

АЛЬГОЦЕНОЗЫ ПЛАНКТОНА И БЕНТОСА  
ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАННЫХ РЕК-ПРИТОКОВ ОЗЕРА ЭЛЬТОН

© 2022 г. О.Г. Горохова, Т.Д. Зинченко

Институт экологии Волжского бассейна РАН

Россия, 445003, г. Тольятти, Комзина, 10. E-mail: o.gorokhova@yandex.ru, zinchenko.tdz@yandex.ru

Поступила в редакцию 24.05.2022. После доработки 01.07.2022. Принята к публикации 01.07.2022.

В статье представлены результаты многолетних (2008 и 2012-2019 гг.) исследований фитопланктона и фитобентоса 7 высокоминерализованных рек Приэльтона. В альгофлоре выявлено 214 таксонов водорослей из 7 систематических отделов, из которых Bacillariophyta являются ведущими по видовому богатству и количественному развитию. Дана сравнительная характеристика таксономической структуры и видового разнообразия альгоценозов в градиенте минерализации. Выявлены структурообразующие виды – широко распространенные эвригалитные таксоны: *Chaetoceros muelleri* Lemm., *Conticribra weissflogii* (Grun.) S.-Suchoples et Williams, *Nitzschia closterium* Ehr., *Halamphora coffeaeformis* (Ag.) Meresch., *Achnanthes brevipes* Ag., (Bacillariophyta), а также Цианопрокaryota – *Phormidium breve* (Kütz. ex Gom.) Anagn. & Kom., *Oscillatoria limosa* Ag. ex Gom., *O. tenuis* Ag. ex Gom., *Geitlerinema amphibium* (Ag. ex Gom.) Anagn. В условиях критической для рек солености доминируют виды рода *Dunaliella* (Chlorophyta). Показано, что численность и биомасса водорослей в альгоценозах меняются в больших пределах и не зависят от уровня минерализации. Удельное видовое богатство характеризуется слабой отрицательной корреляционной связью с минерализацией в мезогалинных реках и значимой ( $R = -0.50$ ,  $R = -0.52$ ,  $p < 0.05$ ) в полигалинных. Сезонная динамика альгоценозов планктона выражена в изменении видовой структуры, численности и биомассы.

*Ключевые слова:* соленые реки, оз. Эльтон, альгоценозы.

**DOI: 10.24412/1993-3916-2022-4-201-210**

**EDN: JMKBDF**

Водоросли – один из основных структурно-функциональных компонентов уникальной экосистемы соленых рек-притоков оз. Эльтон. Интерес к гидроэкосистеме Приэльтона обусловлен ее особым положением и функциональной ролью в аридной зоне Юга России. Реки характеризуются выраженным градиентом солености и динамичностью гидролого-гидрохимического режима. В эвтрофных высокопродуктивных соленых реках поддерживаются специфические условия для жизни эвригалитных сообществ организмов. Особенностью сообществ водорослей является ведущая роль Bacillariophyta, Цианопрокaryota и Chlorophyta в планктоне и бентосе мезо- и полигалинных рек, высокое количественное развитие и синхронность изменения численности, биомассы и числа видов этих групп водорослей в сезонной динамике (Горохова, Зинченко, 2014, 2016; Gorokhova, Zinchenko, 2021). Наблюдается формирование пелаго-бентосного сообщества, что обусловлено высокой минерализацией вод в сочетании с мелководностью, низкими скоростями течения и высокой трофностью вод. В гипергалинных устьевых участках рек отмечены структурные изменения альгоценозов, которые проявляются в формировании олигодоминантных сообществ.

К настоящему времени опубликованы сведения об автотрофных микроорганизмах устьев рек (Yatsenko-Stepanova et al., 2015), морфологическом разнообразии в циано-бактериальных матах и первичной продукции (Канапацкий и др., 2018). Методически организованные исследования водорослей планктона и бентоса рек, впадающих в озеро Эльтон, были проведены в рамках многолетних (2006-2019 гг.) комплексных исследований (Горохова, Зинченко, 2014, 2016; Gorokhova, Zinchenko, 2021; Зинченко и др., 2021; Генкал и др., 2021; Генкал, Горохова, 2021, 2022).

Цель публикации – характеристика альгоценозов планктона и бентоса соленых рек бассейна оз. Эльтон по результатам многолетних исследований.

### Материалы и методы исследований

Пробы водорослей планктона (n-138) собраны в августе 2008, 2012-2014, 2017-2019 гг., в мае 2012, 2014-2015 гг. на участках среднего течения и в устьях рек Хара, Ланцуг, Чернавка, Солянка, Большая Саморода, Малая Сморогда и Карантинка; в верхнем течение пробы брали при наличии стока. Изучение сезонной динамики альгоценозов планктона проведено в мезогалинной р. Б. Саморода в 2014 г. (с апреля по август) и полигалинной р. Чернавка в 2018 г. (с мая по сентябрь) с отбором проб в устьевых участках 1-2 раза в месяц. В реках с глубиной до 50 см пробы брали с поверхности воды; на глубоких участках батометром Руттнера. Пробы объемом 0.5 л фиксировали йодно-формалиновым фиксатором, фильтровали через мембранные фильтры «Владипор» № 10 с помощью вакуумного насоса (Водоросли, 1989; Karlson et al., 2010). Пробы фитобентоса и перифитона (n-51 и n-18 соответственно) собирали в мае и августе 2012-2014 гг. и в августе 2017 г. в рр. Хара, Ланцуг, Чернавка, Солянка, Б. Саморода. В полигалинных пересыхающих реках М. Сморогда и Карантинка пробы брали в устьях. Фитобентос собирали на песчаных и илистых субстратах в прибрежье, в местах с пленками водорослей и в цианобактериальных матах. Исследовали обрастания погруженных частей тростника и макроводорослей (*Enteromorpha intestinalis* (L.) Nees). Пробы брали в местах с глубинами 0.1-0.6 м, цилиндрической трубкой диаметром 5 см. Для изучения количественного состава из бентосной пробы брали штемпель-пипеткой (объемом 0.1 см<sup>3</sup>) аликвоту в которой вели подсчет водорослей (Gorokhova, Zinchenko, 2021). Для характеристики обрастаний количественный учет вели с помощью смыва водорослей с определенной площади субстрата. Определение, подсчет, измерение водорослей проведены в счетной камере типа «Учинская» объемом 0.01 мл. Определение Bacillariophyta выполнено на постоянных препаратах (Методика изучения ..., 1975). К доминирующим отнесены виды, численность/биомасса которых составляла не менее 10% от общей величины, к субдоминантам – виды с численностью/биомассой от 5 до 10%. Биомасса вычислена счетно-объемным методом (Водоросли, 1989). Для характеристики сообществ использовали такие показатели, как общее видовое богатство (число видов в альгофлоре), удельное видовое богатство (число видов в пробе), численность (млн. кл/л), биомассу (мг/л), индексы видового разнообразия Шеннона (H), выравненности Пиелу (E). Под частотой доминирования понимали количество проб, в которых вид доминирует (в % от общего для реки числа проб). Частоту встречаемости вида оценивали по количеству проб, в которых он отмечен (в % от общего числа проб для реки). Для анализа связи параметров альгоценозов с условиями среды рассчитан коэффициент корреляции Пирсона ( $p < 0.05$ ); для оценки степени сходства сообществ – коэффициент общности Сёренсена-Чекановского. Статистическая обработка данных проведена с использованием таблиц Microsoft Excel, кластеризация для построения дендрограммы – в программе Statistica 7.

### Результаты и обсуждение

*Таксономический состав и структура альгофлоры.* В альгофлоре соленых рек мы выявили 214 таксонов водорослей из 7 систематических отделов (рис. 1). Преобладают Bacillariophyta – 64% от общего списка видов, составляя в отдельных реках от 23 (М. Сморогда) до 73-74% (Б. Саморода, Ланцуг) альгофлоры. В таксономическом отношении диатомовые водоросли – одна из основных групп планктона рек. Их значимая роль в соленых реках сопоставима с долей в альгофлоре континентальных минерализованных водоемов (Clavero et al., 2000; Yatsenko-Stepanova et al., 2015; Taukulis, John, 2006).

Виды Cyanoprokaryota и Chlorophyta (рис. 1) составляют 25% альгофлоры рек Приэльтонья. Видовое богатство этих групп связано с толерантностью целого ряда их представителей к условиям повышенной минерализации. Например, Chlorophyta представлены фитофлагеллятами из родов *Dunaliella*, *Tetraselmis*, *Asteromonas*, способными выдерживать значительные концентрации солей, Cyanoprokaryota – видами родов *Phormidium*, *Leptolyngbya*, *Geitlerinema*, распространенными в минерализованных водах.

Эвгленовые водоросли в реках составляют 7% видового состава. В отличие от пресных водоемов, где условия развития для этой группы обычно благоприятны, в высокоминерализованных реках Euglenophyta, вероятно, наиболее чувствительны к воздействию фактора солености. Криптофитовые и динофитовые водоросли формируют в сумме около 6% состава, выделяясь относительным

разнообразием в планктоне солоноватых рр. Ланцуг, Хара, Б. Саморода. Большим видовым богатством отличался фитопланктон мезогалинных биотопически разнообразных рек Хара, Б. Саморода, Ланцуг.

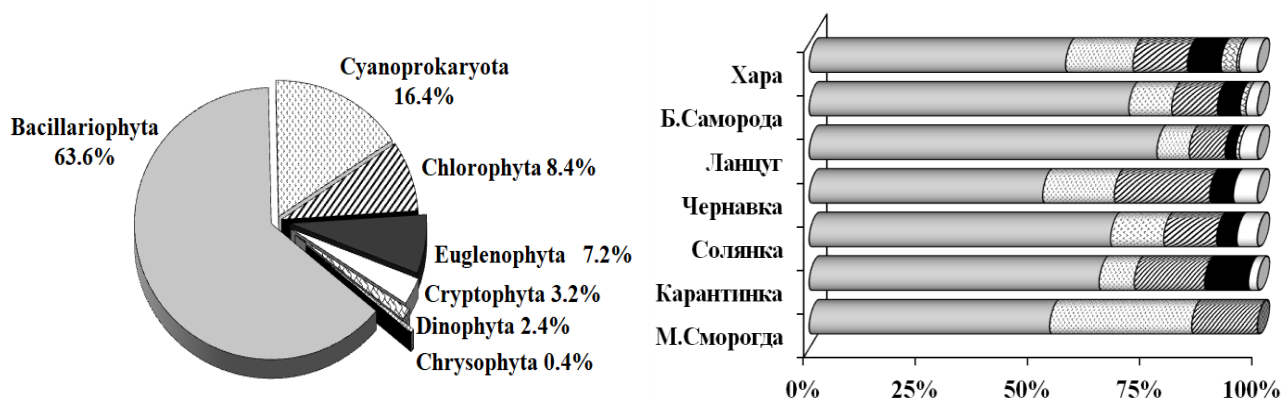


Рис. 1. Соотношение таксономических групп водорослей в альгофлоре.

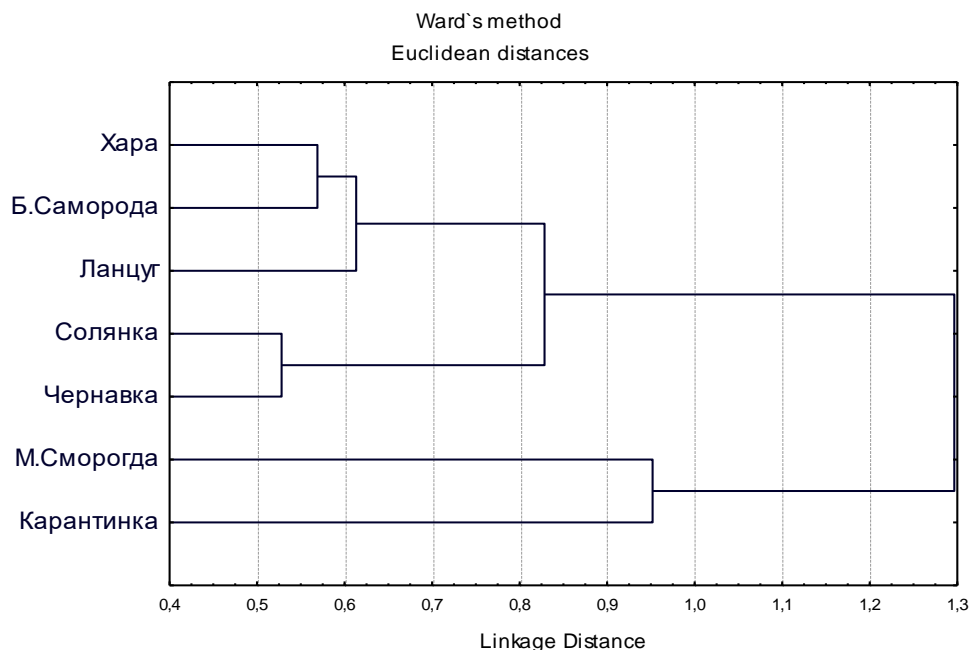
Соотношение числа видов разных отделов в альгофлоре планктона, фитобентоса и эпифитона различно. Эпифитон в основном диатомовый: в его составе 80% видов – Bacillariophyta. В фитобентосе доля Bacillariophyta и Суанопрокариота – 51 и 33% соответственно, а в планктоне их соотношение 45 и 20%. Наибольшим разнообразием состава на уровне крупных таксономических категорий отличается структура планктонных сообществ, где отмечены фитофлагелляты отделов Dinophyta, Cryptophyta, Euglenophyta и Chlorophyta. При этом соотношение ведущих по видовому богатству отделов неизменно, что свидетельствует о целостности ядра альгофлоры всех биотопов: оно формируется диатомовыми и цианопрокарриотами со значимым участием зеленых водорослей.

В географическом отношении большинство зарегистрированных нами видов широко распространено в планктоне и бентосе континентальных минерализованных водоемов. В альгофлоре отмечено большое число видов-индикаторов разной степени галобности (90%). Среди них преобладают мезогалобы, олигогалобы-галофилы и олигогалобы-индифференты; во всех реках отмечены эвригалинные виды водорослей с высокой толерантностью к уровню минерализации, а также полигалобы. Виды, предпочитающие условия повышенной солености и эвригалобы являются структурообразующими в альгоценозах эльтонских рек. По частоте встречаемости, например, выделяются диатомовые: *Chaetoceros muelleri*, *Conticribra weissflogii*, *Thalassiosira pseudonana* Hasle et Heimdal, *Cyclotella meneghiniana* Kütz., *Nitzschia closterium*, *N. frustulum* (Kütz.) Grun., *Halamphora coffeaeformis*, *Tabularia fasciculata* (Ag.) Will. et Round, *Achnanthes brevipes*, *Fallacia pygmaea* (Kütz.) Stickle et Mann, *Navicula capitatoradiata* Germain ex Gasse, *N. lanceolata* (Ag.) Ehr., *N. salinarum* Grun., *N. trivialis* L.-Bert., *Tryblionella hungarica* (Grun.) Frenguelli, а также цианопрокарриоты – *Phormidium breve*, *Oscillatoria limosa*, *O. tenuis*, *Geitlerinema amphibium*. Нередко эти же виды доминируют в альгоценозах по численности и биомассе (Горохова, Зинченко, 2016; Gorokhova, Zinchenko, 2021; Генкал, Горохова, 2021).

Сравнение полных списков видов водорослей позволило оценить степень сходства состава альгофлоры рек. В полигалинных рр. Солянка и Чернавка оно наибольшее: на уровне 63% (рис. 2). Кластеризация данных показала также близость таксономического состава в мезогалинных рр. Хара, Б.Саморода, Ланцуг – они группируются на уровне сходства альгофлор 58-60% (рис. 2). К отдельному кластеру принадлежит альгофлора рр. М. Сморогда и Карантинка, минерализация воды которых нередко достигает экстремальных величин (до 70-180 г/л). Видовой состав водорослей в них наименее разнообразен, альгоценозы имеют черты структурного упрощения – снижение видового богатства, малое удельное количество видов, низкое видовое разнообразие (табл.), минимальное сходство альгофлор (33 %).

*Количественная структура альгоценозов.* Многочисленные исследования водорослей континентальных водоемов свидетельствуют об уменьшении видового богатства и упрощении

структуры альгофлоры в высокоминерализованных водах при массовом развитии отдельных видов (Федоров, 1979; Сафонова, Ермолаев, 1983; Алимов, 2010). В реках Приэльтонья в условиях динамичности факторов воздействия и экстремально высокой солености, альгоценозы характеризуются существенной изменчивостью численности, биомассы, удельного числа видов и, соответственно, показателей видового разнообразия (табл.).



**Рис. 2.** Дендрограмма таксономического сходства альгофлоры рек по методу Эвклидова расстояния.

Так, альгоценозы полигалинных рек Чернавка и Солянка при высокой, но достаточно стабильной минерализации (25-32 г/л) имеют значительный диапазон величин численности и биомассы, видового разнообразия и высокую выравненность обилия видов (табл.). В мезогалинных реках Хара и Ланцуг минерализация составляет 6-41 г/л, достигая экстремальных значений при ветровом нагоне соленых вод из оз. Эльтон – 80 г/л. В планктоне устьевой зоны отмечается обеднение видового состава и формирование олигодоминантных сообществ с вкладом одного-двух видов в суммарную численность до 85-99%. В мезогалинной реке Б. Саморода, где минерализация менялась в пределах 8-15 г/л, в альгоценозах отмечено высокое видовое разнообразие и эквитабельность (табл.).

В фитобентосе рек также наблюдается проявление структурно-функциональной адаптации альгоценозов к изменению минерализации. Микрофитобентос характеризуется большой изменчивостью численности и биомассы (табл.) и состоит из локальных микросообществ, формирующих высокое видовое разнообразие для реки в целом, что обеспечивает адаптационные возможности в меняющихся экологических условиях. В полигалинных реках и устьях мезогалинных рек высокое разнообразие, численность и биомасса отмечены также в цианобактериальных сообществах, хорошо приспособленных к колебаниям солености и поддерживающих благоприятную среду, несмотря на жесткое влияние внешних условий.

Установлено, что при экстремальных величинах минерализации доминирование в автотрофных сообществах соленых рек Приэльтонья переходит к планктонным водорослям Chlorophyta (*Dunaliella*, пикопланктон).

Анализ связи количественных показателей альгоценозов с минерализацией показал, что для удельного видового богатства характерна слабая отрицательная корреляционная связь с минерализацией в мезогалинных реках и значимая связь ( $R = -0.50$ ,  $R = -0.52$ ,  $p < 0.05$ ) в полигалинных. Зависимость величин численности и биомассы от уровня минерализации недостоверна (рис. 3).

*Сезонная динамика альгоценозов планктона.* Сезонная динамика фитопланктона обусловлена природной спецификой Приэльтонья. Она заключается в резко выраженной аридности климата и

остром недостатке влаги с одной стороны, а с другой – с естественно высоким уровнем минерализации и стабильно высокими температурами воды и воздуха. Это условия, при которых видовой состав характеризуется особенностями ответного отклика на внешние факторы воздействия. Многолетними исследованиями динамики фитопланктона рек в устьевых участках мезогалинной реки Б. Саморода и полигалинной реки Чернавка показано изменение видовой структуры, численности и биомассы, обусловленные как диапазоном минерализации, так и сукцессией видов разных отделов водорослей.

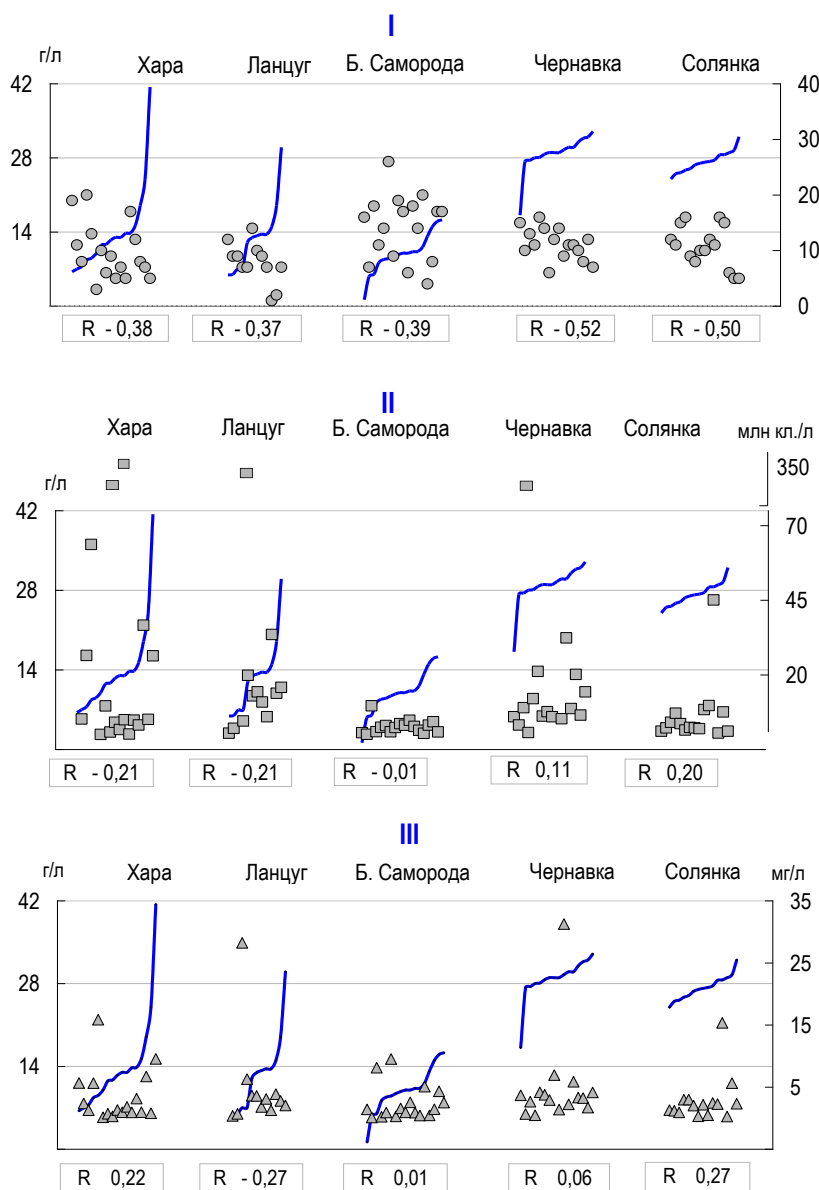
**Таблица.** Основные структурные показатели сообществ фитопланктона, фитобентоса и эпифитона рек Приэльтонья

Река		Хара	Б. Саморода	Ланцуг	Солянка	Чернавка	М. Смо-рогда	Каран-тинка
Фито-планктон	N*	0.2-161	0.9-64	0.5-240	0.5-45	0.7-163	7.9-165	0.2-13
	B**	0.1-27.2	0.4-28.2	0.2-3.6	0.3-26.7	0.5-31.3	2.7-122.5	0.1-2.9
Фито-бентос	N	488-109834	865-417472	292-92834	599-61904	686-96834	64-106	99-347
	B	0.1-523.6	0.3-567.6	0.1-233.7	0.1-136.8	0.1-154.9	0.1-15.5	0.1-89.4
Пери-фитон	N	4-2284	6-3176	131-1014	199-1159	0.5-1064	–*****	–
	B	0.01-0.9	0.01-0.6	0.04-0.3	0.02-0.5	0.01-0.4	–	–
Фито-планктон	УЧВ***	3-31	4-26	1-19	5-20	8-16	3-6	3-14
	H <sub>N</sub> ****	0.1-2.4	1.1-3.8	0.1-3.1	1.5-3.2	1.1-2.9	0.3-1.3	0.8-1.2
Фито-бентос	УЧВ	6-14	3-27	2-16	4-15	3-25	1-8	1-10
	H <sub>N</sub>	0.2-2.3	0.5-3.1	0.1-2.8	0.8-3.1	0.9-3.2	0.1-1.9	0.1-1.8
Пери-фитон	УЧВ	2-21	1-17	5-16	5-16	1-18	–	–
	H <sub>N</sub>	0.1-1.9	0.1-1.5	0.1-1.9	0.1-1.6	0.1-1.5	–	–

**Примечания к таблице:** N\* – численность фитопланктона в млн. кл./л, фитобентоса и перифитона – в млн. кл/м<sup>2</sup>, B\*\* – биомасса фитопланктона в мг/л, фитобентоса и перифитона – в г/м<sup>2</sup>, УЧВ\*\*\* – удельное число видов (число видов в пробе), H<sub>N</sub>\*\*\*\* – индекс Шеннона по численности, прочерк\*\*\*\*\* – нет данных.

В период наблюдений отмечено несколько подъёмов численности и биомассы (рис. 4). В мелководных эвтрофных реках Приэльтонья световые и трофические условия благоприятны для развития водорослей, кроме того, реки рано прогреваются весной. К началу отбора проб в апреле-мае температура воды составляет уже не менее 10-12°C. Первый весенний пик численности, наиболее высокий и продолжительный, обусловлен в основном доминированием *Bacillariophyta* (рис. 4), что характерно для речного планктона. В реке Б. Саморода заметная численность *Cyanoprokaryota* в это время (рис. 4) связана с поступлением в планктон мелководного устья колониальных (нитчатых) форм этого отдела при ветровом волнении. В июне наблюдается снижение количества фитопланктона (рис. 4), что, помимо выедания зоопланктоном, обусловлено сменой весеннего комплекса диатомовых водорослей в ходе сезонной сукцессии. Так, в реке Б. Саморода дальнейшее резкое снижение численности обусловлено выпадением из планктона весеннего доминанта *Conticribra weissflogii*, а в Чернавке после июньского пика численности *Chaetoceros muelleri* наступает резкий спад развития водорослей (рис. 4). В планктоне р. Чернавка с июня по август доминирует вид *Nitzschia closterium*, а подъем биомассы в июле-начале августа в р. Б. Саморода (рис. 4) обусловлен лишь присутствием крупноклеточных факультативно-планктонных видов родов *Surirella*, *Pleurosigma*, *Campylodiscus*. В августе-сентябре в реках отмечены подъемы в развитии других групп водорослей. В реке Б. Саморода осенью наблюдалось развитие видов отдела *Cryptophyta*, что может быть связано с повышенной концентрацией органических веществ в воде при отмирании водной растительности и поступлением их с водосбора. В р. Чернавка галобные виды

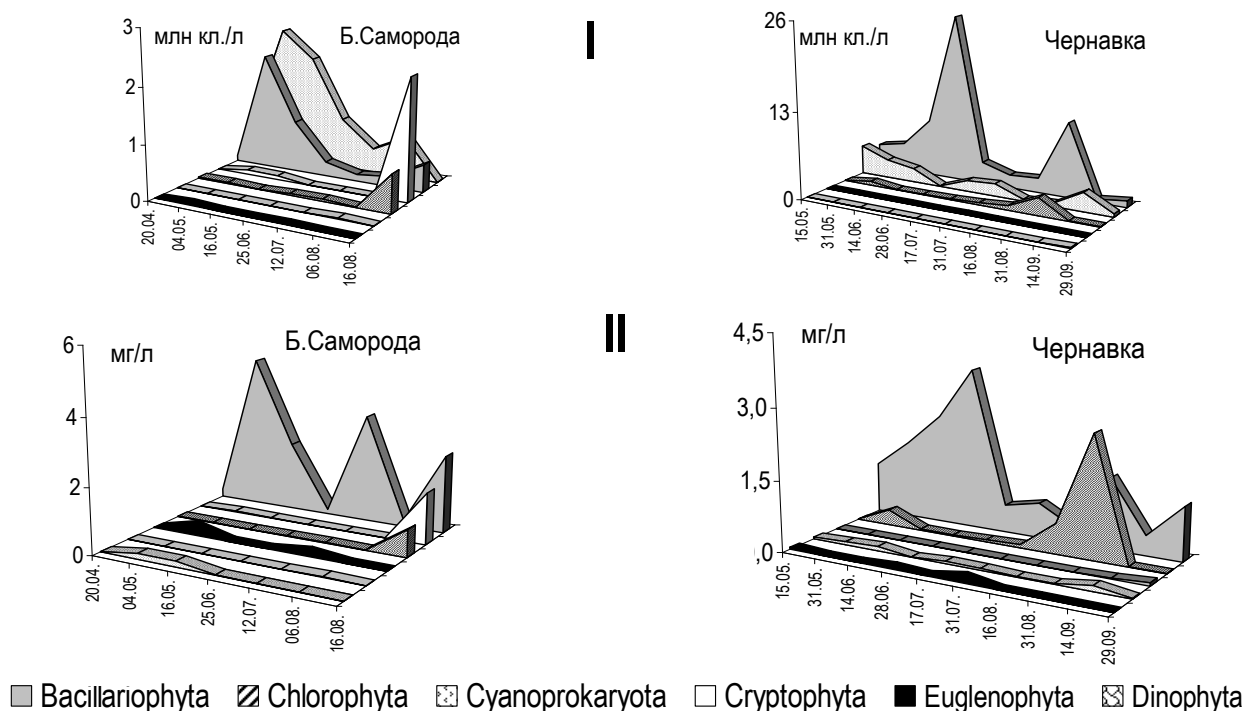
рода *Dunaliella*, *Tetraselmis* из отдела Chlorophyta в середине сентября составляют более 60% суммарной биомассы (рис. 4), что связано с максимальной за сезон величиной солености воды (33 г/л).



**Рис. 3.** Распределение числа видов (I), численности (II) и биомассы (III) фитопланктона в градиенте минерализации в мезогалинных реках Хара, Ланцуг, Б. Саморода и в полигалинных реках Чернавка и Солянка (R – коэффициент корреляции).

*Особенности пелаго-бентосных альгоценозов в реках.* Виды бентоса и обрастаний присутствуют в толще воды с апреля по август наряду с планктонными формами (рис. 5). Так, в планктоне среднего течения р. Б. Саморода «факультативный планктон» составляет от 7 до 64% суммарного обилия водорослей, а в устьевом участке – от 22 до 97%. Характерно, что подъемы и спады развития этой группы водорослей происходят одновременно с планктонными формами (рис. 5). Раннелетнее снижение количества водорослей всех групп в планктоне обусловлено, вероятно, выеданием их зоопланктоном, биомасса которого в реках Приэльтона сопоставима с таковой в солоноватых континентальных водоёмах (Лазарева и др., 2013). Удельное видовое богатство фитопланктона обычно выше на заросших участках среднего течения реки ( $13 \pm 5$  видов и внутривидовых таксонов) в сравнении с устьем ( $10 \pm 4$ ), где соленость в период исследований достигала 20 г/л.

Видовое разнообразие планктоценозов в среднем течении реки Б. Саморода выше ( $H_N = 2.2-3.0$ ), чем в устье ( $H_N = 1.1-2.3$ ). Величины же численности и биомассы альгоценозов устьевой части (0.61-5.10 млн. кл./л и 0.16-5.11 мг/л), превышают таковые в среднем участке реки в 3.6 и 1.6 раз соответственно (0.09-1.43 млн кл./л и 0.09-3.19 мг/л). В сезонной динамике альгоценозов планктона отмечается синхронность изменения численности, биомассы, удельного числа видов и биоразнообразия всех групп водорослей (рис. 5), включая донные и перифитонные формы. Формированию такого единого пелаго-бентосного сообщества способствуют условия повышенной плотности соленых вод в сочетании с мелководностью и невысокими скоростями течения.



**Рис. 4.** Сезонные изменения численности (I) и биомассы (II) отделов водорослей в планктоне устьевых участков мезогалинной (Б. Саморода) и полигалинной (Чернавка) рек.

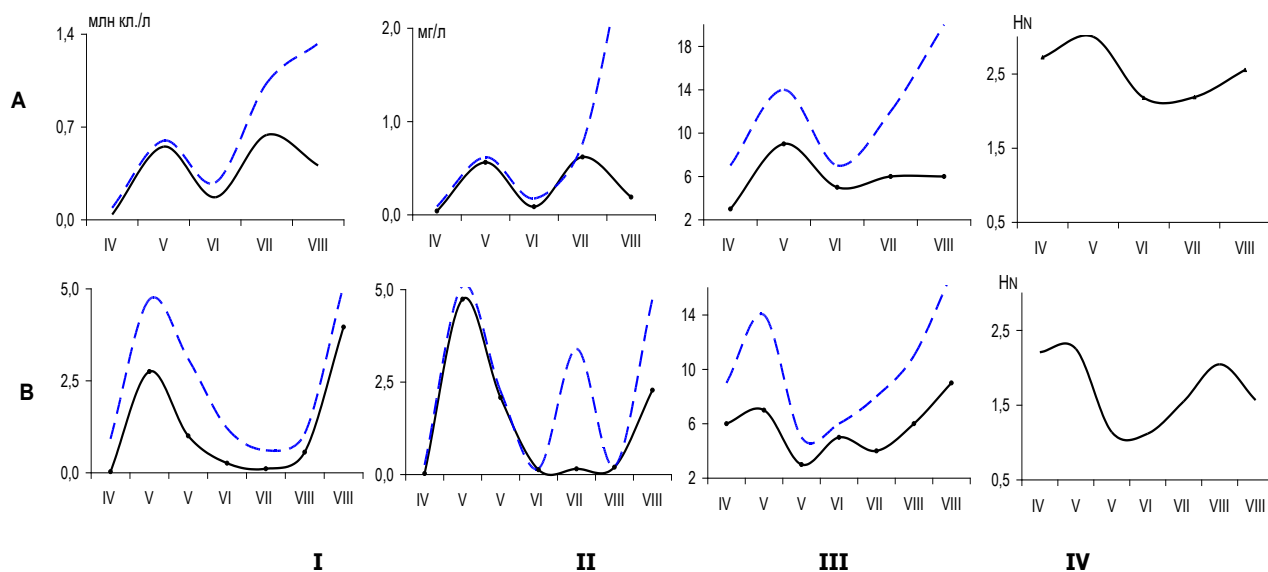
**Состав массовых видов в структуре альгоценозов.** В структуре альгоценозов планктона и перифитона рек количественное развитие определяют в основном Bacillariophyta. В донных ценозах, кроме диатомового фитобентоса, отмечено развитие сообществ Cyanoprokaryota+Bacillariophyta, а также цанобактериальных пленок и матов, что особенно характерно для устьевых участков рек.

В фитопланктоне преобладают типично планктонные формы водорослей: *Chaetoceros muelleri*, *Nitzschia closterium*, *Conticribra weissflogii*, *Thalassiosira pseudonana*, *Cyclotella meneghiniana*. В то же время характерной существенной роль видов бентоса и обрастаний в формировании структуры планктоценозов. Например, из представителей бентоса и эпифитона высокую численность в толще воды имеют: *Tabularia fasciculata*, *Halimphora coffeaeformis*, *Nitzschia frustulum*, *Achnanthes brevipes*, *Fallacia pygmaea*, *Navicula capitatoradiata*, *N. lanceolata*, *N. salinarum*, *N. trivialis* и некоторые другие.

Массовые виды планктона отличаются в реках частотой встречаемости и характером доминирования. Например, вид *Nitzschia closterium* в полигалинных пр. Чернавка и Солянка доминирует более чем в 35% проб, тогда как в мезогалинных пр. Хара, Ланцуг, Б. Саморода этот вид является субдоминантом в 20-35% проб. Вид *Cyclotella meneghiniana* не отмечен нами в полигалинных реках, а в мезогалинных является массовым. Вид *Chaetoceros muelleri* доминирует в альгоценозах планктона большинства исследованных рек, за исключением пр. Б. Саморода и Солянка, где он отмечен единично. Эвригалоб *C. muelleri*, а также *Thalassiosira pseudonana* относятся к видам, формирующим монодоминантные сообщества при солёности 7-30 г/л. Доля их в суммарной численности фитопланктона может достигать 99%, а максимум их численности отмечен в разные



годы в рр. Хара, Ланцуг, Чернавка.



**Рис. 5.** Динамика численности (I), биомассы (II), удельного числа видов (III) и индекса видового разнообразия Шеннона (IV) в альгоценозах планктона среднего течения (А) и устьевого участка (В) реки Б. Саморода. Условные обозначения: сплошная линия – планктонные виды водорослей, пунктир – прочие виды (Горохова, Зинченко, 2016).

Следует отметить, что экологическая особенность водотоков аридной зоны заключается в естественно высоком уровне минерализации и пространственно-временной динамике её величин при остром недостатке влаги. Условия, которые влияют на развитие прикрепленных водорослей, характеризуются, кроме того, периодами обводнения и обсыхания, высокой инсоляцией на фоне малых глубин и прозрачности воды до дна, а также стабильно высокими температурами воды и воздуха. Основной компонент сообществ фитобентоса при таких воздействиях – виды, способные к осморегуляции (Водоросли, 1989; Clavero et al., 2000; Taukulis, John, 2006; Prieto-Barajas et al., 2018). Из Bacillariophyta это большинство доминирующих форм, определяющих структуру альгоценозов: *Fragilaria fasciculata*, *Halamphora coffeaeformis*, *Fallacia pygmaea*, *Navicula salinarum*, *Achnanthes brevipes*. Из Cyanoprokaryota в бентосе рек Приэльтона преобладают: *Leptolyngbya tenuis* (Gomont) Anagnostidis & Komárek, *L. fragilis* (Gomont) Anagnostidis & Komárek, а также виды факультативные термофилы, развивающиеся, например, в термальных источниках – *Oscillatoria limosa*, *O. tenuis*, *Phormidium acuminatum* (Gomont) Anagnostidis & Komárek и ряд других. Анализ изменений, происходящих в альгоценозах в зависимости от уровня солености, показал, что многие массовые виды диатомовых водорослей развиваются в реках Приэльтона в диапазоне минерализации от 5 до 41 г/л (рис. 2), а цианопрокариот – от 5 до 70 г/л и более. Многие из этих видов широко распространены и адаптированы к условиям солоноватых континентальных и морских вод (Clavero et al., 2000; Underwood, Provot, 2000).

### Заключение

Проведенные исследования показали, что альгофлора минерализованных рек бассейна оз. Эльтон достаточно разнообразна и представлена 214 видами и внутривидовыми таксонами из 7 систематических отделов. Таксономическое богатство определяют Bacillariophyta (136 таксонов рангом ниже рода), что обусловлено пластичностью группы в целом по отношению к различным экологическим факторам среды.

Анализ многолетней динамики численности, биомассы, удельного числа видов и биотических индексов показал, что их величины варьируют в широких пределах и не имеют однозначной зависимости от уровня минерализации. Это соответствует установленным ранее закономерностям обеднения (при воздействии экстремальных факторов) видового состава организмов высших



трофических уровней по сравнению с низшими трофическими уровнями, когда число видов фитопланктона практически не имеет четкой зависимости от степени солености. В то же время структурные особенности альгоценозов выражаются в снижении видового разнообразия при формировании монодоминантных сообществ в водотоках со значительным градиентом минерализации. Альгоценозы исследованных рек в целом разнообразны, высокопродуктивны и адаптированы к экстремальным условиям. Их структурно-функциональной особенностью является формирование пелаго-бентического комплекса, включающего в себя как типично планктонные, так и донные формы. Сезонная динамика альгоценозов характеризуется синхронностью изменения численности, биомассы и удельного числа видов всех групп водорослей, включая планктонные и бентосно-перифитонные формы.

Полученные данные согласуются с общебиологическими закономерностями, в соответствии с которыми влияние минерализации проявляется в экологическом подборе видов, адаптированных к экстремальным условиям, а количественное развитие демонстрирует сочетание комплекса факторов, воздействующих на отклик сообщества, включая природно-климатические и абиотические изменения условий среды.

*Финансирование.* Работа выполнена в рамках государственного задания «Оценка современного биоразнообразия и прогноз его изменения для экосистем Волжского бассейна в условиях их природной и антропогенной трансформации» (АААА–А17-117112040040-3), а также при финансовой поддержке РФФИ (грант № 17-04-00135, «Функциональные особенности организации структуры планктонных и донных сообществ речных экосистем на примере соленых рек бассейна гипергалинного оз. Эльтон»).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алимов А.Ф. 2010. Биологическое разнообразие и структура сообществ организмов // Биология внутренних вод. № 3. С. 3-10.
- Водоросли. 1989. Справочник / Ред. С.П. Вассер, Н.В. Кондратьева, Н.П. Масюк. Киев: Наукова думка. 608 с.
- Горохова О.Г., Зинченко Т.Д. 2014. Фитопланктон высокоминерализованных рек Приэльтона // Известия Самарского Научного Центра РАН. Т. 16. № 5 (5). С. 1715-1721.
- Горохова О.Г., Зинченко Т.Д. 2016. Разнообразие и структура сообществ фитопланктона высокоминерализованных рек бассейна озера Эльтон // Вода: химия и экология. № 11. С. 58-65.
- Генкал С.И., Горохова О.Г. 2021. Диатомовые водоросли (Bacillariophyta) рек, впадающих в озеро Эльтон // Ботанический журнал. Т. 106. № 4. С. 315-323.
- Генкал С.И., Горохова О.Г. 2022. Новые данные по морфологии некоторых широко распространенных и редких пennisнатных диатомовых водорослей (Bacillariophyta) // Новости систематики низших растений. № 56 (1). С. 9-18.
- Генкал С.И., Горохова О.Г., Гололобова М.А. 2021. Новые данные по морфологии *Achnanthes brevipes* (Bacillariophyta) // Новости систематики низших растений № 55 (2). С. 307-314.
- Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В., Горохова О.Г., Абросимова Э.В., Уманская М.В., Попченко Т.В., Шитиков В.К., Гусаков В.И., Болотов С.Э., Лазарева В.И., Селиванова Е.А., Балкин А.С., Плотников А.О. 2021. Функциональные особенности организации структуры планктонных и донных сообществ высокоминерализованных рек бассейна гипергалинного озера Эльтон (Россия) // Экосистемы: экология и динамика. Т. 5. № 1. С. 5-73.
- Канапацкий Т.А., Самылина О.С., Кузнецова А.И. 2018. Первичная продукция фототрофных сообществ солоноводных рек Приэльтона (Волгоградская область) // Доклады Башкирского университета. Т. 3. № 4. С. 416-421.
- Лазарева В.И., Гусаков В.А., Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В. 2013. Зоопланктон солёных рек аридной зоны юга России (бассейн оз. Эльтон) // Зоологический журнал. Т. 92. № 8. С. 882-892.
- Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. 1975. М.: Наука. 239 с.
- Сафонова Т.А., Ермолаев В.И. 1983. Водоросли водоемов системы озера Чаны. Новосибирск. 153 с.
- Федоров В.Д. 1979. О методах изучения фитопланктона и его активности. М.: изд-во МГУ. 167 с.
- Clavero E., Hernández-Marín M., Grimalt J.O., Garcia-Pichel F. 2000. Salinity Tolerance of Diatoms from Thalassic Hypersaline Environments // Phycology. Vol. 36. No. 6. Pp. 1021-1034.
- Gorokhova O.G., Zinchenko T.D. 2021. Communities of Benthic Algae of Salt Rivers in the Basin of Lake Elton: Taxonomic and Quantitative Structure // Biology Bulletin (Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk Seriya Biologicheskaya). Vol. 48. No. 10. Pp. 138-146.
- Karlson B., Cusak C., Bresnan E. 2010. Microscopic and Molecular Methods for Quantitative Phytoplankton Analysis.

IOC Manuals and Guides No. 55. Paris, UNESCO. 110 p.

- Prieto-Barajas C.M., Valencia-Cantero E., Santoyo G.* 2018. Microbial Mat Ecosystems: Structure types, Functional Diversity, and Biotechnological Application // *Electronic Journal of Biotechnology*. Vol. 31. Pp. 48-56.
- Taukulis F.E., John J.* 2006. Diatom Communities in Lakes and Streams of Varying Salinity from South-West Western Australia: Distribution and Predictability // *Journal of the Royal Society of Western Australia*. Vol. 89. Pp. 17-25.
- Underwood G., Provot L.* 2000. Determining the Environmental Preferences of four Estuarine Epipelagic Diatom Taxa: Growth across a Range of Salinity, Nitrate and Ammonium Conditions // *European Journal of Phycology*. Vol. 35. Is. 2. Pp. 173-182.
- Yatsenko-Stepanova T.N., Ignatenko M.E., Nemtseva N.V., Gorokhova O.G.* 2015. Autotrophic Microorganisms in River Outfalls of Lake Elton // *Arid Ecosystems*. Vol. 5. No. 2. Pp. 83-87. [*Яценко-Степанова Т.Н., Игнатенко М.Е., Немцева Н.В., Горохова О.Г.* 2015. Автотрофные микроорганизмы устьевых участков водотоков системы озера Эльтон // *Аридные экосистемы*. Т. 21. № 2 (63). С. 47-54.]