

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

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

**Продуцируемые
цианобактериями токсины
в период цветения воды озера
Биликоль**

Bolatkhon K., Akmuhanova N.R.,
Sadvakasova A.K., Bauenova
M.O., Zayadan B.K.

Al-Farabi kazakh national university,
Kazakhstan, Almaty

**Toxins produced by
cyanobacteria during flowering
water lake Bilikol**

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

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

**Билікөл көлінің гүлдену
кезеңіндегі цианобактериялар
өндіретін токсиндер**

Изучение альгоценозов озера Биликоль показало преобладание зеленых водорослей по таксонам и сине-зеленых микроводорослей по частоте встречаемости. Видовое разнообразие определенных микроводорослей оз. Биликоль относилось к 4 отделам, 9 классам, 9 порядкам, 17 семействам, 36 родам и 102 видам. При испытании экстракта проб планктона оз. Биликоль смертность дафний при концентрации биомассы 1 мг/мл через 24 ч. составила 85-90%. Увеличение концентрации экстракта до 10 мг/мл вызвало гибель всех тест-объектов. По результатам исследования экстракты пробы планктона оз. Биликоль оцениваются как весьма сильно токсичные по четырехбальной системе Строганова, поскольку по сравнению с контролем за 48 часов наблюдается полная гибель всех клеток тест-объекта. Проведен анализ экстрактов лиофилизированной биомассы фитопланктона, собранных в период «цветения» воды в озере Биликоль с использованием высокоэффективной жидкостной хроматографии. Установлено наличие в биомассе трех структурных вариантов гепатотоксичных микроцистинов: Microcystin-RR, 7-Demethylmicrocystin RR и Microcystin-LR. Присутствие в биомассе фитопланктона микроцистинов в летний период, очевидно, связано с активным развитием популяций цианобактерий из родов Microcystis, Anabaena и др. Определено, что в условиях «цветения» воды недопустимо использование озера Биликоль в качестве рекреационных водоемов, поскольку это угрожает здоровью людей и животных.

Ключевые слова: альгофлора, альгоценоз, микроводосли, токсин, цианобактерии.

Study algocenoses of the lake Bilikol showed a preponderance of green algae on toxin and blue-green microalgae by frequency of occurrence. Species diversity of certain microalgae lake Bilikol belonged to the 4 divisions, 9 classes, 9 orders, 17 families, 36 genera and 102 species. High species richness differed in the phytoplankton of the lake Bilikol green and blue-green algae, their number of species, varieties and forms is slightly more than half of the taxonomic list (60% of the total). Cyanobacteria in the phytoplankton of the lake Bilikol ranked second in species richness, and of the first. As a result of the analysis of certain types of indicator-saprobity cyanobacteria lake Bilikol we identified 12 species and varieties of indicator species of cyanobacteria. Modern combination chromatography and mass spectrometry are the most sensitive and selective methods of analysis of natural toxins, providing reliable identification. HPLC extracts of dried biomass of planktonic algae identified in lake Bilikol three structural variants hepatotoxic microcystins: Microcystin-RR, 7-Demethylmicrocystin RR and Microcystin-LR. Judging from the largest peak at chromatograms, in the study of biomass is dominated by Microcystin-LR. The presence of phytoplankton biomass microcystins in summer, obviously, connected with the active development of cyanobacteria from birth by Microcystis, Anabaena, etc. It was determined that the «flowering» of the water of the lake Bilikol is not valid as recreational reservoirs, because it threatens the health of people and animals.

Key word: toxin, cyanobacteria, microalgae, algaeflora, algocenosis.

Билікөл көлінің альгоценозын зерттеу нәтижесі жасыл балдырлардың таксондарының, ал кездесу жиілігі бойынша көк жасыл балдырлардың басым болатынын көрсетті. Билікөл көлінен анықталған микробалдырлардың алуантүрлілігі бойынша 4 бөлімге, 9 классқа, 9 қатарға, 17 тұқымдасқа, 36 туысқа және 102 түрге жіктелді. Жоғары сұйықтық хроматографияны қолдана отырып Билікөл көліндегі судың «Гүлдену» кезеңіндегі фитопланктон экстракттарының лиофилизденген биомассасына анализ жүргізілді. Биомассада гепатотоксикалық микроцистиннің үш құрылымдық нұсқалары: Microcystin-RR, 7-Demethylmicrocystin RR және Microcystin-LR анықталды. Жазғы кезеңде фитопланктон биомассасында микроцистиндердің болуы цианобактериялардың популяциясы Microcystis, Anabaena және басқа туыстардың белсенді дамуымен байланысты болуы мүмкін. Адам денсаулығы мен жануарларға зиян болғандықтан «гүлдену» кезеңінде Билікөл көлінің суын рекреациондық мақсатта қолдануға болмайтындығы анықталды.

Түйін сөздер: токсин, цианобактериялар, микробалдырлар, альгофлора, альгоценоз.

ПРОДУЦИРУЕМЫЕ ЦИАНОБАКТЕРИЯМИ ТОКСИНЫ В ПЕРИОД ЦВЕТЕНИЯ ВОДЫ ОЗЕРА БИЛИКОЛЬ

Введение

Вопросы экологии и охраны окружающей среды в нашей стране приобрели в последние годы чрезвычайно острый характер. Вследствие того, что многие промышленные, коммунально-бытовые и сельскохозяйственные стоки непосредственно сбрасываются в открытые водоемы без предварительной очистки, некоторые водоемы находятся в угрожающем для природы и здоровья человека состоянии, так как содержат высокие концентрации органических веществ, токсичных элементов и ионов тяжелых металлов [1].

Озеро Биликоль находится в 75 километрах к юго-востоку от города Тараз. Это самое глубокое и крупное озеро в Жамбылской области. Озеро характеризуется уникальной экосистемой. В 80-х годах прошлого века аварийные залповые сбросы сточных вод химических предприятий Жамбылской области привели к экстремально высокому уровню концентрации загрязняющих веществ в озере, что в результате привело к гибели озерной фауны и флоры. Уже с 1983 года озеро Биликоль перестало существовать как чистый водоем и вошло в приоритетный список загрязненных водоемов РК [2]. В сложившейся ситуации контроль состояния экосистемы озера Биликоль и качества его вод является весьма важной задачей. Проводимый на озере Биликоль в рамках экологического мониторинга контроль качества воды по химическим показателям, несомненно, имеет большое значение, но недостаточен для выявления направления процессов, происходящих в экосистеме озера. Наиболее полное представление о состоянии экосистемы озера Биликоль может дать сочетание химического и биологического мониторинга.

При загрязнении водных экосистем наблюдаются резкие изменения состава водных биоценозов, в т.ч. массовое развитие цианобактерий. Как правило, цианобактериальное «цветение» воды сопровождается выделением и накоплением биологически активных веществ и токсинов, представляющих опасность для человека и животных [3]. Токсины в соответствии с их активностью разделяют на две группы: *биотоксины* и *цитотоксины*. При тестировании биотоксинов обычно используют водных беспозвоночных или небольших лабораторных живот-

ных. По химической структуре и направленности действия биотоксины подразделяют на две группы – гепатотоксичные циклические пептиды (гепатотоксины) и нейротоксичные алкалоиды (нейротоксины) [4]. Гепатотоксины действуют на гепатоциты и являются канцерогенами. Нейротоксины нарушают функции нервной системы и вызывают смерть мышей в течение нескольких минут из-за паралича дыхательных мышц. Цитотоксины влияют на отдельные функции клеток, в частности ингибируют ферменты, но не убивают многоклеточный организм. Их активность исследуют на клеточных культурах млекопитающих. По химической структуре токсины цианобактерий подразделяют на три основные группы: пептиды (циклические и ациклические), алкалоиды и липополисахариды. Механизмы воздействия токсинов цианобактерий разнообразны – от гепатотоксического и нейротоксического эффекта до генотоксичности [5].

Цель работы – анализ таксономической структуры сообщества цианобактерий и его сапробиологическая оценка, а также определение состава экстрактов лиофилизированной биомассы фитопланктона на наличие токсинов озера Биликоль.

Материалы и методы исследования

Для исследования пробы воды делали в летний период во время «цветения» воды из озера Биликоль Жамбылской области, температура воды источника при этом составила +35°C, pH–7,5. Озеро Биликоль практически потеряло свое рыбохозяйственное значение, хотя когда-то из него вылавливали по 200 тонн рыбы в год. Ученые, специалисты таразского НИИ водного хозяйства считают, что необходимо детально обследовать озеро, прежде чем принимать решения о его спасении. В 1985 г. совместно с Казахским научно-исследовательским институтом водного хозяйства и центром гидрометрологии Жамбылской области были проведены работы по изучению состояния озера, дана оценка загрязнения и рекомендации по восстановлению озера попусками по р. Асса. В дальнейшем была построена плотина, разделяющая озеро на большую и малую чаши, для сохранения водоема. На 1985 г. площадь водозабора составила 5170 км², площадь водоема – 86,9 км², глубина – 6-7 м, максимальная отметка была на 835 см, на сегодняшний день отметка озера 369 см. Озеро имеет неправильную форму, линейные размеры и площадь, которая меняется в зависимости от

колебания уровня, режим которого зависит от реки Асса. Состояние озера на сегодня заново изучается после большого перерыва проведения гидрохимических наблюдений. Как показывают данные, озеро по-прежнему относится к сульфатному классу, наблюдаются высокая минерализация, фториды, БПК – 5 превышает ПДК в 22,1 раза.

Всего собрано 16 альгологических проб. При определении цианобактерий были использованы определители из серии «Определители сине-зеленых водорослей СССР» [6]. Для сбора биомассы отфильтровывали верхний 1-метровый слой. Просматривали 50 полей зрения не менее чем на 3 препаратах. Результаты выражали в количестве клеток на 1 мл воды. Число организмов оценивали по шкале частот после перечисления на 100 полей зрения. Частоту встречаемости учитывали по девятибалльной шестиступенчатой шкале частот со следующими обозначениями: 1 – очень редко; 2 – редко; 3 – нередко; 5 – часто; 7 – очень часто; 9 – масса. Виды индикаторов-микроводорослей устанавливали по определителям, указанным в списке литературы. Индекс сапробности водоема вычисляли по методу Пантле и Букка [7].

Концентрированную биомассу фитопланктона лиофильно высушивали при 70°C. Лиофилизированную биомассу фитопланктона (200 мг) выдерживали в 70%-м водном метаноле (6 мл) в течение 1 ч при комнатной температуре. Экстракт центрифугировали при 4000 г в течение 1 мин и затем использовали для высокоэффективной жидкостной хроматографии (HPLC) и тестирования токсичности.

Токсичность цианобактерии исследовалась в кратковременных (острых) опытах на тест-объекте – ветвистоусом ракообразном *Daphnia magna* Straus [8].

Токсичность цианобактерии исследовалась в кратковременных (острых) опытах на тест-объекте – ветвистоусом ракообразном *Daphnia magna* Straus [8].

Токсичность цианобактерии исследовалась в кратковременных (острых) опытах на тест-объекте – ветвистоусом ракообразном *Daphnia magna* Straus [8].

HPLC-анализ проводили на высокоэффективном жидкостном хроматографе HP 1100 Mass Spectrometer MSD SL-Ion Trap в лаборатории биотехнологии и водорослей Института микробиологии, г. Тршебонь, Чехия [9]. Циклические пептиды разделяли на аналитической колонке Zorbax XDBC8 (4,6×150 мм). Мобильную фазу

оставляли метанол – вода (линейный градиент от 30 до 100%-го метанола в течение 30 мин) со скоростью протока $0,6 \text{ мл} \cdot \text{мин}^{-1}$ при 30°C . Объем анализируемого экстракта составлял 20 мкл. Пики на выходе из колонки регистрировали с помощью двух датчиков: масс-спектрометра типа «ion-trap» и ультрафиолетового полихроматического детектора (PDA). Циклические пептиды выявляли на хроматографе при 230 нм (время удержания 10-25 мин). В ходе тандемной масс-спектрометрии определялись масс-заряды (m/z) ионизированных молекул (MSI). Идентификацию токсинов осуществляли путем сравнения молекулярных масс (масс-зарядов) соединений, по времени выхода на хроматограмме соответствующих циклическим пептидам, используя литературные данные.

Результаты и их обсуждение

По результатам исследования для альгоценозов озера Биликоль характерно преобладание зеленых водорослей по таксонам, но встречаемость сине-зеленых микроводорослей намного выше, чем первых. Все количество видов, определенных в оз. Биликоль, равно 102 видам и подвидам. Нами было определено 4 отдела, 9 классов, 9 порядков, 17 семейств, 36 родов, 102 вида (рис. 1).

Высоким видовым богатством отличались в фитопланктоне оз. Биликоль зеленые и сине-зеленые водоросли, число их видов, разновидностей и форм составляет чуть более половины таксономического списка (60% от их общего числа). Цианобактерии в фитопланктоне озера Биликоль занимали второе место по видовому богатству, а по количественному – первое.

Как известно, определение биоразнообразия микроводорослей различных водоемов позволяет с высокой степенью достоверности оценить степень загрязненности каждого водоема. Наряду с многочисленными функциями альгофлоры, водоросли благодаря стенотопности многих видов, их высокой чувствительности к условиям окружающей среды играют важную роль в биологическом анализе воды. Так, изменение их состояния от сильно загрязненного к умеренно-загрязненному сопровождается количественными сдвигами видового состава водорослей, т.е. развитие различных видов микроводорослей в большой мере зависит от изменений условий окружающей среды.

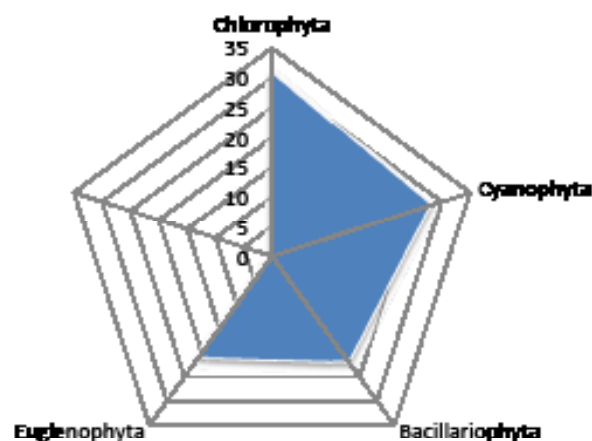


Рисунок 1 – Соотношение определенных видов микроводорослей оз. Биликоль

Таким образом изучение биоразнообразия микроводорослей водоема и определение индекса сапробности позволяет определить экологическое состояние данного объекта. В результате анализа определенных видов индикаторно-сапробных цианобактерий оз. Биликоль нами выявлено наличие 12 видов и разновидностей индикаторных видов цианобактерий (табл. 1). Так, состав видов индикаторов цианобактерий в оз. Биликоль характеризует водоем как β -мезосапробную зону органического загрязнения. Индекс сапробности по методу Пантле – Букка S равен 2,4. Основными представителями индикаторных цианобактерий в оз. Биликоль являются *Microcystis aeruginosa f pseudofilamentosa*, *Phormidium autumnale*, *Oscillatoria brevis*. По сравнению с весенним периодом видовой состав и частота встречаемости цианобактерий летом увеличилась. Если в весенний период представители рода *Microcystis* в составе альгофлоры не встречались, то в летний период представители этого рода доминируют по видовому разнообразию и частоте встречаемости над остальными видами [10].

В настоящее время известно, что около 50 видов цианобактерий способны синтезировать токсины [11]. Однако токсигенность является свойством отдельных штаммов, а не вида в целом [12]. Полевые наблюдения и лабораторные исследования культур показали, что отдельные виды цианобактерий могут включать как токсигенные штаммы, так и штаммы, не выделяющие токсины [13]. Среди цианобактерий озера Биликоль нами определены 28 видов, из них 8 являются потенциально токсигенными организмами (табл. 2).

Таблица 1 – Видовой состав *Cyanophyta* оз. Биликоль

№	Состав цианобактерий	Сапробность	S	Частота h	Sh
	<i>Anabaena variabilis</i> Kutz	-	-	3	-
	<i>Anabaena flos-aquae</i>	β	2,0	5	10
	<i>Anabaena constricta</i>	-	-	5	-
	<i>Aphanizomen flos-aquae</i>	β - α	2.25	2	4.5
	<i>Gloeopscapsa minor</i> (Kutz) Hollerb.	-	-	7	-
	<i>Microcystis aeruginosa</i>	β	1,75	5	8,75
	<i>Microcystis aeruginosa f.sphaerodictyoides</i> Elenk	β	1,75	7	12,25
	<i>Microcystis aeruginosa f.flos-aquae</i> (Wittz)Elenk.	β	1,75	3	5,25
	<i>Microcystis aeruginosa incerta</i>	β	1,8	5	9
	<i>Merismopedia glauca</i> (Ehr)Naeg.	β	1,8	3	5,4
	<i>Phormidium ambiguum</i>	-	-	3	-
	<i>Phormidium papillaterminatum</i>	-	-	7	-
	<i>Phormidium autumnale</i> (Ag) Gom.	β - α	1.95	3	5,85
	<i>Phormidium tenue</i> (Menegh)Gom	-	-	5	-
	<i>Oscillatoria sibirilissima</i> Gom.	α	3.3	3	9,9
	<i>Oscillatoria irrigua</i> (Kutz)	-	-	3	-
	<i>Oscillatoria brevis</i> (Kutz)	α	2.8	5	14
	<i>Oscillatoria planctonica</i> Wolosz	-	-	5	-
	<i>Oscillatoria tenuis</i> Ag	α	2.85	5	14
	<i>Oscillatoria angustissima</i> W. et. G.S. West	-	-	3	-
	<i>Oscillatoria willei</i> Garen	-	-	5	-
	<i>Oscillatoria lacustris</i> (Kleb)Gefl	-	-	3	-
	<i>Oscillatoria limosa</i> Ag.	β - α	2.35	5	11,75
	<i>Spirulina major</i> Kutz	-	-	5	-
	<i>Spirulina laxissima</i> G.S.West	-	-	3	-
	<i>Pseudoanabaena constricta</i>	α - p	3.5	7	24,5
	<i>Nostoc pruniforme</i>	β	2.0	5	10
	<i>Spirulina minima</i> A. Wurtz	-	-	3	-

Таблица 2 – Токсигенные виды цианобактерий оз. Биликоль

Таксон	Литературные данные
<i>Anabaena flos-aquae</i>	Porter, 1887
<i>Aphanizomen flos-aquae</i>	Jackim, Gentile, 1968 Jüttner and Watson 2007
<i>Microcystis aeruginosa</i>	Hughes et al., 1958
<i>Oscillatoria brevis</i>	Berglind et al. 1983
<i>Oscillatoria limosa</i>	Bafford et al. 1993, Giglio et al. 2011
<i>Oscillatoria tenuis</i>	Wu and Jüttner 1988 Jüttner and Watson 2007
<i>Phormidium tenue</i>	Iwase and Abe 2010
<i>Nostoc</i> sp.	Sivonen et al., 1990a; Namikoshi et al., 1990

Для определения токсичности воды озера Биликоль провели биотестирование с использованием дафний, которые широко применяются как объекты в оценке качества природных вод [14]. При этом показателем острой токсичности является гибель 50% и более дафний в анализируемой воде по сравнению с контролем в течение 24, 48 часов. При испытании экстракта проб планктона оз. Биликоль в экспериментах на тест-объекте в течение первых часов происходило значительное изменение движения рачков, что, по-видимому, объясняется поведенческой реакцией на действие токсиканта. Время гибели рачков отмечали по наступлению неподвижности (иммобилизации): дафнии опускались на дно стакана, плавательные движения отсутствовали и не возобновлялись при легком прикосновении струи воды или покачивании стакана. При испытании экстракта проб планктона оз. Биликоль смертность дафний при концентрации биомассы 1 мг/мл через 24 ч. составила 85-90%. Увеличение концентрации экстракта до 10 мг/мл вызвало гибель всех тест-объектов. По результатам исследования экстракты пробы планктона оз. Биликоль оцениваются как весьма сильно токсичные по четырехбалльной системе Строганова [15], поскольку по сравнению с контролем за 48 часов наблюдается полная гибель всех клеток тест-объекта.

По химической структуре токсины цианобактерий делятся на три основные группы: пептиды (циклические и линейные), алкалоиды и липополисахариды [16]. Первые и вторые являются вторичными метаболитами, т.е. не участвуют в генеральном метаболизме. Третьи представляют собой структурные компоненты наружной клеточной мембраны. Токсины обладают нейротоксичностью, иммунотоксичностью, генотоксичностью, мутагенностью, канцерогенностью, эмбриотоксичностью и дерматотоксичностью. Цианобактерии синтезируют гепатотоксины (микроцистины и нодулярины), цитотоксины (цилиндроспермопсины), нейротоксины (анатоксина, анатоксина (S), и сакситоксины), дерматотоксины, раздражающие токсины (липополисахариды) и другие морские биотоксины (апписиатоксины, дебромопписиатоксины, лингбиатоксина) [16].

Современные комбинации хроматографии и масс-спектрометрии являются наиболее чувствительными и избирательными методами анализа природных токсинов, обеспечивающими надежную идентификацию. HPLC экстрактов лиофилизованной биомассы планктонных водо-

рослей позволил выявить в озере Биликоль три структурных варианта гепатотоксичных микроцистинов: *Microcystin-RR*, *7-Demethylmicrocystin RR* и *Microcystin-LR* (рис. 2). Судя по величине пика на хроматограмме, в исследуемой биомассе преобладают *Microcystin-LR*. Микроцистины являются наиболее широко распространенными токсинами. Они называются так, поскольку впервые были изолированы из цианобактерии *Microcystis aeruginosa*. Микроцистины идентифицированы у планктонных пресноводных видов, принадлежащих к родам *Anabaena*, *Anabaenopsis*, *Microcystis*, *Nostoc* и *Oscillatoria*. Микроцистины, являющиеся циклическими пептидами, исключительно устойчивые соединения. В настоящее время описано более 100 структурных вариантов микроцистинов в цветениях и изолированных лабораторных штаммах. Наибольшее распространение из микроцистинов имеют микроцистины -LR, -RR и -YR, которые могут присутствовать все сразу или по отдельности. Токсичность микроцистинов для млекопитающих вызвана их способностью связываться с протеинфосфатазами. В результате ингибирования последних происходит гиперфосфорилирование белков цитоскелета гепатоцитов, что приводит к их гибели, скоплению крови в печени и смерти от геморрагического шока [17]. По патологическому эффекту и химическим свойствам микроцистин близок к термостабильному токсину бледной поганки *Amanita phalloides* Link [18]. В природной среде, особенно в темноте, они могут сохраняться месяцами, даже годами и не разрушаются даже после кипячения воды [19]. Цианобактерии могут также образовывать разнообразные циклические и линейные пептиды (цитотоксины), влияющие на отдельные функции клеток, например путем ингибирования активности ферментов.

На синтез токсинов могут также влиять экологические условия конкретных водоемов и условия культивирования штаммов [20]. При высокой концентрации фосфора в среде гепатотоксичные штаммы продуцируют больше микроцистинов. В частности, в полевых исследованиях была выявлена положительная корреляция между содержанием микроцистина в клетках *Microcystis aeruginosa* и концентрацией фосфора в среде. Аналогичная зависимость между содержанием микроцистина и концентрацией фосфора в среде была обнаружена при «цветении» воды, вызванном *Microcystis* spp. [21]. Присутствие микроцистинов в биомассе фитопланктона озера Биликоль, очевидно, связано с популяциями цианобактерий из родов

Microcystis, *Anabaena* и др. Кроме того, нужно учитывать, что все цианобактерии, относящиеся к граммотрицательному морфотипу, синтезируют липополисахариды (LPS), обладающие раздражающим действием. После отмирания цианобактерий наружная мембрана клеточной

оболочки разрушается и LPS попадают в воду. Эти соединения пирогенны и токсичны, могут вызывать кожные раздражающие и аллергические реакции у людей и животных [22]. Ирритантный эффект дает жирная кислота, входящая в состав липида А, в ядре молекулы LPS.

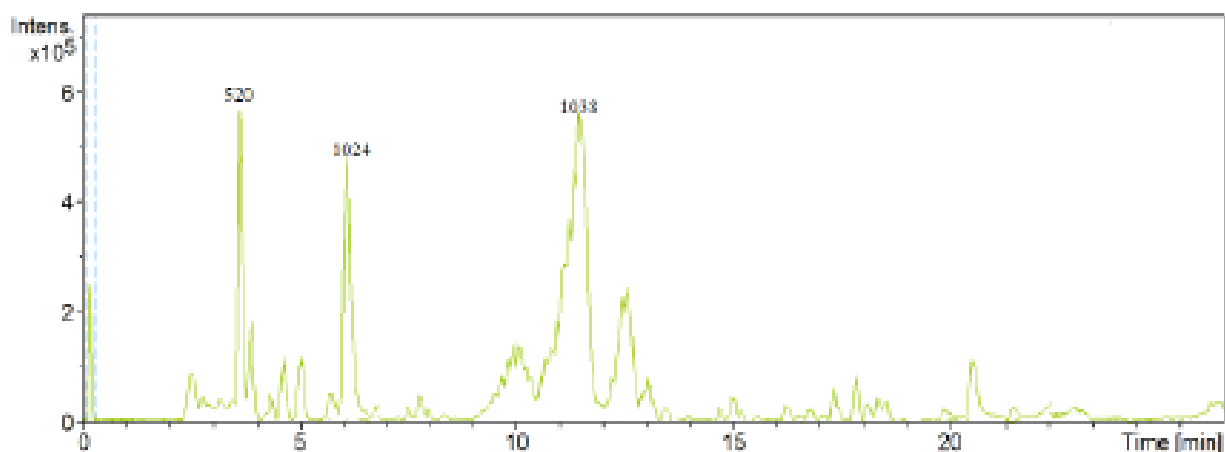


Рисунок 2 – HPLC-хроматограммы экстрактов лиофилизированной биомассы фитопланктона озера Биликоль (а).

Цифрами отмечены молекулярные массы токсинов (m/z).

520- *Microcystin-LR*, 1038 -*Microcystin-RR*, 1024- *7-Demethylmicrocystin RR*

Таким образом, на основе полученных данных можно сделать вывод о том, что усиление антропогенной нагрузки и связанное с ним повышение концентрации фосфора в воде вызвало увеличение биомассы фитопланктона в озере Биликоль. При этом необходимо отметить, что в летний период в планктоне этого водоема стали доминировать цианобактерии. По результатам исследования экстракт пробы планктона оз. Биликоль по четырехбалльной системе Строганова оценивается как весьма сильно токсичный. HPLC-анализ экстрактов лиофилизированной биомассы планктона водорослей позволил выявить в озере Биликоль три структурных варианта гепатотоксичных микроцистинов, таких как: *Microcystin-RR*, *7-Demethylmicrocystin RR* и *Microcystin-LR*. Обнаружение этих токси-

нов в биомассе фитопланктона в летний период, по-видимому, связано с активным развитием популяций цианобактерий из родов *Microcystis*, *Anabaena* и др. Как известно, токсины цианобактерий могут вызывать у человека различные заболевания, в том числе гастроэнтериты, пневмонию, разнообразные аллергические реакции, дерматиты и хронические повреждения печени. При этом особенно опасен канцерогенный эффект этих токсинов. Кроме того, массовое развитие цианобактерий снижает качество воды, придавая ей неприятные органолептические свойства. Поэтому можно сделать заключение о том, что в условиях «цветения» воды использование озера Биликоль в качестве рекреационных водоемов недопустимо, поскольку это угрожает здоровью людей и животных.

Литература

- 1 Волошко Л.Н., Плющ А.В., Титова Н.Н. (2008) Токсины Цианобактерий (Cyanobacteria, Cyanophyta) // Альгология. – Т. 18. – №1. – С. 3-21.
- 2 Шарма Н.К. Сингх С. и др. (2008) Влияние Токсинов *Nostoc Muscorum* Ag. Exborn. Et Flah. На Верхние Дыхательные Пути Мышей//Algalogia. – Т. 18. – №1. – С. 29-36.
- 3 Mazid, M.; Khan, T.; Mohammad, F. (2011) Role of secondary metabolites in defense mechanisms of plants. Biol. Med., 3. – 232-249.

- 4 Voloshko L.N., Shadrin N.V., Pinevich A.V. (2003) Biodiversity of cyanobacteria in submerged and floating mats of hypersaline lakes in Crimea Peninsula. Boitechnology of Microalgae. 5th European Workshop, June 23rd and 24th. Abstracts. 27.
- 5 Болатхан К., Садвакасова А.К. Кирбаева Д.К., Жамбакин К.Ж., Заядан Б.К. (2014) Вторичные метаболиты цианобактерий перспективные для биотехнологии// Вестник КазНУ им.аль-Фараби. Серия биологическая. №1/2(60). – Алматы: «Қазақ университеті». – С. 196-199.
- 6 Определитель сине-зеленых водорослей СССР / Отв. ред. М.М. Голлербах. – Л.: Наука, 1951. – Т. 1-14.
- 7 Сиренко Л.А., Козицкая В.Н. Биологически активные вещества водорослей и качество воды. – Изд. Наук. думка, 1988. – С. 312.
- 8 Биотестирование и водная токсикология: методические указания / сост. Е.В. Рябухина, Е.М. Фомичева; Яросл. гос. ун-т им. П.Г. Демидова. – Ярославль: ЯрГУ, 2012. – 56 с.
- 9 Дубровский Я.А., Подольская Е.П. Определение токсинов пептидной природы методом MALDI-MS (Обзор) Научное приборостроение. – 2010. – Т. 20. – № 4. – С. 21-35.
- 10 Заядан Б.К., Акмуханова Н.Р., Садвакасова А.К., Кирбаева Д.К., Болатхан К., Бауенова М.О., Сейілбек С.Н. Изучение качественного и количественного состава альгофлоры оз. Биликоль // Вестник КазНУ, серия биологическая, в печати.
- 11 Skulberg O.M. Cyanobacteria/Cyanotoxin research – looking back for future: the opening lecture on the 6th ICTC, Bergen, Norway // Environ. Toxicol, 3. – 2005. – P. 220-228.
- 12 Sivonen K. Cyanobacterial toxins and toxin production // Phycologia, 35. -1996. – P. 12-24.
- 13 Skulberg O.M. Taxonomy of toxic cyanophyceae (Cyanobacteria) / Algal Toxins in Seafood and Drinking Water. – London: Acad. Press, 1993. – P. 145-164.
- 14 10-Day Chronic toxicity test using *Daphnia magna* or *Daphnia pulex* // (1994). SOP №2028:<https://clu-in.org/download/ert/2028-R00.pdf>.
- 15 Мелеховой О.П. и Егоровой Е.И. Биологический контроль окружающей среды. Биоиндикация и биотестирование: учебное пособие. – М.: Изд. Центр «Академия», 2007. С. 243–246.
- 16 Волошко Л.Н. Токсины и другие биологически активные вещества цианобактерий // Проблемы национального сектора Балтийского региона и пути их решения. Экологическая школа в г. Петергофе – Научноград Российской Федерации: матер. регион. молод. научн. конф. – СПб.: СПбГУ. Изд. «Золотое сечение», 2007. – С. 19–30.
- 17 Carmichael W.W. (1994) The toxins of cyanobacteria // Sci. Amer., 270, N 1. – P. 78-86.
- 18 Carmichael, W.W. The cyanotoxins // Adv. Bot. Res., 27. – 1997. – P. 211-256.
- 19 Sivonen K., Jones G. Cyanobacterial toxins // Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring, and management, E & FN Spon. – London, 1999. – P. 41-111.
- 20 Kardinal W.E.A., Visser P.M. Dynamics of cyanobacteria toxins. Sources of variability in microcystin concentrations // Harmful cyanobacteria. Netherlands: Springer. – 2005. – P. 41-63.
- 21 Lahti K., Rapala J., Fardig M. et al. Persistence of cyanobacterial hepatotoxin, microcystin -LR in particulate material and dissolved in lake water // Water Res. – 1997. – 31. – N 5. – P. 1005-1012.
- 22 Voloshko L.N., Plushch A.A., Titova N.N. Toxins of cyanobacteria (Cyanophyta) // Intern. J. Algae10. – 2008. – N 1. – P. 14-33.

References

- 1 Voloshko L.N., Plushch A.V., Titova N.N. (2008) Toksiny Tsianobakterii (Cyanobacteria, Cyanophyta) // Al'gologiya, T.-18. №1. – S. 3-21.
- 2 Sharma N.K. Singkh S. i dr. (2008) Vliianie Toksinov Nostoc Muscorum Ag. Exborn. Et Flah. Na Verkhnie Dykhatel'nye Puti Myshei//Algologia, T.-18. №1. – S. 29-36.
- 3 Mazid, M.; Khan, T.; Mohammad, F. (2011) Role of secondary metabolites in defense mechanisms of plants. Biol. Med., 3, 232–249.
- 4 Voloshko L.N., Shadrin N.V., Pinevich A.V. (2003) Biodiversity of cyanobacteria in submerged and floating mats of hypersaline lakes in Crimea Peninsula. Boitechnology of Microalgae. 5th European Workshop, June 23rd and 24th. Abstracts. 27.
- 5 Bolatkhan K., Sadvakasova A.K. Kirbaeva D.K., Zhambakin K.Zh., Zaiadan B.K. (2014) Vtorichnye metabolity tsianobakterii perspektivnye dlia biotekhnologii// Vestnik Kaz NU im.al'-Farabi. Serii biologicheskaja. №1/2(60). – Almaty «Қазақ университеті», С. 196-199.
- 7 Opredelitel' sine-zelenykh vodoroslei SSSR/Otv. red. M.M. Gollerbakh. – L.: Nauka, 1951. – Т. 1-14.
- 8 Sirenko L.A., Kozitskaia V.N. (1988) Biologicheski aktivnye veshchestva vodoroslei i kachestvo vody Izd. Nauk. dumka, S.312.
- 9 Biotestirovanie i vodnaia toksikologiya: metodicheskie ukazaniia (2012)/ sost. E.V. Riabukhina, E. M. Fomicheva; Iarosl. gos. un-t im. P. G. Demidova. – Iaroslavl': IarGU, 56 s.
- 10 Dubrovskii Ia.A., Podol'skaia E.P. (2010) Opredelenie toksinov peptidnoi prirody metodom MALDI-MS (Obzor) Nauchnoe priborostroenie, tom 20, № 4, с. 21–35.
- 11 Zayadan B.K., Akmuhanova N.R., Sadvakasova A.K., Kirbaeva D.K., Bolatkhan K., Bauenova M.O., Seiilbek S.N. Izuchenie kachestvennogo i kolichestvennogo sostava al'goflory oz. Bilikol'// Vestnik KazNU, serii biologicheskaja, v pechati.
- 12 Skulberg O.M. (2005) Cyanobacteria/Cyanotoxin research – looking back for future: the opening lecture on the 6th ICTC, Bergen, Norway // Environ. Toxicol, 3. – P. 220-228.
- 13 Sivonen K. (1996) Cyanobacterial toxins and toxin production // Phycologia, 35, P. 12-24.

- 14 Skulberg O.M. (1993) Taxonomy of toxic cyanophyceae (Cyanobacteria) / Algal Toxins in Seafood and Drinking Water. – London: Acad. Press, P. 145-164.
- 15 10-Day Chronic toxicity test using *Daphnia magna* or *Daphnia pulex* // (1994). SOP №2028:<https://clu-in.org/download/ert/2028-R00.pdf>.
- 16 Melekhovoi O.P. i Egorovoi E.I. (2007) Biologicheskii kontrol' okruzhaiushchei sredy. Bioindikatsiia i biotestirovanie». Uchebnoe posobie pod red. M.: Izd. Tsentr «Akademii», S.243–246.
- 17 Voloshko L.N. (2007) Toksiny i drugie biologicheski aktivnye veshchestva tsianobakterii // Problemy natsional'nogo sektora Baltiiskogo regiona i puti ikh resheniia». Ekologicheskaiia shkola v g. Petergofe – Naukogradе Rossiiskoi Federatsii: Mater. region. mlad. nauchn. konf. Sankt-Peterburg SPb, SPbGU. Izd. «Zolotoe sechenie», S. 19–30.
- 18 Carmichael W.W. (1994) The toxins of cyanobacteria // *Sci. Amer.*, 270, N 1. – P. 78-86.
- 19 Carmichael, W.W. (1997) The cyanotoxins // *Adv. Bot. Res.*, 27. – P. 211-256.
- 20 Sivonen K., Jones G. (1999) Cyanobacterial toxins // *Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring, and management*, E & FN Spoon, London, P. 41-111.
- 21 Kardinal W.E.A., Visser P.M. (2005) Dynamics of cyanobacteria toxins. Sources of variability in microcystin concentrations // *Harmful cyanobacteria*. Netherlands: Springer, P. 41-63.
- 22 Lahti K., Rapala J., Fardig M. et al. (1997) Persistence of cyanobacterial hepatotoxin, microcystin -LR in particulate material and dissolved in lake water // *Water Res.* 31, N 5. –P. 1005-1012.
- 23 Voloshko L.N., Plushch A.A., Titova N.N. (2008) Toxins of cyanobacteria (Cyanophyta) // *Intern. J. Algae*10, N 1. – P. 14