

**Акмуханова Н.Р.* , Заядан Б.К., Бауенова М.О., Садвакасова А.К.,
Болатхан К., Сейилбек С.**

Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Казахстан, Алматы, *e-mail: nurziya.akmuhanova@kaznu.kz

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРИРОВАННЫХ БИОЦЕНОЗОВ ВЫСШИХ ВОДНЫХ РАСТЕНИЙ И ФОТОТРОФНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД

Одним из современных методов, используемых при разработке экологически чистых технологий защиты окружающей среды и восстановления природных ресурсов, является биоремедиация, это наиболее щадящий метод сохранения биоразнообразия и обеспечения устойчивости очищающих биоценозов. Формирование этой области научных знаний состоялось в 1990-х годах и в настоящее время происходит интенсивное развитие эко-биотехнологий.

Применение устойчивых к загрязненным водам цианобактерий и микроводорослей, введение в очищающий консорциум высших водных растений позволяет создать новую комплексную биотехнологию очистки и восстановления загрязненных водоемов.

Целью исследований являлось формирование структурированных биоценозов, включающих организмы различных таксономических групп, для подбора оптимальных параметров управления биоремедиационными процессами.

Определено, что более положительный эффект между организмами наблюдался в консорциумах: *Ankistrodesmus* sp. BI-1 + *Anabaena variabilis* RI-5 + *Pistia stratiotes* и *Scenedesmus quadricauda* B-1 + *Anabaena variabilis* RI-5 + *Pistia stratiotes*. Определено, что на протяжении всего времени совместного существования все компоненты консорциума стимулировали развитие друг друга, динамика роста всех членов консорциума значительно превышала рост данных организмов в монокультурах. Полученные результаты свидетельствуют о том, что использование консорциума ВВР, микроводоросли и цианобактерий в очистке сточной воды в лабораторных условиях весьма эффективно по сравнению с использованием растений, микроводорослей и цианобактерий в отдельности.

Ключевые слова: микроводоросли, цианобактерии, биоремедиация, консорциум, высшая водная растительность.

**Akmukhanova N.R.* , Zayadan B.K., Bauyenova M.O., Sadvakasova A.K.,
Bolatkhan K., Seilbek S.**

Al-Farabi Kazakh National University,
Kazakhstan, Almaty, *e-mail: nurziya.akmuhanova@kaznu.kz

Formation of structured biocenoses of higher aquatic plants and phototrophic microorganisms for application in wastewater treatment

One of the modern methods used in the development of environmentally friendly technologies for protecting the environment and restoring natural resources is bioremediation, which is the most sparing method for preserving biodiversity and ensuring the sustainability of cleansing biocenoses. The formation of this area of scientific knowledge was held in the 1990s and intensive development of eco-biotechnologies is currently taking place. The use of cyanobacteria and microalgae resistant to polluted waters, introduction of higher aquatic plants into the purifying consortium, allows the creation of a new integrated biotechnology for the purification and restoration of polluted water bodies.

The aim of the research was the formation of structured biocenoses, including organisms of different taxonomic groups, for selecting optimal parameters for controlling bioremediation processes.

It was determined that a more positive effect between organisms was observed in consortia: *Ankistrodesmus* sp. BI-1 + *Anabaena variabilis* RI-5 + *Pistia stratiotes* and *Schedemum quadricauda* B-1 + *Anabaena variabilis* RI-5 + *Pistia stratiotes*. It was determined that during all the time of joint existence all the components of the consortium stimulated the development of each other, the dynamics of growth of all members of the consortium significantly exceeded the growth of these organisms in monocultures. The obtained results indicate that the use of the HAP consortium, microalgae and cyanobacteria in wastewater treatment in laboratory conditions is very effective in comparison with the use of plants, microalgae and cyanobacteria separately.

Key words: microalgae, cyanobacteria, bioremediation, consortium, higher aquatic plants.

Акмуханова Н.Р.* , Заядан Б.К., Бауенова М.Ө., Садвакасова А.К.,
Болатхан К., Сейилбек С.

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
Қазақстан, Алматы қ., *e-mail: nurziya.akmuhanova@kaznu.kz

Ағынды суларды тазалау үшін жоғары сатылы су өсімдіктерінің және фототрофты микроорганизмдердің құрылымдық биоценозын құрастыру

Қоршаған ортаны қорғау және табиғи ресурстарды қайта қалпына келтіруде пайдаланылатын заманауи әдістердің бірі – биоремедиация. Бұл әдіс алуантүрлілікті сақтай отырып, қоршаған ортаны қайта қалпына келтіруші биоценоздың төзімділігін арттырады. Осы бағыттың ғылыми жаңалықтары 90-жылдары қалыптасты және қазіргі таңда экобиотехнология қарқынды даму үстінде.

Ластанған суларға төзімді цианобактериялар мен микробалдырларды пайдалану, тазалаушы консорциумға жоғары сатылы су өсімдіктерін енгізу, ластанған су қоймаларын тазалау және қайта қалпына келтіретін жаңа кешенді биотехнологиялық үрдісті жасауға мүмкіндік береді.

Зерттеу жұмысының мақсаты, биоремедиациялық үрдістерді басқарудың оптималды көрсеткіштерін қарастыру үшін, әр түрлі таксономиялық топтардың организмдерінен тұратын құрылымдық биоценозды құрастыру.

Организмдер арасындағы оңтайлы әсер мына консорциумдар арасында байқалғаны анықталды: *Ankistrodesmus* sp. BI-1 + *Anabaena variabilis* RI-5 + *Pistia stratiotes* and *Schedemum quadricauda* B-1 + *Anabaena variabilis* RI-5 + *Pistia stratiotes*. Бірлесіп өскен уақыт аралығында консорциумның барлық компоненттері бір-бірінің дамуын ынталандыратыны, барлық консорциумдардың өсу динамикасы осы организмдердің монодақылымен салыстырғанда жоғары екені анықталды. Зертханалық жағдайда ЖССӨ, микробалдырлар және цианобактериялардың консорциумын ағынды суларды тазалау үрдісінде пайдалану, монодақылды пайдаланумен салыстырғанда тиімді екені көрсетілді.

Түйін сөздер: микробалдырлар, цианобактериялар, биоремедиация, консорциум, жоғары сатылы су өсімдіктері.

Введение

Для ускорения процессов очистки и восстановления, нарушенных загрязнениями водных экосистем необходимо использовать биологические резервы биоценозов, включающих организмы с разными биохимическими возможностями. Эти очищающие консорциумы позволяют интенсифицировать процессы очищения загрязненных вод в условиях антропогенной нагрузки, а также дают возможность получения полезных побочных продуктов для использования в сельском хозяйстве (Oyedeyi 2012:118; Protoporov 2015: 725-731).

Природные ассоциации имеют значительно более богатый набор функций по очищению

среды, так как всегда включают в себя фотосинтезики: высшие растения, эукариотические водоросли и цианобактерии (Lloyd 2001:20; Syeda 2015: 25-32). Проведенные Гоговым исследования показали, что как свободноживущие фототрофные микроорганизмы, так и их консорциумы с водными растениями (азоллой, эйхорнией, ряской), способны к росту на сточных водах сельскохозяйственных, животноводческих и промышленных предприятий, очищая их от углеводов, ароматических соединений, фосфатов, аммиака, нитратов, сульфидов, фекалий, органических соединений и тяжелых металлов (Гогов 1988:95; Bolatkhan K. 2015: 10). Консорциумы подавляют развитие вредных бактерий, не нарушая биоценоза. Исследования,

проведенные с эйхорнией, азоллой и ряской, показали также, что они, проявляя высокую устойчивость к ионам тяжелых металлов, способны к поглощению и накоплению относительно больших их количеств из водных сред и сточных вод (Тео 2014: 2663). Свободно живущие фототрофные микроорганизмы и их консорциумы с водными растениями привлекают значительное внимание для защиты окружающей среды от загрязнений, получения возобновляемых материалов и топлив, представляют интерес как для очистки сточных вод от разных поллютантов, так и для получения возобновляемых источников энергии и биоматериалов (Zimmels 2004: 220; Matorin 2016: 606-613).

В последнее годы все большее внимание привлекают проблемы динамики и сохранения биологического разнообразия в связи с усиливающимся антропогенным воздействием на различные экосистемы. В условиях крайне напряженной экологической ситуации, складывающейся во многих регионах мира, геохимические циклы тяжелых металлов в биосфере определяются не столько естественным перераспределением, сколько антропогенной деятельностью (Arunakumara 2009: 383; Sadvakasova 2016: 443–450). Неоднократно отмечалось, что промышленная деятельность человека по масштабу перемещения химических элементов соизмерима с факторами геологического и геохимического порядка (Заядан 2015: 252). Проблема загрязнения природной среды различными экотоксикантами усугубляется по мере урбанизации и индустриализации страны. Наиболее вероятными загрязнителями окружающей среды являются тяжелые металлы, нефтепродукты, нитриты, нитраты и различные полициклические ароматические углеводороды (Заядан 2011: 368). В связи с этим изучение загрязнения биосферы данными токсикантами одна из важных проблем современной экологии.

Одним из приоритетных направлений современных экологических исследований является разработка теоретических и практических аспектов биоремедиации водоемов, основанная на использовании природных механизмов самоочищения и самовосстановления водоемов, действие которых связано с деятельностью высших водных растений и микроорганизмов, принадлежащих к различным видам цианобактерий и микроводорослей (Mennes 2008: 199). Практическая значимость этих объектов для биоремедиации и доочистки водоемов определяется уникальностью их метаболических способностей

(фотосинтез, дыхание, разнообразие источников углерода, способность усваивать атмосферный азот и т.д.), высокой кумулятивной и деструктивной способностью в отношении тяжелых металлов и в отношении таких органических загрязнителей, как нефть, нефтепродукты, фенолы и т. п. (Ажаян 2011: 805).

Известно, что для повышения эффективности биоремедиации используются не моно-, а смешанные культуры микроорганизмов, для получения которых необходимо учитывать особенности внутривидовых взаимоотношений цианобактерий и микроводорослей и взаимовлияние фото- и гетеротрофных микроорганизмов. В литературе имеются лишь единичные сведения о видовых взаимоотношениях микроводорослей и их действии на бактерии (Artiola 2004: 410).

В настоящее время проблема загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами (ТМ) становится все более актуальной. Металлы представляют серьезную угрозу для биоты вследствие острой токсичности и постепенного накопления в окружающей среде до опасного значения (Gelagutashvili 2013: 84; Ibragimova 2016: 420-424).

В последние годы экологи наряду с оценкой уровня загрязнений и определения их источников всё больше обращают внимание на выявление «судьбы» попавших в природную среду веществ, их превращений и взаимодействий с живыми организмами. Удобным объектом для таких исследований служат высшие водные растения, цианобактерии и микроводоросли, которые способны накапливать в высоких концентрациях многие элементы и переводить их в нетоксичную форму, что в настоящее время широко применяется в целях биоремедиации – для очистки водных стоков.

Материалы и методы

Объекты исследования – высшие водные растения: *Pistia stratiotes*, природные и коллекционные штаммы фототрофных микроорганизмов: *Scenedesmus quadricauda* В-1, *Ankistrodesmus sp.* ВI-1, *Phormidium autumnale* I-5, *Anabaena variabilis* RI-5 (Заядан 2017:135).

Численность клеток фототрофных микроорганизмов в жидких культурах определяли методом прямого счета под микроскопом в камере Горяева, принятым в гидробиологической практике (Вассер 1989:608). Скорость роста определялась по показателям оптической плотности, регистрируемых с помощью спектрофотометра

(Danquah 2010:1037). Высшие водные растения культивировали на отстоянной водопроводной воде с добавлением среды Штейнберга (2 масс. %) при естественном освещении и комнатной температуре (Гигевич 2000:186).

Для моделирования загрязнения водной среды ТМ использовали водные растворы сульфата меди ($\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$), сульфата кобальта ($\text{CoSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$), сульфата цинка ($\text{ZnSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$), сульфата никеля ($\text{NiSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$). Содержание тяжелых металлов в растениях и культурах цианобактерий и микроводорослей определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии (Тоуми 2007:19).

БПК – йодометрическим методом, хлориды и сульфаты – титриметрическим методом. Содержание нитратов и нитритов определяли фотометрическим методом (ГОСТ 31859-2012; ПНДФ 14. 1:2:3:4. 123-97; Кандакова 2015:146). Определение фосфат-ионов и фосфорсодержащих соединений проводилось фотоколориметрическим методом (Золотов 202: 304).

Результаты и их обсуждение

Целью представленной работы было формирование структурированных биоценозов, включающих ВВР и фототрофных микроорганизмов, для подбора оптимальных параметров управления биоремедиационными процессами. Предыдущие исследования показали, что изученные виды микроводорослей *Ankistrodesmus sp.* ВI-1, *Scenedesmus quadricauda* В-1 могут быть консортами растений *Pistia stratiotes* (Акмуханова 2017:155).

Исследование взаимоотношений культур цианобактерии и *Eloдея canadensis* показало, что все исследованные культуры цианобактерии заметно ограничивают рост *Eloдея canadensis*, тогда как растения не влияют на рост цианобактерий. Это означает, что взаимоотношения между этими организмами можно определить как аменсальные, чему соответствуют количественные соотношения показателей максимального числа цианобактерий и отмирание растений. Из изученных высших водных растений совместное существование с цианобактериями наблюдалось у *Pistia stratiotes* с культурами *Phormidium autumnale* I-5 и *Anabaena variabilis* RI-5. Культуры *Oscillatoria tenuis* RI-4 и *Nostoc calcicola* RI-3 не оказывали выраженного отрицательного действия на *Pistia stratiotes*. Культура *Synechococcus elongatus* I-4 оказывала токсическое действие на все изученные высшие водные растения. С

растением *Lemna minor* положительное сосуществование наблюдалось у культур *Anabaena variabilis* RI-5 и *Nostoc calcicola* RI-3. Остальные цианобактерии оказывали отрицательное влияние на рост *Lemna minor* (Акмуханова 2017:155).

Совместимость с *Pistia stratiotes* и *Phormidium autumnale* I-5 и *Anabaena variabilis* RI-5, также микроводорослей *Ankistrodesmus sp.* ВI-1, *Scenedesmus quadricauda* В-1 в ассоциативных культурах облегчала задачу составления консорциумов. Искусственные консорциумы были составлены по следующей схеме:

Pistia stratiotes+ *Ankistrodesmus sp.* ВI-1+ *Phormidium autumnale* I-5;

Pistia stratiotes+ *Scenedesmus quadricauda* В-1 + *Phormidium autumnale* I-5;

Pistia stratiotes+ *Ankistrodesmus sp.* ВI-1+ *Anabaena variabilis* RI-5;

Pistia stratiotes+ *Scenedesmus quadricauda* В-1 + *Anabaena variabilis* RI-5.

Опыты проводились с использованием среды Штейнберга в люминостате при 24-27 °С и круглосуточном освещении (2000 лк). В каждом опыте изучались взаимоотношения между определенными культурами микроводорослей, цианобактерий и высших водных растений. Для этого в стерильные емкости в объеме 10 л наливали по 6 л стерильной питательной среды, затем в них вносили культуру микроводорослей с исходным количеством 1 млн. кл/мл, в этом же объеме клеток цианобактерий и помещалось по десять растений. Одновременно с опытными вариантами ставили контрольные варианты по выращиванию в тех же условиях отдельно микроводорослей, отдельно цианобактерий и отдельно высших водных растений. Все варианты опыта ставили в трех повторностях. Через 15 суток проводился анализ морфологических изменений растений и количество микроводорослей, цианобактерий.

Результаты опытов показали совместимость партнеров в искусственно созданных консорциумах цианобактерии и микроводорослей с высшими растениями. Во всех вариантах взаимодействие носило позитивный или близкий к нейтральному характер. В варианте *Pistia stratiotes* + *Ankistrodesmus sp.* ВI-1+ *Phormidium autumnale* I-5 аксеничная культура *Phormidium autumnale* I-5 росла хуже, чем в ассоциации с *Pistia stratiotes*+ *Ankistrodesmus sp.* ВI-1. В консорциуме биомасса *Phormidium autumnale* I-5 увеличилась по сравнению с аксеничной культурой на 45% через 15 дней, но на 30 день культивирования консорциума наблюдалось за-

медление роста всех членов консорциума (рисунок 1). Уменьшение позитивного эффекта, по-видимому, связано с более быстрым аутоингибированием членов консорсорциума при длительном выращивании в ограниченном объеме среды, что отмечается исследователями при

выращивании организмов в экстенсивных культурах (Toumi 2007:19). Характер взаимоотношений партнеров в ассоциации зависит от соотношения численности их клеток как в начальный период составления консорциума, так и при длительном культивировании (Jais 2017:37).

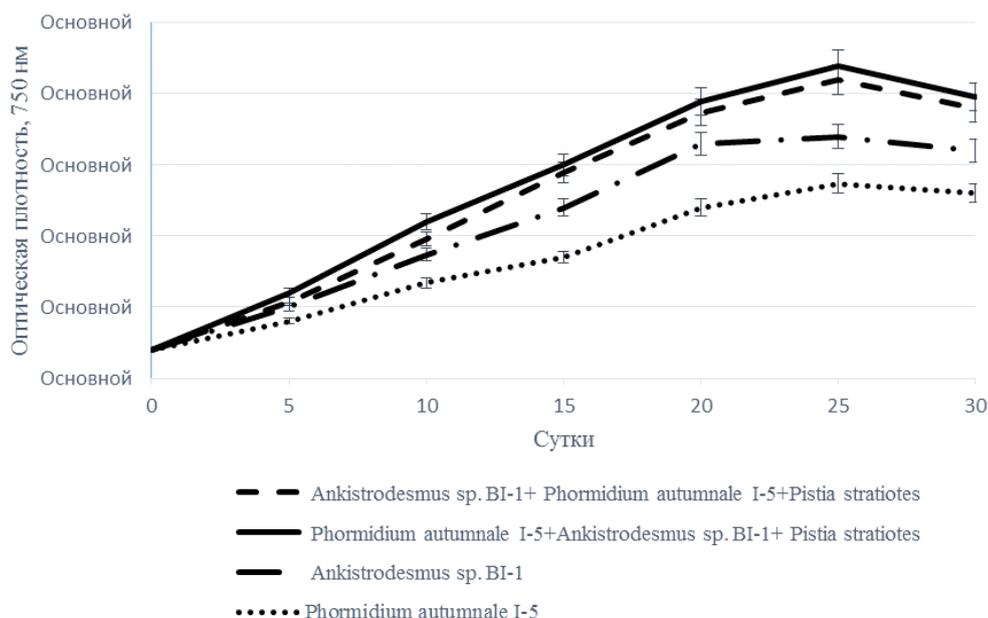


Рисунок 1 – Динамика численности *Ankistrodesmus* sp. BI-1 и *Phormidium autumnale* I-5 при совместном и культивировании с *Pistia stratiotes*

В варианте *Phormidium autumnale* I-5 + *Scenedesmus quadricauda* B-1 + *Pistia stratiotes* внутривидовые взаимоотношения членов консорциума ближе всего примыкают к нейтральному, но в динамике всех популяционных кривых наблюдается на определенных этапах конкуренция за какой-либо фактор в консорциуме. На 20 сутки сокультивирования наблюдалось расхождение популяционных кривых с преобладанием численности *Scenedesmus quadricauda* B-1 над + *Phormidium autumnale* I-5 (рисунок 2). К концу наблюдения их взаимодействия в консорциуме стабилизируются и смешанная ассоциация высших водных растений и цианобактерии, микроводорослей достигает, очевидно, гомеостатического состояния. Вместе с тем, резонно предположить другой сценарий развития поликультуры. Динамика численности отражает конкуренцию цианобактерий и микроводорослей за один или несколько факторов роста, которая и

будет продолжаться в дальнейшем. При этом популяции одного из видов динамически меняют свою численность и доминируют на тех или иных этапах жизни консорциума. Поэтому внутри такого консорциума может действовать правило Гаузе, только один вид может доминировать в определенных условиях (Кох 2003:90).

Исследованные сочетания *Ankistrodesmus* sp. BI-1 + *Anabaena variabilis* RI-5 + *Pistia stratiotes* и *Pistia stratiotes* + *Scenedesmus quadricauda* B-1 + *Anabaena variabilis* RI-5 оказались совместимыми между каждым компонентом консорциума. На 15 сутки все исследованные популяции достигают определенного «пула» клеток, после чего наступают фаза экспоненциального роста. На 30 сутки культивирования консорциумов численность клеток цианобактерий и микроводорослей продолжает возрастать, вопреки тому, что к этому времени в аксеничных культурах членов консорциума начинается процесс аутоингибирования. Сравнительное

микроскопирование, проведенное нами у аксеничных культур и культур в составе консорциума, показало, что образование акинет и разрушение клеток у цианобактерий

в консорциуме с высшими растениями и микроводрослями наблюдаются после 40 суток, которые в чистой культуре наблюдаются уже на 30 сутки роста цианобактерий (рисунки 3, 4).

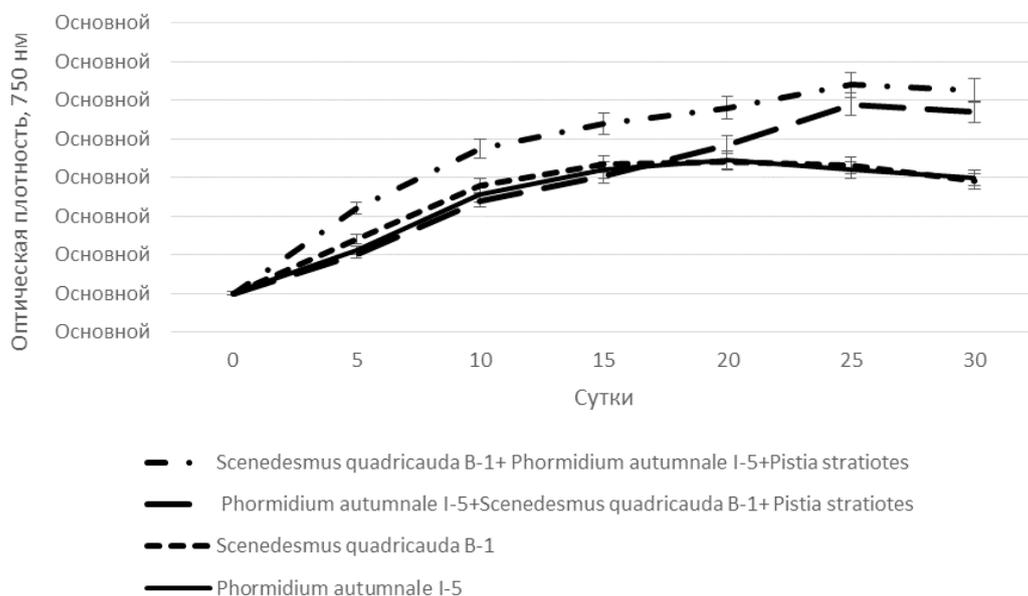


Рисунок 2 – Динамика численности *Phormidium autumnale* I-5 и *Scenedesmus quadricauda* B-1 при совместном и культивировании с *Pistia stratiotes*

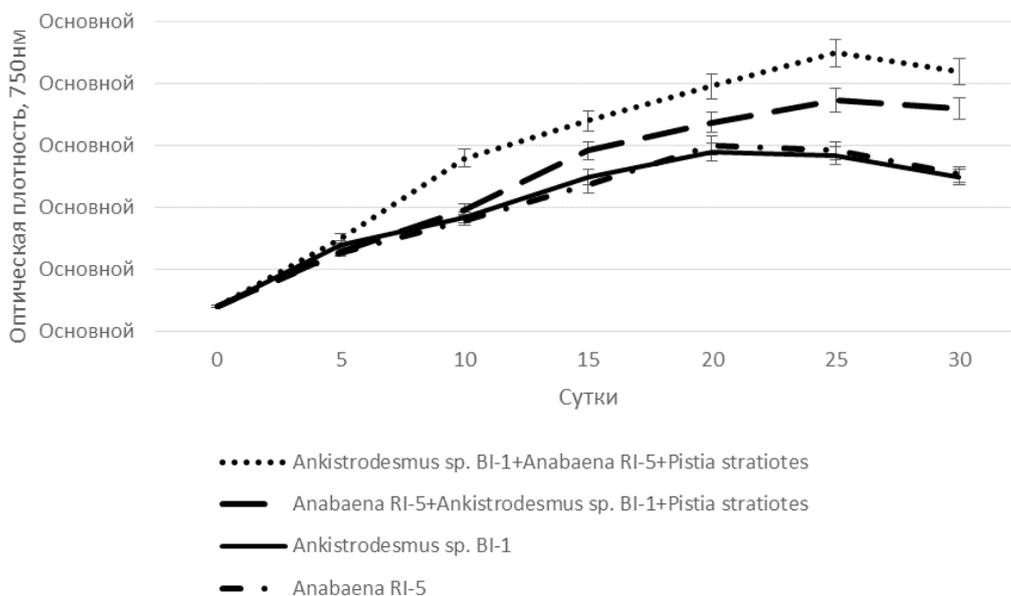


Рисунок 3 – Динамика численности *Ankistrodesmus* sp. BI-1 и *Anabaena variabilis* RI-5 при совместном и культивировании с *Pistia stratiotes*

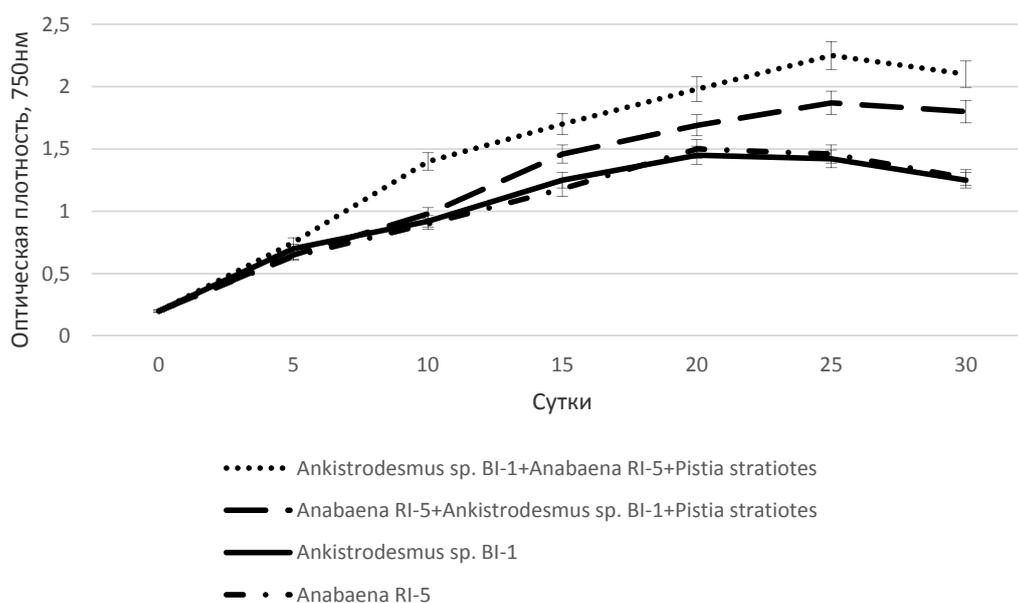


Рисунок 4 – Динамика численности *Scenedesmus quadricauda* B-1 и *Anabaena variabilis* RI-5 при совместном и культивировании с *Pistia stratiotes*

Цианобактерия *Anabaena variabilis* RI-5 и микроводоросль *Ankistrodesmus sp.* BI-1 стимулировали рост *Pistia stratiotes*. Листья растений обрели более насыщенный цвет по сравнению с остальными вариантами эксперимента, это может быть связано с высокой азотфиксирующей способностью *Anabaena variabilis* RI-5 по сравнению с *Phormidium autumnale* I-5 (рисунок 5).

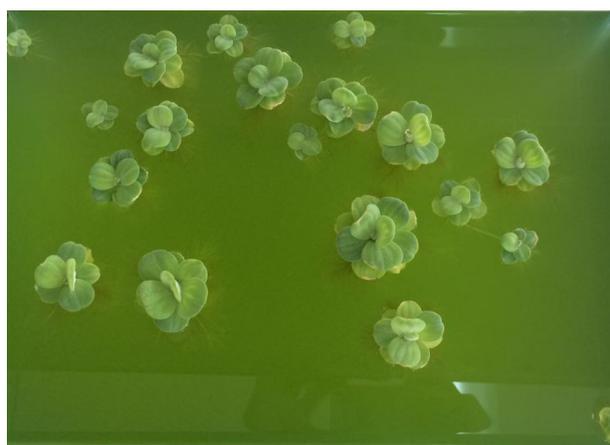


Рисунок 5 – Рост *Pistia stratiotes* при совместном и культивировании с *Anabaena variabilis* RI-5 и *Ankistrodesmus sp.* BI-1

Таким образом, результаты опыта показали, что исследованные организмы различных таксо-

номических могут быть консортами друг другу. Во всех исследованных вариантах взаимоотношений специфичность взаимодействий между членами консорциума не была обнаружена. Более положительный эффект наблюдался между организмами *Ankistrodesmus sp.* BI-1 + *Anabaena variabilis* RI-5 + *Pistia stratiotes* и *Scenedesmus quadricauda* B-1 + *Anabaena variabilis* RI-5 + *Pistia stratiotes*. На протяжении всего времени совместного существования все компоненты консорциума стимулировали развитие друг друга, динамика роста всех членов консорциума значительно превышала рост данных организмов в монокультурах.

Поскольку основной задачей работы было создание консорциума ВВР и микроводорослей для применения в очистке сточных вод, мы изучили возможность применения ассоциации *Pistia stratiotes*+ *Ankistrodesmus sp.* BI-1+ *Anabaena variabilis* RI-5 (№1); *Pistia stratiotes*+ *Scenedesmus quadricauda* B-1+ *Anabaena variabilis* RI-5 (№2) и монокультур микроводорослей, цианобактерий и высших водных растений в очистке загрязненной воды. Для изучения очистки сточных вод от тяжелых металлов был поставлен эксперимент на искусственно загрязненной среде с внесением монокультур и консорциумов фито-альгоцианобактерий.

Для очистки мы использовали бытовые сточные воды. Экспериментальная «сточная вода»

характеризовалась показателем биохимического потребления кислорода (БПК₅) 62,2 мг О₂ л⁻¹, содержание аммиака составило 13,7 мг л⁻¹, нитритов – 0,12 мг л⁻¹, нитратов – 1,8 мг л⁻¹ и фос-

фатов – 4,46 мг л⁻¹, рН – 7,55, взвешенные вещества – 6,4 мг/л, дополнительно вносили тяжелые металлы: Cd²⁺, Cu²⁺, Pb²⁺, Zn²⁺ в концентрации по 200 мг/л (таблица 1).

Таблица 1 – Динамика физико-химических показателей воды при очистке с помощью фито-альго-цианобактериальных консорциумов и их монокультур

Показатель качества воды	Показатель до культивирования	Варианты (через 7 суток)					
		№1	№2	<i>Pistia stratiotes</i>	<i>Ankistrodesmus sp. BI-1</i>	<i>Scenedesmus quadricauda B-1</i>	<i>Anabaena variabilis RI-5</i>
БПК	62,2 мг О ₂ л ⁻¹	10±0,16	11±0,12	17±0,27	20±0,27	18±0,2	21±0,25
Аммиак	13,7 мг л ⁻¹	2,3±0,21	2,5±0,20	3,9±0,02	4,5±0,01	4,7±0,01	4,9±0,01
Нитриты	0,12 мг л ⁻¹	0,02±0,1	0,03±0,02	0,05±0,02	0,06±0,01	0,05±0,01	0,10±0,01
Нитраты	1,8 мг л ⁻¹	0,3±0,04	0,3±0,06	0,04±0,01	0,6±0,1	0,5±0,1	0,8±0,1
Фосфаты	4,46 мг л ⁻¹	0,7±0,06	0,8±0,05	0,84±0,014	1,5±0,01	1,2±0,01	1,6±0,01
рН	7,55	7,1±1,2	7,0±1,12	7,3±0,002	7,5±0,1	7,4±0,1	7,7±0,1
Взвешенные вещества	6,4 мг/л	1,80±0,1	1,6±0,16	1,9±0,001	2,1±0,1	2,0±0,1	2,6±0,1
Кадмий	по 200 мг/л	33,60±0,001	32,70±0,0014	112±0,2	120±0,02	118±0,02	117±0,02
Цинк	по 200 мг/л	28,51±0,002	26,25±0,001	96±0,3	100±0,01	99±0,01	101±0,01
Медь	по 200 мг/л	31,23±0,001	32,66±0,01	100±0,1	123±0,02	120±0,02	115±0,02
Свинец	по 200 мг/л	32,12±0,01	31,062±0,003	110±0,2	130±0,01	128±0,01	115±0,01

Полученные результаты свидетельствуют о снижении концентрации ионов тяжелых металлов в среде на 7 сутки в 6 раз в обоих вариантах с использованием фито-альгоцианобактериальных консорциумов. При этом в опытных вариантах с использованием монокультур микроводорослей и цианобактерий концентрация всех тяжелых металлов уменьшилась в 3 раза от начальной концентрации. Изучение очистки моделированных сточных вод от тяжелых металлов показало, что по сравнению с микроводорослями и цианобактериями высшие водные растения обладают наиболее высокой сорбционной активностью – содержание тяжелых металлов снизилось на 56%. Поглотительная способность двух вариантов консорциумов фито-альгоцианобактерий по отношению к ионам тяжелых металлов показала положительные результаты по сравнению монокультурами, к концу опыта содержание

тяжелых металлов в вариантах с консорциумами уменьшилось на 85-95%. Консорциумы на основе фито-альгоцианобактерий можно рекомендовать для фиторемедиационных мероприятий сточных вод, загрязненных ионами тяжелых металлов.

Таким образом, показана возможность использования полученных консорциумов на основе фито-альгоцианобактерий для очистки сточной воды от тяжелых металлов. Полученные результаты свидетельствуют о том, что использование консорциума ВВР, микроводорослей и цианобактерий в очистке сточной воды в лабораторных условиях весьма эффективно по сравнению с использованием растений, микроводорослей и цианобактерий в отдельности. Полученные данные могут служить основой для разработки биологического способа очистки сточных вод различных производственных предприятий.

Литература

- 1 Artiola J., Pepper I.L., Brusseau M.L. *Environmental Monitoring and Characterization* (Book Publisher: Elsevier Science & Technology Books, 2004), 410.
- 2 Arunakumara K. K. I. U, Xuecheng Z. «Effects of heavy metals (Pb²⁺ and Cd²⁺) on the ultrastructure, growth and pigment contents of the unicellular cyanobacterium *Synechocystis* sp. PCC 6803», *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*.2 (27) (2009): 383-388.
- 3 Ajayan K.V., Selvaraju M., Thirugnanamoorthy K. «Growth and Heavy Metals Accumulation Potential of Microalgae Grown in Sewage Wastewater and Petrochemical Effluents», *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 14 (2011): 805–811.
- 4 Акмуханова Н.Р., Бауенова М.О., Садвакасова А.К., Заядан Б.К., Кирбаева Д.К., Қарабаева І.Ж., Хабиби А. Изучение взаимодействия высших водных растений и фототрофных микроорганизмов с целью создания консорциума, перспективного для биоремедиации // *Вестник КазНУ, серия биологическая*. – 2017. – Т.70, № 2. – С. 130-141.
- 5 Bolatkhan K., Akmukhanova N.R., Sadvakasova A.K., Saleh M., Zayadan B.K. «Biotesting various contaminated aquatic ecosystem based on the Mutant test strains of microalgae» 12th International conference international Phytotechnology society, Hilton Garden Inn – Manhattan. (2015): 10.
- 6 Danquah M. K. «Bioprocess engineering of microalgae to produce a variety of consumer products», *Renew. Sust. Energ. Rev.* 3 (14) (2010): 1037–1047.
- 7 Gelagutashvili E. «Comparative Study on Heavy Metals Biosorption by Different Types of Bacteria», *Open Journal of Metal*. 1 (17) (2013): 84-101.
- 8 Гоготов И.Н. Перспективы использования азотфиксирующих фототрофных бактерий в биотехнологии // *Фототрофные микроорганизмы*. – 1988. – Т. 26, №2. – С. 95-107.
- 9 ГОСТ 31859-2012. ВОДА. Метод определения химического потребления кислорода. – Введ. 2014-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2012 г. № 42.
- 10 Гигевич Г.С., Власов Б.П. Мониторинг высшей водной растительности как метод контроля за трансформацией природной среды // *Природопользование в условиях дифференцированного антропогенного воздействия*. – Минск: Sosnowies, – 2000. – С. 186–192.
- 11 Ibragimova N.A, Esyrev O.V., «Comprehensive Assessment of Waste Water Pollution Rate in Almaty City, Kazakhstan» *International Journal of Environmental Science and Development*. 6 (7) (2016): 420-424.
- 12 Jais N.M., Mohamed R.M.S.R., Al-Gheethi A.A., Amir Hashim M.K. «The dual roles of phycoremediation of wet market wastewater for nutrients and heavy metals removal and microalgae biomass production». *Clean Techn. Environ. Policy*. 19 (2017): 37–52.
- 13 Кандакова А. А., Боган В. И., Чупракова А. М., Максимюк Н. Н. Характеристика методов исследования и результаты оценки питьевой воды // *Молодой ученый*. – 2015. – №3. – С. 146-148.
- 14 Кох Р. *Законы Силы*. – Минск: «Попурри», 2003. – С. 90-92.
- 15 Lloyd S. D., Fletcher T. D., Wong T. H. F., Wootton R. M. «Assessment of Pollutant Removal Performance in a Bio-filtration System: Preliminary Results» 2nd South Pacific Stormwater Conf.; *Rain the Forgotten Resource*. – New Zealand: Auckland. (2001): 20–30.
- 16 Matorin D.N., Protopopov F.F., Sadvakasova A.K., Alekseev A.A., Bratkovskaja L B., and Zayadan B. K. «Estimation of Biophysical Characteristics for *Chlamydomonas reinhardtii* Pigment Mutants with an M-PEA-2 Fluorometer» *Biophysics*. 4(61) (2016): 606–613.
- 17 Mennes M. «Growth and Division of Some Unicellular Blue-green Algae». *J. gen. Microbiol.* 1(5) (2008): 199–202.
- 18 Oyedeji A.A., Abowei J.F.N. «The classification, Distribution, Control and Economic Importance of Aquatic Plants» *International Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2(2) (2012): 118-128.
- 19 Protopopov F.F., Matorin D.N., Seifullina N.Kh., Bratkovskaya L.B., Zayadan B.K. «Effect of Methylmercury on the Light Dependence Fluorescence Parametrs in a Green Alga *Chlamydomonas moewusii*» *Microbiology*. 6(84) (2015): 725-731.
- 20 ПНДФ 14. 1:2:3:4. 123-97. Методика выполнения измерений биохимической потребности в кислороде в пресных, подземных, питьевых, сточных и очищенных сточных водах. – М., 1997. – 25 с.
- 21 Sadvakasova A. K., Akmukhanova N. R., Zayadan B. K., Matorin D. N., Protopopov F. F., Alekseev A. A., and Bolatkhan K. «Pigment Mutants of the Green Microalga *Chlamydomonas reinhardtii*: Morphological Properties and Photosynthetic Performance» *Russian Journal of Plant Physiology*, 4(63) (2016): 443–450.
- 22 Syeda H. B., Iftikhar A., Muhammad M. H., Ashiq M. «Phytoremediation potential of *Lemna minor* L. for heavy metals» *International Journal of Phytoremediation*. 1(18) (2015): 25-32.
- 23 Teo S.C., Wong L.S. «Whole cell-based biosensors for environmental heavy metals detection». *Annu. Res. Rev. Biol.* 4 (2014): 2663–2674.
- 24 Toumi A., Belkoura M., Benabdallah S., El Alami M., Loukili Idrissi L. «Nejmeddine A. Effect and bioaccumulation of heavy Metals (Zn, Cd) on *Microactinium pusillum* alga». *Environ. Technol.* 28 (2007): 19–23.
- 25 Вассер С.П., Кондратьева Н.В., Масюк Н.П. и др. *Водоросли. Справочник*. – Киев: Наукова Думка, 1989. 608 с.
- 26 Zimmels Y., Kirzhner S., Roitman S. «Use of Naturally Growing aquatic Plants for Wastewater Purification». *Water Environment Research*. 3(76) (2004): 220–230.
- 27 Заядан Б.К., Маторин Д.Н. Биомониторинг водных экосистем на основе микроводорослей. – М.: Изд-во «Алтекс», 2015. – 252 с.

- 28 Заядан Б.К. Экологическая биотехнология фототрофных микроорганизмов: монография. – Алматы: Изд-во «Арыс», 2011. – 368 с.
- 29 Заядан Б.К., Акмуханова Н.Р., Садвакасова А.К. Каталог коллекции культур микроводорослей и цианобактерий. – Алматы: Издательство «Абзал-Ай», 2017. – 135 с.
- 30 Золотов Ю.А., Иванов В.М., Амелин В.Г. Химические тест-методы анализа. – М.: Едиториал, УКСС, 2002. – 304 с.

References

- 1 Artiola J., Pepper I.L., Brusseau M.L. Environmental Monitoring and Characterization (Book Publisher: Elsevier Science & Technology Books, 2004), 410.
- 2 Arunakumara K. K. I. U, Xuecheng Z. «Effects of heavy metals (Pb²⁺ and Cd²⁺) on the ultrastructure, growth and pigment contents of the unicellular cyanobacterium *Synechocystis* sp. PCC 6803», Chinese Journal of Oceanology and Limnology.2 (27) (2009): 383-388.
- 3 Ajayan K.V., Selvaraju M., Thirugnanamoorthy K. «Growth and Heavy Metals Accumulation Potential of Microalgae Grown in Sewage Wastewater and Petrochemical Effluents», Pakistan Journal of Biological Sciences. 14 (2011): 805–811.
- 4 Akmuhanova N.R., Bauyenova M.O., Sadvakasova A.K., Zayadan B.K., Kirbaeva D.K., Karabaeva I.Zh., Habibi A. (2017) Izuchenie vzaimovliyaniya vysshyh vodnyh rastenii i phototrofnyyh mikroorganizmov s celiu sozhdanie konsorciuma, perspektivnogo dlya bioremediacii [The study of the mutual influence of higher water plants and phototrophic microorganisms with the aim of creating a consortium promising for bioremediation]. Bulletin KazNU, biological series, vol. 70, no 2. pp. 130-141. (In Russian)
- 5 Bolatkhan K., Akmuhanova N.R., Sadvakasova A.K., Saleh M., Zayadan B.K. «Biotesting various contaminated aquatic ecosystem based on the Mutant test strains of microalgae» 12th International conference international Phytotechnology society, Hilton Garden Inn – Manhattan. (2015): 10.
- 6 Danquah M. K. «Bioprocess engineering of microalgae to produce a variety of consumer products», Renew. Sust. Energ. Rev. 3 (14) (2010): 1037–1047.
- 7 Gelagutashvili E. «Comparative Study on Heavy Metals Biosorption by Different Types of Bacteria», Open Journal of Metal. 1 (17) (2013): 84-101.
- 8 Gogotov I.N. (1998) Perspektivy ispolzovaniya azotficsiruishih photo-trofnyyh bakterii v biotehnologii [Prospects for the use of nitrogen-fixing phototrophic bacteria in biotechnology]. Phototrophik microorganisms, vol 26, no 2. pp. 95-107. (In Russian)
- 9 GOST 31859-2012. WATER. (2012) Metod opredeleniya himicheskogo potrebleniya kisloroda [Method for determining chemical oxygen consumption]. Enter. 2014-01-01. – Moscow: Publishing Standards, no 42. (In Russian)
- 10 Gigevich G.S., Vlasov B.P. (2000) Monitoring vysshei vodnoi rastitelnosti kak metod kontrolya za transformaciei antropogennogo vozdeistvia [Monitoring of higher aquatic vegetation as a method of monitoring the transformation of the natural environment]. Nature use in conditions of differentiated anthropogenic impact. pp. 186-192. (In Russian)
- 11 Ibragimova N.A., Esyrev O.V., «Comprehensive Assessment of Waste Water Pollution Rate in Almaty City, Kazakhstan» International Journal of Environmental Science and Development. 6 (7) (2016): 420-424.
- 12 Jais N.M., Mohamed R.M.S.R., Al-Gheethi A.A., Amir Hashim M.K. «The dual roles of phycoremediation of wet market wastewater for nutrients and heavy metals removal and microalgae biomass production». Clean Techn. Environ. Policy. 19 (2017): 37–52.
- 13 Kandakova A.A., Bogan V.I., Chuprakova A.M., Maksimuk N.N. (2015) Harakteristika metodov issledovaniya i rezultaty ocenki pitevoi vody [Characteristics of research methods and results of drinking water assessment]. Young Scientist, no 3. pp. 146-148. (In Russian)
- 14 Koh R. (2003) Zakony sily [Laws of Force] Minsk: «Poppuri», pp. 90-92. (In Russian)
- 15 Lloyd S. D., Fletcher T. D., Wong T. H. F., Wootton R. M. «Assessment of Pollutant Removal Performance in a Bio-filtration System: Preliminary Results» 2nd South Pacific Stormwater Conf.; Rain the Forgotten Resource. (2001): 20–30.
- 16 Matorin D.N., Protopopov F.F., Sadvakasova A.K., Alekseev A.A., Bratkovskaja L.B., and Zayadan B. K. «Estimation of Biophysical Characteristics for *Chlamydomonas reinhardtii* Pigment Mutants with an M-PEA-2 Fluorometer» Biophysics. 4(61) (2016): 606–613.
- 17 Mennes M. «Growth and Division of Some Unicellular Blue-green Algae» J. gen. Microbiol. 1(5) (2008): 199–202.
- 18 Oyedeji A.A., Abowei J.F.N. «The classification, Distribution, Control and Economic Importance of Aquatic Plants» International Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2(2) (2012): 118-128.
- 19 Protopopov F.F., Matorin D.N., Seifullina N.Kh., Bratkovskaya L.B., Zayadan B.K. «Effect of Methylmercury on the Light Dependence Fluorescence Parametrs in a Green Alga *Chlamydomonas moewusii*» Microbiology. 6(84) (2015): 725-731.
- 20 PNDF 14. 1: 2: 3: 4. 123-97. (1997) Metodika vypolneniya izmerenii biohimicheskoi potrebnosti v kislorode v presny, podzemnyh, pitevyh, stochnyh i ochishennyh stochnyh vodah [Methods for performing biochemical oxygen demand measurements in fresh, underground, drinking, waste and treated wastewater]. (In Russian)
- 21 Sadvakasova A. K., Akmuhanova N. R., Zayadan B. K., Matorin D. N., Protopopov F. F., Alekseev A. A., and Bolatkhan K. «Pigment Mutants of the Green Microalga *Chlamydomonas reinhardtii*: Morphological Properties and Photosynthetic Performance» Russian Journal of Plant Physiology, 4(63) (2016): 443–450.
- 22 Syeda H. B., Iftikhar A., Muhammad M. H., Ashiq M. «Phytoremediation potential of *Lemna minor* L. for heavy metals» International Journal of Phytoremediation. 1(18) (2015): 25-32.
- 23 Teo S.C., Wong L.S. «Whole cell-based biosensors for environmental heavy metals detection» Annu. Res. Rev. Biol. 4 (2014): 2663–2674.

- 24 Toumi A., Belkoura M., Benabdallah S., El Alami M., Loukili Idrissi L., «Nejmeddine A. Effect and bioaccumulation of heavy Metals (Zn, Cd) on *Micractinium pusillum* alga» *Environ. Technol.* 28 (2007): 19–23.
- 25 Vasser S.P., Kontradeva N.V., Masuk N.P. (1989) *Vodorosli [Algae]*. Kiev: Naukova Dumka. pp. 608.
- 26 Zimmels Y., Kirzhner S., Roitman S. «Use of Naturally Growing aquatic Plants for Wastewater Purification». *Water Environment Research.* 3 (76) (2004): 220–230.
- 27 Zayadan B.K., Matorin D.N. (2015) *Biomonitoring vodnyh ecosystem na osnove microvodoroslei [Monitoring of aquatic ecosystems based on microalgae]* M: Publishing house «Alteks», pp. 252. (In Russian)
- 28 Zayadan B.K. (2011) *Ecologicheskaya biotekhnologiya fototrofnyh mikroorganizmov [Ecological biotechnology of phototrophic microorganisms]*. Almaty: Publishing house «Arys», pp. 368. (In Russian)
- 29 Zayadan B.K., Akmukhanova N.R., Sadvakasova A.K. (2017) *Katalog kollektsii kultur mikrovdoroslei i cianobakterii [Catalog of the collection of microalgae cultures and cyanobacteria]* Abzal-ai. pp. 135. (In Russian)
- 30 Zolotov U.A., Ivanov V.M., Amelin V.G. (2002) *Himicheskie test-metody analiza [Chemical test methods of analysis]*. M: Editorial. pp. 3304. (In Russian)