы использовали *Chlorella sorokiniana* SM9\_4 (KM514851.1). Исследуемый штамм выделен полужирным шрифтом и рамкой.

Генетические характеристики. Генетическая идентификация штамма *Tetradasmus obliquus* Nam-Uz-23 проведена на основании анализа ITS-региона рибосомальной ДНК. Основные генетические характеристики представлены в таблице 2. Результаты филогенетического анализа, подтверждающие принадлежность исследуемого штамма к виду *Tetradasmus obliquus*, приведены на рисунке 2.

**Таблица 2.**

**Генетическая характеристика штамма *Tetradasmus obliquus* Nam-Uz-23**

| Показатель                 | Характеристика                                                     |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Вид                        | <i>Tetradasmus obliquus</i>                                        |
| Штамм                      | Nam-Uz-23                                                          |
| Генетический маркер        | ITS-регион рибосомальной ДНК (ITS rDNA)                            |
| Метод идентификации        | Молекулярно-генетический анализ с секвенированием ITS-региона рДНК |
| Регистрационный номер NCBI | PZ027968                                                           |

| Показатель                     | Характеристика                                                                                         |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Место проведения идентификации | Лаборатория «Почвенная микробиология и биотехнология» Института микробиологии АН Республики Узбекистан |
| Генетическая модификация       | Отсутствует (штамм не является генетически модифицированным организмом)                                |

### Заключение

В результате проведенного исследования выделенный из термальных минеральных вод Узбекистана штамм *Tetradasmus obliquus* Nam-Uz-23 был идентифицирован на основании комплекса морфологических и молекулярно-генетических признаков. Сравнение морфологических характеристик с литературными данными и результаты филогенетического анализа ITS-региона рибосомальной ДНК подтвердили принадлежность исследуемого штамма к виду *Tetradasmus obliquus*. Полученные данные дополняют сведения о биоразнообразии микроводорослей термальных вод Узбекистана и могут служить основой для дальнейших исследований по культивированию и биотехнологическому использованию данного штамма.

**Благодарность.** Авторы выражают искреннюю благодарность

Хужамшукурову Н.А. за ценные научные консультации, методическую помощь, рекомендации при проведении исследований и обсуждении полученных результатов. Его поддержка и профессиональные советы способствовали успешному выполнению данной работы. Вклад авторов: Миракбарова М.А. разработала концепцию исследования, осуществила выделение и культивирование штамма, анализ результатов и подготовку рукописи. Абдуллаев Х.О. принимал участие в проведении исследований, обработке данных и подготовке статьи.

### Список литературы

1. Allen M.M., Stanier R.Y. Growth and division of some unicellular blue-green algae // Journal of General Microbiology. – 1968. – Т. 51, № 2. – DOI: 10.1099/00221287-51-2-199.
2. Bao B., Thomas-Hall S.R., Schenk P.M. Fast-tracking isolation, identification and characterization of new microalgae for nutraceutical and feed applications // Phycology. – 2022. – Т. 2, № 1. – DOI: 10.3390/phycology2010006.
3. Becker E.W. Micro-algae as a source of protein // Biotechnology Advances. – 2007. – Т. 25, № 2. – DOI: 10.1016/j.biotechadv.2006.11.002.
4. Bora A., Thondi Rajan A.S., Ponnuchamy K., Muthusamy G., Alagarsamy A. Microalgae to bioenergy production: recent advances, influencing parameters, utilization of wastewater – a critical review // Science of the Total Environment. – 2024. – Т. 946. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.174230.
5. Borowitzka M.A. High-value products from microalgae – their development and commercialisation // Journal of Applied Phycology. – 2013. – Т. 25, № 3. – DOI: 10.1007/s10811-013-9983-9.

6. Cesário C.C., Soares J., Cossolin J.F.S., Almeida A.V.M., Bermudez Sierra J.J., Leite M.O., Nunes M.C., Serrão J.E., Martins M.A., Coimbra J.S.R. Biochemical and morphological characterization of freshwater microalga *Tetrademus obliquus* (Chlorophyta: Chlorophyceae) // *Protoplasma*. – 2022. – Т. 259, № 4. – DOI: 10.1007/s00709-021-01712-3.
7. Converti A., Casazza A.A., Ortiz E.Y., Perego P., Del Borghi M. Effect of temperature and nitrogen concentration on the growth and lipid content of *Nannochloropsis oculata* and *Chlorella vulgaris* for biodiesel production // *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. – 2009. – Т. 48, № 6. – DOI: 10.1016/j.cep.2009.03.006.
8. El Basuini M.F., Khat tab A.A.A., Hafsa S.H.A., Teiba I.I., Elkassas N.E.M., El-Bilawy E.H. Impacts of algae supplements (*Arthrospira* and *Chlorella*) on growth, nutrient variables, intestinal efficacy, and antioxidants in New Zealand white rabbits // *Scientific Reports*. – 2023. – Т. 13. – DOI: 10.1038/s41598-023-34914-1.
9. Griffiths M.J., Harrison S.T.L. Lipid productivity as a key characteristic for choosing algal species for biodiesel production // *Journal of Applied Phycology*. – 2009. – Т. 21, № 5. – DOI: 10.1007/s10811-008-9392-7.
10. Gupta S.K., Ansari F.A., Shriwastav A., Sahoo N.K., Rawat I., Bux F. Dual role of *Chlorella sorokiniana* and *Scenedesmus obliquus* for comprehensive wastewater treatment and biomass production for bio-fuels // *Journal of Cleaner Production*. – 2016. – Т. 115. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.12.040.
11. Gurau S., Imran M., Ray R.L. Algae: a cutting-edge solution for enhancing soil health and accelerating carbon sequestration – a review // *Environmental Technology and Innovation*. – 2025. – Т. 37. – DOI: 10.1016/j.eti.2024.103980.
12. Hu Q., Sommerfeld M., Jarvis E., Ghirardi M., Posewitz M., Seibert M., Darzins A. Microalgal triacylglycerols as feedstocks for biofuel production: perspectives and advances // *The Plant Journal*. – 2008. – Т. 54, № 4. – DOI: 10.1111/j.1365-313X.2008.03492.x.
13. Huynh M., Sere diak N. Algae identification field guide. – Ottawa: Agriculture and Agri-Food Canada, 2006. – 40 P.
14. John D.M., Whitton B.A., Brook A.J. The freshwater algal flora of the British Isles: an identification guide to freshwater and terrestrial algae. – Cambridge: Cambridge University Press, 2002. – 702 P.
15. John D.M., Guiry M.D., Wilbraham J., Krokowski J. The 2011 edition of “The Freshwater Algal Flora of the British Isles”: additions, corrections, nomenclatural and taxonomic changes // *Applied Phycology*. – 2022. – Т. 3, № 1. – DOI: 10.1080/26388081.2022.2031295.
16. Kato H., Suzuki H., Wijffels R.H., Schulze P.S.C., Hulatt C.J. Thermal responses of *Tetrademus obliquus* for industrial outdoor cultivation // *Bioresource Technology Reports*. – 2024. – Т. 27. – DOI: 10.1016/j.biteb.2024.101909.
17. Lortou U., Panteris E., Gkelis S. Uncovering new diversity of photosynthetic microorganisms from the Mediterranean region // *Microorganisms*. – 2022. – Т. 10, № 8. – DOI: 10.3390/microorganisms10081571.

18. Martínez M.E., Sánchez S., Jiménez J.M., El Yousfi F., Muñoz L. Nitrogen and phosphorus removal from urban wastewater by the microalga *Scenedesmus obliquus* // *Bioresource Technology*. – 2000. – Т. 73, № 3. – DOI: 10.1016/S0960-8524(99)00121-2.
19. Mofeed J., Mosleh Y.Y. Toxic responses and antioxidative enzymes activity of *Scenedesmus obliquus* exposed to fenhexamid and atrazine, alone and in mixture // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2013. – Т. 95. – DOI: 10.1016/j.ecoenv.2013.05.023.
20. Mofeed J.M., Mamdouh I.M., Eltanahy E.E., Shehata A.I.A., Elzaawely A.A., Teiba I.I., El-Bilawy E.H. Evaluation of *Tetrademus obliquus* and *Monoraphidium* sp. as potential feedstocks for sustainable biodiesel production // *Frontiers in Marine Science*. – 2025. – Т. 12. – DOI: 10.3389/fmars.2025.1616335.
21. Naselli-Flores L., Padisák J. Ecosystem services provided by marine and freshwater phytoplankton // *Hydrobiologia*. – 2023. – Т. 850. – DOI: 10.1007/s10750-022-04795-y.
22. Oliveira C.Y.B., Oliveira C.D.L., Prasad R., Ong H.C., Araujo E.S., Shabnam N., Gálvez A.O. A multidisciplinary review of *Tetrademus obliquus*: a microalga suitable for large-scale biomass production and emerging environmental applications // *Reviews in Aquaculture*. – 2021. – Т. 13, № 3. – DOI: 10.1111/raq.12536.
23. Rippka R., Deruelles J., Waterbury J.B., Herdman M., Stanier R.Y. Generic assignments, strain histories and properties of pure cultures of cyanobacteria // *Journal of General Microbiology*. – 1979. – Т. 111, № 1. – DOI: 10.1099/00221287-111-1-1.
24. Rodolfi L., Chini Zittelli G., Bassi N., Padovani G., Biondi N., Bonini G., Tredici M.R. Microalgae for oil: strain selection, induction of lipid synthesis and outdoor mass cultivation in a low-cost photobioreactor // *Biotechnology and Bioengineering*. – 2009. – Т. 102, № 1. – DOI: 10.1002/bit.22033.
25. Samoraj M., Çalış D., Trzaska K., Mironiuk M., Chojnacka K. Advancements in algal biorefineries for sustainable agriculture: biofuels, high-value products, and environmental solutions // *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. – 2024. – Т. 58. – DOI: 10.1016/j.bcab.2024.103224.
26. Singh N., Roy K., Goyal A., Moholkar V.S. Investigations in ultrasonic enhancement of  $\beta$ -carotene production by isolated microalgal strain *Tetrademus obliquus* SGM19 // *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2019. – Т. 58. – DOI: 10.1016/j.ultsonch.2019.104697.
27. Stanier R.Y., Kunisawa R., Mandel M., Cohen-Bazire G. Purification and properties of unicellular blue-green algae (order Chroococcales) // *Bacteriological Reviews*. – 1971. – Т. 35, № 2. – DOI: 10.1128/br.35.2.171–205.1971.
28. White T.J., Bruns T., Lee S., Taylor J. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics // *PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications* / eds. M.A. Innis, D.H. Gelfand, J.J. Sninsky. – 1990. – DOI: 10.1016/B978-0-12-372180-8.50042-1.