

6-бөлім
МИКРОБИОЛОГИЯ

Раздел 6
МИКРОБИОЛОГИЯ

Section 6
MICROBIOLOGY

**Акмуханова Н.Р.^{1*}, Бауенова М.О.¹, Садвакасова А.К.¹,
Заядан Б.К.¹, Кирбаева Д.К.¹, Қарабаева І.Ж.¹, Хабиби А.^{1,2}**

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

²Университет Баглана, Афганистан, г. Баглан

*e-mail: nurziya.akmuhanova@kaznu.kz

ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ ВЫСШИХ ВОДНЫХ РАСТЕНИЙ И ФОТОТРОФНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ С ЦЕЛЬЮ СОЗДАНИЯ КОНСОРЦИУМА, ПЕРСПЕКТИВНОГО ДЛЯ БИОРЕМЕДИАЦИИ

Одним из 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 различных видов цианобактерий и микроводорослей. Известно, что для повышения эффективности биоремедиации используются не моно-, а смешанные культуры микроорганизмов, для получения которых необходимо учитывать особенности внутривидовых взаимоотношений цианобактерий, микроводорослей и взаимовлияние фото – и гетеротрофных микроорганизмов. Целью исследований являлось изучение взаимного влияния видов высших водных растений (ВВР), культур цианобактерий и микроводорослей, резистентных к тяжелым металлам для формирования из них ассоциаций в модельных опытах. Отобраны культуры для создания консорциума ВВР с фототрофными микроорганизмами, перспективных для биоремедиации. Было установлено, что из исследованных ВВР способность к совместному сосуществованию у *Pistia stratiotes* наблюдалось с культурами цианобактериями *Phormidium autumnale* I-5 и *Anabaena variabilis* RI-5. Определено, что из исследованных микроводорослей культуры *Ankistrodesmus* sp. BI-1 и *Scenedesmus quadricauda* B-1 могут быть консортами высшего водного растения *Pistia stratiotes*.

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

**Akmukhanova N.R.^{1*}, Bauyenova M.O.¹, Sadvakasova A.K.¹,
Zayadan B.K.¹, Kirbaeva D.K.¹, Karabaeva I.Zh.¹, Habibi A.^{1,2}**

¹Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, Almaty

²Baghlan University, Afghanistan, Baghlan

*e-mail: nurziya.akmuhanova@kaznu.kz

Studying the relationship of higher water plants and phototrophic microorganisms with the purpose of creating a consortium promising for bioremediation

One of the priority areas of modern environmental research is the development of theoretical and practical aspects of the bioremediation of water bodies, based on the use of natural mechanisms for self-purification and self-recovery of water bodies, the action of which is related to the activity of microorganisms belonging to different types of cyanobacteria and microalgae. It is known that in order to increase the efficiency of bioremediation, not mono-but mixed cultures of microorganisms are used to obtain which it is necessary to take into account the peculiarities of intraspecific relationships between cyanobacteria and microalgae and the interference of photo- and heterotrophic microorganisms. The aim of the research was to study the mutual influence of the species of higher aquatic plants (HAP), cultures of cyanobacteria and microalgae resistant to heavy metals to form associations of them in model experiments. By results of researches, cultures for creation of consortium HAP with phototrophic microorgan-

isms, perspective for bioremediation are selected. It was found that the ability to co-exist in the *Pistia stratiotes* was observed from cultures of cyanobacteria *Phormidium autumnale* I-5 and *Anabaena variabilis* RI-5 from the studied higher aquatic plants. It is determined that of the studied microalgae species of *Ankistrodesmus* sp. BI-1 and *Senedesmus quadricauda* B-1 can be consortia of the higher aquatic plant *Pistia stratiotes*.

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

Акмуханова Н.Р.^{1*}, Бауенова М.О.¹, Садвакасова А.К.¹,
Заядан Б.К.¹, Кирбаева Д.К.¹, Қарабаева І.Ж.¹, Хабиби А.^{1,2}

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

²Бағлан Университеті, Ауғанстан, Бағлан қ.

*e-mail: nurziya.akmuhanova@kaznu.kz

Биоремедиация үшін перспективті консорциум құру мақсатында жоғары сатылы су өсімдігі мен фототрофты микроорганизмдердің өзара әсерін зерттеу

Экологиялық зерттеулердің басым бағыттарының бірі су қоймалары биоремедиациясының теориялық және практикалық аспектілерінің зерттелуі, олар цианобактериялар мен микробалдырлардың әр түрлеріне жататын микроорганизмдердің жұмысымен байланысты болатын, су қоймаларының өз-өзінен қалпына келуі және өзін-өзі тазалау табиғи механизмдерін пайдалануға негізделген. Биоремедиацияның эффективтілігін арттыру мақсатында микроорганизмдердің моно- емес, аралас дақылдары пайдаланылатыны белгілі, оларды алу үшін цианобактериялар мен микробалдырлардың және фото- және гетеротрофты микроорганизмдердің түрішілік өзара әсерінің ерекшеліктерін ескере отыру қажет. Зерттеудің мақсаты модельді зерттеулерде ауыр металдарға төзімді жоғары сатылы су өсімдіктері (ЖССӨ), цианобактерия дақылдары және микробалдырлардың өзара байланысын, олардан ассоциация құру мақсатында зерттеу. Зерттеу нәтижелері бойынша, биоремедиация үшін перспективті ЖССӨ мен фототрофты микроорганизмдердің консорциумын құру үшін дақылдар таңдалынып алынды. Зерттелген жоғары сатылы су өсімдіктерінен бірлесіп тіршілік етуге *Pistia stratiotes*-те *Phormidium autumnale* I-5 және *Anabaena variabilis* RI-5 цианобактерияларының дақылдарымен байқалатыны дәлелденді. Зерттелінген микробалдырлардың *Ankistrodesmus* sp. BI-1 және *Senedesmus quadricauda* B-1 дақылдары *Pistia stratiotes* жоғары сатылы су өсімдігімен консорт бола алатындығы анықталды.

Түйін сөздер: жоғары сатылы су өсімдігі, цианобактериялар, микробалдырлар, консорциум.

Введение

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 микроорганизмов, принадлежащих к различным видам цианобактерий и микроводорослей (Таубаев Т.Т., 2000: 113). 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. (Chong A.M., 2000: 251). 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. Консорция – минимальная структурная единица биоценоза, состоящая из разнородных организмов, которые в течение всей жизни или отдельных периодов находятся в тесных и полезных контактных отношениях друг с другом (Романенко В.Д., 2005:45).

Высшие водные растения составляют многочисленную группу гидробионтов, которая оказывает разностороннее влияние на жизнь водоемов и водотоков - от создания пастбищ, убежищ и нерестилищ для различных представителей водной фауны до усиления процессов самоочищения - самозагрязнения и формирования качества воды (Ковалевский А.Л., 1977: 165). Многочисленные данные свидетельствуют об активной средообразующей роли этих растений. Они снижают концентрацию и изменяют соотношение азота и фосфора, уменьшают содержание тяжелых ме-

таллов, ускоряют снижение концентрации в воде ряда органических токсикантов, все это позволяет рекомендовать их к использованию для биологической очистки загрязненных поверхностных вод (Syeda H.B., 2016: 25). Использование в искусственных системах очистки воды консорциума организмов различных таксономических групп, применение активных штаммов микроорганизмов-деструкторов, выделение и использование устойчивых к загрязненным водам микроводорослей, введение в очищающий консорциум высших водных растений, позволяет создать новую комплексную биотехнологию очистки и восстановления водоемов, загрязненных различными поллютантами (Chojnacka K., 2010: 299). В связи с вышеизложенным, представляло интерес изучение типа складывающихся взаимоотношений в консорциуме ВВР и фототрофных микроорганизмов, с целью создания на их основе ассоциации перспективной для очистки загрязненной воды

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 (Agunakumara K.K., 2008: 60). 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 (Dunbabin J.S., 1992: 56). 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 (Ahalya N., 2003: 71).

При совместном произрастании высших растений и водорослей наиболее часто встречающейся формой взаимодействия является конкуренция. В конкурентной борьбе более быстрорастущие организмы чисто механически вытесняют медленнорастущие. А в синузях представители одного вида воздействуют на представителей соседствующего вида с помощью выделения определенных химических веществ, тормозящих или полностью подавляющих рост последних. Например, при проращивании зооспор ламинариевых водорослей в искусственных условиях проростки из них не

развиваются, если в сосудах с зооспорами находятся части талломов аскофиллума. Однако известны факты и положительного взаимодействия водорослей, в частности с высшими растениями, а именно стимулирующее действие прижизненных выделений водорослей на корни высших растений в водных экосистемах – консорциях (Кирпенко Н.И., 2011: 73). Стимуляция роста микробного сообщества ризосферы происходит за счет продуктов жизнедеятельности корневой системы растения (корневых депозитов, ризодепозитов). Они состоят из корневых экссудатов (выделений), высокомолекулярных метаболитов и утраченных частей растения (слизающихся клеток, отмерших участков корня, корневого чехлика и т.д.) (Danquah M.K., 2010: 1037). Растение также способствует изменению физико-химических условий среды обитания микроорганизмов, оказывая механическое воздействие на экосистему. Развиваясь на корневых депозитах растения, ризосферные микроорганизмы в процессе метаболизма и после отмирания микробных клеток образуют питательные вещества в формах, доступных для использования растениями. Создание корневой системы растения благоприятной среды обитания для микроорганизмов путем повышения уровня питательных веществ приводит не только к увеличению численности микробной популяции, но иногда и к заметным изменениям в составе микробного сообщества (Sorokina G.A., 2013: 182). Биотехнологическое использование ризосферного симбиоза рассматривается в настоящее время не только для создания благоприятных условий развития сельскохозяйственных растений, но и в случае фиторемедиации загрязненных вод и почв (Aurangzeb N., 2014:881).

Целью исследований являлось изучение взаимного влияния видов высших водных растений (ВВР), культур цианобактерий и микроводорослей резистентных к тяжелым металлам для формирования из них ассоциаций в модельных опытах.

Материалы и методы исследования

Объекты исследования – высшие водные растения: *Lemna minor*, *Pistia stratiotes*, *Elodea canadensis*, природные и коллекционные штаммы фототрофных микроорганизмов: *Phormidium autumnale* I-5, *Anabaena variabilis* RI-5, *Oscillatoria tenuis* RI-4, *Synechococcus elongates* I-4, *Nostoc calcicola* RI-3, *Scenedesmus quadricauda* B-1, *Chlamydomonas reinhardtii* B-4 и *Chlorella vulgaris* BB-2, *Ankistrodesmus* sp. BI-1.

Опыты проводились с использованием среды Штейнберга в люминостате при температуре 24-27С° в условиях круглосуточного освещения (2000 Лк) (Adamu Y.U., 2015: 49). В каждом опыте изучались взаимоотношения между определенными культурами микроводорослей, цианобактерий и высших водных растений. Для этого в стерильные стаканы наливали по 250 мл стерильной питательной среды, затем туда вносили культуры цианобактерий с исходной плотностью (D) - 0,1, а культуры микроводорослей вносили с исходным количеством 106 клеток/мл и помещалось по пять растений. Через 7 суток проводился анализ морфологических изменений листьев и корней растений и интенсивности роста фототрофных микроорганизмов (Thomas S., 2002: 649). Одновременно с опытными вариантами (микроводоросли+ВВР и цианобактерий+ВВР) ставили контрольные варианты по выращиванию в тех же условиях фототрофных микроорганизмов и высших водных растений в монокультуре.

Результаты исследования и их обсуждение

Целью представленной работы было изучение типа складывающихся взаимоотношений

между ВВР и фототрофными микроорганизмами, для последующего создания консорциума перспективного для очистки загрязненной воды. Объекты исследования были отобраны по результатам наших предыдущих исследований, где они показали наиболее высокую деструктивную и сорбционную активность в отношении органических загрязнителей и ионов тяжелых металлов (Zayadan B.K., 2016: 42).

Изучено синергическое действие видов ВВР и цианобактериальных культур в модельных опытах. Для этого виды высших водных растений *Pistia stratiotes*, *Elodea canadensis*, *Lemna minor* и цианобактериальных культур *Phormidium autumnale* I-5, *Anabaena variabilis* RI-5, *Oscillatoria tenuis* RI-4, *Synechococcus elongates* I-4, *Nostoc calcicola* RI-3 выращивали совместно в лабораторных условиях (Заядан Б.К., 2016: 206).

Как показывают результаты экспериментов, в монокультурах рост цианобактерий характеризуется классическими закономерностями, у разных видов отличаясь лишь скоростью и длительностью фаз развития. При совместном культивировании цианобактерий с ВВР наблюдалось изменение интенсивности роста обеих объектов исследования (таблица 1).

Таблица 1 – Влияние высших водных растений на рост цианобактерий

Культуры цианобактерий	Исходная плотность цианобактерий	Контроль, (D)	Рост цианобактерий с высшими водными растениями		
			<i>Pistia stratiotes</i>	<i>Elodea canadensis</i>	<i>Lemna minor</i>
<i>Phormidium autumnale</i> I-5	0,1±0,2	0,9±0,01	0,8±0,01	0,7±0,03	0,42±0,02
<i>Anabaena variabilis</i> RI-5	0,1±0,1	0,8 ±0,02	0,7±0,01	0,7±0,02	0,5±0,01
<i>Oscillatoria tenuis</i> RI-4	0,1±0,1	0,8±0,04	0,7±0,02	0,8±0,01	0,4±0,02
<i>Synechococcus elongates</i> I-4	0,1±0,2	0,8 ±0,02	0,3±0,01	0,7±0,02	0,4±0,01
<i>Nostoc calcicola</i> RI-3	0,1±0,2	0,7±0,01	0,5±0,01	0,6±0,02	0,5±0,01

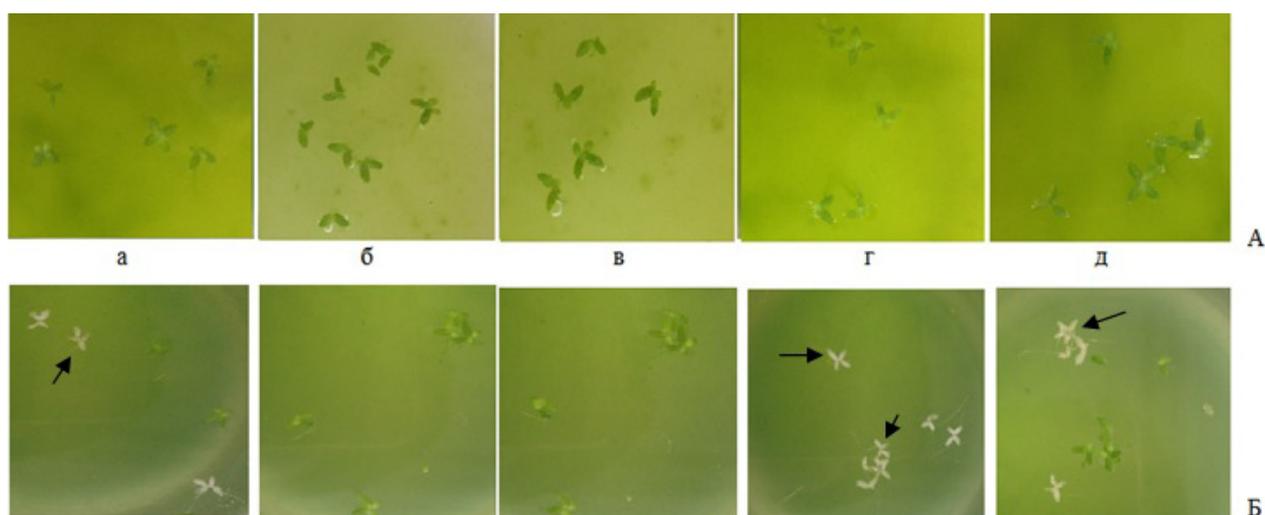
При совместном выращивании водных растений *Lemna minor* с различными цианобактериями наблюдалось значимое снижение скорости роста и времени удвоения листецов в варианте с цианобактерией *Synechococcus elongates* I- 4. При этом через 4 суток исследования листецы у рясок побелели, а затем приобрели светло-оранжевый цвет, а плотность клеток *Synechococcus elongates* I-4 снизилась на 50%. В вариантах с культурами цианобактерий *Phormidium autumnale* I-5 и *Oscillatoria tenuis* RI-4 на протяжении всего эксперимента существенного морфологического из-

менения растения не отмечено, но наблюдалось незначительное торможение роста в конце опыта. Плотность этих цианобактерий в совместном культивировании с *Lemna minor* снизилась на 53%. В вариантах опыта с культурами цианобактерий *Anabaena variabilis* RI-5 и *Nostoc calcicola* RI-3 листья растений *Lemna minor* имели зеленый цвет, отрицательных морфологических изменений не наблюдалось (рисунок 1). Таким образом установлено, что все изученные культуры цианобактерий оказывали различное влияние на рост и развитие растения *Lemna minor*.

Микроскопическое исследование растений *Lemna minor* показало, что цианобактерии растут свободно не приклепляются к корням растений.

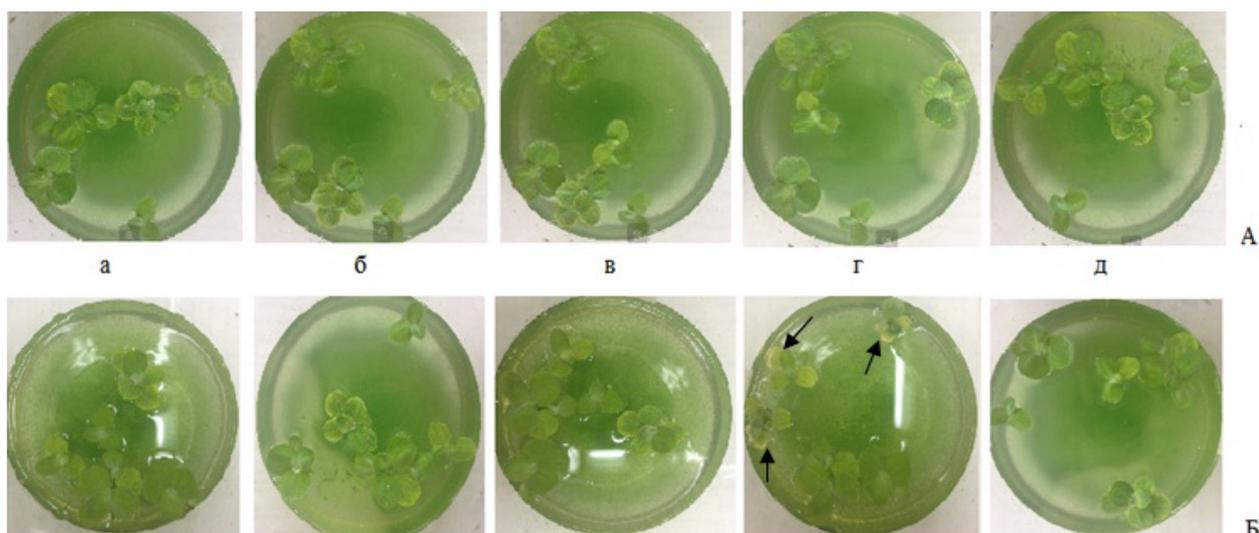
По сравнению с *Lemna minor* наилучший рост с цианобактериями наблюдался у водного растения *Pistia stratiotes*. Выявлено, что цианобактерии *Phormidium autumnale* I-5 и *Anabaena variabilis* RI-5 стимулировали рост *Pistia stratiotes*. Листья растений в этих опытных вариантах были более насыщенного цвета по сравнению с остальными

вариантами опыта. При совместном культивировании с культурой *Synechococcus elongates* I-4 на 7 сутки эксперимента отмечено появление признаков некрозов и хлорозов в листьях писти (рисунок 2). Между культурой *Synechococcus elongates* I-4 и *Pistia stratiotes* складывается форма антибиоза в отношении ВВР, при которой одна популяция отрицательно влияет на другую, но сама не испытывает ни отрицательного, ни положительного влияния (Сакевич А.И., 2005: 104)..



(А – начало культивирования, Б – через 7 суток культивирования)
 а- *Phormidium autumnale* I-5, б-*Nostoc calcicola* RI-3, в-*Anabaena variabilis* RI-5,
 г-*Synechococcus elongates* I- 4, д – *Oscillatoria tenuis* RI-4

Рисунок 1 – *Lemna minor* при совместном выращивании с цианобактериями



(А – начало культивирования, Б – через 7 суток культивирования) а- *Phormidium autumnale* I-5,
 б-*Nostoc calcicola* RI-3, в-*Anabaena variabilis* RI-5, г-*Synechococcus elongates* I- 4, д – *Oscillatoria tenuis* RI-4.
 Стрелками указано признаки некрозов и хлорозов в листьях писти

Рисунок 2 – *Pistia stratiotes* при совместном выращивании с цианобактериями

По результатам микроскопического исследования из изученных цианобактерий возможность к образованию консорциума с ВВР *Pistia stratiotes* наблюдалось у культур *Phormidium autumnale* I-5 и *Anabaena variabilis* RI-5. Клетки цианобактерий росли в основном прикрепляясь к корням растений (рисунок 3). При совместном культивировании с культурами *Oscillatoria tenuis* RI-4 и *Nostoc calcicola* RI-3 ярко выраженных изменений в морфологии *Pistia stratiotes* не выявлено. Установлено, что клетки данных культур цианобактерий и *Pistia stratiotes* не оказывают никакого воздействия друг на друга, что свидетельствует о нейтральном типе взаимоотношений между ними.

Elodea canadensis по сравнению с *Pistia stratiotes* и *Lemna minor* погружены целиком в воду и не могут держаться вне её. Установлено, что все исследованные цианобактерии оказывали отрицательное влияние на рост элодеи. При этом на начальном этапе эксперимента заметных морфологических изменений не наблюдалось, но в последующие дни во всех вариантах опыта развивался хлороз по краям листьев, затем и между жилок. В конце эксперимента хлороз распространялся на главные жилки (Усенко О.М., 2005:55).

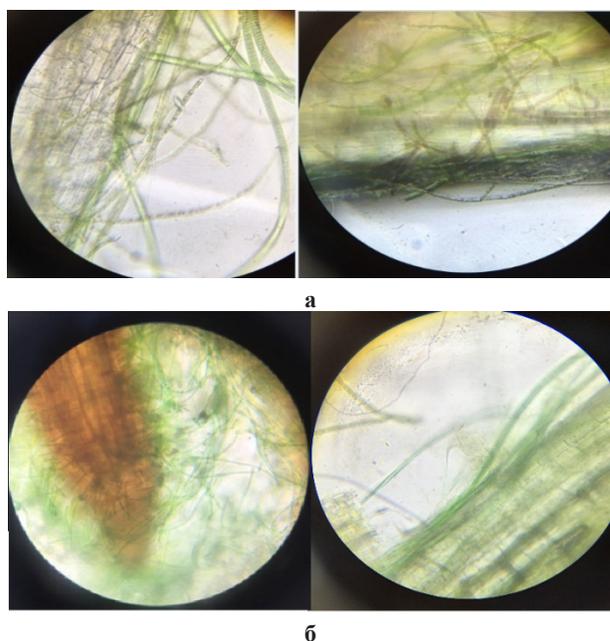


Рисунок 3 – *Phormidium autumnale* I-5 (а) и *Anabaena variabilis* RI-5 (б) прикрепленные к корням *Pistia stratiotes* x40

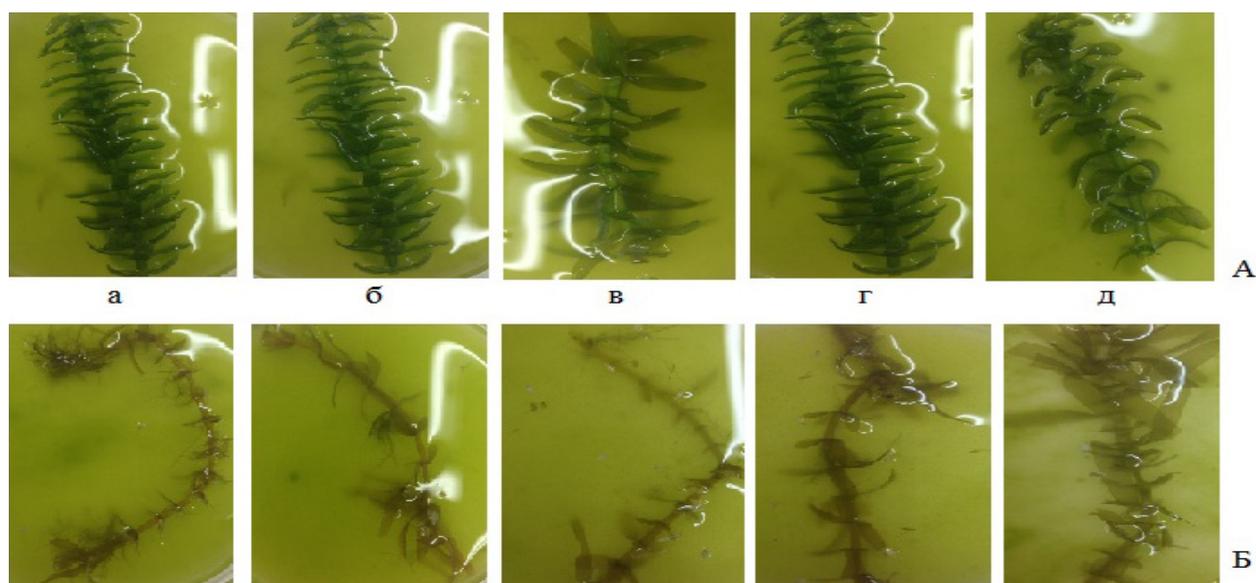
Таким образом, исследование взаимоотношений культур цианобактерии и *Elodea canadensis*

показало, что все культуры цианобактерий заметно ограничивают рост *Elodea canadensis*, тогда как растение не влияет на их рост (рисунок 4). Это означает, что взаимоотношения между этими организмами можно определить, как аменсальные, чему соответствуют количественные соотношения показателей максимального числа цианобактерий и отмирание растений. Имеющаяся в литературе информация свидетельствует о том, что токсические вещества, выделяемые цианобактериями могут негативно влиять на водные растения. Так, имеются сведения о том, что микроцистин выделяемый цианобактериями существенно угнетает фотосинтез в следствии уменьшения содержания хлорофилла *a* в отношении *Elodea canadensis* и *Ceratophyllum demersum* (Бауенова М.О., 2016: 117).

Таким образом, из изученных высших водных растений способность к совместному существованию 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 elongates* I-4 оказывала токсическое действие на все исследованные высшие водные растения. С культурой *Lemna minor* положительное сосуществование наблюдалось у цианобактерий *Anabaena variabilis* RI-5 и *Nostoc calcicola* RI-3. Остальные цианобактерии оказывали отрицательное влияние на рост *Lemna minor*.

Для определения синергического действия видов высших водных растений *Pistia stratiotes*, *Elodea canadensis*, *Lemna minor* и микроводорослевых культур *Scenedesmus quadricauda* В-1, *Chlamydomonas reinhardtii* В-4 и *Chlorella vulgaris* ВВ-2, *Ankistrodesmus* sp. В1-1 выращивали их совместно в лабораторных условиях. Как видно из таблицы 2, при совместном культивировании клеток микроводорослей и высших водных растений, наблюдалось увеличение числа клеток микроводорослей и высших водных растений.

Изменение интенсивности роста в смешанных культурах с высшими водными растениями зафиксированы для *Chlamydomonas reinhardtii* В-4. Численность *Chlamydomonas reinhardtii* В-4 в монокультуре за 7 суток выращивания увеличивалась в $7,9 \pm 0,02$ млн. кл/мл, а в совместном культивировании с растениями снизилась на 27%. В конце опыта наблюдалось осаждение на дно сосуда клеток микроводорослей *Chlamydomonas reinhardtii* В-4 в варианте с *Pistia stratiotes*.



(А – начало культивирования, Б – через 7 суток культивирования) а- *Phormidium autumnale* I-5, б-*Nostoc calcicola* RI-3, в-*Anabaena variabilis* RI-5, г-*Synechococcus elongates* I- 4, д – *Oscillatoria tenuis* RI-4

Рисунок 4 – *Elodea canadensis* при совместном выращивании с цианобактериями

Таблица 2 – Влияние высших водных растений на рост микроводорослей

Культуры микроводорослей	Исходное количество клеток, 10 ⁶ кл/мл	Контроль, 10 ⁶ кл/мл	Рост микроводорослей с высшими водными растениями, 10 ⁶ кл/мл		
			<i>Pistia stratiotes</i>	<i>Elodea canadensis</i>	<i>Lemna minor</i>
<i>Scenedesmus quadricauda</i> B-1	1,0 ±0,2	8,5±0,01	7,8±0,01	8,4±0,03	8,5±0,02
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i> B-4	1,0±0,1	7,9 ±0,02	6,0±0,01	5,8±0,02	6,7±0,01
<i>Chlorella vulgaris</i> BB-2	1,0±0,1	9,2±0,04	9,7±0,02	9,5±0,01	9,7±0,02
<i>Ankistrodesmus sp.</i> BI-1	1,0±0,2	9,1 ±0,02	8,4±0,01	8,6±0,02	8,5±0,01

У культуры *Scenedesmus quadricauda* B-1 при совместном выращивании с *Elodea canadensis* и *Lemna minor* торможение роста клеток не наблюдалось, но при культивировании с *Pistia stratiotes* рост клеток был ниже на 8%. Однако при микроскопическом исследовании было установлено, что клетки *Scenedesmus quadricauda* B-1 в основном прикреплены на корнях растений *Pistia stratiotes* (рисунок 5), с чем по видимому и связано уменьшение количество клеток водорослей в суспензии. При культивировании *Scenedesmus quadricauda* B-1 с *Elodea canadensis* и *Lemna minor* прикрепления клеток к корням или на стебли растения не наблюдалось.

При совместном выращивании микроводоросли *Chlorella vulgaris* BB-2 с высшими водными растениями наблюдалось стимуляция роста хлореллы. Установлено, что в среднем количество клеток хлореллы на 5% больше по сравнению с контрольным вариантом без высших водных растений. Не исключено что водоросли могут получать от сосудистых растений в качестве питательного субстрата органические соединения, чем возможно и объясняется незначительное увеличение количества клеток. Однако по результатам микроскопического исследования выявлено, что клетки хлореллы размножались свободно не прикрепляясь к растениям. И отрицательного влияния микроводоросли

хлореллы на высшие водные растения в свою очередь тоже не наблюдалось. Установлено, что между клетками *Chlorella vulgaris* ВВ-2 и всеми изученными высшими водными растениями сформировался нейтральный тип взаимоотношения.

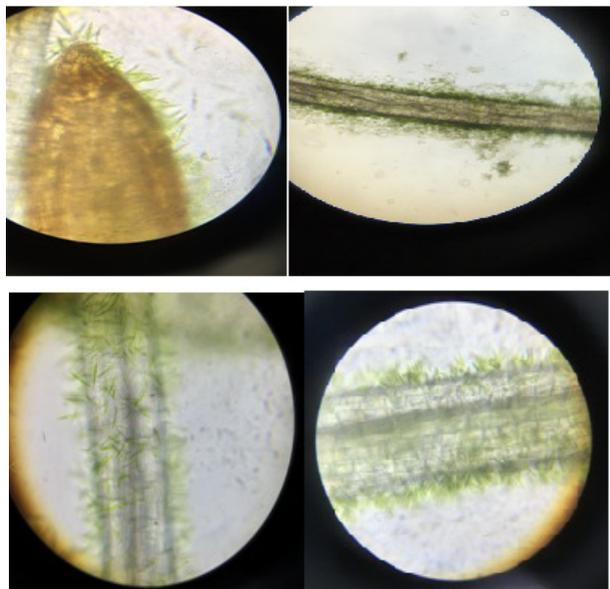
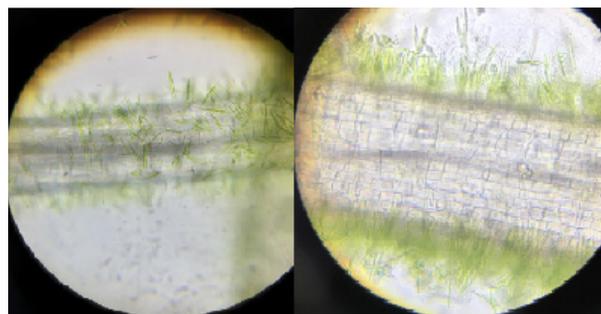


Рисунок 5 – Корни *Pistia stratiotes* с прикрепленными клетками *Scenedesmus quadricauda* В-1, x40

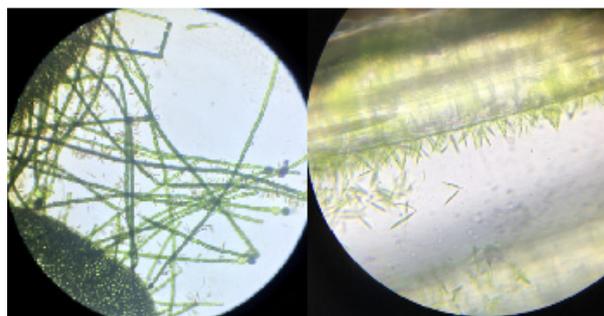
Аналогичная картина наблюдалась и между культурой *Ankistrodesmus sp.* В1-1 и высшими водными растениями. Установлен, симбиозный тип взаимоотношения между данными объектами исследований. Во всех изученных видах высших водных растений клетки *Ankistrodesmus sp.* В1-1 развивались активно, заметных уменьшений количества клеток по сравнению с контролем не установлено. Микроскопический анализ показал прикрепление к корням растений *Pistia stratiotes* и *Lemna minor* клеток *Ankistrodesmus sp.* В1-1 (рисунок 6).

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что взаимовлияния ВВР и фототрофных микроорганизмов нельзя рассматривать как однозначно негативное либо положительное. Как известно, взаимодействие видов – это обмен веществ и информации за счет выделения метаболитов, которые прямо или опосредованно могут влиять на рост и развитие других организмов. Взаимодействие ВВР и фототрофных микроорганизмов, обусловленное их экзопродуктами, может разнонаправ-

ленно регулировать интенсивность развития представителей альгофлоры. С одной стороны, растворенные в воде органические соединения могут способствовать развитию водорослей, позволяя им ими питаться, с другой стороны, именно метаболитное взаимодействие во многом определяет их взаимное неблагоприятное влияние.



a



б

Рисунок 6 – Корни *Pistia stratiotes* (а) и *Lemna minor* (б) с прикрепленными клетками *Ankistrodesmus sp.* В1-1, x40 и x90

По результатам наших исследований при совместном выращивании культуры микроводорослей с высшими водными растениями значимых отрицательных влияний между ними не наблюдалось. Определено, что из изученных высших водных растений способность к совместному существованию с цианобактериями наблюдалась у *Pistia stratiotes* с культурами *Phormidium autumnale* I-5 и *Anabaena variabilis* RI-5, а из изученных видов микроводорослей культуры *Ankistrodesmus sp.* В1-1 и *Scenedesmus quadricauda* В-1 могут быть консортами высшего водного растения *Pistia stratiotes* и позволяет нам рекомендовать его в процессах очистки вод различного назначения от ионов тяжелых металлов.

Литература

- 1 Таубаев Т.Т., Буриев С. Культивирование и применение микроводорослей в народном хозяйстве // Материалы Респ. конф. – Ташкент: Фан. – 2000. – С. 113–115.
- 2 Chong, A.M., Wong, Y.S., Tam, N.F. Performance of different microalgal species in removing nickel and zinc from industrial wastewater // *Chemosphere*. – 2000. № 41. – С. 251–257.
- 3 Романенко В.Д., Сакевич А.И., Усенко О.М. Метоболические механизмы взаимодействия высших водных растений и цианобактерий – возбудителей «цветения» воды // *Гидробиол. журн.* -2005. –Т.41, № 3 – С.45-57.
- 4 Ковалевский А.Л. О поглощении химических элементов растениями из твердой, жидкой и газообразной фаз внешней среды // *Физиология и продуктивность растений в Забайкалье*. – Улан-Уде: Бурят. кн. изд-во, – 1977. – С. 163-174.
- 5 Syeda H.B., Iftikhar A., Muhammad M.H., Ashid M. Phytoremediation potential of *Lemna minor* L. for heavy metals // *International Journal of Phytoremediation*. – 2016. – Vol. 18, № 1. – P. 25-32.
- 6 Chojnacka, K. Biosorption and bioaccumulation – the prospects for practical applications. // *Environ. Int.* 36. – 2010, – P. 299–307.
- 7 Arunakumara, K.K., Zhang, X. Heavy metal bioaccumulation and toxicity with special reference to microalgae. // *Ocean Univ. Chin.* – 2008, – Vol. 7. – P. 60–64
- 8 Dunbabin J. S., Bowner K. H. Potential use of constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters containing metals // *Sci. Total. Environ.* – 1992. – Vol. 111, № 2/3. – P. 56–60.
- 9 Ahalya, N., Ramachandra, T.V., Kanamadi, R.D. Biosorption of heavy metals. // *Res. J. Chem. Environ.* – 2003, – Vol. 7, № 4. – P. 71–79.
- 10 Кирпенко Н.И. Физиолого-биохимические эффекты взаимодействия водорослей в смешанных культурах // *Гидробиол. журн.* – 2011. – Т. 47, №5. – С. 73-87.
- 11 Danquah M. K. Bioprocess engineering of microalgae to produce a variety of consumer products // *Renew. Sust. Energ. Rev.* – 2010. – V. 14, №. 3. – P. 1037–1047.
- 12 Sorokina G.A., Zlobina Ye.V., Bondareva L.G., Subbotin M.A. The use possibility assessment of water lettuce (*pistia stratiotes*) and small duckweed (*lemna minor*) for the aquatic environment phytoremediation // *Ecology*. – 2013. –Vol. 11. – P. 182-186.
- 13 Aurangzeb N, Nisa S, Bibi Y, Javed F, Hussain F. Phytoremediation potential of aquatic herbs from steel foundry effluent // *Brazilian J Chem Eng.* – 2014. – Vol. 31, №4, – P. 881_886.
- 14 Adamu Y.U., Tijjani S. I., Salisu M. T. The use of *pistia stratiotes* to remove some heavy metals from romi stream: a case study of kaduna refinery and petrochemical company polluted stream // *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT)*. – 2015. –Vol. 9(1).- P. 48-51.
- 15 Thomas S. Algae cultivation for food and feeds // *Energy conserv. and use renewable energ.* – Oxford, – 2002. – P. 649 – 658.
- 16 Zayadan B.K., Akmuhanova N.R., Sadvakasova A.K., Kirbaeva D.K., Bolatkhan K., Bauyenova M.O. Influence of heavy metals on fluorescence activity of perspective strains of microalgae and cyanobacteria // *International journal of biology and chemistry, Almaty, Kazakhstan*, – 2016, – Vol 9, № 1. – P. 42-45.
- 17 Заядан Б.К., Садвакасова А.К., Акмуханова Н.Р., Болатхан К., Бауенова М.О. Коллекция микроводорослей и цианобактерий КазНУ имени аль-Фараби и перспективы ее использования // *Вестник КазНУ, серия биологическая*, – 2016. –Vol 1, № 66, -P. 206-215.
- 18 Сакевич А.И., Кирпенко Н.И., Медведь В.А. Влияние полифиналов высших водных растений на функциональную активность планктонных водорослей // *Гидробиол. журн.* -2005. –Т.42, № 4 – С.104-116.
- 19 Усенко О.М., Сакевич А.И. Аллелопатическое влияние высших водных растений на функциональную активность планктонных водорослей // *Гидробиол. журн.* -2005. –Т.41, № 1 – С. 55-67.
- 20 Бауенова М.О., Акмуханова Н.Р., Садвакасова А.К., Заядан Б.К., Болатхан К., Кирбаева Д.К., Алим Н.А., Каныбек Г.К. Изучения действия тяжелых металлов (Zn, Cd, Pb, Cu) на рост и развитие *E. Canadensis* в модельных опытах // *Вестник КазНУ, серия экологическая*. -2016. – Т. 49, № 4. – С. 117-123.

References

- 1 Taubaev TT, Buriev S (2000) Cultivation and application of microalgae in the national economy, Materials of the Republican Conference. – Tashkent: Fan. [Kultivirovanie i primenenie mikrovodoroslei v narodnom hozystve, Materialy Respublikanskoi konferencii Tashkent: Fan.] 113-115. (In Russian)
- 2 Romanenko VD, Sakevich AI, Usenko OM Metabolic mechanisms of interaction of higher aquatic plants and cyanobacteria – causative agents of "flowering" of water, Hydrobiological journal [Metabolicheskie mehanizmy vzaimodeistvia vysshih vodnyh rastenii i cianobakterii – vobuditelei «cvetenie» vody, Gidrobiol. zhurn.] 3 (41): 45-57. (In Russian)
- 3 Chong AM, Wong YS, Tam NF (2000) Performance of different microalgal species in removing nickel and zinc from industrial wastewater, *Chemosphere*. 41:251–257.
- 4 Kovalevskii AL (1977) On the absorption of chemical elements by plants from the solid, liquid and gaseous phases of the external environment, Physiology and productivity of plants in Transbaikalia [O poglashenii himicheskikh elementov rasteniami iz tverdoi, zhidkoi i gazoobraznoi faz vneshnoi sredy, Fizizologia i produktivnost rastenii v zabaikale] 163-174. (In Russian)
- 5 Syeda H B, Iftikhar A, Muhammad M H, Ashiq M (2016) Phytoremediation potential of *Lemna minor* L. for heavy metals, *International Journal of Phytoremediation*, 18(1): 25-32, DOI: 10.1080/15226514.2015.1058331

- 6 Chojnacka K (2010) Biosorption and bioaccumulation – the prospects for practical applications, *Environ. Int.* 36:299–307.
- 7 Arunakumara, KK, Zhang X (2008) Heavy metal bioaccumulation and toxicity with special reference to microalgae, *Ocean Univ. Chin.* 7:60–64
- 8 Dunbabin J S, K H Bowner (1992) Potential use of constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters containing metals, *Sci. Total. Environ.* 111(2/3):56–60.
- 9 Ahalya N, Ramachandra TV, Kanamadi RD (2003) Biosorption of heavy metals, *Res. J. Chem. Environ.* 7(4):71–79.
- 10 Kirpenko NI (2011) Physiological and Biochemical Effects of Algal Interaction in Mixed Crops, *Hydrobiological journal [Fiziologo – biokhemichekieskie effect vzaimovleniya vodoroslei v smeshannyh kulturah, Gidrobiol. zhurnal]* 5 (47):73-87. (In Russian)
- 11 Danquah MK (2010) Bioprocess engineering of microalgae to produce a variety of consumer products, *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 14 (3):1037–1047.
- 12 Sorokina GA, Zlobina YeV, Bondareva LG, Subbotin MA (2013) The use possibility assessment of water lettuce (*Pistia stratiotes*) and small duckweed (*Lemna minor*) for the aquatic environment phytoremediation, *Ecology.* 11:182-186.
- 13 Aurangzeb N, Nisa S, Bibi Y, Javed F, Hussain F. (2014) Phytoremediation potential of aquatic herbs from steel foundry effluent, *Brazilian J Chem Eng.* 31 (4):881-886.
- 14 Adamu YU., Tijjani S I, Salisu MT (2015) The use of *Pistia stratiotes* to remove some heavy metals from Romi stream: a case study of Kaduna refinery and petrochemical company polluted stream, *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT).* 9(1):48-51.
- 15 Thomas S (2002) Algae cultivation for food and feeds, *Energy conserv. and use renewable energ.* – Oxford, 649 – 658.
- 16 Zayadan BK, Akmuhanova NR, Sadvakasova AK, Kirbaeva DK, Bolatkhan K, Bauyenova MO (2016) Influence of heavy metals on fluorescence activity of perspective strains of microalgae and cyanobacteria, *International journal of biology and chemistry, Almaty, Kazakhstan,* 9 (1):42-45.
- 17 Zayadan BK, Sadvakasova AK, Bolathhan K, Bauyenova MO (2016) Collection of microalgae and cyanobacteria of KazNU named after al-Farabi and prospects of its use, *Bulletin of KazNU, biological series [Kollekcia mikrovodoroslei i cianobakterii KazNU imeni al-Farabi I perspektivy ee ispolzovanie, Vestnik KazNU, seria biologicheskaya],* 1(66):206-215. (In Russian)
- 18 Sakevich AI, Kirpenko NI, Medved VA (2005) The influence of polyphenols of higher aquatic plants on the functional activity of plankton algae, *Hydrobiological journal [Vlianiya polifinalov vysshyyh vodnyh rastenii na funktsionalnyu aktivnost planktonnyh vodoroslei, Gidrobiol. zhurnal]* 4(42):104-116. (In Russian)
- 19 Usenko OM, Sakevich AI (2005) Allelopathic influence of higher aquatic plants on the functional activity of planktonic algae, *Gidrobiol. Journal. [Allelopatheskoe vlianie vysshyyh vodnyh rastenii na funktsionalnuiu aktivnost planktonnyh vodoroslei, Gidrobiol. zhurnal]* 1(41):55-57. (In Russian)
- 20 Bauyenova MO, Akmuhanova NR, Sadvakasova AK, Zayadan BK, Bolatkhan K, Kirbaeva DK, Alim NA, Kanybek GK (2016) Studies of the effect of heavy metals (Zn, Cd, Pb, Cu) on the growth and development of *E. Canadensis* in model experiments, *Bulletin of KazNU, ecological series [Izucheniya deistvia tyazhelyh metallov (Zn, Cd, Pb, Cu) na rost i razvitie E. Canadensis v modelnyh opytah, Vestnik KazNU, seriya ekologicheskaya].* 4(49):117-123. (In Russian)