

DOI 10.31029/vestdnc97/4

УДК 581.526.325.2

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ВИДОВОЙ СТРУКТУРЫ И КОЛИЧЕСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФИТОПЛАНКТОНА В ЧИРКЕЙСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

А. А. Абдурахманова, ORCID: 0000-0001-8738-506X

Ф. Ш. Амаева, ORCID: 0000-0003-2520-5531

М. М. Османов, ORCID: 0000-0002-5542-0083

М. М. Алигаджиев, ORCID: 0000-0002-8581-6986

Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского
федерального исследовательского центра РАН, Махачкала, Россия

SEASONAL DYNAMICS OF THE SPECIES STRUCTURE AND QUANTITY DISTRIBUTION OF PHYTOPLANKTON IN THE CHIRKEY RESERVOIR

A. A. Abdurakhmanova, ORCID: 0000-0001-8738-506X

F. Sh. Amaeva, ORCID: 0000-0003-2520-5531

M. M. Osmanov, ORCID: 0000-0002-5542-0083

M. M. Aligadzhiev, ORCID: 0000-0002-8581-6986

Precaspian Institute of Biological Resources of the
Daghestan Federal Research Centre of RAS, Makhachkala, Russia

Аннотация. Исследовали видовой состав фитопланктона и его сезонные изменения в водных экосистемах Чиркейского водохранилища летом и осенью 2024 г. Всего было выявлено 25 видов микроводорослей, относящихся к трем отделам: Bacillariophyta – 19 видов, Cyanophyta – 3 вида и Chlorophyta – 3 вида. Видовое разнообразие фитопланктона на исследуемом участке изменялось в пределах от 16 видов (летом) до 12 (осенью), из которых 60–80% составляли представители отдела диатомовых (Bacillariophyta). Пик вегетации сине-зеленых водорослей наблюдается в основном в середине лета, когда температурные показатели воды были достаточно высокими для их массового развития. Диатомовые водоросли формировали основу таксономического состава, который менялся в зависимости от сезона. Количественное развитие фитопланктона также менялось в сезонной динамике, снижаясь от лета к осени. Бедное видовое разнообразие и низкая продукция фитопланктона Чиркейского водохранилища, по-видимому, были связаны с условиями, в которых он формировался, низкие летние температуры воды в водохранилище и недостаточная обеспеченность биогенными элементами не способствовали интенсивному развитию фитопланктона. В открытой части водохранилища на протяжении всего вегетационного периода основную массу фитопланктона составляли солоновато-водные и эвригалинные диатомовые и сине-зеленые водоросли, ближе к речной части – генетически пресноводные зеленые.

Abstract. The species composition of phytoplankton and its seasonal changes in the aquatic ecosystems of the Chirkey Reservoir were investigated in the summer and autumn of 2024. A total of 25 species of microalgae were identified, belonging to three divisions: Bacillariophyta – 19 species, Cyanophyta – 3 species, and Chlorophyta – 3 species. The species diversity of phytoplankton in the study area ranged from 16 species (summer) to 12 (autumn), with diatoms (Bacillariophyta) comprising 60–80%. The peak vegetation of blue-green algae was observed mainly in mid-summer, when water temperatures were sufficiently high for their mass development. Diatoms formed the basis of the taxonomic composition, which changed depending on the season. The quantitative development of phytoplankton also changed in seasonal dynamics, decreasing from summer to autumn. The poor species diversity and low phytoplankton production in the Chirkey Reservoir were apparently associated with the conditions of its formation; low summer water temperatures in the reservoir and insufficient provision of nutrients did not contribute to intensive phytoplankton development. In the open part of the reservoir, brackish-water and euryhaline diatoms and blue-green algae constituted the main mass of phytoplankton throughout the growing season, while genetically freshwater green algae were found closer to the river part.

Ключевые слова: фитопланктон, Чиркейское водохранилище, видовое разнообразие, диатомовые водоросли, количественное развитие.

Keywords: phytoplankton, Chirkey Reservoir, species diversity, diatoms, quantitative development.

Чиркейское водохранилище – самое крупное и глубокое (до 220 м) из каскада ГЭС на реке Сулак, с ограниченной зоной мелководий. Оно имеет длину изрезанной береговой линии около 80 км, площадь зеркала 42 км² и рассчитано на аккумулятивное полугодового стока р. Сулак. К впадающим водотокам

относятся реки Аварское Койсу и Андийское Койсу, вытекающий водоток – р. Сулак. Часть водохранилища носит озеровидный характер, часть – русловой. Пресная вода в водохранилище прозрачная, летом прогревается до $+23^{\circ}\text{C}$, а зимой опускается до $+4^{\circ}\text{C}$. В зимне-весенний период наблюдается понижение уровня воды, прибрежные участки осушаются, затем до осени идет его повышение. Самый низкий уровень воды приходится на апрель, максимум на август – октябрь. Чиркейское водохранилище – это горный водоем, который характеризуется сложными экологическими условиями и бедной кормовой базой всех трофических уровней, что связано с суровостью условий в горных и предгорных реках: низкая температура воды, высокая скорость течения и т.д. [1, 2].

Под влиянием хозяйственной деятельности происходят изменения качества природных вод и состояния водных экосистем, что является острой экологической проблемой. Нарастающее антропогенное влияние на природные комплексы приводит к истощению водных объектов. Вода в водохранилище умеренно-загрязненная, но наблюдается тенденция к усилению ее загрязнения, что связано со сбросом в бассейн р. Сулак промышленных и сельскохозяйственных отходов, которые в нем со временем накапливаются.

Планктонные водоросли и их сообщества в экосистеме водных объектов играют важную роль, они вовлекаются в трофические цепи и круговорот веществ и энергии. Фитопланктон – важнейший биологический компонент водной среды, главная автотрофная составляющая, преобразующая в процессе фотосинтеза неорганические соединения в органические. Он используется для мониторинга водных объектов, так как является чувствительным биоиндикатором, быстро реагирующим на внешние воздействия. Низкие летние температуры воды в водохранилище и недостаточная обеспеченность биогенными элементами не способствуют интенсивному развитию фитопланктона. Биогенные элементы (азот, фосфор, кремний, железо) являются источниками потенциальной энергии и необходимы для обеспечения нормальной жизнедеятельности микроводорослям. Интенсивное развитие фитопланктона происходит в водной среде, нагреваемой солнечными лучами, где верхние слои воды смешиваются с нижними и обогащаются выносимыми на поверхность минеральными веществами, обеспечивающими биологическую продуктивность водных объектов. Главная роль в снабжении водохранилища биогенными веществами принадлежит речному стоку. При снижении объема притока речных вод наблюдается тенденция к снижению поступающих биогенных элементов, что в свою очередь ведет к смене видового состава фитопланктона водохранилища [3].

Целью наших исследований является анализ современного состояния фитопланктона, его видового разнообразия и сезонных изменений в водных экосистемах Чиркейского водохранилища.

Материал и методы

Чиркейское водохранилище условно можно разделить на 3 гидро-морфологические зоны: приплотинная глубоководная зона с признаками озерного режима; средняя промежуточная часть с меньшими глубинами, чем в приплотинной зоне и значительными площадями прибрежных мелководий; верхняя зона, сравнительно мелководная, с устьевым участком речного русла.



Рис. 1. Места отбора проб фитопланктона на Чиркейском водохранилище

В 2024 г. были проведены исследования фитопланктона Чиркейского водохранилища, которые включали анализ его видового состава, сезонной и пространственной динамики. Пробы фитопланктона отбирали с помощью планктонной сетки по стандартным методикам [4–6] в верхнем 0–5 м слое воды летом и осенью с двух станций: станции 1, расположенной ближе к береговой части водохранилища, и станции 2 – в приплотинной части водохранилища. В ноябре пробы отбирали еще с одной станции (станция 3), когда левобережная часть плотины заполняется водой и здесь образуется бухта. Всего за период исследований было отобрано и обработано 90 проб фитопланктона. Собранный материал фиксировали 4% формалином, концентрировали и отстаивали по общепринятым методам осаждения [6]. Камеральную обработку проб проводили под световым микроскопом Olympus CX-21 в камере Нажотта объемом 0,1 мл. Биомассу водорослей рассчитывали, используя формулы геометрического подобия клеток и таблицу стандартных весов. Таксономическую принадлежность водорослей устанавливали по определителям и руководствам [5, 7–9].

Результаты исследований

Фитопланктон Чиркейского водохранилища не отличался богатством видового разнообразия, что связано с условиями, в которых он формируется. Чистые горные реки ледникового происхождения приносят в водохранилище холодную воду с низким содержанием биогенных элементов, поступление которых зависит от гидрометеорологических условий и антропогенной нагрузки.

За период наших исследований было выявлено 25 видов водорослей, относящихся к трем отделам: Bacillariophyta – 19 видов, Cyanophyta – 3 вида и Chlorophyta – 3 вида. Водоросли других отделов в наших исследованиях обнаружены не были на протяжении всего периода вегетации, который длится с мая по октябрь. Видовое разнообразие фитопланктона на исследуемом участке изменялось в пределах от 16 видов (летом) до 12 (осенью), из которых от 60 до 80% составляли водоросли отдела Bacillariophyta.

В открытой части водохранилища на протяжении всего вегетационного периода основную массу фитопланктона составляли солоновато-водные и эвригалинные диатомовые и сине-зеленые водоросли, ближе к речной части – генетически пресноводные зеленые. Диатомовые водоросли являются важным компонентом фитоценозов морских экосистем, которые формируют более 60% первичной продукции, в основном весной и осенью.

Пик вегетации сине-зеленых водорослей наблюдался в середине лета, когда температурные показатели воды были достаточно высокие для их массового развития (табл. 1).

Таблица 1. Видовой состав фитопланктона Чиркейского водохранилища летом 2024 г.

№	Виды	Станция 1	Станция 2
BACILLARIOPHYTA			
1.	<i>Nitzschia distans</i> Gregory		+
2.	<i>Nitzschia acicularis</i> (Kütz.) W.Sm	+	
3.	<i>Thalassionema nitzschioides</i> Grun	+	+
4.	<i>Pseudosolenia calcar avis</i> M.Schultz	+	+
5.	<i>Thalassiosira caspica</i> Makar.	++	++
6.	<i>Actinocyclus ehrenbergii</i> Ralfs		++
7.	<i>Diatoma anceps</i> Grun		+
8.	<i>D. vulgare</i> Bory		+
9.	<i>Cymbella lanceolata</i> Ehr,		+
10.	<i>Roicosphaeria curvata</i> Kütz		+
11.	<i>Cocconeis placentula</i> Ehr		+
12.	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grun	+	++
13.	<i>Achnanthes minutissimum</i> Kütz.	+	
14.	Centrophyceae мелкие формы центрических диатомовых	+	+
CYANOPHYTA			
15.	<i>Oscillatoria</i> sp.	+	+
16.	<i>Gloeocapsa turgida</i> Kütz.	+	
	Всего видов	9	13

К летним доминантам водохранилища относились такие виды, как *Thalassionema nitzschioides*, *Nitzschia acicularis*, *Pseudosolenia calcar avis*, *Cymbella lanceolata*, *Actinocyclus ehrenbergii*, *Nitzschia distans*, *Cocconeis placentula*, *Rhoicosphaeria curvata*, *Diatoma vulgare*, *Nitzschia acicularis*, *Achnanthydium minutissimum* и др. В летних пробах также часто встречались центрические диатомеи родов *Stephanodiscus*, *Actinocyclus*, *Thalassiosira* и *Coscinodiscus* очень мелких размеров, что не позволило определить их до вида.

При максимальной температуре воды в летний период в фитоценозе приплотинной части водохранилища кроме диатомовых встречались сине-зеленые водоросли, представленные всего двумя видами (табл. 1). Роль этих водорослей была незначительной, так как их массового развития не наблюдалось, они встречались в пробах редко или локально, не образуя высокой численности и биомассы.

Наиболее высоких показателей численности и биомассы фитопланктон достигал также в летний период. Доминирующие во все сезоны по количеству обнаруженных видов водоросли отдела Bacillariophyta, преобладали также по количественному развитию. Численность диатомовых в этот период на станции 1 составляла более 8,5 млн экз./м³, а биомасса 0,8 г/м³, что примерно в 1,5 раза превышало эти показатели на станции 2 – 14,4 млн экз./м³ и 1,5 г/м³ соответственно (табл. 2).

Таблица 2. Численность (экз./м³) и биомасса (г/м³) фитопланктона Чиркейского водохранилища летом 2024 г.

№	Виды	Станция 1		Станция 2	
		численность	биомасса	численность	биомасса
BACILLARIOPHYTA					
1.	<i>Nitzschia distans</i> Gregory	–	–	186 000	0,020
2.	<i>Nitzschia acicularis</i> (Kutzing) W. Sm	96 000	0,009	–	–
3.	<i>Thalassionema nitzschioides</i> Grun	192 000	0,040	576 000	0,110
4.	<i>Pseudosolenia calcar avis</i> M,Schultz	576 000	0,380	192 000	0,190
5.	<i>Thalassiosira caspica</i> Makar.	672 000	0,210	965 000	0,540
6.	<i>Actinocyclus ehrenbergii</i> Ralfs	–	–	194 000	0,060
7.	<i>Diatoma anceps</i> Grun	–	–	384 000	0,038
8.	<i>D. vulgare</i> Bory	–	–	92 000	0,001
9.	<i>Cymbella lanceolata</i> Ehr.	–	–	98 000	0,009
10.	<i>Roicosphaeria curvata</i> Kutzing.	–	–	96 000	0,040
11.	<i>Cocconeis placentula</i> Ehr.	–	–	384 000	0,190
12.	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grun	132 000	0,006	–	–
13.	<i>Achnanthydium minutissimum</i> Kutz.	87 000	0,001	–	–
14.	Centrophyceae мелкие формы центрических диатомовых	681 6000	0,180	11 232 000	0,290
Итого:		8 571 000	0,826	14 399 000	1,488
CYANOPHYTA					
1.	<i>Oscillatoria</i> sp,	768 000	0,002	1 342 000	0,007
2.	<i>Gloeocapsa turgida</i> Kutz.	192 000	0,002	–	–
Итого		–	–	–	–
Всего		9 531 000	0,830	15 741 000	1,495

Максимум численности и биомассы наблюдался у диатомовой водоросли *Thalassiosira caspica* – 965 000 экз./м³ и 0,54 г/м³ соответственно (табл. 2). Массовое количественное развитие в этот период получили мелкоклочные формы диатомовых водорослей класса Centrophyceae. Их суммарная численность была достаточно высокой, на станции 2 она превышала 11 млн экз./м³ (табл. 2). Не очень ценная в кормовом отношении диатомея *Pseudosolenia calcar avis* при невысокой численности (576 000 экз./м³) из-за своих крупных размеров сформировала сравнительно высокую биомассу (0,38 г/м³). Массовое развитие *P. calcar avis* может вызвать «цветение воды» и сокращение ареалов зеленых и сине-зеленых водорослей, что коренным образом меняет состав и распределение фитопланктона. Часто на станции 2 встречалась в пробах *Oscillatoria* sp. из отдела Cyanophyta, численность которой составляла свыше 1 млн экз./м³, а биомасса из-за ее мелких размеров была незначительной. Еще один представитель этого отдела *Gloeocapsa turgida* в пробах отмечался локально.

В осенний период было выявлено 12 видов микроводорослей, в основном в приплотинной части водохранилища (станция 2) (табл. 3).

Таблица 3. Видовой состав фитопланктона Чиркейского водохранилища осенью 2024 г.

№	Виды	Станция 1	Станция 2	Станция 3
BACILLARIOPHYTA				
1.	<i>Navicula sp.</i>		+	+
2.	<i>Nitzschia sp.</i>		+	
3.	<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kutz.		+	+
4.	<i>Cyclotella comta</i> Ehr. Grun	+	+	+
5.	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grun			
6.	<i>Coscinodiscus sp.</i>		+	
7.	<i>Cymbella lanceolata</i> Ehr.		+	
8.	<i>Cymbella turgida</i> W. Gregory	+		
CLOROPHYTA				
1.	<i>Coelastrum microphorum</i> Nag.	+	+	+
2.	<i>Spirogyra p.</i>		+	
3.	<i>Scenedesmus bijgatus</i> (Turp.)	+	+	+
CYANOPHYTA				
1.	<i>Spirulina sp.</i>	+		

Видовой состав фитопланктона был сформирован водорослями, относящимися к 3 отделам, и отличался от летнего, так как произошла сезонная смена лидирующих комплексов. Диатомовые также составляли основу видового разнообразия, которое было сформировано уже другими видами, за исключением двух диатомей *Stephanodiscus hantzschii* и *Cymbella lanceolata*, которые были отмечены и в летних, и в осенних пробах. В осенних пробах также было обнаружено 3 вида водорослей отдела Clorophyta.

По частоте встречаемости в пробах преобладали два вида диатомовой водоросли рода *Cymbella* – *C. lanceolata* и *C. turgida*, остальные виды встречались единично. Как видно из табл. 4, количественные показатели осеннего фитопланктона значительно уступали летним. Слабое развитие фитопланктона в этот период объясняется окончанием периода вегетации микроводорослей с понижением температуры воды.

Таблица 4. Численность (экз./м³) и биомасса (г/м³) фитопланктона Чиркейского водохранилища осенью 2024 г.

№	Виды	Станция 1		Станция 2		Станция 3	
		числен- ность	био- масса	числен- ность	био- масса	числен- ность	био- масса
BACILLARIOPHYTA							
1.	<i>Navicula sp.</i>	–	–	–	–	198 000	0,09
2.	<i>Nitzschia sp.</i>	–	–	160 000	0,01	–	–
3.	<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kutz.	–	–	–	–	96 000	0,04
4.	<i>Cyclotella comta</i> Grun.	–	–	384 000	0,09	–	–
5.	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grun.	192 000	0,11	768 000	0,18	98 000	0,07
6.	<i>Coscinodiscus radiatus</i> Gough.	–	–	586 000	0,12	–	–
7.	<i>Cymbella lanceolata</i> Ehr.	–	–	600 000	0,05	–	–
8.	<i>Cymbella turgida</i> W.Gregory	196 000	0,06	–	–	–	–
Итого:		388 000	0,17	249 8000	0,45	392 000	0,20
CLOROPHYTA							
1.	<i>Coelastrum microphorum</i> Nag.	96 000	0,01	–	–	196 000	0,02
2.	<i>Scenedesmus bijgatus</i> (Turp.) Rutz.	84 000	0,08	576 000	0,07	676 000	0,16
3.	<i>Spirogyra sp.</i>	–	–	96 000	0,01	–	–
Итого:		180 000	0,09	672 000	0,08	872 000	0,18
CYANOPHYTA							
1.	<i>Spirulina sp.</i>	–	–	192 000	0,07	–	–
Итого		–	–	192 000	0,07	–	–
Всего		568 000	0,26	336 2000	0,60	126 4000	0,38

Заключение

Фитопланктон Чиркейского водохранилища был представлен пресноводно-солонатоводными видами водорослей и не отличался богатством видового разнообразия. Летом в пробах фитопланктона было обнаружено 16 видов, а осенью – 12. Диатомовые водоросли формировали основу таксономического состава, который менялся в зависимости от сезона. Количественное развитие фитопланктона также менялось в сезонной динамике, снижаясь от лета к осени. Отмечены также различия видового обилия и количественного развития фитопланктона между отдельными участками отбора проб.

Бедная продукция фитопланктона, по-видимому, была обусловлена низкой температурой воды из горных рек Андийское Койсу, Аварское Койсу и р. Сулак и недостаточным поступлением с их водами в водохранилище биогенных элементов, необходимых для развития микроводорослей. Вследствие незначительного загрязнения, интенсивного водообмена и насыщенности кислородом воды водохранилища, что исключало его трофированность, в пробах фитопланктона были обнаружены виды, развивающиеся в сравнительно чистой воде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Магомаев Ф.М., Чипинов В.Г., Магомаев Р.Ф., Магомедов Б.Н. Современное состояние и перспективы развития аквакультуры на Чиркейском водохранилище // Юг России: экология, развитие. 2010. Т. 5, № 1. С. 114–120.
2. Мирзоев М.З., Исуев А.Р., Рабаданов А.С., Исмаилова С.И. Физико-географическая характеристика Чиркейского водохранилища // Вестник Дагестанского государственного университета. 2005. № 4. С. 63–68.
3. Дацко В.Г. Органическое вещество в водах Южных морей СССР. М.: Изд. АН СССР, 1959. 272 с.
4. Абакумов В.А. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Гидрометиздат, 1983. 240 с.
5. Киселев И.А. Планктон морей и континентальных водоемов. Л.: Наука, 1969. Т. 1. 658 с.
6. Усачев П.И. Количественная методика сбора и обработки фитопланктона // Труды Всесоюзного гидробиологического общества. 1961. Вып. 11. С. 411–415.
7. Забелина М.М., Киселев И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С. Определитель пресноводных водорослей СССР. Диатомовые водоросли. М.: Советская наука, 1951. Вып. 4. 619 с.
8. Прошкина-Лавренко А.И., Макарова И.В. Водоросли планктона Каспийского моря. Л.: Наука, 1968. 291 с.
9. Dodge J.D. Atlas of Dinoflagellates. London, 1985. 119 p.

Поступила в редакцию 13.03.2025 г.
Принята к печати 28.06.2025 г.

Абдурахманова Айшат Абдулмажидовна, научный сотрудник, Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского федерального исследовательского центра РАН; e-mail: aishat52@mail.ru

Ayshat A. Abdurakhmanova, researcher, Precaspian Institute of Biological Resources of the Daghestan Federal Research Centre of RAS; e-mail: aishat52@mail.ru

Амаева Франгиз Шамильевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского федерального исследовательского центра РАН; e-mail: a_frana@mail.ru

Frangiz Sh. Amaeva, Candidate of Biology, researcher, Precaspian Institute of Biological Resources of the Daghestan Federal Research Centre of RAS; e-mail: a_frana@mail.ru

Османов Магомед Магомедович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского федерального исследовательского центра РАН; e-mail: inkvachilav@mail.ru

Magomed M. Osmanov, Candidate of Biology, senior researcher, Precaspian Institute of Biological Resources of the Daghestan Federal Research Centre of RAS; e-mail: inkvachilav@mail.ru

Алигаджиев Мурад Мухтарович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского федерального исследовательского центра РАН; e-mail: pibrmbs@mail.ru

Murad M. Aligadzhiev, Candidate of Biology, senior researcher, Precaspian Institute of Biological Resources of the Daghestan Federal Research Centre of RAS; e-mail: pibrmbs@mail.ru