

А.К. Тоқтыбай¹, Д. Салауат¹, К. Болатхан¹,
С.К. Сандыбаева¹, Г.А. Ахметова¹, Ә.Қ. Құрметхан¹,
С.С. Санатов¹, Р. Hrouzek², Б.К. Заядан^{1*}

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

²Чехия Ғылым Академиясының микробиология институты, Алгатеx орталығы, Требонь, Чехия

*e-mail: zbolatkhan@gmail.com

БАЛҚАШ КӨЛІНІҢ ТҰЗДЫ БӨЛІГІНІҢ АЛЬГОФЛОРА ҚҰРАМЫН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ФОТОТРОФТЫ МИКРООРГАНИЗМДЕРДІҢ АКСЕНИКАЛЫҚ ДАҚЫЛДАРЫН БӨЛІП АЛУ

Бұл жұмыста Балқаш көлінің тұзды бөлігінің альгофлорасының түрлік құрамы анықталып, келешегі мол микробалдырлар мен цианобактериялардың жаңа дақылдары бөлініп алынып, олардың морфологиялық, дақылдық және физиологиялық қасиеттері зерттелді. Талдау нәтижесінде Балқаштың шығыс жағалауынан алынған су сынамаларының альгофлора құрамында диатомды балдырлар (*Bacillariophyta*) 40,33%, жасыл балдырлар (*Chlorophyta*) 32%, көк-жасыл балдырлар (*Cyanophyta*) 19,33% және эвгленалық балдырлар (*Euglenophyta*) 8,33% құрады. Олар 4 бөлімге, 6 классқа, 6 қатарға, 11 тұқымдасқа және 22 туысқа жататындығы анықталды. Микробиологиялық әдістері негізінде микробалдырлар мен цианобактериялардың 8 аксеникалық таза дақылдары бөлініп алынып, олар *Oscillatoria sp.*, *Nostoc sp.*, *Arthrospira sp.*, *Anabaena sp.*, *Chlorella vulgaris*, *Parachlorella kessleri*, *Dunaliella salina*, *Navicula sp.* болып анықталды. Әр дақыл үшін өсірудің оңтайлы жағдайлары анықталды. Бөлініп алынған цианобактерия дақылдарының өсу қарқындылығы BG-11, Заррука қоректік орталарында pH 7-9 кезінде 28-32°C оптималды температура аралығында байқалды. Ал, бөлініп алынған микробалдыр дақылдары, Тамия, Артария және BG-11 қоректік орталарында pH 6,5-7,5 кезінде 27°C -30°C температура аралығында тиімді өсу көрсеткішін көрсетті. Бұл таза дақылдар өндірістік биотехнологияда, атап айтқанда биологиялық белсенді қоспалар әзірлеуде ерекше қызығушылық тудыратын объект.

Түйін сөздер: альгофлора, аксеникалық таза дақылдарды бөлу, микробалдырлар мен цианобактерия дақылдары, тұзды көл.

A.K. Toktybay¹, D.Salauat¹, K. Bolatkhan¹, S.K.Sandybayeva¹, G.A.Akhmetova¹,
A.K. Kurmetkhan¹, S.S. Sanatov¹, P. Hrouzek² and B.K. Zayadan^{1*}

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²Institute of Microbiology of the Czech Academy of Sciences, Center Algatex, Trebon, Czech Republic

*e-mail: zbolatkhan@gmail.com

Study of the algae composition of the saline parts of lake Balkhash and isolation of axenic cultures of phototrophic microorganisms

The presented work defines the species composition of the algal flora within the saline region of Lake Balkhash and involves isolating novel and promising cultures of microalgae and cyanobacteria, followed by examining their morphological, cultural, and physiological traits. The taken results indicated that the algal flora in water samples from the eastern coast of Balkhash is composed of diatoms (*Bacillariophyta*) at 40.33%, green algae (*Chlorophyta*) at 32%, cyanobacteria (*Cyanophyta*) at 19.33%, and euglenoids (*Euglenophyta*) at 8.33%. The specimens were classified into 4 divisions, 6 classes, 6 orders, 11 families, and 22 genera. Through the application of microbiological techniques, eight axenic pure cultures of microalgae and cyanobacteria were successfully isolated and determined, including *Oscillatoria sp.*, *Nostoc sp.*, *Arthrospira sp.*, *Anabaena sp.*, *Chlorella vulgaris*, *Parachlorella kessleri*, *Dunaliella salina*, and *Navicula sp.* Optimal cultivation conditions were determined for each strain. The isolated cyanobacterial cultures exhibited the highest growth rate on BG-11 and Zarrouk nutrient media at pH 7-9 and an optimal temperature of 28-32 °C. The isolated microalgae cultures showed effective growth on Tamia, Artaria, and BG-11 nutrient media at pH 6.5-7.5 and a temperature of 27-30 °C. The obtained pure cultures are notably valuable in industrial biotechnology, particularly for the development of biologically active supplements.

Keywords: algae, isolation of axenic pure cultures, microalgae and cyanobacteria cultures, saline lake.

А.К. Тоқтыбай^{1*}, Д. Салауат¹, К. Болатхан¹, С.К. Сандыбаева¹, Г.А. Ахметова¹,
Ә.К. Құрметхан¹, С.С. Санатов¹, Р. Hrouzek², Б.К. Заядан^{1*}

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²Институт микробиологии Академии наук Чешской Республики,

Центр Алгатеx, Требонь, Чешская Республика

*e-mail: zbolatkhan@gmail.com

Изучение состава альгофлоры соленых частей озера Балхаш и выделение аксеничных культур фототрофных микроорганизмов

В данной работе определен видовой состав альгофлоры соленой части озера Балхаш, были выделены новые перспективные культуры микроводорослей и цианобактерий, а также исследованы их морфологические, культуральные и физиологические характеристики. По результатам анализа установлено, что в альгофлоре проб воды, отобранных на восточном побережье Балхаша, диатомовые водоросли (*Bacillariophyta*) составляют 40,33%, зеленые водоросли (*Chlorophyta*) 32%, цианобактерии (*Cyanophyta*) 19,33% и эвгленовые водоросли (*Euglenophyta*) 8,33%. Они были определены как принадлежащие к 4 отделам, 6 классам, 6 рядам, 11 семействам и 22 родам. На основе микробиологических методов были выделены 8 аксенических чистых культур микроводорослей и цианобактерий, были определены как *Oscillatoria sp*, *Nostoc sp*, *Arthrospira sp*, *Anabaena sp*, *Chlorella vulgaris*, *Parachlorella kessleri*, *Dunaliella salina*, *Navicula sp*. Для каждой культуры были определены оптимальные условия культивирования. Выделенные культуры цианобактерий демонстрировали наибольшую скорость роста на питательных средах BG-11 и Зарука при pH 7–9 и оптимальной температуре 28–32 °C. Выделенные культуры микроводорослей показали эффективные показатели роста на питательных средах Тамия, Артария и BG-11 при pH 6,5–7,5 и температуре 27–30 °C. Полученные чистые культуры представляют особый интерес для промышленной биотехнологии, в частности для разработки биологически активных добавок.

Ключевые слова: альгофлора, выделение аксенических чистых культур, культуры микроводорослей и цианобактерий, солёное озеро.

Кіріспе

Балқаш көлі – Орталық Азиядағы Балқаш–Алакөл ойысының батыс бөлігінде, теңіз деңгейінен шамамен 340 м биіктікте орналасқан ең ірі су айдындарының бірі. Көл оңтүстік-батыстан солтүстік-шығыс бағытында созылып жатыр, ұзындығы шамамен 614 км-ге дейін жетеді, ал су деңгейі 342 м болғандағы жалпы ауданы шамамен 16 400 км² құрайды. Сарыесік түбегі Балқаш көлін екі бөлікке, тұщы, таяз және кең батыс бөлігіне (Батыс Балқаш), және тұзды, тар және терең шығыс бөлігіне (Шығыс Балқаш) бөледі (Plotnikov et al., 2021).

Батыс бөлігі аумағы жағынан үлкенірек (>10 000 км²) және таяз (тереңдігі 11 м-ге дейін), шығыс бөлігі аумағы жағынан кіші (>7 000 км²), бірақ тереңірек (26 м-ге дейін). Бұл екі бөлікті ені шамамен 3,5 км және тереңдігі ~3 м болатын Узунарал бұғазы байланыстырады. Көлдің ені де айтарлықтай өзгермелі: батысында 74 км-ге дейін жетсе, ал шығысында 9–19 км аралығында болады (Tashenov & Zhangeldin, 2020). Балқаш көліне құятын бес өзеннің барлығы тауларда қалыптасады. Батыс Балқашқа құятын жалғыз өзен – Іле өзені, оның үлесіне жалпы өзендік ағынның шамамен 80%-ы тиесілі, Шығыс Балқашқа – Қаратал, Ақсу, Лепсі, Аягөз өзендері келіп құяды. Бұл фактор су массаларының тұрақты

бағытталуын – батыстан шығысқа қарай қозғалысын қамтамасыз етеді (Alimkulov et al., 2022).

Көлдің минералдану деңгейі батыстан шығысқа қарай біртіндеп артып, шығыс бөлігінде ең жоғарғы мәндерге жетеді. Көл суының орташа минералдану деңгейі 2,2–2,94 г/л шамасында. Атап айтқанда, Батыс бөлікте минералдану деңгейі төмен (1,1–1,6 г/л), ал шығыс бөлігінде ол 3,3–4,7 г/л-ге дейін артады, кейбір таяз жағалау аймақтарында 6–7 г/л-ге дейін жетеді (Muratkhanov et al., 2024).

Балқаш көлінің шығыс бөлігінде еріген тұздардың (TDS) мөлшері батысқа қарағанда жоғары, ал батыс бөліктің тұщылау болуы Іле өзенінің суы мен булану қарқынына байланысты (Krupa et al., 2020). Батыс аймақта нитраттар, нитриттер, жалпы фосфор, темір, мырыш және мыс көп, ал шығыста фосфаттар, органикалық заттар және ауыр жоғары концентрацияда кездеседі (Barinova et al., 2018; Kozhakhmetov & Baimukanov, 2021).

Жалпы алғанда, зерттеушілердің деректері Балқаш көлінің шығыс бөлігіндегі жоғары минерализация мен қалыпты деңгейдегі ластану фототрофты микроорганизмдердің түрлік құрылымына тікелей әсер ететінін дәлелдейді (Abdullaev et al., 2023). Осы ерекшеліктер шығыс Балқаш акваториясын экстремалды жағдайда тіршілік ететін галофильді және гало-төзімді

балдырларды зерттеу үшін табиғи модель ретінде қарастыруға мүмкіндік береді

Балқаш көлінің альгофлорасы химиялық заттардың мөлшеріне қарай батыстан шығысқа қарай саны және түрлік құрамы бойынша өзгереді, жалпы көлде 350-ден астам микробалдырлар түрлері мен таксондар кездеседі. Негізгі доминант топтарға диатомды балдырлар, жасыл балдырлар және цианобактериялар жатады (Wang et al., 2023).

Жалпы, Балқаш көлінің альгофлорасының құрамын зерттеу жұмыстарында фитопланктон құрамында 92 түр тіркелген: 29 жасыл балдыр, 27 диатом, 21 цианобактерия, сондай-ақ харофиттер, эвгленофиттер, динофиттер бар екені анықталған. Сондай-ақ Батыс бөліктегі экожүйенің тұщы болғандығы түрлік құрамның жоғары болуына (74 түр) көбінесе *Chlorophyta* тобы бар екендігі анықталған, ең жиі кездесетін түрлер – *Peridinium* sp, диатомдық *Cyclotella meneghiniana* Kützinger және эвгленалық *Trachelomonas* sp (Barinova et al., 2018). Алайда шығыс бөлікте жоғары минералдануға төзімді микробалдыр мен цианобактериялардың түрлік құрамы нақты зерттелмеген.

Сонымен, Балқаш көлінің шығыс бөлігінің жоғары минералдануы тұздануға бейімделген фототрофты микроорганизмдерді зерттеу үшін маңызды табиғи модель болып табылады. Бұл аймақтағы альгофлораны зерттеу су экожүйесінің экологиялық жағдайын бағалау және биотехнологиялық тұрғыдан құнды дақылдарды анықтау жұмыстың өзектілігі болып табылады.

Зерттеудің мақсаты – көлдің тұзды аймағынан бөлініп алынған микробалдырлар мен цианобактериялардың түрлік құрамын, морфологиялық және физиологиялық ерекшеліктерін зерттеу, және алынған аксеникалық дақылдардың болашақта биотехнология, медицина және биологиялық қоспалар өндірісінде қолданылу потенциалын бағалау.

Материалдар мен әдістер

Зерттеу орындары және сынамалар алу

Зерттеу жұмысы Балқаш көлі шығыс бөлігінің тұзды бөлігінде 2024 жылы жаз айында жүргізілді. Зерттеу барысында су сынамалары Балқаш көлі аумағындағы арнайы таңдап алынған үш нүктеден алынды, атап айтқанда, Лепсі (46°20'49" N, 78°19'55" E), Ульги (46.2872° N, 78.3186° E), және Үшкөл (45.61677224320329, 78.10199725592088) (Plotnikov et al., 2021). Су

үлгілері көлдің әртүрлі тереңдік (1-5 м) және әртүрлі тұздану жағдайларында бірнеше нүктелерден алынды, бұл альгофлораның таралуын бағалауға мүмкіндік береді.

Сынамалар алу барысында бірнеше маңызды факторлар есепке алынды, олар судың физико-химиялық көрсеткіштері су температурасы (термометр арқылы), минералдану, және тұздылық деңгейлері, судың pH деңгейі сандық pH-метр (HM Digital PH-80, АҚШ) арқылы потенциометрикалық әдіспен анықталды (Muzafarov et al., 1988). Үлгілерді алдын ала стерильденген 1 литр көлеміндегі пластикалық бөтелкелер жиналды. Жиналған су үлгілері 0,45 мкм өткізгіш мембраналар арқылы сүзіліп, әрі қарай өңдеу үшін 4°C температурадағы тоңазытқышта сақталды (Russian Institute of Standardization, 2022; Standartinform, 2013). Барлық үлгілер зертханаға жеткізілгеннен кейін микроскопиялық талдау және культуралық өсіру әдістері қолданылып, альгофлораның морфологиялық және культуралық сипаттамалары жасалды.

Цианобактериялар құрамын анықтау және морфологиялық талдау

Бөлініп алынған су сынамалары зертханалық жағдайда түрлік құрамын анықтау үшін жинақталған үлгілерге микроскопиялық және морфологиялық талдау жүргізілді. Зерттеу Premere және Betical жарық микроскоптарында $\times 40$ – $\times 100$ үлкейту аралығында, мониторға шығару мүмкіндігі бар жүйелерде орындалды. Әр үлгіден 5 қайталым бойынша 30–40 микроскопиялық көру өрісі талданды. Алынған мәліметтер негізінде жасушалар саны 1 мл судағы жасушалар саны түрінде есептелді.

Микробалдыр мен цианобактерияларды анықтау жұмыстары нативті (тірі) күйде де, фиксирленген күйде де жүргізілді. Фиксациялау үшін 4% формальдегид ерітіндісі және йодтың Люголь ерітіндісі қолданылды. Микробалдырлар түрлік құрамы Сиренко әдістемесі бойынша анықтағыштармен жүргізілді (Ergashev, 1979; Muzafarov et al., 1988; Tsarenko, 1990). Цианобактериялар мен микробалдырлар, диатомды балдырларды анықтау Jiří Komárek және әріптестерінің *Süßwasserflora von Mitteleuropa: Cyanoprokaryota* сериясындағы заманауи анықтағыштары қолданылды. Таксондардың өзекті атауларын, синонимдерін нақтылауға AlgaeBase дерекқорлары (algaebase.org) қолданылды (Guiry & Guiry, n.d.; Komárek, 2013; Krammer & Lange-Bertalot, 1986–1991; The online database of cyanobacterial genera, n.d.).

Қоректік ортаға отырғызу

Бөлініп алынған су сынамалары стерильденген колбаларға құйылып, Заррука, BG-11, Громов, Артария, Тамия және 04 сұйық қоректік орталарға егілді. Дақылдар 20–32°C температурада, 2000–5000 лк жарықта, 16:8 фотопериод режимінде, 1–2% CO₂ қосылған аэрациямен өсірілді. Қоректік орталардың рН мәні 5–10 аралығында ұсталды. Үлгілердің 0,1–1 мл суспензиясы сұйық немесе агарланған ортаға енгізіліп, алгологиялық таза дақылдарды алу үшін агарға штрихтап себу, жеке колонияларды қайта таңдау және микроманипуляциялық әдістер қолданылды (*Zayadan et al., 2013*).

Статистикалық талдау

Кестелер мен суреттерде әрбір көрсеткіш үшін екі-үш қайталаулар және әр қайталауда төрт-бес жазба көрсетілген. $P \leq 0,05$ мәнін қамтамасыз ету үшін қажетті қайталаулар саны деректердің шашырау дәрежесіне қарай анықталды. Негізгі көрсеткіштер үшін салыстырмалы стандарттық қате 2–5% құрады, ал қосалқы

компоненттер үшін 10%-дан аз болды. Деректер статистикалық өңдеуден өткізіліп, орташа мән $\pm$ стандарттық ауытқу ретінде көрсетілді.

Зерттеу нәтижелері және талқылау

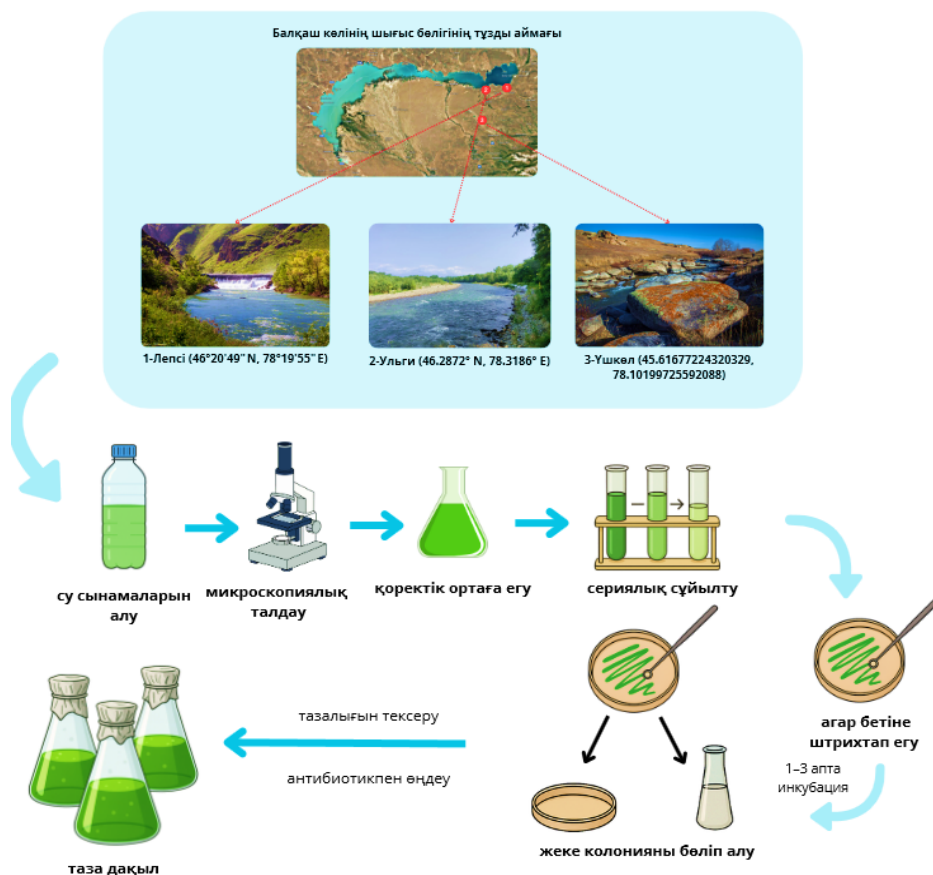
Балқаш көлінің тұзды бөлігінің альгофлора құрамы

Балқаш көлінің тұзды бөлігіндегі Лепсі, Ульги, Үшкөл аудандарынан су сынамалары алынды. Су температурасы 24–25°C аралығында, ал рН деңгейі 7,2–8,2 жағдайында болды (сурет 1). Шығыс бөлігінің су температурасы сынама алу уақытында 24–25°C аралығында ауытқыды, ал рН деңгейі 7–9 аралығында болды. Сынама альгофлораның әртүрлілігін анықтау мақсатында әр нүктеде 5–6 түрлі аймақтарынан алынды.

Зерттеу нәтижесі бойынша әртүрлі таксономиялық түрлер анықталды. Балқаш көлінің планктондық альгофлорасы құрамынан микробалдырлардың 48 таксоны анықталды. Олар 4 бөлім, 6 класс, 6 қатар, 11 тұқымдас және 22 туысқа жатады.

1-сурет

Балқаш көлінен су үлгілерін алу орындары (1 – Лепсі, 2 – Ульги, 3 – Үшкөл)



Зерттеу жұмыстары бірінші нүкте Лепсі ауданынан (46°20'49" N, 78°19'55" E) басталды, су температурасы 24°C ал pH деңгейі 7,8 көрсетті. Су сынамалары станцияның әртүрлі аумақтарынан жинап алынынып, микроскопиялық талдау жасалды. Талдау нәтижесі бойынша Лепсі ауданының альгофлорасының негізін (диатомды балдырлар) *Bacillariophyta* өкілдері құрап, жалпы түрлік құрамның 53% құрады, жасыл балдырлар (*Chlorophyta*) 24% құраса, көк-жасыл балдырлар (*Cyanophyta*) 15% , эвгленалық балдырлар (*Euglenophyta*) 8 % құрады. (*Bacillariophyta*) диатомды балдырлар бойынша *Chaetoceros muelleri* Lemm., *Nitzschia closterium* Ehr., *Thalassiosira weissflogii* (Grun.) G.Fryxell & Hasle, *Thalassiosira* sp., *Cyclotella meneghiniana* Kütz., *Cyclotella* sp. *Navicula cryptocephala*, *Chaetoceros* sp, *Entomoneis paludosa* (W. Smith) Reimer, *Fragilaria acus* (Kützinger) Lange-Bertalot , *Pinnularia major*, *Pinnularia microstauron*, *Pinnularia subcapitata* түрлері кездесті. Басым түрі *Navicula cryptocephala* болды.

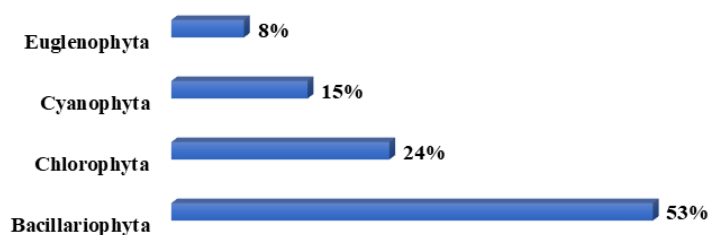
Көк-жасыл балдырлар (*Cyanophyta*) бойынша *Anabaena spiroides*, *Anabaena flosaquae*, *Anabaena constricta*, *Phormidium foveolarum*, *Microcystis* sp, *Chroococcus turgidus* (Kützinger)

Nägelii, *Oscillatoria brevis*, *Synechocystis*, *Spirulina* sp. кездесі. Басым түрі *Spirulina* sp. болды. Ал, жасыл балдырлар (*Chlorophyta*) бойынша *Chlorococcales* өкілдері кездесті, олар *Ankistrodesmus minutissimus* Korsch, *Chlorella vulgaris* var *vulgaris* Beijerinck, *Coelastrum microporum* Naegeli, *Pediastrum boryanum* *Pediastrum duplex* Meyen var *duplex*, *Dunaliella salina*, *Scenedesmus obliquus* Kuetz var *obliquus*, сонымен бірге *Volvocales* туысына жататын түрлер *Chlamydomonas rubrifilum* Korsch, *Chlamydomonas monadina* Stein кездесті. Басымдық көрсеткен *Dunaliella salina* және *Chlamydomonas rubrifilum* Korsch. Эвгленалық балдырлар өкіліне жататын (*Euglenophyta*) *Euglena viridis*, *Euglena caudata*, *Trachelomonas* sp. түрлері кездесті (сурет 2).

Келесі зерттеу нүктесі Ульги ауданындағы альгофлора құрамы (46.2872° N, 78.3186° E), сынама алу барысында су температурасы 23-24°C аралығында ауытқыды, ал pH деңгейі 7,1 көрсеткішін көрсетті. Бұл деңгей көбіне тұзды және минерализденген су жүйелерінде фототрофты микроорганизмдер үшін, әсіресе диатомдар мен кейбір жасыл балдырлар үшін қолайлы болып келеді.

2-сурет

Балқаш көлінің тұзды бөлігі, Лепсі ауданындағы альгофлора құрамының пайыздық көрсеткіші



Талдау нәтижесі бойынша Ульги альгофлорасында жасыл балдырлар (*Chlorophyta*) кездесіп 38% құраса, (*Bacillariophyta*) диатомды балдырлар өкілдері жалпы түрлік құрамның 32% құрады, ал көк-жасыл балдырлар (*Cyanophyta*) 20% көрсеткіш көрсетті, эвгленалық балдырлар (*Euglenophyta*) 10 % құрады.

Жасыл балдырлар (*Chlorophyta*) бойынша *Chlorella vulgaris* var *vulgaris* Beijerinck, *Parachlorella kessleri*, *Coelastrum microporum* Naegeli, *Pediastrum boryanum* Turp Meneghini var *boryanum*, *Pediastrum duplex* Meyen var *duplex*,

Dunaliella salina, *Scenedesmus obliquus* Kuetz var *obliquus*, *Volvocales* туысына жататын түрлер *Chlamydomonas rubrifilum* Korsch, кездесті. Басымдық көрсеткен *Dunaliella salina* және *Chlamydomonas* sp. (сурет 3).

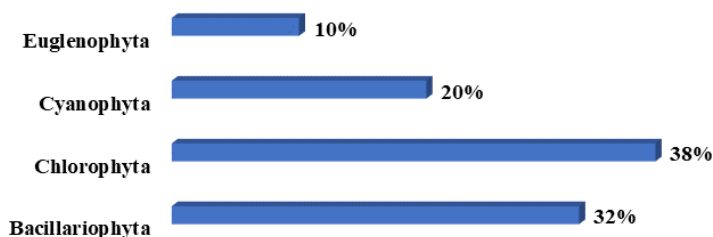
Диатомды балдырлар (*Bacillariophyta*) бойынша *Nitzschia* sp, *Nitzschia closterium* Ehr., *Nitzschia sigmoidea* (Nitzsch) W. Smith, *Thalassiosira weissflogii* (Grun.) G.Fryxell & Hasle, *Thalassiosira* sp., *Cyclotella meneghiniana* Kütz., *Cyclotella* sp, *Navicula* sp. *Navicula cryptocephala*, *Chaetoceros* sp, *Entomoneis paludosa* (W. Smith)

Reimer, *Fragilaria acus* (Kützinger) Lange-Bertalot, *Pinnularia subcapitata* түрлері кездесті. Басым түрі *Nitzschia sp.*, *Navicula sp.* болды. Эвглена-лы балдырлар өкіліне жататын (Euglenophyta) *Euglena viridis*, *Trachelomonas sp.* түрлері кездесті. Көк-жасыл балдырлар (Cyanophyta) бойынша *Anabaena spiroides*, *Anabaena flosaquae*,

Anabaena constricta, *Phormidium sp.*, *Phormidium foveolarum*, *Aphanothece sp.*, *Merismopedia glauca* (Ehrenberg) Kützinger, *Chroococcus turgidus* (Kützinger) Nägeli, *Chroococcus turgidus* (Kützinger) Nägeli, *Oscillatoria brevis*, *Synechocystis*, *Spirulina sp.* кездесті. Басым түрі *Phormidium sp.*, *Spirulina sp.* болды

3-сурет

Балқаш көлінің тұзды бөлігі, Ульги ауданындағы альгофлора құрамының пайыздық көрсеткіші



Зерттеу жұмысының соңғы нүктесі Үшкөл ауданы (45.61677224320329, 78.10199725592088) су температурасы 23°C ал pH деңгейі 7,5. Үшінші нүктеден сынама алу нәтижесінде альгофлораның әртүрлілігі байқалды, атап айтқанда (диатомды балдырлар) *Bacillariophyta* өкілдері түрлік құрамы бойынша 36% құрады, жасыл балдырлар (*Chlorophyta*) 34% құрады, көк-жасыл балдырлар (*Cyanophyta*) 23%, эвглена-лы балдырлар (*Euglenophyta*) 7% құрады.

Диатомды балдырлар (*Bacillariophyta*) бойынша *Tabellaria sp.*, *Rhopalodia gibba* (Ehrenberg) Otto Müller, *Nitzschia closterium* Ehr, *Thalassiosira sp.*, *Cyclotella meneghiniana* Kütz, *Cyclotella sp.*, *Navicula cryptocephala*, *Chaethoceros sp.*, *Entomoneis paludosa* (W. Smith) Reimer, *Fragilaria acus* (Kützinger) Lange-Bertalot, *Pinnularia major*, *Pinnularia microstauron*, *Pinnularia subcapitata* түрлері кездесті. Басым түрі *Navicula cryptocephala* болды

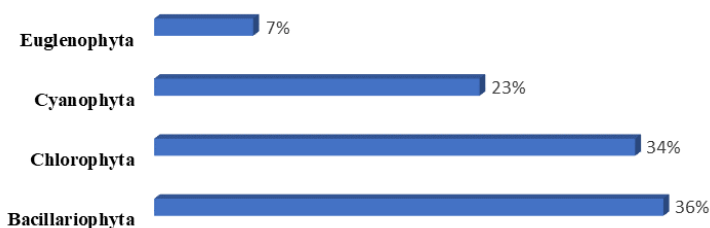
Көк-жасыл балдырлар (*Cyanophyta*) бойынша *Anabaena spiroides*, *Anabaena flosaquae*, *Anabaena constricta*, *Phormidium foveolarum*, *Microcystis sp.*, *Oscillatoria brevis*, *Synechocystis*, *Spirulina sp.* кездесті. Басым түрі *Spirulina sp.* болды. Ал, жасыл балдырлар (*Chlorophyta*) бойынша *Chlorococcales* өкілдері *Chlorella vulgaris* var *vulgaris* Beijerinck, *Parachlorella kessleri*, *Pediastrum duplex* Meyen var *duplex*, *Dunaliella salina*, *Scenedesmus obliquus* Kuetz var *obliquus*, *Volvocales* туысына *Chlamydomonas monadina*

Stein түрі кездесті. Басымдық көрсеткен *Dunaliella salina* және *Chlamydomonas sp.* Эвглена-лы балдырлар өкіліне жататын (*Euglenophyta*) *Euglena viridis*, *Euglena caudata*, *Trachelomonas sp.* түрлері кездесті (сурет 4).

Салыстырмалы түрде, үш нүктеден алынған альгофлора құрамында басымдық көрсеткен (диатомды балдырлар) *Bacillariophyta* таксономиялық тұрғыдан алғанда, диатомды балдырлар көлдің планктон құрамындағы тұзды ортада тіршілік етуге бейімделген негізгі топтардың бірі болып табылады (сурет 5). Бұл олардың бірнеше ерекшелігімен түсіндіріледі. Біріншіден, диатомдар көптеген түрлері тұзды және сәл минерализденген ортада өмір сүре алады; клеткалық қабырғалары кремнийді (SiO_2) құрамында ұстап, осморегуляцияны қамтамасыз етеді, бұл тұздық стресс жағдайында тіршілік етуге мүмкіндік береді. Екіншіден, олар органикалық заттарға төзімді, яғни β -мезосапробты сапалық жағдайында жақсы дамиды. Үшіншіден, диатомдар қоректік заттарды — нитраттар мен фосфаттарды тиімді пайдалана отырып, бәсекелестік жоғары болған жағдайда да басымдыққа ие болады. Соңында, диатомдар жарық, температура және pH өзгерістеріне төзімді келеді, ал Балқаштың шығыс бөлігіндегі pH (7,5–8,5) және температуралық градиент олардың өсуіне кедергі келтірмейді. Осы қасиеттері диатомды балдырларды шығыс Балқаштағы планктон құрамында басым топқа айналдырады (Balycheva et al., 2023).

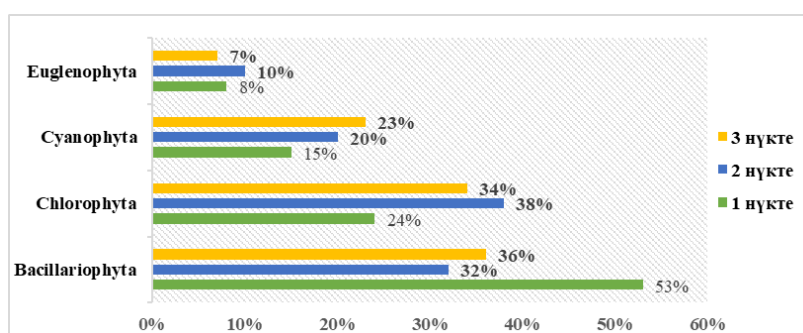
4-сурет

Балқаш көлінің тұзды бөлігі, Үшкөл ауданындағы альгофлора құрамының пайыздық көрсеткіші



5-сурет

Балқаш көлінің тұзды бөлігіндегі альгофлораның салыстырмалы құрамы



Келесі пайыздық үлесі бойынша екінші орында жасыл балдырлар орналасады. жасыл балдырлар орналасады. Бұл топтың кейбір өкілдері мысалы *Chlamydomonas*, *Dunaliella*, *Tetraselmis*, *Asteromonas* туыстары минералдануы жоғары ортаға өте төзімді, жоғары тұздылық жағдайында өмір сүре алады (Jo et al., 2024).

Цианобактериялар (*Cyanophyta*) жасушалардағы су мен иондардың тепе-теңдігін сақтайтын осморегуляциялық жүйелер мен осмопротекторлық қосылыстар (глицерин, сахароза) арқылы жоғары тұздылыққа төзімді. Сонымен қатар, азот пен фосфордың төмен концентрациясында да қоректік заттарды тиімді пайдалана алады, ал фикоцианин сияқты адаптивті пигменттер фотосинтезді тиімді жүргізуге мүмкіндік береді. Жоғары рН, температуралық ауытқулар және тұздық стресс жағдайларына төзімділігі олардың бәсекелестік ортада басым топқа айналуын қамтамасыз етеді (Gómez Leyva et al., 2024).

Ал, эвгленалы балдырлар Шығыс Балқаш акваториясында аз болуы, біріншіден, судың жоғары минерализациясы (3,3–4,7 г/л, кей жерлерде 6–7 г/л) эвгленалық балдырлар үшін қолайсыз орта құрайды, өйткені олар негізінен тұщы немесе аз минерализденген суда өседі. Екіншіден,

физико-химиялық жағдайлар рН мәнінің 7,5–8,5 аралығы, жоғары булану және температуралық градиент эвгленалардың тіршілігіне стресс тудырады.

Цианобактерия мен микробалдырлардың аксеникалық дақылдарын бөліп алу және бөлініп алынған дақылдардың морфологиялық ерекшелігін сипаттау

Аксеникалық дақылдарды бөліп алу үшін классикалық микробиологиялық әдістер қолданылды. Оларға кезең-кезеңімен жүргізілетін сұйылту, қайта егу, сондай-ақ микроманипулятор арқылы жеке жасушаларды немесе жіпшелерді механикалық бөлу әдістері жатады (Nemtseva et al., 2001). Бұл әдістердің үйлесімді қолданылуы табиғи сынамалардан цианобактериялардың аксеникалық, морфологиялық және культуралық тұрғыдан тұрақты дақылдарын алуға мүмкіндік берді. Осылайша, су үлгілерден алынған зерттеулер нәтижесінде цианобактерияларға жататын 4 бактериологиялық таза дақыл анықталды, олар *Oscillatoria*, *Nostoc*, *Anabaena* and *Arthrospira* sp., және микробалдырларға жататын 4 бактериялогиялық таза дақыл *Chlorella*, *Parachlorella kessleri*, *Dunaliella salina*, диатомды балдыр *Navicula* бөлініп алынды.

Chlorella vulgaris біржасушалы жасыл микробалдырлар тобына жатады және *Chlorococcineae* класының морфологиялық-физиологиялық белгілерін көрсетеді. Жас жасушалары 2–4 мкм, шар немесе әлсіз эллипсоидты; ересек жасушалары 3–10 мкм, жұқа қабықшасы, белдік тәрізді хроматофоры және айқын пиреноид түзеді. Көбеюі жыныссыз, аналық жасушадан 4–16 автоспора түзілу арқылы жүреді. Суспензияда жасушалар біркелкі таралып, түнба түзбейді, түсі қою жасыл. 10-күні минералды ортада өсіргенде 1–3 мм диаметрлі, тегіс, дөңес, қою жасыл колониялар пайда болады; жасушалары 3–7 мкм. Систематикасы бойынша Патшалықүсті *Eucaryota*, Патшалық: *Plantae*, Патшалықасты: *Phycobionta*, Бөлім: *Chlorophyta*, Класс: *Chlorophyceae*, Қатар: *Chlorococcales*, Тұқымдас: *Chlorellaceae*, Туыс: *Chlorella* жатады.

Келесі микробалдыр, *Parachlorella kessleri* – бұл біржасушалы жасыл микробалдыр *Chlorococcineae* класына жатады. Жасушалардың диаметрі 2–3,5 мкм, бөліну алдында өлшемдері 4–5 мкм дейін ұлғаяды. Пиреноидтер байқалмайды. Жасушалар көбіне 2–8 автоспораға, өте сирек жағдайда 16 автоспораға бөлінеді. Сұйық қоректік ортада өсірілгенде жасушалар түбіне түнбайды, ыдыстың қабырғасы жайылмайды. Қатты қоректік ортада дөңгелек, тегіс және дөңес колониялар түзеді, жиектері біркелкі. Колониялардың диаметрі 3–4 мм, түсі қою жасыл. Штамм автотрофты, ауа температурасы 22–32 °C аралығында 04 және Тамия қоректік орталарында жақсы өседі. Систематика бойынша Патшалықүсті: *Eucaryota*, Патшалық: *Plantae*, Патшалықасты: *Phycobionta*, Бөлім: *Chlorophyta*, Класс: *Chlorophyceae*, Қатар: *Chlorococcales*, Тұқымдас: *Chlorellaceae*, Туыс: *Chlorella*

Navicula sp. – эллипстік пішіннен бастап сызықты-эллипстік немесе ланцет тәрізді формаларға дейін өзгереді. Ұзындығы 4,6–13,4 мкм (орташа $8,3 \pm 1,7$ мкм), ені 2,1–3,8 мкм (орташа $2,7 \pm 0,4$ мкм, $n = 31$). Соңғы бөлімдері ұштары бас тәріздіден жазық/ашық түрге, кейде симметриясыз немесе дұрыс емес пішінге ие болады. Тігіс жіңішке, түзу, ұштары қарапайым, проксимальды ұштары айқын көрінеді. Осьтік аймақ шамалы көрінеді, орталық аймақ өзгермелі, әртүрлі өлшемді, ромб тәрізді және сәл асимметриялы пішінге ие. Систематикасы бойынша: ол *Eukaryota* Патшалықүсті, *Chromista* Патшалығы-

на, *Bacillariophyta* Бөлімінде, *Bacillariophyceae* Классына, *Naviculales* Қатарына, *Naviculaceae* Тұқымдасына жатады.

Dunaliella salina – біржасушалы жасыл микробалдыр *Chlorophyta* бөлімінің *Chlorophyceae* класына жатады. Жасушалары эллипсоидты немесе жұмыртқа тәрізді, апикальды ұшында екі мұртшасы бар, өлшемдері штаммға байланысты 2,8–40 мкм ұзындықта, 1,5–20 мкм ені бар; біздің зерттеуде 11–25 мкм ұзындық, 6–15 мкм ен анықталды. Түрлік пластикалық, яғни қоршаған орта жағдайына байланысты пішінін өзгерте алады. Клеткалары белсенді қозғалғыш, суспензияда біркелкі таралған; пальмелла байқалмайды. Көбеюі вегетативтік жолмен, жасушалардың көлденең бөлінуі арқылы жүреді. Жоғарғы сатысы *Eukaryota*; Патшалық *Plantae*; патшалықүсті *Phycobionta*; Бөлімі *Chlorophyta*; Класы *Chlorophyceae*; Қатары *Chlorococcales*; Тұқымдас *Dunaliellaceae*; Туысы *Dunaliella*. (сурет 6).

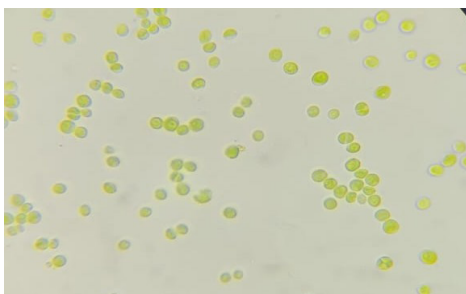
Келесі, бөлініп алынған цианобактериялардың туыстарына тоқталамыз. Цианобактериялар грам-теріс прокариоттар, біржасушалы, жасушалары дөңгелек, таяқша тәрізді, иілген, және жіп тәрізді, колониялық немесе көпжасушалы құрылымға ие. Олар әртүрлі экологиялық жағдайларға бейімделе алатын, жоғары тұздылыққа төзімді, көбінесе вегетативтік жолмен көбейетін, фотосинтезді жүзеге асыра алатын фототрофты микроорганизмдер.

Oscillatoria sp. – *Oscillatoriales* қатарына жататын цианобактерия. Гетероцисттері жоқ. Трихомалары ашық көк-жасыл, түзу, ені 4–5 мкм, көлденең қалқаншаларының бойында аздап жіңішкерген, кейде жеңіл дәнектілігі байқалады, ұштары сәл жіңішкерген және иілген. Жасушаларының ұзындығы 2,5–5,7 мкм, еніне тең немесе екі есе кіші. Заррука және Громов қоректік ортасында 25–32°C температурада жақсы өседі.

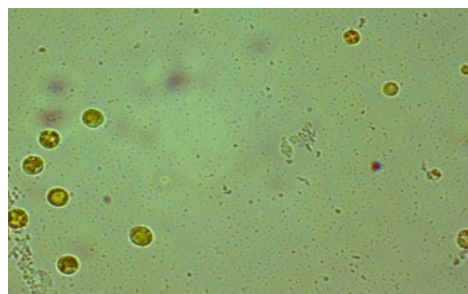
Nostoc.sp. – жіпшелері қара көк жасыл түсті. Трихомаларының диаметрі шамамен 2-8 мкм. шеттері тарылған, қалқа орындарында айқын тартылулар байқалады. Жасушалар арасында гетероцисталар мен акинеттер кездеседі. Көп жағдайда гетероцисталары интеркалярлы. Трихома Көбею бір жазықтықта жүреді. Сұйық қоректік ортада шыныға бекініп өседі. Автотрофты штамм. – Класс: *Nostocophycideae*, Қатар: *Nostocales*, Тұқымдас: *Nostocaceae*, Туыс *Nostoc*.

6-сурет

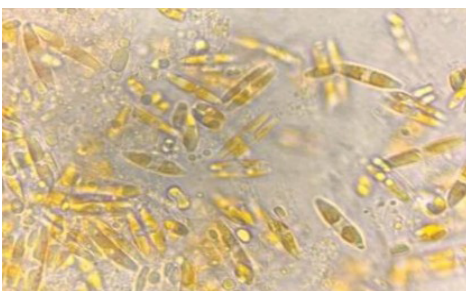
Балқаш көлінің тұзды бөлігінен бөлініп алынған микробалдыр дақылдары



а) *Chlorella vulgaris*



ә) *Parachlorella kessleri*



б) *Navicula* sp.



в) *Dunaliella* sp.

Arthrospira sp. – галофилді, алкалофилді, термофилді және жарық сүйгіш цианобактериялар тобы, *Cyanobacteria* бөлімінің *Hormogoneae* класына, *Arthrospira* туысына жатады. Бұл көпжасушалы, симбиотикалық, жіптәрізді (филаментозды) организм. Трихомалары вегетативтік жасушалардан құралған, спираль тәрізді, муцинді қапшығы жоқ. Морфологиясы цилиндрлі жасушалардан тұратын спираль тәрізді трихомалар арқылы көрінеді. Пішіні, өлшемі және иірімділік деңгейі қоршаған ортаның физикалық-химиялық жағдайына байланысты өзгеріп отырады (сурет 7).

Anabaena sp. – *Nostocales* қатарына жататын цианобактерия, трихомдары жеке, қысқа, аздап иілген, ені 2,7–3,4 мкм, ұзындығы 2,8–4 мкм. Гетероцисталары сопақша, ені 3,5–4,5 мкм, ұзындығы 4–6 мкм. Споралары эллипсоидты немесе эллипсоидты-цилиндрлік пішінді, ені 3,5–5 мкм, ұзындығы 6–7,5 мкм, қабықшасы түссіз. Клеткалары жіп тектес, прокариоттық типті, көк-жасыл түсті, 2–6 мкм мөлшерінде. Систематика бойынша, *Cyanophyta* бөліміне жатады,

Класы – *Hormogoniophyceae*, Қатар – *Nostocales*, Тұқымдас – *Anabaenaceae*, Туыс – *Anabaena*,

Цианобактерия дақылдарының өсу жағдайларын анықтау және өсу динамикасын зерттеу.

Бөлініп алынған аксеникалық цианобактерия дақылдары *Oscillatoria* s., *Nostoc*.sp., *Arthrospira* sp., *Anabaena* sp. арнайы қоректік орталарға Заррука, BG-11, Громов, Артария, Тамия отырғызылды. *Nostoc*.sp., *Anabaena* sp. дақылдарының BG-11 қоректік ортада жоғары өсуі байқалды, ал *Oscillatoria* sp., *Arthrospira* sp. дақылдарын өсіру үшін Заррука қоректік ортасы қолайлы болды.

Бөлініп алынған дақылдардың өсуіне оптимальды ортаны таңдау мақсатында, бақылау ретінде 20°C, 24°C, 28°C, 30°C, 32°C температурада 9 күн бойы, 2000–5000 лк жарық деңгейінде, фотопериод ретінде 16:8 (жарық:қараңғы) режимі қолданылды, 1–2% CO₂ қосылған ауа ағынымен аэрацияланды. Қоректік ортаның қышқылдығы (рН) 5-10 шегінде тұрақтандырылды. Бастапқы оптикалық тығыздық (OD 750) 0.2±0.01 шамасында болды, әр 2 күн сайын өлшеу жұмыстары жүргізілді. Әр тәжірибе үш қайтара жүргізілді

7-сурет

Балқаш көлінің тұзды бөлігінен бөлініп алынған цианобактерия дақылдары



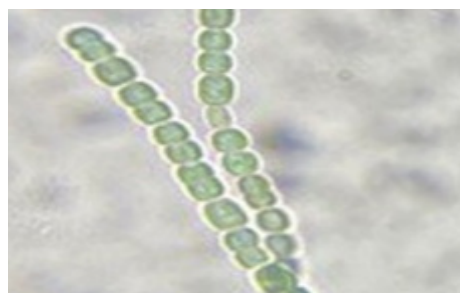
а) *Oscillatoria sp.*



ә) *Nostoc sp.*



б) *Arthrospira sp.*



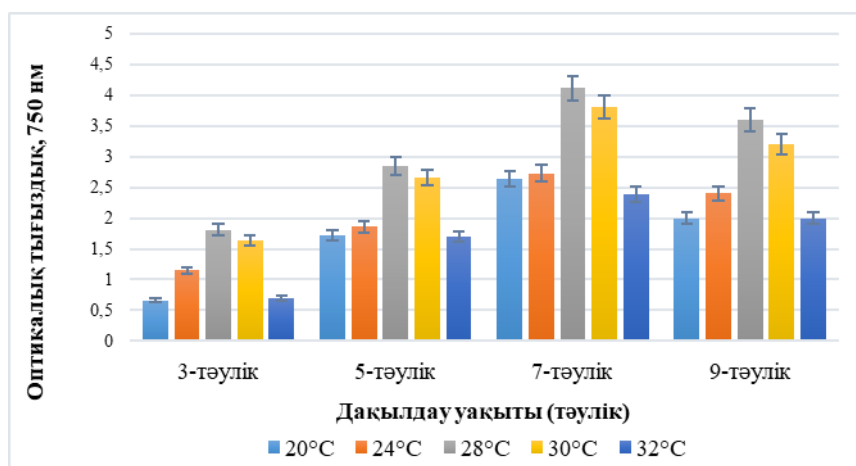
в) *Anabaena sp.*

Зерттеу нәтижелері бойынша *Anabaena sp.* және *Nostoc sp.* цианобактериялары BG-11 қоректік ортасында 9 күн бойы өсірілді. Өсіру тәжірибелері осы штамдар үшін оптимальды температураның 28°C – 30°C шамасында еке-

нін көрсетті. Өсу динамикасы бойынша аталған цианобактериялар 7-тәулікте ең жоғары оптикалық тығыздыққа жетті, бұл олардың белсенді физиологиялық күйде болғанын білдіреді (сурет 8, 9).

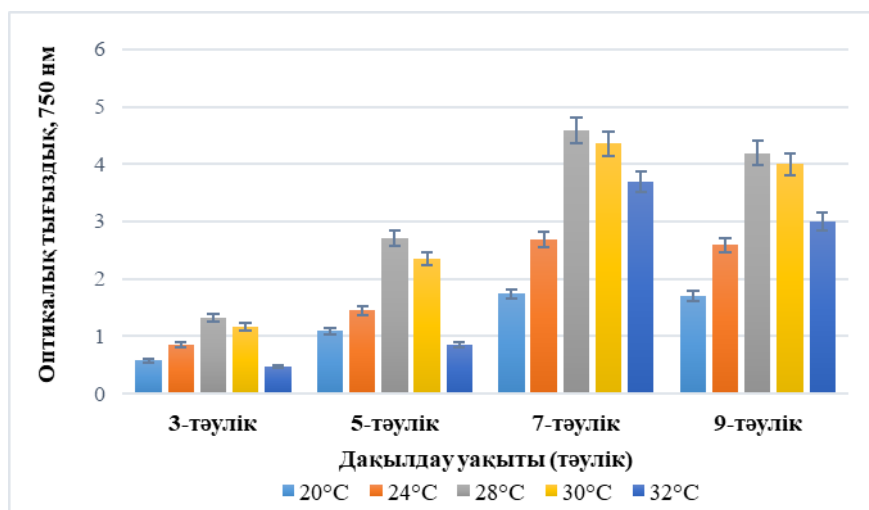
8-сурет

Әртүрлі температура жағдайларында *Anabaena sp.* дақылының өсу көрсеткіші



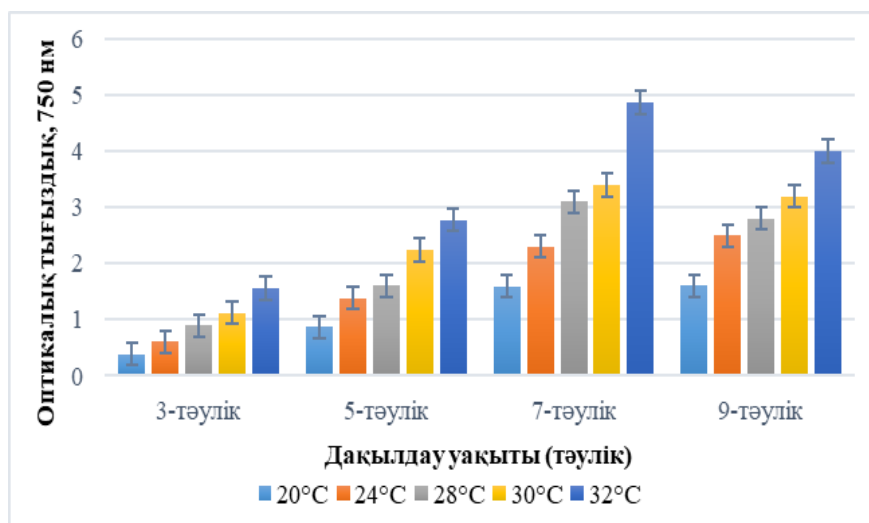
9-сурет

Әртүрлі температура жағдайларында *Nostoc sp.* дақылының өсу көрсеткіші



10-сурет

Әртүрлі температура жағдайларында *Oscillatoria sp.* штаммының өсу көрсеткіші



Oscillatoria sp. штамы Заррука қоректік ортасында өсіріліп, 30°C – 32°C температурада культивациялау барысында 7-тәулікте максимальды өсу көрсеткішін көрсетті. Ал *Arthrospira sp.* үшін ең қолайлы өсу жағдайлары Заррука ортасында 28°C – 30°C температурада байқалып, ол да 7-тәулікте оптикалық тығыздықтың максимумына жетті (сурет 10,11).

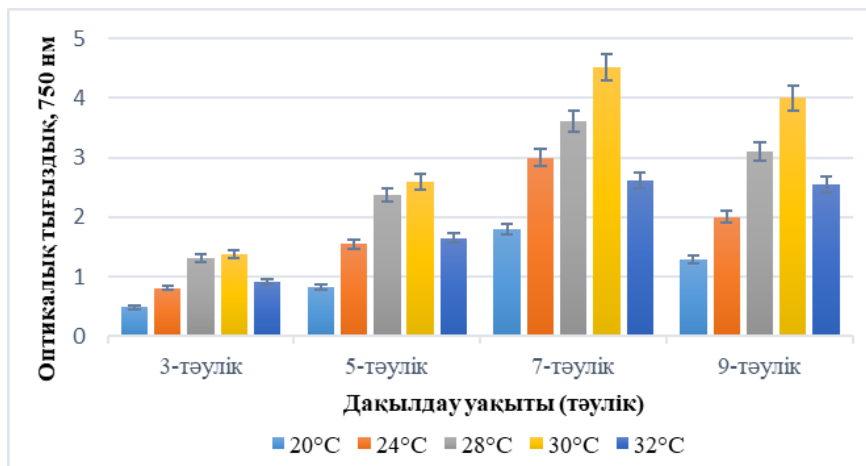
Жүргізілген тәжірибелер нәтижесінде жаңадан бөлініп алынған барлық цианобактерия дақылдары үшін оңтайлы өсу температуралары анықталды. Аталған параметрлер әрі қарайғы биотехнологиялық зерттеулер, өсіру шарттарын

стандарттау және биомасса өнімділігін арттыру үшін маңызды критерийлердің бірі болып табылады.

Келесі кезекте, бөлініп алған цианобактериялардың өсу көрсеткішіне, биомасса жиналуына ортаның рН деңгейінің әсері зерттелді, көптеген цианобактериялар бейтарап немесе сәл сілтілі ортада жақсы өсумен сипатталады, әдетте олар үшін ортаның оңтайлы рН мәні 7–9 құрайды. Ортаның қышқылдығы қоректік ортаның компоненттерінің тұрақтылығына, олардың қолжетімділігіне, әсіресе өсу факторлары мен дәрумендердің сіңімділігіне әсер етеді (сурет 12).

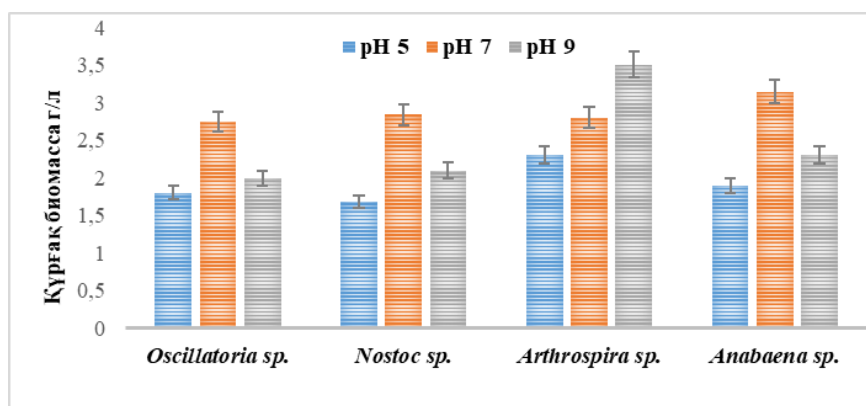
11-сурет

Әртүрлі температура жағдайларында *Arthrospira sp.* штаммының өсу көрсеткіші



12-сурет

Цианобактерия дақылдарының әртүрлі pH деңгейлеріндегі биомасса жиналуының көрсеткіші



Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, цианобактерия дақылдары pH деңгейлері 5, 7 және 9 жағдайында әртүрлі өсу көрсеткішіне ие болды, сәйкесінше бұл көрсеткіш биомасса мөлшерінің жиналуына әсер етті. Атап айтқанда, pH 7-7,5 бейтарап ортада *Oscillatoria sp.* $2,75 \pm 0,05$ г/л шамасында биомасса жинаса, *Nostoc sp.* $2,84 \pm 0,06$ г/л шамасында, *Anabaena sp.* $3,15 \pm 0,07$ г/л құрғақ биомасса жинай алды, ал *Arthrospira sp.* pH 8-9 деңгейінде $3,56 \pm 0,04$ г/л құрғақ биомасса жинап салыстырмалы түрде жоғары нәтижеге ие болды, болды ($p < 0.05$).

Зерттелген цианобактерия дақылдары әртүрлі pH деңгейлерінде өсірілді, pH 7-9 цианобактериялардың физиологиялық белсенділігін арттырып, биомасса түзілуін максимумға жеткізді.

Бұл деректер зерттелген цианобактериялардың өсу процестерін оңтайландыруда pH көрсеткішінің маңызды рөл атқаратынын дәлелдейді.

Микробалдыр дақылдарының өсу жағдайларын анықтау және өсу динамикасын зерттеу.

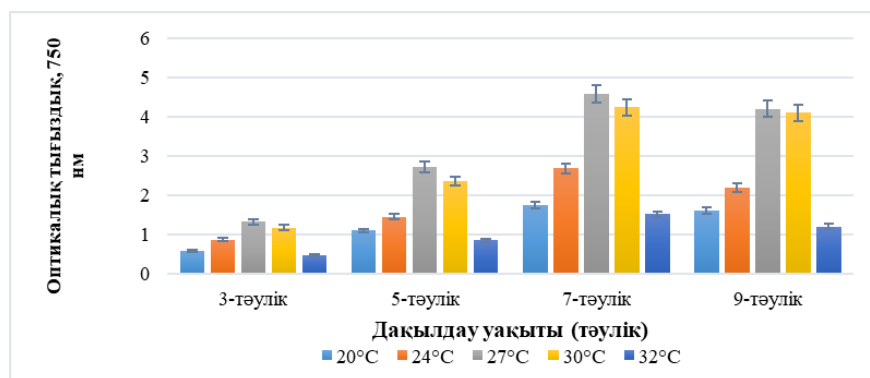
Бөлініп алынған микробалдырларға *Chlorella vulgaris*, *Parachlorella kessleri*, *Dunaliella salina* және диатомды балдыр *Navicula sp.* әртүрлі температура көрсеткішінің әсері зерттелді. *Chlorella vulgaris*, *Parachlorella kessleri* Тамия қоректік ортасында, *Dunaliella salina* Артария қоректік ортасында, ал диатомды балдыр *Navicula sp.* BG-11 қоректік ортасында өсірілді. Бақылау ретінде 20°C, 24°C, 27°C, 30°C, 32°C температура алынды, 9 күн бойы жарық деңгейі 2000–5000 лк, фотопериод 16:8 (жарық:қараң-

ғы), 1–2% CO₂ қосылған ауа ағынымен аэрацияланып өсірілді. Қоректік ортаның (pH) 6-9 шегінде болды. Бастапқы оптикалық тығыздық

(OD 750) 0.2±0.01 шамасында болды, әр 2 күн сайын өлшеу жұмыстары жүргізілді. Әр тәжірибе үш қайтара жүргізілді.

13-сурет

Әртүрлі температура жағдайларында *Chlorella vulgaris* дақылының өсу көрсеткіші

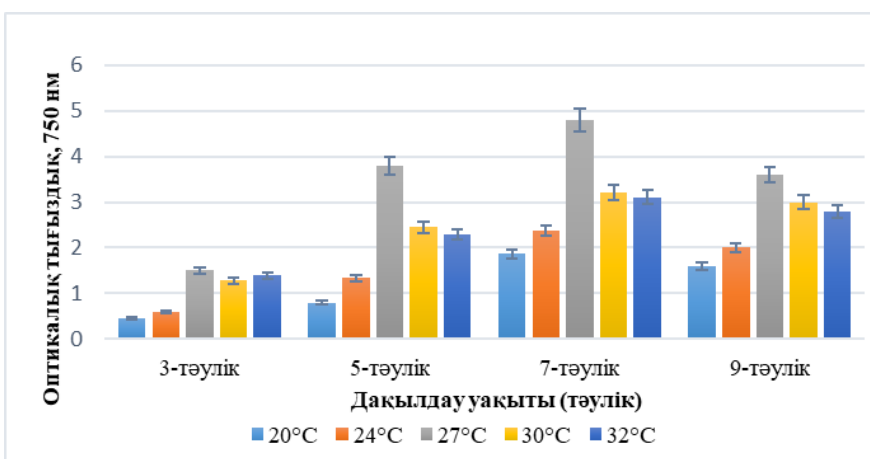


Зерттеу барысында әртүрлі микробалдыр штамдарының өсіру жағдайларына температура факторының ықпалы бағаланды. *Chlorella vulgaris* Тамия қоректік ортасында, ал *Dunaliella salina* Артария қоректік ортасында 9 күн бойы өсірілді. Бақылау нәтижелері бұл штамдар үшін

оңтайлы өсіру температурасы 27°C -30°C шамасында екенін көрсетті. Өсу динамикасына жүргізілген талдаулар бойынша дақылдар 7-тәулікте ең жоғары оптикалық тығыздыққа жететіндігі анықталды, бұл олардың белсенді өсу фазасына сәйкес келеді (сурет 13,14).

14-сурет

Әртүрлі температура жағдайларында *Dunaliella salina* дақылының өсу көрсеткіші

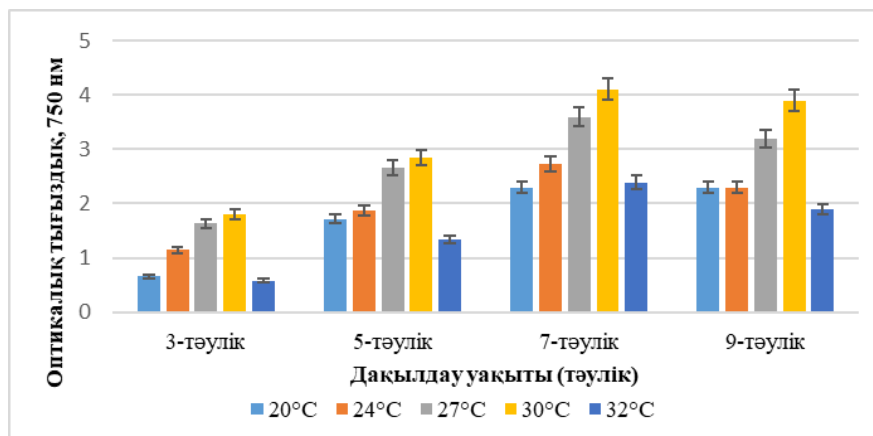


Parachlorella kessleri Тамия қоректік ортасында өсірілді. Бұл штам үшін ең қолайлы температуралық жағдай 27°C – 30°C екені анықтал-

ды. Өсу қарқынының бағалануы нәтижесінде *P. kessleri* де 7-тәулікте оптикалық тығыздықтың ең жоғары мәніне қол жеткізді (сурет 15).

15-сурет

Әртүрлі температура жағдайларында *Parachlorella kessleri* дақылының өсу көрсеткіші

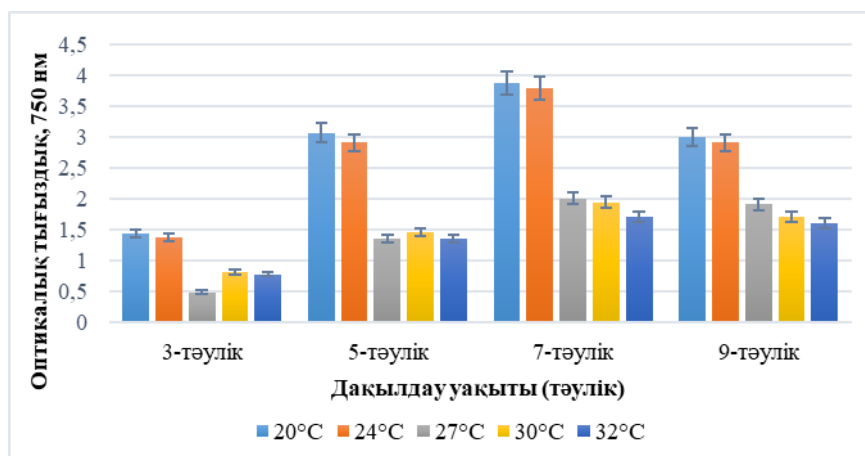


Navicula sp. диатомды балдыры BG-11 қоректік ортасында культивацияланып, 20–24°C температура аралығында өсірілді. Тәжірибе нәтижелері бойынша осы диапазонда *Navicula sp.*

7-тәулікте максималды өсу көрсеткішіне жетті. Бұл оның салқын ортаға бейімделгенін және диатомды балдырларға тән физиологиялық ерекшеліктерді дәлелдейді (сурет 16).

16-сурет

Әртүрлі температура жағдайларында диатомды балдыр *Navicula sp.* дақылының өсу көрсеткіші



Жалпы алғанда, алынған нәтижелер әрбір микробалдыр штамының температураға байланысты өсу ерекшеліктерін айқын көрсетіп, олардың физиологиялық бейімделгіштігін сипаттайды. Бұл деректер әрі қарайғы биотехнологиялық зерттеулер мен өндірістік өсіру процестерінде оптималды культивация шарттарын таңдауға негіз бола алады.

Келесі кезекте, бөлініп алған микробалдырлардың өсу көрсеткішіне, биомасса жиналуына

ортаның рН деңгейінің әсері зерттелді, көптеген зерттеу жұмыстарында микробалдырлар үшін ортаның оңтайлы рН мәні 6 – 9 құрайтындығы анықталған (сурет 17).

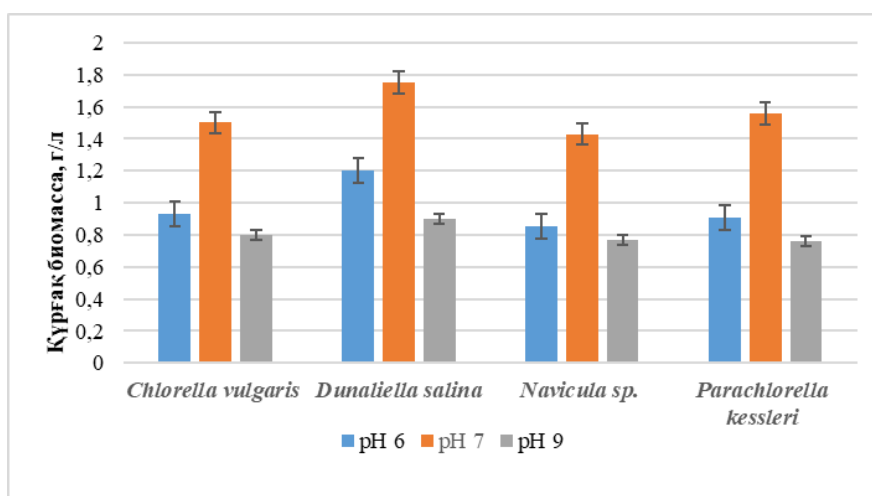
Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, микробалдыр штамдарының рН деңгейлері рН 6,5-7,5 жағдайында әртүрлі өсу көрсеткішіне ие болды, сәйкесінше бұл көрсеткіш микробалдырлардың биомасса жиналуының мөлшеріне әсер етті. Атап айтқанда, *Chlorella vulgaris* рН 6,8

деңгейінде $1,5 \pm 0,03$ г/л шамасында биомасса жинаса, *Parachlorella kessleri* рН 7 деңгейінде $1,56 \pm 0,07$ г/л шамасында, ал диатомды балдыр *Navicula sp.* $1,43 \pm 0,06$ г/л биомасса рН 7,5 деңгейінде көрсетті, ал *Dunaliella salina* рН 7,5 деңгейде $1,75 \pm 0,06$ г/л шамасында салыстырмалы түрде биомасса көрсеткіші бойынша жоғары нә-

тижеге ие болды. ($p < 0,05$). Алынған нәтижелер, микробалдырлардың өсу қарқыны мен биомасса жинақталуының рН деңгейіне тікелей тәуелді екенін растады. Осылайша, зерттелген штаммдарды культивациялау кезінде рН бақылауы олардың өнімділігін оңтайландыру үшін маңызды фактор болып табылады.

17-сурет

Микробалдыр дақылдарының әртүрлі рН деңгейлеріндегі биомасса жиналуының көрсеткіші



Қорытынды

Зерттеу жұмысының қорытындысы бойынша, Балқаш көлінің тұзды бөлігінің альгофлорасының түрлік құрамы анықталып, келешегі мол микробалдырлар мен цианобактериялардың жаңа дақылдары бөлініп алынып, олардың морфологиялық, дақылдық және физиологиялық қасиеттері зерттелді. Талдау нәтижесінде, альгофлора құрамында диатомды балдырлар (*Bacillariophyta*) 40,33%, жасыл балдырлар (*Chlorophyta*) 32%, көк-жасыл балдырлар (*Cyanophyta*) 19,33% және эвгленалық балдырлар (*Euglenophyta*) 8,33% құрады. Олар 4 бөлімге, 6 классқа, 6 қатарға, 11 тұқымдасқа және 22 туысқа жатқызылды. Микробиологиялық әдістері негізінде микробалдырлар мен цианобактериялардың 8 аксеникалық таза дақылдары бөлініп алынып, олар *Oscillatoria sp.*, *Nostoc sp.*, *Arthrospira sp.*, *Anabaena sp.*, *Chlorella vulgaris*, *Parachlorella kessleri*, *Dunaliella salina*, *Navicula sp.* болып анықталды. Әр штамм үшін өсірудің оңтайлы жағдайлары анықталды: Цианобактерия *Nostoc sp.* және *Anabaena sp.* дақыл-

дарының өсуі үшін BG-11 қоректік ортасында, 28°C – 30°C аралығындағы температураның әсері жоғары болса, *Oscillatoria sp.* дақылы үшін Заррука қоректік ортасы және 32°C температура оңтайлы болды. Бұл цианобактерия дақылдары үшін ортаның оңтайлы рН мәні 7-7,5 диапазонында болды. Цианобактерия *Arthrospira sp.* дақылы Заррука қоректік ортасында 28°C – 30°C температурада рН мәні 8-9 аралығында қарқынды өсуі байқалды. Ал, микробалдыр *Chlorella vulgaris* Тамия қоректік ортасында, ал *Dunaliella salina* Артария қоректік ортасында, 27°C -30°C температура шамасында қарқынды өсуі байқалса, диатомды балдыр *Navicula sp.* BG-11 қоректік ортасында 20–24°C температурада, ал *Parachlorella kessleri* Тамия қоректік ортасында, 27°C -30°C температура аралығында тиімді өсу көрсеткішін көрсетті. Барлық зерттелген дақылдар үшін оптимальды рН мәні 6,5–7,5 аралығында болды.

Бұл таза дақылдар өндірістік биотехнологияда, атап айтқанда биологиялық белсенді қоспалар әзірлеуде ерекше қызығушылық тудыратын объект болып табылады.

Мүдделер қақтығысы

Барлық авторлар мақаланың мазмұнын оқыды және олармен таныс және мүдделер қақтығысы жоқ.

Алғыс сөз

Авторлар Algatech – балдырлар биотехнологиясы орталағына (Чехия) мақаланы дайындау барысында көрсеткен құнды ғылыми ұсыныстары мен кеңестері үшін алғыс білдіреді.

Қаржыландыру

Бұл жұмыс Қазақстан Республикасының Білім және ғылым министрлігі қаржыландырып отырған АР23485416 гранты «Қолданбалы зерттеулерде пайдалану үшін микробалдырлар мен цианобактериялар коллекциясының биобанкін құру және олардың биотехнологиялық потенциалын зерттеу» (2024–2026) жобасы және

кейбір нәтижелер ШЫҰ бағдарламасы бойынша ҚХР бірлескен 2022ЕО1032 «Антибиотиктерді өндіру жүйесіндегі қытай-қазақстандық ауылшаруашылық өнімдерін зерттеу және әзірлеу, бейімделу қабілетін зерттеу және қолдану» (2023-2025) жобасы аясында жүзеге асырылды.

Авторлардың үлесі

Тоқтыбай А.К: Концептуализация, Деректерді жинақтау, түпнұсқа жобаны жазу, Зерттеу жүргізу, Формалды талдау. Д. Салауат: Методология. К.Болатхан: Валидация, Деректерді басқару. С.К. Сандыбаева: Мәтінді тексеру және редакциялау. Г.А. Ахметова: Әдістеме, Зерттеу жүргізу. Ә.Қ. Құрметхан: Зерттеу жүргізу. С.С. Санатов: Формалды талдау, Зерттеу жүргізу, Әдістеме. Р. Hrouzek: Ғылыми жетекшілік, Валидация. Б.К. Заядан: Қадағалау және жобаны басқару, Ғылыми жетекшілік, Валидация, Қаржыландыруды тарту.

Әдебиеттер

- Abdullaev, S., Zhumabayev, D., Duisenbayev, D., & Latypov, A. (2023). Long-term water level projections for Lake Balkhash. *Water*, 17(13), 2021.
- Alimkulov, S. K., Myrzakhmetov, A. B., Tursunova, A. A., Tairov, A. Z., & Bolatov, K. M. (2022). Features of water exchange in the Uzynal Strait of Lake Balkhash. *Geography and Water Resources*, (4).
- Balycheva, D., Anufrieva, E., Lee, R., Prazukin, A., & Shadrin, N. (2023). Salinity dependent species richness of Bacillariophyta in hypersaline environments. *Water*, 15(12), 2252. <https://doi.org/10.3390/w15122252>
- Barinova, E. V., Plotnikova, I. V., Aladin, N. V., Reblinova, M. V., & Yurkov, A. M. (2018). The application of phytoplankton in ecological assessment of the Balkhash Lake (Kazakhstan). *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(3), 2089–2111. https://doi.org/10.15666/aer/1603_20892111
- Barinova, S., Krupa, E., Tsoy, V., & Ponomareva, L. (2018). The application of phytoplankton in ecological assessment of the Balkhash Lake (Kazakhstan). *Acta Biologica Hungarica*, 69(3), 208–221.
- Ergashev, A. E. (1979). *Determinant of protococcal algae of Central Asia*. FAN.
- General requirements for sampling (ISO 5667-1:2006; ISO 5667-3:2018). (2022). *GOST R 59024–2020*. Russian Institute of Standardization.
- Gómez Leyva, Y., Torrecillas, A., & Aboal, M. (2024). Cyanotoxins in epipelagic and epiphytic cyanobacteria from a hypersaline coastal lagoon. *Marine Drugs*, 22(8), 334. <https://doi.org/10.3390/md22080334>
- Guiry, M. D., & Guiry, G. M. (n.d.). *AlgaeBase*. National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org>
- Jo, C. R., Cho, K., An, S. M., Do, J. M., Hong, J. W., Kim, J. H., Kim, S. Y., Jeong, H. G., & Kang, N. S. (2024). Taxonomical, physiological, and biochemical characteristics of *Dunaliella salina* DSTA20 from hypersaline environments. *Microorganisms*, 12(12), 2467. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12122467>
- Komárek, J. (2013). *Cyanoprokaryota (Vol. 19/3): Heterocytous genera*. Springer Spektrum.
- Kozhakhmetov, B. Zh., & Baimukanov, D. A. (2021). Study of the water balance of Lake Balkhash considering major climatic factors and water management measures. *Geography and Water Resources*, (4), 34–45.
- Krammer, K., & Lange-Bertalot, H. (1986–1991). *Bacillariophyceae (Parts 1–4)*. Gustav Fischer Verlag.
- Krupa, E., Barinova, S., & Aubakirova, M. (2020). Tracking pollution and its sources in the catchment-lake system of major waterbodies in Kazakhstan. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, 25(1), 1–13. <https://doi.org/10.1111/lre.12302>
- Methodological guidelines for the application of the pH measurement method in water using the potentiometric method PND F 14.1:2:3:4.121-97 (FR.1.31.2007.03794). (2016). Moscow.
- Muratkhonov, D., Mirlas, V., Anker, Y., Miroshnichenko, O., Smolyar, V., Rakhimov, T., Sotnikov, Y., & Rakhimova, V. (2024). Heavy metal groundwater transport mitigation from an ore enrichment plant tailing at Lake Balkhash, Kazakhstan. *Sustainability*, 16(16), 6816. <https://doi.org/10.3390/su16166816>

- Muzafarov, A. M., Ergashev, A. E., & Khalilov, S. (1988). *Determinant of blue-green algae of Central Asia* (Vol. 3, pp. 390–900). FAN.
- Nemtseva, N. V., Alekhina, G. P., Shabanov, S. V., & Bukharin, O. V. (2001). Method for obtaining axenic cultures of microalgae (Russian Federation Patent No. 2164940). <https://patentdb.ru/patent/2164940>
- Plotnikov, I., Smurov, A., & Aladin, N. (2021). Large saline lakes of Central Asia. *Journal of Arid Land Studies*, 31(2), 29–44. https://doi.org/10.14976/jals.31.2_29
- Russian Institute of Standardization. (2022). *General requirements for sampling (GOST R 59024–2020; ISO 5667-1:2006, NEQ; ISO 5667-3:2018, NEQ)*. Moscow.
- Sampling for microbiological analysis (ISO 19458:2006). (2013). *GOST 31942–2012*. Standartinform.
- Tashenov, A. A., & Zhangel'din, A. E. (2020). Long-term dynamics of hydrobionts of Lake Balkhash and its relationship with environmental factors. *Vestnik AGTU. Series: Science*. <https://vestnik.astu.org/ru/nauka/article/31912/view>
- The online database of cyanobacterial genera. (n.d.). <http://www.cyanodb.cz/>
- Tsarenko, P. M. (1990). *Short guide to chlorococcal algae of the Ukrainian SSR*. Naukova Dumka.
- Wang, Y., Li, X., Zhang, Q., & Zhumadillayev, M. (2023). Satellite-based drought assessment in the endorheic Balkhash Basin. *Frontiers in Environmental Science*, 11, Article 1291993. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1291993>
- Zayadan, B. K., Akmukhanova, N. R., & Sadvakasova, A. K. (2013). *Collection of microalgae and cultivation methods*. Liter.

Авторлар туралы мәлімет:

Тоқтыбай Акнұр Кентайқызы (корреспонденттік автор) – Биология және биотехнология проблемаларының ФЗИ кіші ғылыми қызметкері ҚР ФЖБМ (Алматы, Қазақстан, e-mail: aknurtoktybay1@gmail.com).

Салауат Дамыс – Әл-Фараби атындағы қазақ ұлттық университеті биоалуантүрлілік және биоресурстар кафедрасы “8D08401-балық шаруашылығы және өнеркәсіптік балық аулау” мамандығының 3-курс PhD докторанты (Алматы, Қазақстан, e-mail: salauat.damys@mail.ru).

Болатхан Кенжегүл – PhD, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің биотехнология кафедрасының ассоциирленген профессоры (Алматы, Қазақстан, e-mail: bkenzhegul23@mail.ru).

Сандыбаева Сандугаш Қалжанқызы – PhD, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық техникалық университеті Биотехнология кафедрасының аға оқытушысы (Алматы, Қазақстан, e-mail: sandybaevasandugash@gmail.com).

Ахметова Гүлнәз Асқарқызы – әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық техникалық университеті Биотехнология кафедрасының аға оқытушысы (Алматы, Қазақстан, e-mail: gulnaz_akhmetova92@mail.ru).

Күрметхан Әсем Күрметханқызы – Биология және биотехнология проблемаларының ФЗИ қызметкері ҚР ФЖБМ (Алматы, Қазақстан, e-mail: akurmetkhan@mail.ru).

Санатов Санжар Санатұлы – әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің «Экологиялық биоинженерия» мамандығының 1-курс магистранты (Алматы, Қазақстан, e-mail: sanzhar.snt@gmail.com).

Pavel Hrouzek – Ph.D, Балдырлар биотехнологиясы зертханасының меңгерушісі, Чехия Ғылым Академиясының Микробиология институты- Algatech орталығы (Требонь, Чехия, e-mail: hrouzek@alga.cz).

Заядан Болатхан Казыханұлы (корреспонденттік автор) – биология ғылымдарының докторы, , әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің биотехнология кафедрасының профессоры, YFA-ң Академигі (Алматы, Қазақстан, e-mail: zbolatkhan@gmail.com).

Information about authors:

Toktybay Aknur (Corresponding author) – Junior Research Fellow at the Scientific Research Institute of Problems of Biology and Biotechnology Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan, e-mail: aknurtoktybay1@gmail.com).

Salauat Damys-PhD doctoral student of the 3rd year of the specialty “8D08401 – Fisheries and Industrial Fishing” Department of Biodiversity and Bioresources of Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: salauat.damys@mail.ru).

Bolatkhan Kenzhegul – PhD, associate professor of the Department of biotechnology of the Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: bkenzhegul23@mail.ru).

Sandybayeva Sandugash Kalzhankyzy – PhD, Senior Lecturer at the Department of Biotechnology of Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: sandybaevasandugash@gmail.com).

Akhmetova Gulnaz – Senior Lecturer at the Department of Biotechnology of Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: gulnaz_akhmetova92@mail.ru).

Kurmetkhan Assem – Fellow at the Scientific Research Institute of Problems of Biology and Biotechnology Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan, e-mail: akurmetkhan@mail.ru).

Sanzhar Sanatuly Sanatov – 1st-year Master’s student in Environmental Bioengineering at Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: sanzhar.snt@gmail.com).

Pavel Hrouzek – Ph.D. Head of the laboratory of Algal Biotechnology, Institute of Microbiology of the Czech Academy of Sciences – Center Algatech (Trebon, Czech Republic, e-mail: hrouzek@alga.cz).

Zayadan Bolatkhan (Corresponding author) – Doctor of Biological Sciences, Professor of Biotechnology Department of al-Farabi Kazakh National University, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan, e-mail: zbolatkhan@gmail.com).

Сведения об авторах:

Тоқтыбай Акнұр Кентайқызы (автор-корреспондент) – младший научный сотрудник НИИ проблем биологии и биотехнологии МНВО РК (Алматы, Казахстан, e-mail: aknurtoktybay1@gmail.com).

Салауат Дамыс – докторант 3 курса по специальности «8D08401 – Рыбное хозяйство и промышленное рыболовство» Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: salauat.damys@mail.ru).

Болатхан Кенжесұл – PhD, ассоциированный профессор кафедры биотехнологии Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: bkenzhegul23@mail.ru).

Сандыбаева Сандугаш Қалжанқызы – PhD, старший преподаватель кафедры биотехнологии Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: sandybaevasandugash@gmail.com).

Ахметова Гүлнәз Асқарқызы – старший преподаватель кафедры биотехнологии Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: gulnaz_akhmetova92@mail.ru).

Құрметхан Әсем Құрметханқызы – сотрудник НИИ проблем биологии и биотехнологии МНВО РК (Алматы, Казахстан, e-mail: akurmetkhan@mail.ru).

Санатов Санжар Санатұлы – магистрант 1 курса по специальности «Экологическая биоинженерия» Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: sanzhar.snt@gmail.com).

Pavel Hrouzek – PhD, заведующий лабораторией биотехнологии водорослей, Институт микробиологии Чешской Академии наук – Центр Algatech (Требон, Чешская Республика, e-mail: hrouzek@alga.cz).

Заядан Болатхан Казыханұлы (автор-корреспондент) – доктор биологических наук, профессор кафедры биотехнологии Казахского национального университета имени аль-Фараби, академик НАН РК (Алматы, Казахстан, e-mail: zbolatkhan@gmail.com).

Келіп түсті: 27 қараша 2025 жыл

Қабылданды: 25 наурыз 2026 жыл