

УДК 574.635

https://doi.org/10.36906/2311-4444/25-1/03

*Текебаева Ж.Б., Рахымжан Ж., Базарханқызы А.,
Темирбекова А.Ж., Бейсенова Р.Р., Кулагин А.А.*

ОПЫТ АЛЬГОЛИЗАЦИИ ОЗЕРА МАЙБАЛЫК (АСТАНА, КАЗАХСТАН)

*Zh.B. Tekebayeva, Zh. Rahymzhan, A. Bazarhanқызу,
A.Zh. Temirbekova, R.R. Beisenova, A.A. Kulagin*

EXPERIENCE OF ALGOLIZATION OF LAKE MAIBALYK (ASTANA, KAZAKHSTAN)

Аннотация. Объектом исследования являлись пробы воды, культуры зеленых микроводорослей *Parachlorella kessleri* У1 и *Chlorella vulgaris* И2, озеро Майбалык (г. Астана). Цель и задачи исследования – изучить биоремедиационный потенциал консорциума двух штаммов микроводорослей *Parachlorella kessleri* У1 + *Chlorella vulgaris* И2 (далее У1+И2) посредством альголизации озера Майбалык по микробиологическим и гидрохимическим показателям. Данное озеро является крупным озером в г. Астана имея рыбохозяйственное значение. Состояние водоёма отражается на состоянии воздушного бассейна столицы. В мае-июне 2020 г. проведено исследование воды озера Майбалык по основным морфометрическим, гидрохимическим и гидробиологическим показателям. Для изучения действия и определения эффективности использования микроводорослей проведена предварительная наработка биомассы и альголизация консорциума У1+И2. Внесение консорциума микроводорослей через месяц показало улучшение санитарно-микробиологических показателей водоёма, благодаря высоким антимикробным свойствам и снижению по таким группам бактерий, как аммонификаторы, колиформных, гетеротрофных бактерий, кишечной палочки, псевдомонад, восковой бациллы, золотистого стафилококка, энтерококков, энтеробактерий, сальмонеллы, грибов и дрожжей. Через 30 суток после альголизации консорциумом И2+У1 зафиксировано улучшение не только органолептических характеристик воды, но и ряда гидрохимических показателей, включая снижение ХПК, концентрации взвешенных веществ, железа, СПАВ и фосфатов. Также отмечено повышение прозрачности, снижение цветности воды и отсутствие специфического запаха. Выявлено, что, хотя содержание БПК₅, нитратов, сульфатов в исходной пробе не превышало значений ПДК, внесение микроводорослей положительно

Abstract. The object of the study was water samples, cultures of green microalgae *Parachlorella kessleri* U1 and *Chlorella vulgaris* I2, Maybalyk Lake (Astana). The aim and objectives of the study were to study the bioremediation potential of a consortium of two strains of microalgae *Parachlorella kessleri* U1 + *Chlorella vulgaris* I2 (hereinafter U1+I2) through the algolization of Lake Maibalyk according to microbiological and hydrochemical indicators. This lake is a large lake in Astana with fishery importance. The state of the reservoir is reflected in the state of the capital's air basin. A study of the water quality of Lake Maibalyk was conducted on the main morphometric, hydrochemical and hydrobiological indicators in May and June of 2020. To study the effect and determine the efficiency of using microalgae, preliminary biomass production and algolization of the U1 + I2 consortium were carried out. The introduction of a consortium of microalgae showed an improvement in the sanitary and microbiological indicators of the reservoir after just one month, due to its high antimicrobial properties and a decrease in such groups of bacteria as ammonifiers, coliforms, heterotrophic bacteria, coli group bacteria, pseudomonas, wax bacilli, staphylococcus, enterococci, enterobacteria, salmonella, fungi and yeast. After algolization for 30 days by the consortium I2+U1, an improvement was recorded not only in the organoleptic characteristics of water, but also in a number of hydrochemical parameters, including a decrease in COD, suspended solids, iron, SSAA and phosphates. An increase in transparency, a decrease in water color and the absence of a specific odor were also noted. It was found that, although the content of BOD₅, nitrates, sulfates in the original sample did not exceed the MPC values, the introduction of microalgae had a positive effect on reducing the concentration of

сказалось на уменьшении концентрации данных веществ, что существенно повлияло на качество воды водоёма. Полученные результаты могут служить основой для разработки экологически чистых биотехнологий по улучшению качества воды. В дальнейшем необходимо проведение исследований в трехкратной повторности, что повысит достоверность и качество полученных данных, что позволит более эффективно проводить оценку состояния экосистемы водоёма и обеспечения безопасности использования воды.

Ключевые слова: озеро Майбалык; альголизация; микроводоросли; загрязнение; качество воды; биопрепарат.

Сведения об авторах: Текебаева Жанар Борамбаевна, ORCID: 0000-0002-5855-2655, г. Нижневартовск, Россия, ТОО «Республиканская коллекция микроорганизмов», г. Астана, Казахстан, zanartekebaeva@gmail.com; Рахымжан Жанар, ORCID: 0000-0003-0794-906X, PhD, НАО «Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева», г. Астана, Казахстан, r.zhanar80@mail.ru.; Базарханқызы Айдана, ORCID: 0000-0002-3584-9544, Медицинский университет, г. Астана, Казахстан, bazarkhankyzy.a@gmail.com.; Темирбекова Алия Жомартовна, ORCID: 0000-0001-8131-0390, ТОО «Республиканская коллекция микроорганизмов», г. Астана, Казахстан, atemirbekova94@gmail.com.; Бейсенова Райхан Рымбаевна, ORCID: 0000-0003-0913-9503, д-р биол. наук, НАО «Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева», Казахстан, Астана, raihan_b_r@mail.ru.; Кулагин Андрей Алексеевич, ORCID: 0000-0003-3107-1904, д-р биол. наук, профессор, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Россия, kulagin-aa@mail.ru.

these substances, which significantly affected the quality of the water in the reservoir. The results obtained can serve as a basis for developing environmentally friendly biotechnologies to improve water quality. In the future, it is necessary to conduct studies in triplicate, which will increase the reliability and quality of the data obtained, which will allow more effective assessment of the state of the ecosystem of the reservoir and ensure the safety of water use.

Keywords: Maybalyk Lake; algolization; microalgae; pollution; water quality; biological product.

About the authors: Zhanar B. Tekebayeva, ORCID: 0000-0002-5855-2655, Nizhnevartovsk, Russia, Republican Collection of Microorganisms LLP, Astana, Kazakhstan, zanartekebaeva@gmail.com; Zhanar Rahymzhan, ORCID: 0000-0003-0794-906X, PhD, Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, r.zhanar80@mail.ru.; Aidana Bazarhankyzy, ORCID: 0000-0002-3584-9544, Astana Medical University, Astana, Kazakhstan, bazarkhankyzy.a@gmail.com; Aliya Zh. Temirbekova, ORCID: 0000-0001-8131-0390, Republican Collection of Microorganisms LLP, Astana, Kazakhstan, atemirbekova94@gmail.com; Raikhan R.Beisenova, ORCID: 0000-0003-0913-9503, Doctor of Biological Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, raihan_b_r@mail.ru.; Andrey A. Kulagin, ORCID: 0000-0003-3107-1904, Doctor of Biological Sciences, Professor, National Research Technological University MISIS, Moscow, Russia, kulagin-aa@mail.ru .

Текебаева Ж.Б., Рахымжан Ж., Базарханқызы А., Темирбекова А.Ж., Бейсенова Р.Р., Кулагин А.А. Опыт альголизации Озера Майбалык (Астана, Казахстан) // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2025. № 1(69). С. 29-42. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/25-1/03>

Tekebayeva, Zh.B., Rahymzhan, Zh., Bazarhankyzy, A., Temirbekova, A.Zh., Beisenova, R.R., & Kulagin, A.A. (2025). Experience of Algolization of Lake Maibalyk (Astana, Kazakhstan). *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, 1(69), 29-42. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/25-1/03>

Введение. Загрязнение воды является существенной экологической проблемой и характеризуется наличием загрязняющих веществ в водных ресурсах, которые представляют опасность для всех живых организмов [4].

Загрязнение воды связано с ростом населения и индустриализацией [29]. Около 30% мировых ресурсов пресной воды используется промышленностью и городским населением,

которые, в свою очередь, производят большое количество сточных вод, содержащие химических вещества в различных концентрациях [22].

Загрязнение и очистка вод считаются проблематичным вопросом для многих стран мира, в том числе и для Казахстана. Качество воды является важнейшим фактором [10; 17; 27], поскольку оно напрямую влияет на здоровье и продуктивность водных организмов, что определяет продовольственную безопасность большинства стран, занимающихся аквакультурой.

Наиболее перспективными методами борьбы с загрязнением вод считаются биологические, основанные на использовании биохимической активности микроорганизмов (бактерий, простейших, микроводорослей и др.). Применение микроводорослей для доочистки сточных вод позволяет решить проблему возрастающей с каждым годом эвтрофикации поверхностных водоёмов [18].

Положительное значение микроводорослей в реабилитации водных техногенных экосистем состоит в фотосинтетической аэрации, продукции биологически активных веществ, обладающих стимулирующим или ингибирующим действием, а также способностью принимать непосредственное участие в утилизации некоторых поллютантов путем аккумуляции, трансформации и минерализации [3].

Микроводоросли обладают способностью поглощать из загрязнённых вод не только азот, фосфор, углекислый газ, которые необходимы для их жизнедеятельности, но также тяжёлые металлы и другие токсичные вещества. Очистка сточных вод с помощью биомассы микроводорослей является весьма перспективной и экономически выгодной [28].

В связи с этим, целью исследования являлась оценка эффективности альголизации озера Майбалык с использованием консорциума на основе зелёных микроводорослей для определения потенциала их применения в биологической очистке водоёмов.

Материалы и методы исследований

Отбор проб воды для изучения морфометрических и гидробиологических показателей озера проводили в июне-июле 2020 и 2021 гг. согласно известным методам в гидробиологической практике [11]. Координаты точек отбора проб (рисунок 1): точка 1 – на территории бывшего рыбопитомника «Maybalyk» (51°00'11.4"N, 71°28'30.3"E); точка 2 – заводь, со стороны заброшенной фермы (51°01'46.2"N, 71°30'31.1"E); точка 3 – место разрешённой рыбалки (50°59'30.1"N, 71°31'30.9"E).

Для проведения альголизации озера Майбалык предварительно была проведена наработка опытной партии консорциума микроводорослей У1+И2 с помощью фитобиореактора ИКА (10 Control, Германия) общим объемом 10 л на питательной среде Тамия.

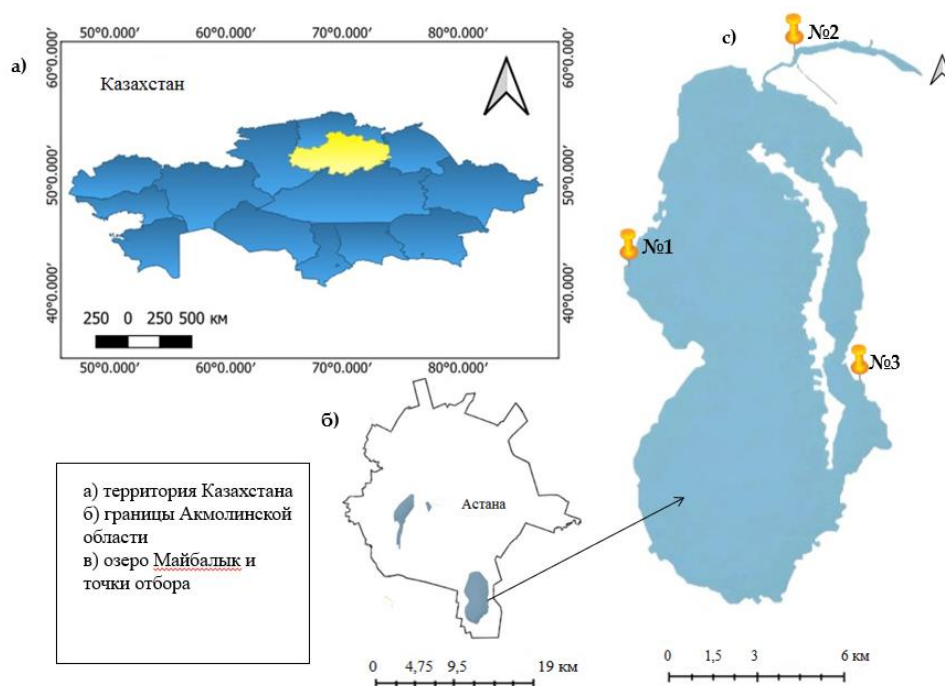


Рис. 1. Озеро Майбалык (г. Астана)

Микробиологический анализ воды озера Майбалык проводили в исходных образцах воды (до альголизации) и через 30 суток после обработки консорциума на основе ассоциации микроводорослей с помощью хромогенных селективных сред Compact Dry (Nissui Pharmaceutical Co. Ltd., Япония, предназначенные для определения и подсчета основных физиологических групп микроорганизмов: ТС (для выявления общего микробного числа, ОМЧ); ЕС (для выявления кишечной палочки и колиформных бактерий); YMR (для выявления дрожжей и грибов); X-SA (для выявления золотистого стафилококка); X-BC (для выявления восковой бациллы); ETC (для выявления энтерококка); ETV (для выявления энтеробактерий); CF (для выявления колиформных бактерий); SL (для выявления сальмонелл); AQ (для выявления гетеротрофов). Для этого методом предельных разведений был сделан высеv исследуемых образцов воды объемом 1 мл на поверхность готовых пластин Compact Dry. Чашки инкубировали согласно инструкции изготовителя в диапазоне от 28°C до 43°C в течение 1–3 суток для каждого вида микроорганизмов при аэробных условиях.

Химический анализ образцов проб воды озера Майбалык по основным гидрохимическим показателям во время исследования озера (2019–2020 гг), а также до и после альголизации (2021 г) проводили фотометрическим методом, используя портативный колориметр DR 900 (HACH, Китай), согласно протокола испытаний производителя. Для определения таких параметров как БПК₅, ХПК, растворённый кислород, перманганатная окисляемость, минерализация образцы проб передавали в аналитическую лабораторию Государственного коммунального предприятия «Астана Су Арнасы» (г. Астана).

Результаты и обсуждение

Озеро Майбалык (каз. «май балық» – жирная рыба) – бессточное озеро в Есильском районе города Нура-Ишимского междуречья, находится к юго-востоку от аэропорта. Озеро находится на высоте 350 метров над уровнем моря. Юго-восточный берег обрывистый, высота 3–4 метра, остальные пологие. Дно ровное, илистое. В Майбалык впадают 2 периодически действующих водотока – Карасу и Кызылсу, по которым в Майбалык весной поступает основная масса воды. Пересыхает редко. Толщина льда в малоснежные зимы достигает 1,0 метра, в обычные 0,6–0,8 метра (<https://clck.ru/3HPZYi>). Уровневый режим озера меняется в течение года, так весной во время снеготаяния уровень повышается, а с середины лета идет на спад. Питание водоёма в основном осуществляется за счет атмосферных осадков и весенних талых вод. Вблизи озера находятся сельскохозяйственные угодья.

Озеро Майбалык является единственным крупным озером в г. Астана, имеющим рыбохозяйственное значение. Ранее в озере Майбалык занимались воспроизводством рыбопосадочного материала на примере рыб семейства карповых. На сегодняшний день озеро находится на грани исчезновения, т. к. уровень воды в нем ежегодно падает с катастрофической скоростью. Причина не только в малоснежных зимах, но и в недавно построенной дамбе: она защищает от наводнений, однако при этом не позволяет талым водам просачиваться в озеро. Обмеление Майбалыка не только сведет на нет рыбный промысел, но также грозит атмосферными изменениями в столице: озеро Майбалык находится в нескольких километрах от мегаполиса, и благодаря ему в Астану поступают влажные массы воздуха. Единственное решение проблемы – направить в озеро воду из соседнего канала Нура – Ишим. В настоящее время около 35% берега и водного зеркала заросли тростником, глубина озера составляет всего 1 метр 20 сантиметров (<https://clck.ru/3HPZft>).

Проведено исследование (усредненная проба) озера Майбалык по основным морфометрическим, гидрохимическим и гидробиологическим показателям за 2020–2021 гг. Результаты представлены в таблице 1.

Данные показатели указывают на умеренное обогащение органикой и достаточный уровень кислорода, что создает благоприятные условия для проведения альголизации озера и в перспективе – для улучшения качества водоёма в целом.

Регулярное внесение суспензии хлореллы в рыбоводные пруды увеличивает численность кормовых водных организмов, улучшает гидрохимический, особенно кислородный режим водоёмов, что приводит к увеличению продуктивности рыбных прудов в поликультуре (толстолобик, белый амур, карп) до 40%. Благодаря выраженным антагонистическим действием ко многим патогенным микроорганизмам хлорелла имеет преимущества в приспособляемости к условиям аквакультуры [1].

Ввиду того, что микроводоросли для своего роста ассимилируют и потребляют N- и P- содержащие неорганические соединения, внедрение технологии на основе

микроводорослей для доочистки на очистных сооружениях является экономичным и экологически безопасным альтернативным методом удаления загрязняющих веществ из сточных вод [26]. К тому же, микроводоросли способны удалять такие микрозагрязнители как тяжёлые металлы, и стойкие органические загрязнители – хлорированные углеводороды, красители текстильной промышленности и гербициды, которые недостаточно удаляются в результате обычного процесса очистки [21; 24; 25; 29].

Таблица 1

Основные параметры воды озера Майбалык

Морфометрические параметры					
Площадь, га	Изрезанность береговой линии	Зарастаемость, %	Площадь водного зеркала, га	Максимальная глубина, м	Средняя глубина, м.
1	2	3	4	5	6
2000,00	1,65	35,00	1540,00	3,50	1,20
Гидрохимические показатели					
pH	БПК, мг/дм ³	Перманганатная окисляемость, мг/дм ³	Минерализация, мг/дм ³	Растворимый кислород, мг/дм ³	СО ₂ , мг/дм ³
8,10	2,80	9,54	1364,30	9,68	0,15
Гидробиологические показатели					
Ихтиофауна	Зоопланктон	Зообентос	Фитопланктон	Водная растительность	
щука, плотва, лещ, карась, карп, окунь, линь	коловратки, ветвистоусые, веслоногие, ракообразные	олигохеты, личинки хирономид, стрекоз, ракообразные, моллюски, пиявки	диатомовые, зелёные, сине-зелёные и эвгленовые микроводоросли	камыш, тростник, виды рдеста	

Для изучения действия и определения эффективности применения микроводорослей в 2021 г. проведена альголизация озера Майбалык консорциумом, сформированном из двух аборигенных штаммов *Parachlorella kessleri* (Fott & Nováková) Krienitz, 2004) У1 и *Chlorella vulgaris* (Beijerinck, 1890) И2 (далее У1+И2). Согласно ранее проведенным лабораторным исследованиям, штамм *P. kessleri* У1 обладает высокой способностью к аккумуляции биогенных элементов и главных ионов [15], тогда как штамм *C. vulgaris* И2 демонстрирует эффективность в аккумуляции тяжёлых металлов, таких как медь, цинк, железо и марганец [16]. Учитывая эти свойства, было принято решение о внесении ассоциации данных штаммов в виде консорциума У1+И2 в исследуемый водоём. Для подготовки консорциума биомасса была предварительно наработана в лабораторном фотобиореакторе общим объемом 30 л с плотностью суспензии 20 ± 10^6 кл/мл. Внесение консорциума осуществлялось вручную в 3-х точках озера Майбалык однократно в июне месяце при температуре воды 22 °С. Суспензию микроводорослей разливали на расстоянии 5–10 м и 15–20 м от берега с расчетом 2 л/га. На рисунке 2 представлен процесс внесения консорциума микроводорослей У1+И2 в озеро Майбалык.

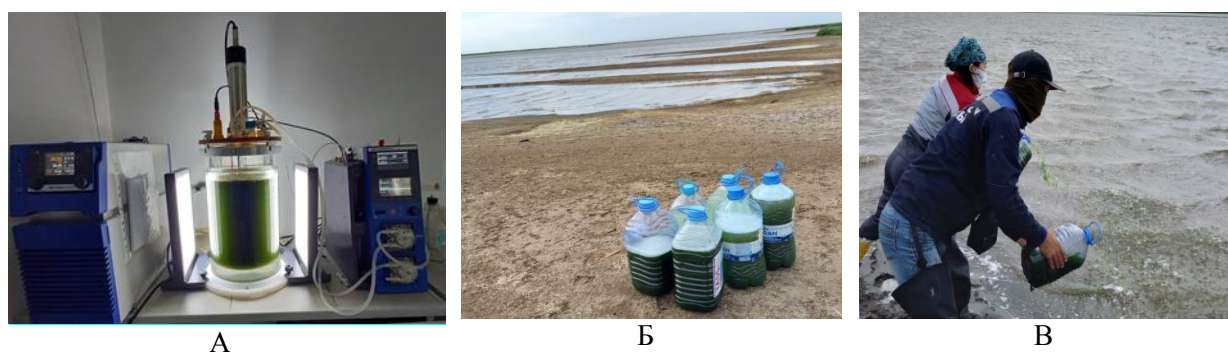


Рис. 2. Альголизация озера Майбалык:
А) наработка биомассы в фотобиореакторе; Б) биомасса микроводорослей перед внесением; В) внесение биопрепарата

Автохтонные микроорганизмы составляют основную часть микробиоты водоёмов. Они постоянно развиваются в значительном количестве или испытывают вспышки сезонного развития, являются существенным компонентом трофической цепи и определяют скорости круговоротов углерода, азота, серы и железа [20].

В связи с этим, проведен микробиологический анализ образцов проб воды озера Майбалык до и после альголизации ассоциацией штаммов микроводорослей. Результаты представлены в таблице 2 и на рисунке 3.

Таблица 2

Микробиологический анализ проб воды озера Майбалык до и после внесения консорциума микроводорослей

Обозначение группы	Наименование группы микроорганизмов	До альголизации, КОЕ/мл	После альголизации биопрепаратом У1+И2, КОЕ/мл
ТС	общее микробное число	392	111
CF	колиформные бактерии	232	10
PA	псевдомонады	36	8
AQ	гетеротрофные бактерии	226	57
YM	грибы и дрожжи	24	16
X-BC	восковая бацилла	15	4
EC	кишечная палочка	258	9
X-SA	золотистый стафилококк	56	50
ETC	энтерококки	6	1
ETB	энтеробактерии	125	2
SL	сальмонелла	20	10

В результате проведенных исследований выявлено, что через месяц после внесения консорциума микроводорослей наблюдается снижение параметров по всем исследуемым группам бактерий. Внесение биопрепарата уменьшило количество такой условно-патогенной и патогенной флоры как ОМЧ – в 3,5 раз, колиформных бактерий – в 23,2 раза, гетеротрофных бактерий – в 3,9 раз, кишечной палочки – 28,7 раз, псевдомонад – в 4,5 раз, восковой бациллы – в 3,8 раз, золотистого стафилококка – в 1,1 раза, энтерококков – в 6 раз, энтеробактерий – в 62,5 раз, сальмонеллы – в 2 раза, грибов и дрожжей – в 1,5 раза. Данные

результаты позволяют установить, что альголизация озера Майбалык штаммами микроводорослей рода *Chlorella* улучшила санитарно-микробиологические показатели водоёма благодаря высоким антимикробным свойствам.

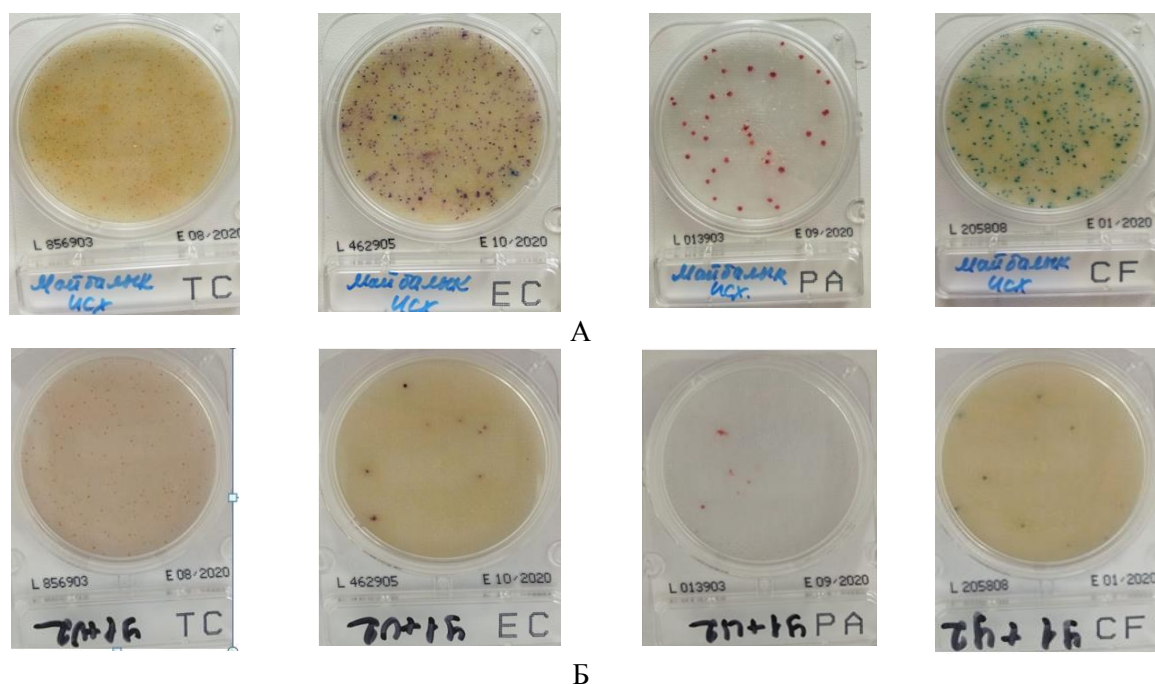


Рис. 3. Микробиологический анализ проб воды озера Майбалык:
А) до внесения консорциума микроводорослей;
Б) после внесения консорциума микроводорослей

Проведен анализ образцов проб воды озера Майбалык по основным гидрохимическим показателям до и после альголизации. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3

Гидрохимический анализ проб воды озера Майбалык до и после альголизации

№ п/п	Наименование показателя	ПДК для водоёмов рыбохозяйственного значения, мг/дм ³	Значения показателей, мг/л	
			исходное (до внесения)	после альголизации консорциумом И2 + У1
1	рН	6,50-8,50	8,10	7,96
2	БПК ₅	3,00	2,80	1,50
3	ХПК	30,00	50,00	35,00
4	Взвешенные вещества	0,25	30,60	18,00
5	Хлориды	300,00	1030,00	1018,00
6	Фосфат-ионы	0,15 для мезотрофных водоёмов	0,16	0,14
7	Азот аммонийный	0,50	0,90	1,44
8	Нитриты	0,08	0,013	0,018
9	Нитраты	40,00	24,80	8,00
10	Железо общее	0,10	0,40	0,15
11	СПАВ	0,10	0,22	0,15
12	Сульфаты	100,00	130,00	45,00
13	Фториды	0,05	0,38	0,28

Исследование образцов воды, отобранных до внесения консорциума, показало несоответствие ПДК для водоёмов рыбохозяйственного значения по следующим показателям: ХПК – 1,7 ПДК, взвешенных веществ – 122,4 ПДК, хлоридов – 3,4 ПДК, азота аммонийного – 1,8 ПДК, железа – 4 ПДК, СПАВ – 2,2 ПДК, сульфатов – 1,3 ПДК, фторидов – 7,6 ПДК. По показателям концентрации БПК₅, рН, фосфатов, нитритов и нитратов в пробе воды не превышали ПДК.

Через 30 суток после проведения альголизации озера Майбалык консорциумом И2 + У1 отмечены положительные изменения не только по органолептическим, но и по ряду биогенных и органических показателей, включая ХПК, взвешенные вещества, железо, СПАВ, фосфаты. Зафиксировано повышение прозрачности воды, снижение цветности воды, а также отсутствие специфического запаха. Следует отметить, что, хотя содержание БПК₅, нитратов, сульфатов в исходной пробе не превышало значений ПДК, внесение микроводорослей положительно сказалось на уменьшении концентрации данных веществ, что существенно может повлиять на качество воды водоёма в целом.

Наблюдалось также незначительное увеличение концентрации азота аммонийного, что связано, по-видимому, со свежим загрязнением, вызванным разведением и выгулом животных вблизи озера, хозяйственно-бытовой деятельностью человека, сезонной рыбалкой.

В последние годы процесс очистки водоёмов имеет большое экологическое значение. Эта проблема широко обсуждается в научной литературе. Функционирование предприятий, особенно расположенных в городах, наносит непоправимый ущерб экологии. Повышение требований к качеству поверхностных водоёмов заставляет искать более эффективные и экологически безопасные способы удаления загрязнений [12].

Для биоремедиации техногенных экосистем как правило, используют биопрепараты на основе бактерий, мицелиальных грибов и дрожжей, а также высшие растения [13]. Для предотвращения загрязнения водоёмов микроорганизмы и микроводоросли применялись как отечественными учеными, так и в мировой практике [3; 5; 6; 9; 14; 23; 30].

Доказано, что альголизация, т.е. внесение в водоёмы планктонного штамма хлореллы, нормализует гидробиологический режим, предохраняет их от «цветения» сине-зелеными водорослями, которые в процессе массового развития выделяют цианотоксины, губительно действующие на все водные гидробионты [1; 2; 7; 8]. Регулярное внесение хлореллы в течение нескольких лет способствует формированию полидоминантного альгокомплекса, который обеспечивает санитарно-гигиеническое и экологическое благополучие водной экосистемы [19].

Выводы. Таким образом, в результате проведённых исследований по альголизации озера Майбалык выявлена эффективность применения консорциума микроводорослей рода хлорелла У1+И2 как по гидрохимическим, органолептическим, так и по микробиологическим показателям. Установлено, что применение данного консорциума способствует значительному снижению условно-патогенной микрофлоры, тем самым улучшая санитарные показатели исследуемого водоёма. По гидрохимическим показателям

наибольшей деструкции подверглось содержание нитратов, железа и сульфатов. По остальным показателям наблюдалось незначительное снижение концентрации веществ, которые в целом не превышали нормы ПДК в исходных пробах. Полученные данные позволяют судить о том, что консорциум на основе автохтонных штаммов микроводорослей *Parachlorella kessleri* У1 и *Chlorella vulgaris* И2 имеет перспективу использования в мероприятиях, направленных на улучшение качества воды в поверхностных водоёмах и проведении биологической очистки от различных органико-минеральных поллютантов.

Литература

1. Богданов Н.И. Хлорелла – резерв повышения продуктивности животноводства // Ценовик.2002. № 4. С. 26.
2. Богданов Н.И. Биологическая реабилитация водоёмов.3-е изд., перераб. и доп. Пенза: РИО ПГСХА. 2008. 126 с.
3. Вайшла О.Б., Кулятов Д.В. Перспективные виды микроводорослей для биodeградации поллютантов водных экосистем юга западной Сибири // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 1(4). С. 787–789.
4. Дуктов А.П., Лавушев В.И. Экология аквакультуры. Курс лекций: учебно-методическое пособие. Горки: БГСХА. 2022. 103 с.
5. Закарья К.Д., Сармурзина З.С., Бисенова Г.Н., Уразова М.С., Шахабаева Г.С., Абитаева Г.К., Абжалелов А.Б. Биопрепарат на основе штаммов молочнокислых пробиотических бактерий для профилактики и лечения дисбактериозов, вызванными бактериальными возбудителями, а также оздоровления и очищения и аквасреды. Патент РК 33967, 16 октября 2019.
6. Заядан Б.К., Садвакасова А.К., Кирбаева Д.К., Болатхан К., Салех М., Бауенова М. Безотходная технология биологической очистки сточных вод с помощью микроводорослей // Вестник КазНУ. Серия экологическая. 2013. № 2/2 (38). С. 159–163.
7. Кульнев В.В., Почечун В.А. Опыт альголизации питьевых водоёмов Нижнетагильского промышленного узла // Биосфера. 2016. Т. 8. №3. С. 287–290.
8. Мелихов В.В., Кружилин И.П., Кузнецов П.И., Московец М.В. Биологическая мелиорация пресноводных водоёмов // Деловая слава России. 2008. С. 28–31.
9. Михайлюк А.В. Питательная среда Люка для культивирования микроводорослей. RU патент 2 556 126, 10 июля 2015.
10. Проскуренко И.В. Замкнутые рыбоводные установки. Москва: Издательство ВНИ. Речн. и озерн. рыбн. хоз-ва. 2003. 152 с.
11. Сверчкова Н.В., Романовская Т.В., Самсонова А.С. и др. Консорциум бактерий – основа препарата для обеззараживания и очистки воды в прудах и водоёмах: Сборник научных трудов «Микробные биотехнологии: Фундаментальные и Прикладные аспекты». 2015. №7. С. 445–457.
12. Саинова В.Н., Катков И.С., Саинов Д.И. Некоторые аспекты технологии очистки сточных вод от биогенных элементов. Булатовские чтения: Сборник статей. 2018. С. 270–272.
13. Сафонова Е.Ф. Биodeградация компонентов нефтяного загрязнения с участием микроводорослей и цианобактерий: автореф. канд. биол. наук: Санкт-Петербург, 2004. 21 с.
14. Спотт С. Содержание рыб в замкнутых системах. Москва // Легкая и пищевая промышленность. 1983. 192 с.

15. Текебаева Ж.Б., Абжалелов А.Б., Абжалелова Л.А., Айтуганов К.А. Штамм микроводоросли *Parachlorella kessleri* У1, используемый для очистки загрязненных природных вод от различных поллютантов. Патент КЗ № 103430 от 20.10.2017 г.
16. Текебаева Ж.Б., Абжалелов А.Б., Абжалелова Л.А., Айтуганов К.А. Штамм микроводоросли *Chlorella vulgaris* И2, используемый для очистки загрязненных природных вод от различных поллютантов. Патент КЗ № 103434 от 20.10.2017 г.
17. Тренкеншу Р.П., Боровков А.Б., Лелеков А.С. Унифицированная лабораторная установка для исследования низших фототрофов. Севастополь. 2009. 41 с.
18. Фролова М.В., Комарова О.П., Московец М.В. Современная биотехнология в улучшении качества воды открытых водоёмов многоцелевого назначения // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 4(52). С. 2013-218. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2018-04-30>.
19. Шеховцева Н.В. Экология водных микроорганизмов: учебное пособие// Ярослав. Гос. ун-т. Ярославль: ЯрГУ. 2008. 132 с.
20. Alprol, A.E., Haneash, A.M.M., Ashour, M., Abualnaja, K.M., Alhashmialameer, D., Mansour, A.T., Sharawy, Z.Z., Abu-Saied, M.A., & Abomohra, A.E.-F. (2021). Potential application of *Arthrospira platensis* lipid-free biomass in bioremediation of organic dye from industrial textile effluents and its influence on marine rotifer (*Brachionus plicatilis*). *Materials*, 14(16), 4446. <https://doi.org/10.3390/ma14164446>.
21. Burek P., Satoh Y., Fischer G., Kahil T., Nava Jimenez L., Scherzer A., Tramberend S., Wada Y., Eisner S., Flörke M., Hanasaki N., Magnuszewski P., Cosgrove B., Wiberg D. Water Futures and Solution; Fast Track and Initiative. Final Report. ADA Project Number 2725-00/2014. IIASA: Laxenburg, Austria, 2016. 113. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-3267-2020>.
22. Castillo-Carvajal L.C., Sanz-Martin J.L., Barragan-Huerta B.E. Biodegradation of organic pollutants in saline wastewater by halophilic microorganisms: a review // Environmental science and pollution research. 2014. 21(16), 9578-9588. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3036-z>.
23. Haripriya U., Gopinath K.P., Arun J., Govarthanan M. Bioremediation of organic pollutants: A mini review on current and critical strategies for wastewater treatment // Arch. Microbiol. 2022. 204. 286. <https://doi.org/10.1007/s00203-022-02907-9>.
24. Kube M., Jefferson B., Fan L., Roddick F. The impact of wastewater characteristics, algal species selection and immobilisation on simultaneous nitrogen and phosphorus removal // Algal Res. 2018. 31. 478–488. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.01.009>.
25. Pasqualino J.C., Meneses M., Castells F. Life Cycle Assessment of Urban Wastewater Reclamation and Reuse Alternatives // J. Ind. Ecol. 2011. 15. 49-63. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2010.00293.x>.
26. Rahman M.S. Water quality management in aquaculture. Dhaka, BRAC Printers, 1992. 84.
27. Safi C., Zebib B., Merah O., Pontalier P.Y., Vaca Garcia C. Morphology, composition, production, processing and applications of *Chlorella vulgaris*: A review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014. 35. 265-278. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.007>.
28. Singh D.V., Kumar Upadhyay A., Singh R., Singh, D.P. Persistent organic pollutants: Sources, impacts, and their remediation by microalgae. In Environmental Biotechnology // Apple Academic Press: New York, USA, 2022.

29. Schwarzenbach R.P., Egli T., Hofstetter T.B., Von Gunten U., Wehrli B. Global Water Pollution and Human Health // *Annual Review of Environment and Resources*. 2010. 35. 109-136. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-100809-125342>.

30. Usharani K., Sruthilaya K., Divya K. Determination of nitrate utilization efficiency of selective strain of *Bacillus sp.* Isolated from Eutrophic Lake, Theerthamkara, Kasaragod, Kerala // *Pollution*. 2017. 3 (1). 55-67. <https://doi.org/10.7508/pj.2017.01.007>.

References

1. Bogdanov, N.I. (2002). *Chlorella* – rezerv povysheniya produktivnosti zhivotnovodstva. *Tsenovik*, (4), 26. (In Russ.).

2. Bogdanov, N.I. (2008). *Biologicheskaya rehabilitatsiya vodoyemov. 3-ye izd., pererab. i dop. Penza: RIO PGSKHA.*, 126. (In Russ.).

3. Vayshlya, O.B., & Kulyatov, D.V. (2011). Perspektivnyye vidy mikrovodorosley dlya biodegradatsii pollyutantov vodnykh ekosistem yuga zapadnoy Sibiri // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 13, №1(4), 787-789. (In Russ.).

4. Duktov, A.P., & Lavushev, V.I. (2022). *Ekologiya akvakul'tury. Kurs lektsiy: uchebno-metodicheskoye posobiye. Gorki: BGSKHA*, 103. (In Russ.).

5. Zakar'ya, K.D., Sarmurzina, Z.S., Bisenova, G.N., Urazova, M.S., Shakhabayeva, G.S., Abitayeva, G.K., & Abzhalelov, A.B. (2019). Biopreparat na osnove shtammov molochnokislykh probioticheskikh bakteriy dlya profilaktiki i lecheniya disbakteriozov, vyzvannymi bakterial'nymi vzbuditel'yami, a takzhe ozdorovleniya i ochishcheniya i akvasredy. *Patent RK 33967, 16 oktyabrya* (In Russ.).

6. Zayadan, B.K., Sadvakasova, A.K., Kirbayeva, D.K., Bolatkhan, K., Salekh, M., & Bauyenova, M. (2013). Bezotkhodnaya tekhnologiya biologicheskoy ochistki stochnykh vod s pomoshch'yu mikrovodorosley. *Vestnik KazNU. Seriya ekologicheskaya*, №2/2 (38), 159-163. (In Russ.).

7. Kulnev, V.V., & Pochechun, V.A. (2016). Experience of algolization of drinking water bodies of the Nizhny Tagil industrial hub. *Biosphere*, 8, №3, 287-290. (In Russ.).

8. Melikhov, V.V., Kruzhilin, I.P., Kuznetsov, P.I., & Moskovets, M.V. (2008). *Biologicheskaya melioratsiya presnovodnykh vodoyemov. Delovaya slava Rossii*, 28-31. (In Russ.).

9. Mikhaylyuk, A.V. (2015). Pitatel'naya sreda Lyuka dlya kul'tivirovaniya mikrovodorosley. *RU patent 2 556 126, 10 iyulya* (In Russ.).

10. Proskurenko, I.V. (2003). *Zamknutyie rybovodnyie ustanovki. Moskva: Izdatel'stvo VNI Rechn. i ozern. rybn. khoz-va*, 152. (In Russ.).

11. Sverchkova, N.V., Romanovskaya, T.V., & Samsonova, A.S. i dr. (2015). Konsortsium bakteriy – osnova preparata dlya obezzarzhivaniya i ochistki vody v prudakh i vodoyemakh. *Sbornik nauchnykh trudov «Mikrobnyie biotekhnologii: Fundamental'nyie i Prikladnyie aspekty»*, (7), 445-457. (In Russ.).

12. Sainova, V.N., Katkov, I.S., & Sainov, D.I. (2018). Nekotoryie aspekty tekhnologii ochistki stochnykh vod ot biogenykh elementov. *Bulatovskiye chteniya: Sbornik statey*, 270-272. (In Russ.).

13. Safonova, Ye.F. (2004). *Biodegradatsiya komponentov neftyanogo zagryazneniya s uchastiyem mikrovodorosley i tsianobakteriy: avtoref. kand. biol. nauk: Sankt-Peterburg*. 21. (In Russ.).

14. Spott, S. (1983). *Soderzhaniye ryb v zamknutykh sistemakh. Moskva. Legkaya i pishchevaya promyshlennost'*, 192. (In Russ.).

15. Tekebayeva Zh.B., Abzhalelov A.B., Abzhalelova L.A., & Ajtuganov K.A. (2017). Shtamm mikrovdorosli *Parachlorella kessleri* U1, ispol`zuemy`j dlya ochistki zagryaznenny`x prirodny`x vod ot razlichny`x pollyutantov. Patent KZ №103430 (In Russ.).
16. Tekebayeva Zh.B., Abzhalelov A.B., Abzhalelova L.A., & Ajtuganov K.A. (2017). Shtamm mikrovdorosli *Chlorella vulgaris* I2, ispol`zuemy`j dlya ochistki zagryaznenny`x prirodny`x vod ot razlichny`x pollyutantov. Patent KZ №103434 (In Russ.).
17. Trenkenshu, R.P., Borovkov, A.B., & Lelekov, A.S. (2009). Unifitsirovannaya laboratornaya ustanovka dlya issledovaniya nizshikh fototrofov, 41. (In Russ.).
18. Frolova, M.V., Komarova, O.P., & Moskovets, M.V. (2018). Sovremennaya biotekhnologiya v uluchshenii kachestva vody otkrytykh vodoyemov mnogotselevogo naznacheniya. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vyssheye professional'noye obrazovaniye*, (4 (52)), 2013-218. (In Russ.). <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2018-04-30>.
19. Shekhovtseva, N.V. (2008). Ekologiya vodnykh mikroorganizmov. *Uchebnoye posobiye. Yarosl. Gos. un-t. Yaroslavl': Yar GU*. 132. (In Russ.).
20. Alprol, A.E., Haneash, A.M.M., Ashour, M., Abualnaja, K.M., Alhashmialameer, D., Mansour, A.T., Sharawy, Z.Z., Abu-Saied, M.A., & Abomohra, A.E.-F. (2021). Potential application of *Arthrospira platensis* lipid-free biomass in bioremediation of organic dye from industrial textile effluents and its influence on marine rotifer (*Brachionus plicatilis*). *Materials*, 14 (16), 4446. <https://doi.org/10.3390/ma14164446>.
21. Burek, P., Satoh, Y., Fischer, G., Kahil, T., Nava Jimenez, L., Scherzer, A., Tramberend, S., Wada, Y., Eisner, S., Flörke, M., Hanasaki, N., Magnuszewski, P., Cosgrove, B., & Wiberg, D. (2016). Water Futures and Solution; Fast Track and Initiative. *Final Report. ADA Project Number 2725-00/2014. IIASA: Laxenburg, Austria*. 113. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-3267-2020>.
22. Castillo-Carvajal, L.C., Sanz-Martin, J.L., & Barragan-Huerta, B.E. (2014). Biodegradation of organic pollutants in saline wastewater by halophilic microorganisms: a review. *Environmental science and pollution research*. 21(16), 9578-9588. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3036-z>.
23. Haripriya, U., Gopinath, K.P., Arun, J., & Govarthanam, M. (2022). Bioremediation of organic pollutants: A mini review on current and critical strategies for wastewater treatment. *Arch. Microbiol.*, 204, 286. <https://doi.org/10.1007/s00203-022-02907-9>.
24. Kube, M., Jefferson, B., Fan, L., & Roddick, F. (2018). The impact of wastewater characteristics, algal species selection and immobilisation on simultaneous nitrogen and phosphorus removal. *Algal Res.*, 31, 478-488. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.01.009>.
25. Pasqualino, J.C., Meneses, M., & Castells, F. (2011). Life Cycle Assessment of Urban Wastewater Reclamation and Reuse Alternatives. *J. Ind. Ecol.*, 15, 49-63. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2010.00293.x>.
26. Rahman, M.S. (1992). Water quality management in aquaculture. Dhaka, BRAC Printers, 84.
27. Safi, C., Zebib, B., Merah, O., Pontalier, P.Y., & Vaca Garcia, C. (2014). Morphology, composition, production, processing and applications of *Chlorella vulgaris*: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 35, 265-278. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.007>.
28. Singh, D.V., Kumar Upadhyay, A., Singh, R., & Singh, D.P. (2022). Persistent organic pollutants: Sources, impacts, and their remediation by microalgae. *In Environmental Biotechnology. Apple Academic Press: New York, USA*.

29. Schwarzenbach, R.P., Egli, T., Hofstetter, T.B., Von Gunten, U., & Wehrli, B. (2010). Global Water Pollution and Human Health. *Annual Review of Environment and Resources*, 35, 109-136. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-100809-125342>.

30. Usharani, K., Sruthilaya, K., & Divya, K. (2017). Determination of nitrate utilization efficiency of selective strain of *Bacillus sp.* Isolated from Eutrophic Lake, Theerthamkara, Kasaragod, Kerala. *Pollution*, 3 (1), 55-67. <https://doi.org/10.7508/pj.2017.01.007>.

дата поступления: 19.12.2024

дата принятия: 07.02.2025

© Текебаева Ж.Б., Рахымжан Ж., Базарханқызы А., Темирбекова А.Ж.,
Бейсенова Р.Р., Кулагин А.А., 2025