

ФОРМИРОВАНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА ОЗЕРА БАЛХАШ (КАЗАХСТАН) ПОД ВЛИЯНИЕМ ОСНОВНЫХ РЕГИОНАЛЬНО- КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Е.Г. Крупа^{1*}, С.С. Баринава², В.Н. Цой³, Н.Н. Садырбаева³

¹РГП на ПХВ, Институт зоологии, МОН РК, Алматы, Казахстан

²Институт эволюции, Хайфский университет, Хайфа, Израиль

³Казахский Научно-Исследовательский Институт Рыбного Хозяйства, Балхаш, Казахстан

FORMATION OF PHYTOPLANKTON OF LAKE BALKHASH (KAZAKHSTAN) UNDER THE INFLUENCE OF MAJOR REGIONAL-CLIMATIC FACTORS

E.G. Krupa, S.S. Barinova, V.N. Tsoy, N.N. Sadyrbaeva (RSE on PHV Institute of Zoology, MES of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan; Institute of Evolution, University of Haifa, Haifa, Israel; Kazakh Research Institute of Fisheries, Balkhash, Kazakhstan)

Резюме. Летом 2004 г. исследовано пространственное распределение количественных показателей фитопланктона по акватории бессточного озера Балхаш в зависимости от глубины, прозрачности, температуры, величины рН воды, зарастаемости жёсткими и мягкими макрофитами. Статистический анализ и трехмерные графики (3d Surface Plots) показали важную роль температуры воды и макрофитов в распределении планктонных водорослей. Увеличение обилия водорослевых сообществ в зоне мягких и жестких макрофитов свидетельствовало об отсутствии выраженной конкуренции за питательные вещества между первичными продуцентами. Показаны различия в закономерностях формирования биотических сообществ в водоемах гумидной и аридной зон, как опосредованное влияние основных регионально-климатических факторов.

Abstract. The spatial distribution of quantitative variables of phytoplankton in the water area of the Balkhash Lake were studied in summer of 2004 in respect of the depth, transparency, temperature, pH of water, and overgrowth by hard and soft macrophytes. Statistical analysis and three-dimensional graphs (3d Surface Plots) have shown the important role of water temperature and macrophytes for the distribution of plankton algae. An increase in the abundance of algal communities in the zone of soft and hard macrophytes testified to the absence of a pronounced competition for nutrients between the both groups of primary producers. Differences in the patterns of formation of biotic communities in water bodies of the humid and arid zones were revealed as a mediated influence of the main regional climatic factors.

Ключевые слова: фитопланктон, пространственное распределение, аридный климат, озеро Балхаш, Казахстан.

Keywords: Phytoplankton, spatial distribution, arid climate, Lake Balkhash, Kazakhstan.

*Елена Григорьевна Крупа, д.б.н., Институт зоологии, МОН РК, Алматы, Казахстан, e-mail: elena_krupa@mail.ru

Поступила в редакцию: 10 Апреля 2017

1. Введение

После Каспийского и Аральского морей, Балхаш является крупнейшим водоемом Казахстана. Его длина достигает 614 км, а площадь акватории – около 16,4 тыс. км² [11]. Пролив Узун-Арал делит озеро на две части –

западную, мелководную и широкую, и восточную, глубокую и узкую. Основную роль в питании озера играет р. Или, впадающая в Западный Балхаш. Объем стока рек Каратал, Аксу, Лепсы, несущих свои воды в Восточный Балхаш, не превышает 25% суммарного.

Оз. Балхаш расположено в зоне аридного климата. Средняя максимальная температура воздуха в июле составляет 30°C, января – -9°C. Осадков выпадает в среднем 131 мм в год [16]. Регионально-климатические условия обуславливают высокие температуры, особенно в прибрежных мелководных зонах, а также повышенное суммарное содержание растворенных солей в воде озера. Уникальной особенностью Балхаша является увеличение минерализации воды вдоль его продольной оси [17]. В этом же направлении, с запада на восток, возрастают глубины, прозрачность и величина рН воды.

Систематические исследования фитопланктона озера Балхаш проводятся с 1971 г. Основное внимание уделялось изучению видового состава планктонных и бентосных водорослей [2], выделению доминантных видов, оценке уровня кормности по районам озера [1, 3, 14, 18]. Показана связь между многолетней динамикой биомассы планктонных водорослей и климатическими факторами [9, 10, 20]. В опубликованных работах приводятся средние значения биомассы, рефе численности фитопланктона для всего озера или отдельно для Западного и Восточного Балхаша.

При большой протяженности озера Балхаш его акватория существенно различается по своим гидрофизическим условиям, которые, наряду с другими природными факторами, обуславливают неоднородность пространственного распределения биологических сообществ. Фитопланктон является подвижной многовидовой системой, которая чутко реагирует на изменения окружающей среды. Целью настоящей работы является анализ связи между количественными показателями фитопланктона и такими факторами как глубина, прозрачность, температура, величина рН воды, зарастаемость акватории жёсткими и мягкими макрофитами, формирующимися под воздействием регионального аридного климата и отражающими особенности экосистемы озера Балхаш.

2. Материал и методы

Отбор проб фитопланктона проводили летом 2004 г. по сетке из 58 станций (Рис.1). На каждой станции измеряли глубину, прозрачность, температуру, рН поверхностных слоев воды, оценивали (%) зарастаемость акватории макрофитами. Пробы фитопланктона обрабатывали стандартными методами [7]. Идентификацию видов планктонных водорослей проводили с использованием определителей [5, 6, 12, 13, 15].

Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена ($p < 0,05$) между количественными показателями фитопланктона и факторами среды рассчитывали в программе Statistica 12.0. Для выявления характера изменчивости биологических показателей в градиенте средовых параметров в той же программе строили трехмерные графики (3d Surface Plots).

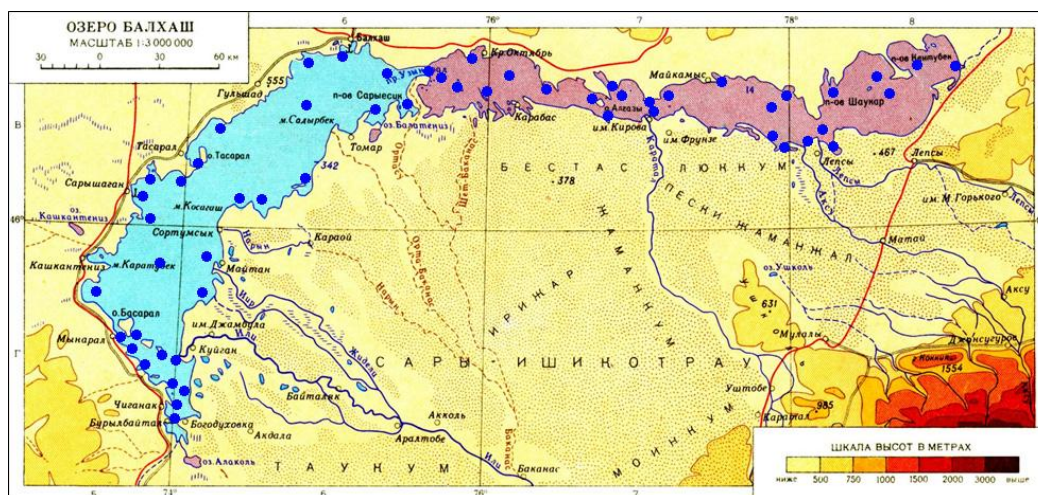


Рис. 1. Карта-схема станций отбора проб фитопланктона на оз. Балхаш, 2004 г. [3]

3. Результаты и обсуждение

Гидрофизические показатели озера Балхаш и его отдельных частей приведены в таблице 1. Западная часть озера мелководная, с меньшей прозрачностью и величиной рН воды, меньшим распространением жестких макрофитов, но большей зарастаемостью акватории мягкими макрофитами. Более глубокая восточная часть акватории, с большей прозрачностью и величиной рН воды, зарастает жесткими и мягкими макрофитами примерно в одинаковой степени.

Таблица 1. Гидрофизические показатели озера Балхаш, лето 2004 г.

| Показатель | Все озеро | Западный Балхаш | Восточный Балхаш |
|----------------------|------------|-----------------|------------------|
| температура, °С | 24,14±0,14 | 23,49±0,16 | 24,77±0,14 |
| глубина, м | 5,58±0,49 | 4,34±0,28 | 6,86±0,81 |
| прозрачность, м | 1,13±0,15 | 0,53±0,02 | 1,74±0,25 |
| жесткие макрофиты, % | 20,05±3,03 | 18,03±3,00 | 22,14±5,36 |
| мягкие макрофиты, % | 25,18±2,68 | 28,28±3,29 | 22,00±4,24 |
| рН | 8,63±0,04 | 8,52±0,02 | 8,74±0,09 |

Жесткие макрофиты, представленные преимущественно *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Schoenoplectus lacustris* (L.) Palla, предпочитали мелководные участки акватории с невысокой величиной рН воды (Рис. 2, а). Мягкие макрофиты – *Potamogeton crispus* L., *Stuckenia pectinata* (L.) Bøerner, *Chara tomentosa* Linnaeus, *Nitellopsis obtusa* (Desvaux A. N.) Groves J., *Nymphaea* sp., *Núphar* sp., *Myriophýllum spicátum* L.,

Ceratophyllum sp., на мелководных участках развивались в зонах с пониженной величиной рН, и в меньшем количестве во всем диапазоне глубин при максимальных для озера значениях рН (Рис. 2, б).

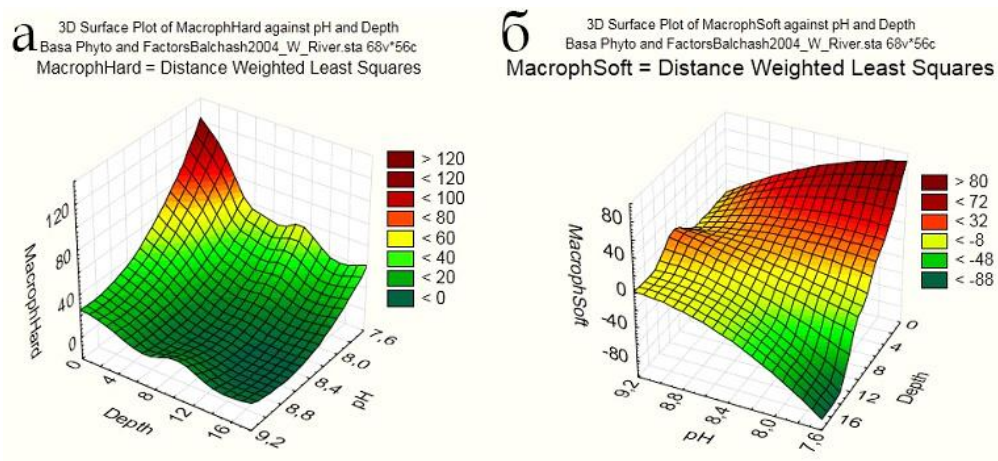


Рис. 2. Распределение жестких и мягких макрофитов (% покрытия) в зависимости от глубины и величины рН воды озера Балхаш, лето 2004 г.

В составе фитопланктона был выявлен 91 вид, в том числе зеленых – 29, диатомовых – 26, синезеленых – 21, харофитовых и эвгленофитовых – по 4, динофитовых – 3, хризифитовых – 1. Наиболее часто встречались динофитовый *Peridinium* sp., диатомовые *Cyclotella meneghiniana* Kützing, *Navicula* sp., эвгленовый *Trachelomonas* sp., зеленая *Franceia* sp., синезеленые *Snowella lacustris* (Chodat) Komárek & Hindák, *Gomphosphaeria aronina* Kützing и *Gloeocapsa* sp.

Таблица 2. Количественные показатели фитопланктона озера Балхаш, лето 2004 г.

| Часть озера | Vacillariophyta | Charophyta | Chlorophyta | Chryso-phyta | Cyano-bacteria | Dino-phyta | Euglenophyta | Всего |
|------------------------------------|-----------------|------------|-------------|--------------|----------------|------------|--------------|--------|
| численность, млн.кл/м ³ | | | | | | | | |
| Западный Балхаш | 87,0 | 6,0 | 52,3 | 2,0 | 658,4 | 16,3 | 67,4 | 889,5 |
| Восточный Балхаш | 186,5 | 5,7 | 92,3 | 0,0 | 776,1 | 12,6 | 46,3 | 1119,4 |
| среднее | 135,8 | 5,6 | 72,0 | 1,0 | 716,2 | 14,5 | 57,1 | 1002,4 |
| биомасса, г/м ³ | | | | | | | | |
| Западный Балхаш | 0,150 | 0,015 | 0,039 | 0,004 | 0,353 | 0,020 | 0,211 | 0,796 |
| Восточный Балхаш | 0,243 | 0,008 | 0,041 | 0,000 | 0,404 | 0,023 | 0,093 | 0,812 |
| среднее | 0,211 | 0,011 | 0,043 | 0,002 | 0,394 | 0,022 | 0,167 | 0,853 |

Суммарные количественные показатели планктонные водорослей находились на относительно невысоком уровне (Таб. 2). В среднем по озеру доминировали Cyanobacteria. Субдоминировали Bacillariophyta, по биомассе совместно с Euglenophyta. Суммарная численность водорослей была выше в Восточном Балхаше, при близких величинах биомассы по обеим частям акватории.

Непараметрический корреляционный анализ показал, что фитопланктон мелководных, зарастающих мягкими и жесткими макрофитами участков акватории характеризовался более высокими значениями численности и биомассы, по сравнению с глубоководной зоной, за счет видов всех отделов, кроме Chrysophyta (Таб. 3). Температура стимулировала развитие Bacillariophyta и Cyanobacteria, но ее повышение было неблагоприятным для Chrysophyta. На численность Euglenophyta отрицательное влияние оказывала только глубина, а биомасса видов этого отдела возрастала на мелководных, зарастающих мягкими макрофитами участках акватории.

Таблица 3. Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (R) между гидрофизическими и количественными показателями фитопланктона оз. Балхаш, при $p < 0.05$.

| Парные показатели | R | Парные показатели | R |
|--|--------|------------------------------------|--------|
| Bacillariophyta Ab – Жесткие макрофиты | 0.307 | Dinophyta Ab – Жесткие макрофиты | 0.314 |
| Bacillariophyta Ab – Мягкие макрофиты | 0.402 | Euglenophyta Ab – Глубина | -0.358 |
| Bacillariophyta Ab – Глубина | -0.343 | Total Ab – Глубина | -0.413 |
| Bacillariophyta Ab – Температура | 0.327 | Total Ab – Жесткие макрофиты | 0.373 |
| Bacillariophyta Vi – Мягкие макрофиты | 0.393 | Total Ab – Мягкие макрофиты | 0.329 |
| Charophyta Vi – Мягкие макрофиты | 0.318 | Total Ab – Температура | 0.388 |
| Chlorophyta Ab – Жесткие макрофиты | 0.331 | Dinophyta Vi – Глубина | -0.315 |
| Chlorophyta Vi – Жесткие макрофиты | 0.307 | Chrysophyta Vi – Температура | -0.332 |
| Chrysophyta Ab – Температура | -0.333 | Euglenophyta Vi – Глубина | -0.412 |
| Cyanobacteria Ab – Глубина | -0.327 | Euglenophyta Vi – Мягкие макрофиты | 0.406 |
| Cyanobacteria Ab – Жесткие макрофиты | 0.334 | Total Vi – Глубина | -0.429 |
| Cyanobacteria Ab – Температура | 0.367 | Total Vi – Жесткие макрофиты | 0.318 |
| Dinophyta Ab – Глубина | -0.300 | Total Vi – Мягкие макрофиты | 0.437 |
| *Ab – численность, млн.кл/м ³ , Vi – биомасса, мг/м ³ , Total – суммарная численность или биомасса фитопланктона | | | |

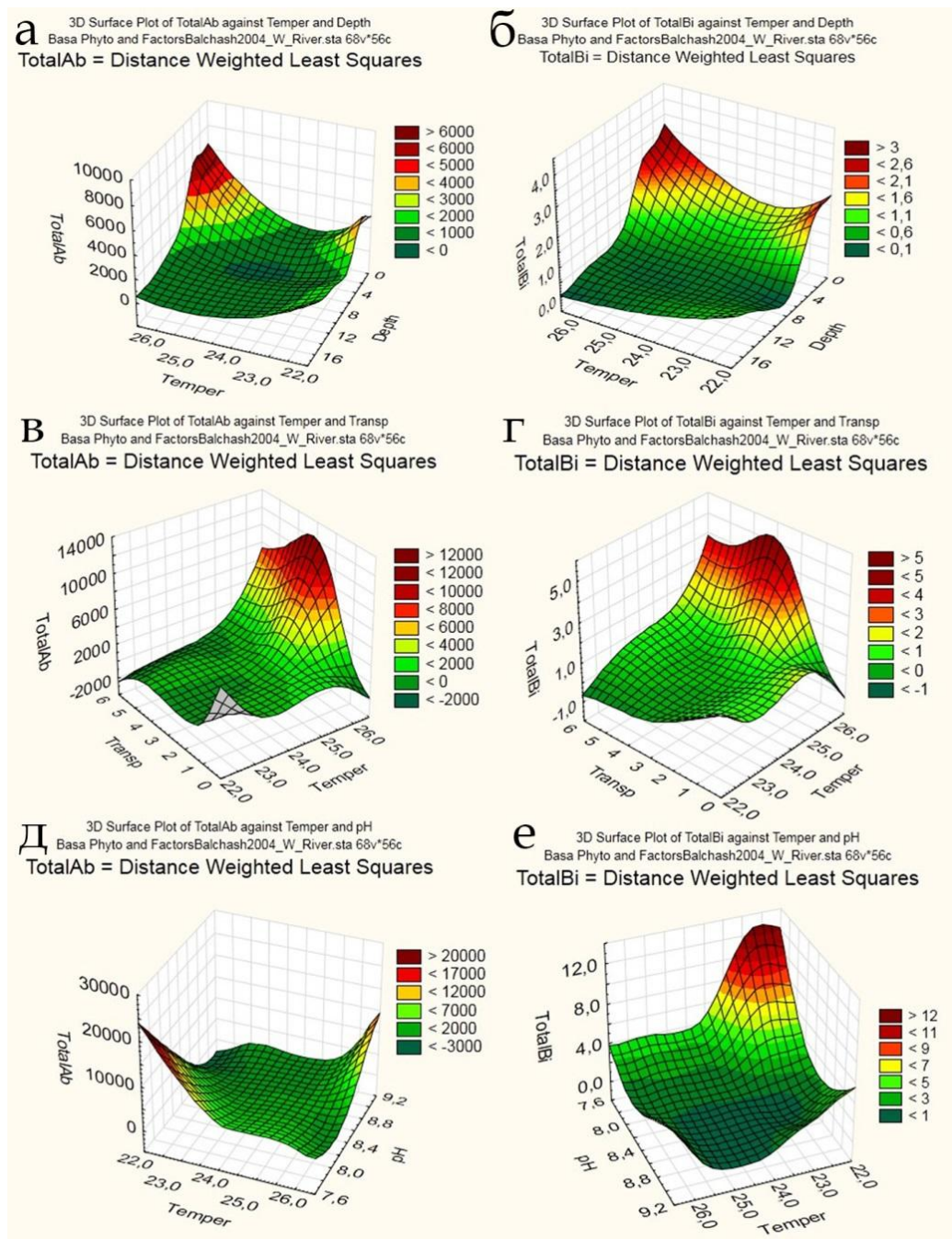


Рис. 3. Распределение численности (а, в, д) и биомассы (б, г, е) фитопланктона в зависимости от глубины, прозрачности, температуры и величины рН воды озера Балхаш, лето 2004 г.

Следует отметить, что при статистической значимости коэффициентов корреляции, в целом по озеру связь между средовыми и биотическими показателями была слабой. Это может быть обусловлено нелинейным изменением структуры фитопланктона в градиенте внешних факторов. Для

выяснения характера изменчивости биотических показателей в зависимости от гидрофизических параметров были построены трехмерные графики (3D Wafer Plots).

Максимальную численность и биомассу планктонные водоросли формировали на глубинах 2-4 м, в условиях хорошего прогрева водной толщи, при слабо выраженном втором пике в зоне низких температур (Рис. 3, а, б).

Важная роль температурного фактора прослеживалась и при анализе связи фитопланктона с прозрачностью воды: скопления водорослей были приурочены к хорошо прогреваемым участкам, с умеренной прозрачностью воды (Рис. 3, в, г). При снижении величины рН более благоприятные условия для фитопланктона складывались, напротив, в зоне низких температур, при втором, менее выраженном экстремуме на прогреваемых участках с высокими значениями рН (Рис. 3, д, е).

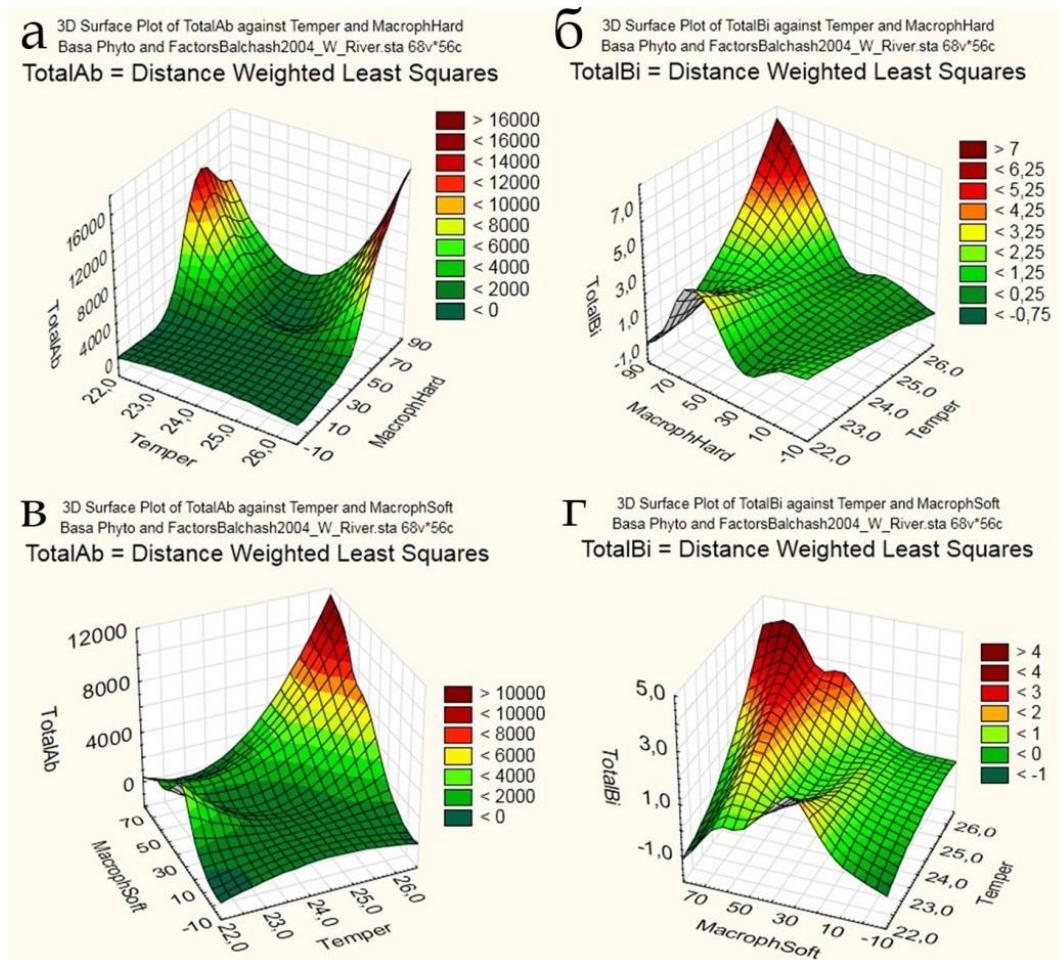


Рис. 4. Распределение численности (а, в) и биомассы (б, г) фитопланктона в зависимости от температуры и зарастаемости макрофитами акватории озера Балхаш, лето 2004 г.

Еще более сложный характер зависимости выявлен между суммарными количественными показателями фитопланктона и макрофитами. По степени влияния жестких макрофитов четко выделилось два типа фитопланктонных сообществ – с максимальной численностью в зоне наиболее высоких и наиболее низких температур (Рис. 4, а). Наиболее высокие значения биомассы водорослей выявлены на зарастающих, хорошо прогреваемых участках акватории (Рис. 4, б). В градиенте зарастаемости мягкими макрофитами скопления водорослевых клеток регистрировались также в зоне максимального прогрева воды (Рис. 4, а, б).

Таким образом, летом 2004 г. фитопланктон озера Балхаш был представлен 91 видом, с наибольшим разнообразием зеленых, диатомовых и синезеленых водорослей. При статистической значимости коэффициентов ранговой корреляции, связь между средовыми и биотическими показателями была слабой. Это обусловлено нелинейным изменением структуры фитопланктона в градиенте внешних факторов, что демонстрировали трехмерные графики. Выявлена важная роль температуры воды в распределении планктонных водорослей по акватории Балхаша. Скопления планктонных водорослей были приурочены к прогреваемым, мелководным, зарастающим мягкими макрофитами участкам с умеренной прозрачностью воды. По степени влияния жестких макрофитов выделилось два типа фитопланктонных сообществ с максимальной численностью в зоне наиболее высоких и наиболее низких температур. При снижении величины рН благоприятные условия для фитопланктона складывались в зоне низких температур, при втором, менее выраженном экстремуме на прогреваемых участках с высокими значениями рН.

Выявленная нами положительная связь между обилием фитопланктона озера Балхаш и макрофитами демонстрировала имеющиеся различия в закономерностях формирования биотических сообществ в водоёмах гумидной и аридной зон. Средообразующая роль макрофитов связана с конкурентным потреблением ими биогенных элементов, приводящим, как правило, к угнетению фитопланктона [22]. Повышение обилия фитопланктона на зарастающих макрофитами участках акватории Балхаша свидетельствовало о том, что биогенные элементы поступали в озеро с речным стоком в достаточных количествах, а конкуренция за питательные вещества между макрофитами и фитопланктоном была слабой.

Как показал анализ литературных данных, в зарослях макрофитов водоемов гумидной зоны фитопланктон находится под прессом крупных планктонных беспозвоночных [21, 23]. В противоположность этому, более высокая численность и биомасса фитопланктона в зарослях макрофитов озера Балхаш, также как и выявленное нами ранее повышение видового богатства фитопланктонных сообществ [19], обусловлено доминированием в зарослевом зоопланктоне водоемов аридной зоны мелких видов, преимущественно коловраток [8], которые не оказывают контролирующего влияния на водоросли.

3. Заключение

Статистический анализ и трехмерные графики показали выраженное влияние регионально-климатических факторов на пространственное распределение количественных показателей фитопланктона озера Балхаш. Выявлена важная роль температуры воды в распределении планктонных водорослей по акватории Балхаша. Увеличение обилия водорослевых сообществ в зоне мягких и жестких макрофитов свидетельствовало об отсутствии выраженной конкуренции за питательные вещества между первичными продуцентами. Были показаны различия в закономерностях формирования биотических сообществ в водоемах гумидной и аридной зон, как опосредованное влияние основных регионально-климатических факторов.

Благодарности

Работа выполнена в рамках проектов № 1846/ГФ4 Г.2015-Г2016 КН, МОН РК «Разработка методов контроля экологического состояния водоемов Казахстана», "Изучение современного гидроэкологического состояния рыбохозяйственных водоемов и разработка биологических обоснований о целесообразности и очередности проведения рыбохозяйственных мелиорации для сохранения и повышения рыбохозяйственного потенциала водоема", а также частично поддержана Министерством Абсорбции Израиля.

Литература

1. Абросов В.Н., (1973) Озеро Балхаш, Наука, Ленинград, 180 с.
2. Ахметова Н.И., (1986) Диатомовые водоросли Восточного Балхаша, Автореферат диссертации кандидата биологических наук, Ленинград, Ботанический институт им. Н.Л. Комарова, 25 с.
3. Веб-сайт webmandry.com, Карта озера Балхаш.
4. Воробьева Н.Б., Тютенков С.К., Садукасова Р.Э., Фокина А.С., (1982) Современное состояние и перспективы развития кормовой базы рыб озера Балхаш в зависимости от уровня режима. В кн: Прогноз комплексного и рационального использования природных ресурсов, их защита и перспективы развития производительных сил бассейна озера Балхаш в период до 1990-2000 гг. Ч. 2. Алма-Ата, Наука КазССР, 129-132.
5. Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И., (1953) Определитель пресноводных водорослей СССР, т.2, Сине-зеленые водоросли, Москва, Советская наука, 652 с.
6. Забелина М.М., Киселев И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С., (1951) Определитель пресноводных водорослей СССР. Т.4, Диатомовые, Москва, Советская наука, 620 с.
7. Киселев И.А., (1956) Методы исследования планктона, Жизнь пресных вод СССР, т. 4, Москва, Ленинград, Академия Наук СССР, 140-416.
8. Крупа Е.Г., (2012) Зоопланктон лимнических и лотических экосистем Казахстана. Структура, закономерности формирования, Palmarium Academic Publishing, Saarbrücken, 346 с.

9. Крупа Е.Г., Цой В.Н., Лопарева Т.Я., Пономарёва Л.П., Анурьева А.Н., Садырбаева Н.Н., Асылбекова С.Ж., Исбеков К.Б., (2013) Многолетняя динамика гидробионтов озера Балхаш и ее связь с факторами среды, *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия рыбное хозяйство*, 2, 85-96.
10. Крупа Е.Г., Садырбаева Н.Н., Пономарева Л.П., Анурьева А.Н., Асылбекова С.Ж., (2014) Многолетняя изменчивость фитопланктона, зоопланктона и макрозообентоса оз. Балхаш в зависимости от глобальных климатических факторов, *Вестник КазНУ, Серия экологическая*, 1/1 (40), 296-304.
11. Кудеков Т.К.б (Ред), (2002) Современное экологическое состояние бассейна озера Балхаш. Алматы, Каганат, 388 с.
12. Мошкова Н.А., Голлербах М.М., (1986) Определитель пресноводных водорослей СССР, 10(1), Зеленые водоросли, Класс Ulothrichophyceae, Москва, Советская наука, 360 с.
13. Паламарь-Мордвинцева Г.М., (1982) Определитель пресноводных водорослей СССР, 10(1), Зеленые водоросли. Класс Конъюгаты, Порядок Десмидиевые, Москва, Советская наука, 620 с.
14. Пономарева Л.П., Шаухарбаева Д.С., Лопарева Т.Я., (2005) Гидрохимические показатели и фитопланктон как индикаторы трофности оз. Балхаш и водоемов нижней дельты р. Или, Рыбохозяйственные исследования в Республике Казахстан, Алматы, 366-376.
15. Попова Т.Г., (1955) Определитель пресноводных водорослей СССР, Euglenophyta, Москва, Советская наука, 282 с.
16. Самакова А.В., (2003) Проблемы гидроэкологической стабильности в бассейне озера Балхаш, Каганат, Алматы, 584 с.
17. Тарасов М.Н., (1961) Гидрохимия озера Балхаш, Академия наук СССР, Москва, 233 с.
18. Фокина А.С., (1982) Современное состояние фитопланктона озера Балхаш. В: Прогноз комплексного и рационального использования природных ресурсов, их защита и перспективы развития производительных сил бассейна озера Балхаш в период до 1990-2000 гг., Часть 2, Наука КазССР, Алма-Ата, 137-140.
19. Barinova S., Krupa E., (2017) Bioindication of Ecological State and Water Quality by Phytoplankton in the Shardara Reservoir, Kazakhstan, *Environment and Ecology Research*, 5, 73-92.
20. Krupa E., Slyvinskiy G., Barinova S., (2014) The effect of climatic factors on the long-term dynamics of aquatic ecosystem of the Balkhash Lake (Kazakhstan, Central Asia), *Advanced Studies in Biology*, 6(3), 115-136.
21. Muylaert K., Declerck S., Van Wichelen J., De Meester L., Vyverma W., (2006) An evaluation of the role of daphnids in controlling phytoplankton biomass in clear water versus turbid shallow lakes, *Limnologia*, 36, 69-78
22. Peretyatko A., Teissier S., De Backer S., Triest L., (2009) Restoration potential of biomanipulation for eutrophic peri-urban ponds: the role of zooplankton size and submerged macrophyte cover, *Hydrobiologia*, 634, 125-135.
23. Pieczyńska E., Kołodziejczyk A., Rybak J.I., (1999) The responses of littoral invertebrates to eutrophication-linked changes in plant communities, *Hydrobiologia*, 391, 9-21.