

УДК. 574.581.232

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА В ПРИПЛОТИННОМ ПЛЕСЕ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В ПЕРИОД МАССОВОГО РАЗВИТИЯ CYANOPROKARYOTA

© 2024 О. Г. Горохова

Самарский федеральный исследовательский центр РАН,
Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти, Россия

Статья поступила в редакцию 17.09.2024

Приведены данные о вертикальном распределении автотрофного планктона в Приплотинном плёсе Куйбышевского водохранилища летом 2023 г. во время массового развития Cyanoprokaryota и «цветения» воды. В планктоне идентифицирован 41 вид из пяти систематических групп: Cyanoprokaryota – 14, Bacillariophyta – 9, Chlorophyta – 16, Cryptophyta – 1, Dinophyta – 1. Пределы изменения численности составили: 0,35-158,95 млн кл./л, биомассы – 0,05-16,83 мг/л; наибольшие величины отмечены в поверхностном горизонте (0-2 м). К доминирующим относились в основном виды Cyanoprokaryota: *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa*, *Dolichospermum flos-aquae*. Видовое разнообразие в альгоценозах изменялось от 0,38-0,86 бит/экз. в горизонте, где концентрируются Cyanoprokaryota, до 1,47-2,48 бит/экз. – на глубине от 3 до 7-9 м, где развивались виды других систематических групп водорослей: в основном Bacillariophyta и Chlorophyta. Вертикальное распределение этих видов характеризовалось увеличением концентрации клеток на более глубоких горизонтах в сравнении с поверхностными, что связано с их адаптацией к массовому развитию Cyanoprokaryota.

Ключевые слова: «цветение» воды, вертикальное распределение фитопланктона, Приплотинный плёс Куйбышевского водохранилища, Волжский бассейн.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-5-88-93

EDN: WNUAMJ

Работа выполнена в рамках темы государственного задания «Изменение, устойчивость и сохранение биологического разнообразия под воздействием глобальных изменений климата и интенсивной антропогенной нагрузки на экосистемы Волжского бассейна» 122032500063-0 (регистрационный номер 1021060107212-5-1.6.20; 1.6.19) ИЭВБ РАН – филиала СамНЦ РАН

ВВЕДЕНИЕ

Изучению структурных и продукционных характеристик фитопланктона Куйбышевского водохранилища посвящены многочисленные публикации. Многие исследования касаются проблемы «цветения» воды и условий, которые приводят к обильному развитию Cyanoprokaryota (цианобактерий, синезелёных водорослей). В первые же годы образования Куйбышевского водохранилища исследователи регистрировали изменения таксономической структуры и соотношения преобладающих групп водорослей: существенное увеличение содержания Cyanoprokaryota, их доминирование в летнем планктоне, увеличение продолжительности и интенсивности «цветения» [1, 8, 12]. В ходе изучения сезонной сукцессии фитопланктона были выявлены особенности доминирования Cyanoprokaryota: максимальное обилие в более эвтрофных зонах (приплотинных, мелководных, пойменных водоёмах и заливах), а также зависи-

Горохова Ольга Геннадьевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории гидробиологии. E-mail: o.gorokhova@yandex.ru

мость структурных характеристик альгоценозов от степени развития Cyanoprokaryota [9, 13, 14]. Целый ряд исследований касаются изучения зависимости их развития и распределения на акватории от биогенной нагрузки, гидрометеорологических условий и режима работы ГЭС [4, 10, 11, 13, 14]. Что касается Приплотинного плёса, то по данным многолетних исследований этого участка Куйбышевского водохранилища фитопланктон здесь имеет лимнофильный характер, а для развития Cyanoprokaryota создаются наиболее благоприятные условия [8, 9, 12-14].

Функциональное состояние фитопланктона имеет большое значение для жизни гидробионтов и развития биологических процессов в водоеме. Одной из характеристик сообществ водорослей является пространственно-временная неоднородность распределения, что связано с гидродинамическими условиями, наличием градиентов освещенности, температуры, а также с содержанием биогенных веществ, конкуренцией за ресурсы, выеданием зоопланктоном. В частности, вертикальное распределение и миграции видов в альгоценозах указывают на наличие в толще воды физико-химических и

биологических процессов, которые обуславливают особенности расположения их популяций [15, 17]. На практике данные о распределении видов по глубине, нужны, например, для оценки кормовой базы и влияния на состав и продуктивность гидробионтов вертикальной структуры водного столба [2, 5, 7, 15].

Цель исследований – выявить вертикальную структуру сообществ водорослей в период массового развития *Cyanoprokaryota* в Приплотинном плёсе Куйбышевского водохранилища.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Данные о вертикальном распределении автотрофного планктона получены в августе 2023 г. в комплексной экспедиции ИЭВБ РАН. Две станции находились в Приплотинном плёсе и одна станция в нижней части Усинского залива Куйбышевского водохранилища (рис. 1).

Пробы отбирали батометром с борта исследовательского судна от поверхности до дна. При выборе горизонтов сбора проб фитопланктона учитывали величину прозрачности воды. За нижнюю границу зоны фотосинтеза водорослей принимали величину утроенной прозрачности воды по диску Секки [13, 14]. Отбор и обработка проб фитопланктона проведены в соответствии с методами, принятыми в альгологических ис-

следованиях: пробы объемом 0,5 л фиксировали йодно-формалиновым фиксатором, концентрировали фильтрацией через мембранные фильтры; определение и подсчет водорослей проведены в камере типа «учинская», биомасса вычислена счетно-объемным способом [6]. Для характеристики сообществ использовали показатели: численность (млн кл./л), биомасса (мг/л), индекс видового разнообразия Шеннона (бит/экз.) К массовым видам (субдоминантам и доминантам) отнесены виды, формирующие от 5 до 10 % и более 10 % суммарной численности или биомассы фитопланктона соответственно.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В планктоне идентифицирован 41 вид из пяти систематических групп: *Cyanoprokaryota* – 14, *Bacillariophyta* – 9, *Chlorophyta* – 16, *Cryptophyta* – 1, *Dinophyta* – 1. В целом количество видов фитопланктона в исследуемый период невысокое, за исключением *Cyanoprokaryota*, наибольшее разнообразие которых приходится на июль-август [13, 14].

Доминирующие виды.

Состав и структура доминирующего комплекса на всех станциях довольно однообразны. В планктоне по численности и по биомассе преобладали в основном виды *Cyanoprokaryota*:



Рис. 1. Схема района исследований

Aphanizomenon flos-aquae (L.) Ralfs ex Born. et Flah., *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz., *Dolichospermum flos-aquae* (Lyngb.) Wacklin et al., *Pseudanabaena limnetica* (Lemm.) Kom., эпизодически – *Aphanocapsa incerta* (Lemm.) Cronb. и *A. planctonica* (G.M. Smith) Kom. & Anagn. Из видов других отделов в составе доминирующих по биомассе в некоторых пробах были представители Bacillariophyta (*Aulacoseira granulata* (Ehr.) Sim.) и Chlorophyta (*Pandorina morum* (O.F.M.) Borg, *Eudorina elegans* Ehr.). Все эти виды являются характерными для летнего планктона Приплотинного плёса по результатам многолетних наблюдений [13, 14].

Вертикальное распределение фитопланктона.

В поверхностных горизонтах воды три вида (в различном количественном соотношении) обусловили уровень численности и сформировали «цветение». Основной доминирующий

вид по всей глубине – *Aphanizomenon flos-aquae*. Максимум его вертикального профиля отмечен в горизонте 0-2 м, где на его долю приходилось до 95% численности (рис. 2); здесь абсолютные максимумы численности вида составили: 32,4-134,4 млн кл/л, биомассы – 2,14-8,87 мг/л. Виды *Microcystis aeruginosa* и *Dolichospermum flos-aquae* отмечены в меньшем количестве: на рис. 2 их численность показана по шкале другой размерности. Основная часть популяций массовых видов Cyanoprokaryota находится в пределах фотической зоны, что особенно хорошо выражено в штилевую погоду (рис. 1 А, С), при ветровом волнении распределение более равномерное и до больших глубин (рис. 1 В). По результатам многолетних мониторинговых исследований ИЭВБ РАН на акватории Приплотинного плёса отмечены подобные особенности летнего вертикального распределения планктонных циано-

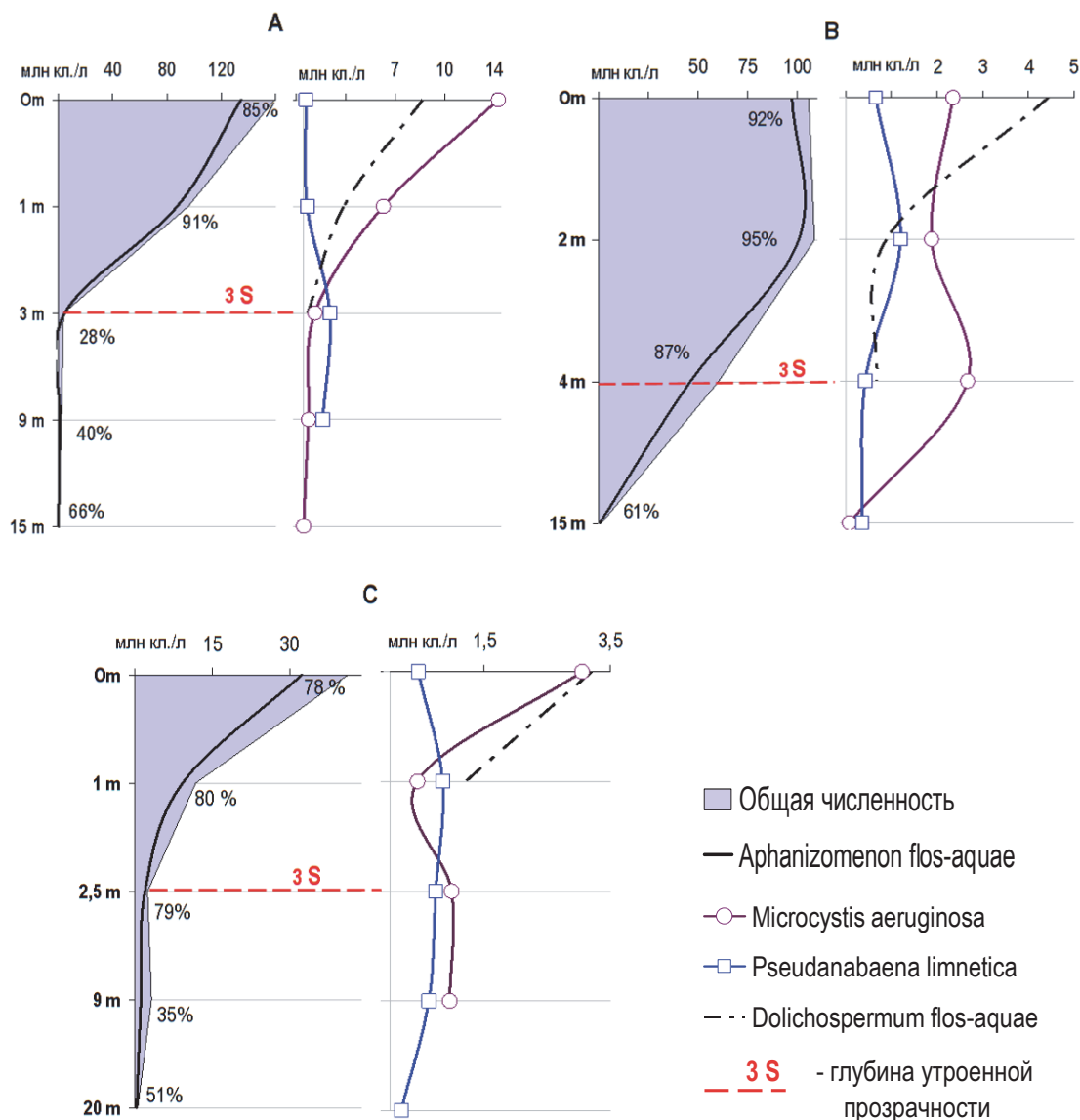


Рис. 2. Вертикальное распределение общей численности фитопланктона и численности доминирующих видов Cyanoprokaryota на станциях наблюдений.

Примечание. На рисунках для *Aphanizomenon flos-aquae* цифрами показана доля (%) от общей численности фитопланктона

прокариот: виды, которые вызывают «цветение» воды концентрируются в основном в поверхностных горизонтах, при небольшом волнении распределяясь на глубину фотического слоя, а в штилевую погоду образуют «поля цветения» с исключительно высокой плотностью популяций [13, 14]. Это обусловлено их физиологическими особенностями: возможностью с помощью газовых везикул регулировать свой удельный вес и занимать нужное положение в водной толще [17].

На фоне массового развития Суанопрокариота количественное развитие прочих групп водорослей невысокое. Лишь несколько видов Bacillariophyta и Chlorophyta постоянно присутствовали в планктоне и были отмечены в основном в составе доминирующих по биомассе. Для вертикального же распределения диатомовых и зелёных водорослей характерно заглубление максимума численности (рис. 3). Так, у диатомовых, представленных в основном видами класса Centrophyceae (*Aulacoseira granulata*, *Stephanodiscus hantzschii* Grun., *Discostella pseudostelligera* (Hustedt) Houk et Klee) изменение численности характеризовалось некоторым увеличением концентрации клеток на более глубоких горизонтах, в сравнении с поверхностными (рис. 3). Два вида зелёных водорослей (*Pandorina morum* (O.F.M.) Vory и *Eudorina elegans* Ehr.) распределялись подобным образом на станциях водохранилища (рис. 3А,В), однако в Усинском заливе максимум их численности зарегистрирован у поверхности (рис. 3С). Возможно это

связано тем, что на этой станции численность Суанопрокариота в период наблюдений была на порядок ниже, чем в Приплотинном плёсе (рис. 2). В целом же особенности вертикального распределения этих видов, вероятно, демонстрируют адаптивную реакцию на совместное нахождение в планктоне с Суанопрокариота в период массового развития последних.

Видовое разнообразие.

Изменение ценотической структуры и снижение видового разнообразия в сообществах планктона во время массового развития Суанопрокариота отмечено исследователями неоднократно [9, 16, 17]. Что касается наших наблюдений, то видовое разнообразие в альгоценозах изменялось в зависимости от вертикального распределения цианопрокариот и от величины их численности. Так, на станциях в водохранилище индекс видового разнообразия составлял 0,38-0,86 бит/экз. в горизонте, где концентрировались Суанопрокариота, а на глубине от 3 до 7-9 м, где развивались виды других систематических групп, был выше – 1,47-2,48 бит/экз. Структура альгоценозов на станции в Усинском заливе была разнообразнее: величины индекса Шеннона в целом больше, чем на станциях Приплотинного плёса – 1,17-2,35 бит/экз. Как отмечено выше, численность Суанопрокариота здесь была на порядок меньше, чем в водохранилище, кроме того для альгоценозов Усинского залива наблюдается экотонный эффект, выраженный в

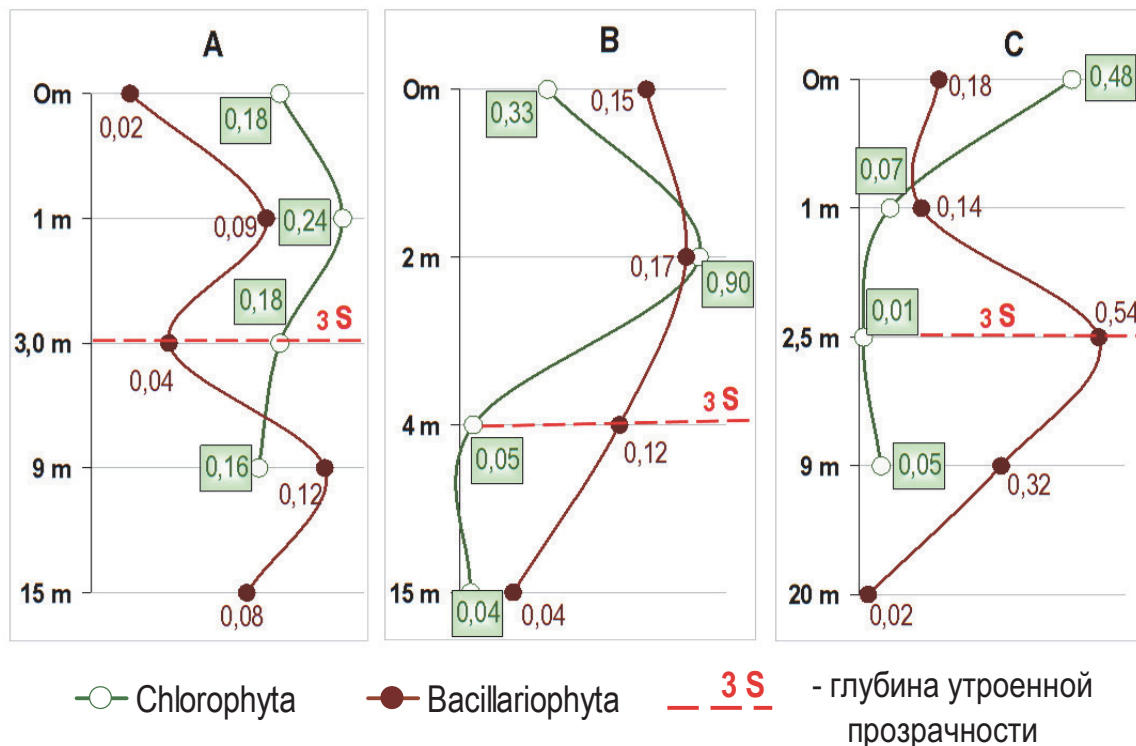


Рис. 3. Вертикальное распределение численности зелёных и диатомовых водорослей на станциях наблюдений.

Примечание. Цифрами на рисунках показана численность, млн кл./л.

увеличении видового разнообразия [3]. Однако для вертикального распределения показателя видового разнообразия максимум был отмечен нами также на горизонтах 2-9 м.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В августе 2023 г. в период «цветения» воды пределы изменения численности автотрофного планктона по профилю глубины составили: 0,35-158,95 млн кл./л, биомассы – 0,05-16,83 мг/л. «Цветение» обусловлено массовым развитием *Synechococcus*, которые доминировали не только по численности, но и по биомассе. Основной доминирующий вид по всей глубине – *Aphanizomenon flos-aquae*; виды *Microcystis aeruginosa* и *Dolichospermum flos-aquae* развивались с численностью на 1-2 порядка меньшей (субдоминанты). Количество водорослей других отделов было низким, с заметной долей по биомассе лишь у *Bacillariophyta* и *Chlorophyta*. Вертикальное распределение водорослей имело следующие особенности:

- основная часть популяций массовых видов *Synechococcus* находилась в пределах фотической зоны в штилевую погоду, при ветровом волнении распределяясь более равномерно и до больших глубин,

- максимумы численности и биомассы автотрофного планктона отмечены в горизонте воды 0-2 м,

- на фоне массового развития *Synechococcus* для вертикального распределения других групп водорослей характерно заглубление максимума численности как вероятное избегание горизонта «цветения» воды,

- видовое разнообразие в альгоценозах изменялось от 0,38-0,86 бит/экз. в горизонте, где концентрируются *Synechococcus*, до 1,47-2,48 бит/экз. на глубине от 3 до 7-9 м, где развивались виды других систематических групп водорослей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусева К.А., Приймаченко А.Д., Кузьмин Г.В. Фитопланктон р. Волги от верховьев до Волгограда // Волга-1: Тез. докл. Тольятти, 1968. С. 81-83.
2. Дзюбан Н.А., Урбан В.В. О вертикальной миграции зоопланктона в Куйбышевском водохранилище // Биологические продукционные процессы в бассейне Волги. Л., 1976. С. 103-111.
3. Зинченко Т.Д., Саксонов С.В., Сенатор С.А., Минеев А.К., Головатюк Л.В., Горохова О.Г., Болотов С.Э., Курина Е.М., Абросимова Э.В., Уманская М.В., Кузнецова Р.С., Михайлов Р.А., Попченко Т.В. Экологический паспорт реки Усы (правобережный приток Волги) // Бюлл. «Самарская Лука»: проблемы региональной и глобальной экологии. 2019, Т. 28. № 2. С. 156-188.
4. Корнева Л.Г. Состав и экология цианобактерий в водохранилищах Волго-Донского бассейна // Цианопрокарियोты/цианобактерии: систематика, экология, распространение. Матер. докл. II Междунар. науч. школы-конф. Сыктывкар: ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2019. С. 32-37.
5. Лаврентьева Г.М. Фитопланктон малых удобряемых озер М.: Агропромиздат, 1986. 103 с.
6. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 240 с.
7. Миргородченко Н.Н. Фитопланктон // Закономерности формирования кормовой базы и ихтиофауны Куйбышевского водохранилища / Тр. Тат. отд. ГосНИОРХ. 1970. Вып.11. С. 18-20.
8. Приймаченко А.Д. Синезеленые водоросли планктона Волги до и после зарегулирования стока // Экология и физиология синезеленых водорослей. М.: Наука, 1965. С. 34-39.
9. Продуктивность фитопланктона Куйбышевского водохранилища. Тольятти, 1994. 188 с.
10. Рахуба А.В. Динамика цветения воды на приплотинном участке Куйбышевского водохранилища Известия СамНЦ РАН, т. 25, № 5, 2023. С. 99-106.
11. Селезнева А.В., Селезнев В.А., Беспалова К.В. Массовое развитие водорослей на водохранилищах р. Волги в условиях маловодья // Поволжский экологический журнал. 2014. № 1. С. 88-96.
12. Стройкина В.Г. Численность и биомасса синезеленых водорослей в поверхностном горизонте воды Куйбышевского водохранилища в период цветения 1957-1958 гг. // Бюлл. ИБВВ АН СССР. 1960. № 8-9. С. 9-13.
13. Фитопланктон Нижней Волги. Водохранилища и низовье реки. СПб.: Наука, 2003. 232 с.
14. Экология фитопланктона Куйбышевского водохранилища. Л.: Наука. 1989.
15. Diehl S., Berger S., Ptacnik R., Wild A. Phytoplankton, Light, and Nutrients in a Gradient of Mixing Depths: Field Experiments / Ecology, 2002. V. 83, №. 2, pp. 399-411.
16. Reynolds C.S. Cyanobacterial water blooms // Advances in Botanical Research, 1987. V. 13. pp. 67-143.
17. Reynolds C.S. The Ecology of Phytoplankton. New York: Cambridge University Press, 2006. 535 p.

**VERTICAL DISTRIBUTION OF PHYTOPLANKTON AT THE SECTION
IN FRONT OF THE HYDROELECTRIC DAM NEAR OF KUIBYSHEV RESERVOIR DAM
DURING THE PERIOD OF MASSIVE DEVELOPMENT OF CYANOPROKARYOTA**

© 2024 O.G. Gorokhova

Samara Federal Research Scientific Center RAS,
Institute of Ecology of Volga River Basin RAS, Togliatti, Russia

Data are presented on the vertical distribution of autotrophic plankton near the dam of the Kuibyshev Reservoir in the summer of 2023 during the massive development of Cyanoprokaryota and the “blooming” of water. 41 species from five systematic groups were identified in plankton: Cyanoprokaryota – 14, Bacillariophyta – 9, Chlorophyta – 16, Cryptophyta – 1, Dinophyta – 1. The limits of changes in abundance were: 0.35-158.95 million cells/l, biomass – 0.05-16.83 mg/l; the greatest values are noted in the surface horizon (0-2 m). The dominant species were mainly Cyanoprokaryota species: *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa*, *Dolichospermum flos-aquae*. Species diversity in allogenoses varied from 0.38-0.86 bits/ind. in the horizon where Cyanoprokaryota are concentrated, up to 1.47-2.48 bits/ind. at a depth of 3 to 7-9 m, where species of other systematic groups of algae developed: mainly Bacillariophyta and Chlorophyta. The vertical distribution of these species was characterized by an increase in the concentration of cells at deeper horizons compared to surface ones, which is associated with their adaptation to the massive development of Cyanoprokaryota.

Key words: water bloom, vertical distribution of phytoplankton, dam area of the Kuibyshev reservoir, Volga basin.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-5-88-93

EDN: WNUAMJ

REFERENCES

1. Guseva K.A., Priymachenko A.D., Kuz'min G.V. Fitoplankton r. Volgi ot verkhov'yev do Volgograda // Volga-1: Tez. dokl. Tol'yatti, 1968. S. 81-83.
2. Dzyuban N.A., Urban V.V. O vertikal'noy migratsii zooplanktona v Kuybyshevskom vodokhranilishche // Biologicheskiye produktsionnyye protsessy v bassejne Volgi. L., 1976. S. 103-111.
3. Zinchenko T.D., Saksonov S.V., Senator S.A., Mineyev A.K., Golovatyuk L.V., Gorokhova O.G., Bolotov S.E., Kurina Ye.M., Abrosimova E.V., Umanskaya M.V., Kuznetsova R.S., Mikhaylov R.A., Popchenko T.V. Ekologicheskiy pasport reki Usy (pravoberezhnyy pritok Volgi) // Byull. «Samarskaya Luka»: problemy regional'noy i global'noy ekologii. 2019, T. 28. № 2. S. 156-188.
4. Korneva L.G. Sostav i ekologiya tsianobakteriy v vodokhranilishchakh Volgo-Donskogo basseyna // Tsianoprokarioty/tsianobakterii: sistematika, ekologiya, rasprostraneniye. Mater. dokl. II Mezhdunar. nauch. shkoly-konf. Syktyvkar: IB FITS Komi NTS UrO RAN, 2019. S. 32-37.
5. Lavrent'yeva G.M. Fitoplankton malyykh udobryayemykh ozer M.: Agropromizdat, 1986. 103 s.
6. Metodika izucheniya biogeotsenozov vnutrennikh vodoyemov. M.: Nauka, 1975. 240 s.
7. Mirgorodchenko N.N. Fitoplankton // Zakonomernosti formirovaniya kormovoy bazy i ikhtiofauny Kuybyshevskogo vodokhranilishcha / Tr. Tat. otd. GosNIORKH. 1970. Vyp.11. S. 18-20.
8. Priymachenko A.D. Sinezelenyye vodorosli planktona Volgi do i posle zaregulirovaniya stoka // Ekologiya i fiziologiya sinezelenykh vodorosley. M.: Nauka, 1965. S. 34-39.
9. Produktivnost' fitoplanktona Kuybyshevskogo vodokhranilishcha. Togliatti, 1994. 188 s.
10. Rakhuba A.V. Dinamika tsveteniya vody na priplotinnom uchastke Kuybyshevskogo vodokhranilishcha Izvestiya SamNTS RAN, t. 25, № 5, 2023. S. 99-106.
11. Selezneva A.V., Seleznev V.A., Bepalova K.V. Massovoye razvitiye vodorosley na vodokhranilishchakh r. Volgi v usloviyakh malovod'ya // Povolzhskiy ekologicheskiy zhurnal. 2014. № 1. S. 88-96.
12. Stroykina V.G. Chislennost' i biomassa sinezelenykh vodorosley v poverkhnost-nom gorizonte vody Kuybyshevskogo vodokhranilishcha v period tsveteniya 1957-1958 gg. // Byul. IBVV AN SSSR. 1960. № 8-9. S. 9-13.
13. Fitoplankton Nizhney Volgi. Vodokhranilishcha i nizov'ye reki. SPb.: Nauka, 2003. 232 s.
14. Ekologiya fitoplanktona Kuybyshevskogo vodokhranilishcha. L.: Nauka. 1989.
15. Diehl S., Berger S., Ptacnik R., Wild A. Phytoplankton, Light, and Nutrients in a Gradient of Mixing Depths: Field Experiments / Ecology, 2002. V. 83, №. 2, pp. 399-411.
16. Reynolds C.S. Cyanobacterial water blooms // Advances in Botanical Research, 1987. V. 13. pp. 67-143.
17. Reynolds C.S. The Ecology of Phytoplankton. New York: Cambridge University Press, 2006. 535 p.