

574.583:556.55 (470.22)

Т. А. Чекрыжева

**ФИТОПЛАНКТОН ВЫГОЗЕРСКОГО  
ВОДОХРАНИЛИЩА (РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ,  
РОССИЯ)**

В фитопланктоне Выгозерского водохранилища (Республика Карелия, Россия) обнаружено 264 таксона водорослей рангом ниже рода. Видовое богатство фитопланктона формируется преимущественно диатомовыми (45%), зелеными (32%) и золотистыми (9%) водорослями. Приведены сведения об особенностях эколого-флористического состава фитопланктона водоема, выявлены виды — индикаторы экологического состояния и качества вод. Отмечены изменения в таксономической структуре, выразившиеся в увеличении количества видов — показателей повышенного уровня трофности и органического загрязнения. Проанализированы многолетние данные (1971—2008 гг.) количественного развития фитопланктона северной части Выгозерского водохранилища, испытывающей воздействие сточных вод Сегежского целлюлозно-бумажного комбината. Оценено сапробиологическое состояние вод обследованной акватории.

*Ключевые слова:* фитопланктон, видовой состав, виды-индикаторы, численность, биомасса.

Выгозерское водохранилище (63°30 с. ш., площадь водного зеркала 1140 км<sup>2</sup>, средняя глубина 6,2 м, максимальная 20,0 м) принадлежит к бассейну Белого моря и является одним из крупнейших водоемов, расположенных на территории Республики Карелии [7]. Оно возникло в результате преобразования оз. Выгозеро в связи со строительством Беломорско-Балтийского водного пути (1932—1933 гг.). Основным источником локального загрязнения является Сегежский целлюлозно-бумажный комбинат (ЦБК), начало функционирования которого приходится на конец 1930-х годов. В начальный период работы ЦБК опасности евтрофирования водоема не существовало, озерная экосистема подвергалась воздействию преимущественно высокой концентрации токсических веществ, образующихся при сульфатном способе варки целлюлозы [20, 21, 24, 25]. В дальнейшем, в процессе наращивания мощности комбината, ввода в эксплуатацию (1976 г.) и выхода на проектные мощности (1981 г.) станции биологической очистки (СБО), усилилось антропогенное евтрофирование северной части Выгозерского водохранилища [11], обусловленное высокой концентрацией биогенных элементов в сточных водах предприятия. Начиная с 1993 г., в связи с уменьшением объемов производства ЦБК, отмечается снижение антропогенной нагрузки на водоем.

© Чекрыжева Т. А., 2011

Первые краткие сведения об альгофлоре Выгозера относятся к началу прошлого столетия [17]. Дальнейшие исследования фитопланктона Выгозерского водохранилища охватывают 1971—2008 гг. [2—4, 6, 8, 26].

Цель работы — установить характер изменений эколого-флористического состава, структуры и количественного развития фитопланктона северной части Выгозерского водохранилища, испытывающей длительное воздействие сточных вод Сегежского ЦБК.

**Материал и методика исследований.** Материалом послужили данные собственных наблюдений 2001 (сентябрь), 2007 (июль) и 2008 гг. (июль), архивные и литературные сведения о фитопланктоне за 1971—1999 гг. Пробы отбирали в различных районах северной части Выгозерского водохранилища и обрабатывали в соответствии с общепринятыми методами [9, 10, 22, 28]. Эколого-географические характеристики видов водорослей устанавливали согласно данным литературы [1, 5, 12, 15]. Оценку сапробности воды проводили по Пантле — Букк в модификации Сладечека [27], а также в соответствии с эколого-санитарными классификациями поверхностных вод суши [13, 16].

### Результаты исследований и их обсуждение

Флористический список фитопланктона Выгозерского водохранилища, насчитывающий ранее 164 и 200 таксонов рангом ниже рода [2, 3, 26], расширен до 264 таксонов из 8 отделов. Наиболее разнообразными были диатомовые, зеленые и золотистые водоросли. Соотношение количества видов основных отделов (диатомовые, зеленые, золотистые) в современный период (табл. 1) сходно с наблюдавшимся в предыдущий [2, 3, 26].

Экологические характеристики планктонных водорослей Выгозерского водохранилища типичны для водоемов севера Европейской части России [8]. Характерно преобладание космополитных форм при наличии бореальных и арктоальпийских видов. По отношению к рН среды преобладают виды-индифференты (64%), существенно также доля алкалофильных (23%) и ацидофильных (13%) форм. По отношению к минерализации, помимо большого количества видов-индифферентов (72%), разнообразно представлены галофобы (20%) и галофилы (8%). Доля видов — индикаторов сапробности достигала 60% общего количества обнаруженных водорослей. Большинство из них относилось к  $\alpha$ -сапробным (25%),  $\alpha$ — $\beta$ -мезосапробным (20%) и  $\beta$ -мезосапробным (42%) формам. Среди показателей высокой степени сапробности (9%) обнаружены  $\beta$ — $\alpha$ -мезосапробные (*Monoraphidium irregulare* (G. S. Sm.) Kom.-Legn.), *Euglena acus* Ehr.),  $\alpha$ -мезосапробные (*Nitzschia acicularis* W. Sm., *Oscillatoria planctonica* Wolosz., *Oscillatoria sancta* (Kütz.) Gom., *Oscillatoria tenuis* Ag. ex Gom.) и  $\rho$ — $\alpha$ -сапробные виды (*Euglena viridis* Ehr.). В то же время ксеносапробы весьма малочисленны (4%).

Для зимнего (март — апрель 1972 г.) фитопланктона были характерны невысокие численность и биомасса, не превышавшие 32 тыс. кл/дм<sup>3</sup> и 0,11 мг/дм<sup>3</sup> [3]. Доминировали диатомовые (*Aulacoseira islandica* (O. Müll.) Sim.) и динофитовые (*Peridinium aciculiferum* Lemm.) водоросли, создавав-

### 1. Видовая представленность и общее количество видов Выгозерского водохранилища

Отделы	Доля видов, %		
	1971—1973 гг.	1992—1998 гг.	1999—2008 гг.
Bacillariophyta	41	45	46
Chlorophyta	30	32	33
Chrysophyta	9	9	9
Суанопhyta	13	4	4
Dinophyta	1	4	4
Cryptophyta	1	2	1
Euglenophyta	2	2	2
Xanthophyta	3	2	1
Всего видов	160	200	264

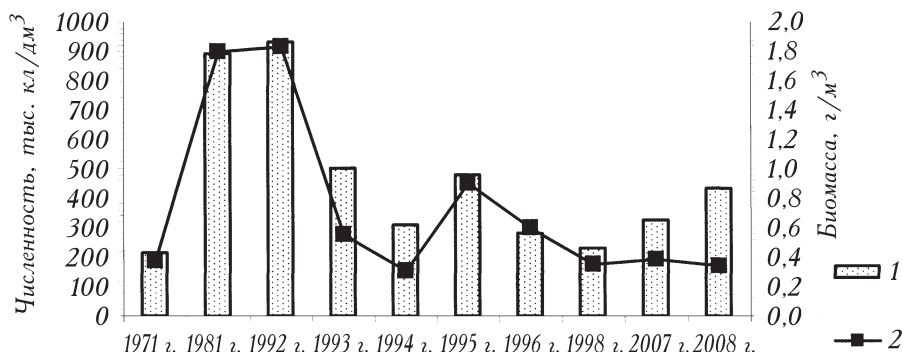
### 2. Количественные показатели весеннего фитопланктона в 1992—2007 гг.

Показатели	1992 г.	1993 г.	1999 г.	2007 г.
Численность, тыс. кл/дм <sup>3</sup>	655 ± 182	711 ± 115	247 ± 63	189 ± 129
Биомасса, мг/дм <sup>3</sup>	0,52 ± 0,16	1,67 ± 0,31	0,29 ± 0,03	0,254 ± 0,21

шие до 80% биомассы фитопланктона. В районе выпуска сточных вод комбината зафиксирована высокая концентрация эвгленовых родов *Astasia* и *Euglena* (57% биомассы).

До строительства СБО, в весенний сезон (июнь) 1972 г. [23], численность и биомасса фитопланктона не превышала 196 тыс. кл/дм<sup>3</sup> и 0,44 мг/дм<sup>3</sup> [2]. Преобладали диатомовые *Aulacoseira islandica*, *Tabellaria fenestrata* (Lyngb.) Kütz., *Asterionella formosa* Hass., доля которых составляла 55—88% суммарной численности и биомассы. В 1992—1993 гг. отмечалось возрастание видового разнообразия за счет золотистых, синезеленых, зеленых и эвгленовых водорослей, а также количественных показателей (табл. 2), обусловленное высокой концентрацией биогенных элементов в сточных водах ЦБК [11]. В последующий период наблюдений (1999 и 2007 гг.), в связи с падением производства на ЦБК и сокращением объема сточных вод и, следовательно, снижением биогенной нагрузки на водоем [14], уровень развития весеннего фитопланктона уменьшился (см. табл. 2).

В наиболее разнообразном летнем фитопланктоне на протяжении всего времени наблюдений доминировали диатомовые (*Aulacoseira islandica*, *Asterionella formosa*, *Tabellaria fenestrata*). После пуска СБО, когда снизилось токсическое и возросло евтрофирующее воздействие на экосистему водоема, в планктоне усилилась роль видов — показателей как повышенного уровня



Численность (1) и биомасса (2) летнего фитопланктона северной части Выгозерского водохранилища.

трофности, так и органического загрязнения — синезеленых (р. *Oscillatoria*), хлорококковых (р. *Monoraphidium*), вольвоксовых (р. *Chlamydomonas*), эвгленовых (роды *Euglena* и *Phacus*), желтозеленых (р. *Tribonema*), криптофитовых (р. *Cryptomonas*).

Количественные показатели летнего фитопланктона в период до строительства СБО (1971 г.) составляли 223 тыс. кл./дм<sup>3</sup> и 0,39 мг/дм<sup>3</sup> [2]. После начала функционирования СБО и с появлением признаков евтрофирования водоема в 1981 и 1992 гг. отмечалось возрастание численности и биомассы [11, 14] (рисунок). Доминировали диатомовые, при этом значительного развития достигали синезеленые и хлорококковые водоросли (до 35% общей численности).

С середины 90-х годов прошлого столетия, в период спада производства на Сегежском ЦБК, количественные показатели летнего фитопланктона снизились и стабилизировались на уровне не выше 500 тыс. кл./дм<sup>3</sup> и 1,0 мг/дм<sup>3</sup> (см. рисунок). В 1994 г. отмечалась высокая плотность популяции мелкоразмерной диатомеи *Aulacoseira alpigena* (Grun.) Kram., доля которой составляла 70% общей численности фитопланктона, что обусловило низкий уровень его биомассы. В 2007 г. в летнем планктоне северной части водоема доминировали диатомовые водоросли, создававшие 80% численности и биомассы. В следующем году их доля в численности сократилась до 45%, а в биомассе — до 60%, в то же время вклад зеленых возрос до 10—15% численности и биомассы. В целом в летние сезоны двух лет наблюдений в планктоне преобладали диатомеи из родов *Aulacoseira*, *Cyclotella*, а также *Tabellaria fenestrata*, *Asterionella formosa*. В эти же годы в летнем планктоне также отмечен представитель вольвоксовых *Phacotus* sp., интенсивно развивающийся в водах, обогащенных органическими веществами. Так, в планктоне Навоицкого залива, на побережье которого расположены одноименный поселок и комбинат по производству алюминия, в 2007 г. численность этого вида достигала 963 тыс. кл./дм<sup>3</sup>, биомасса — 0,26 мг/дм<sup>3</sup>, что составляло соответственно 88 и 68% общих показателей.

Невысокая интенсивность вегетации летнего фитопланктона в 1994—2008 гг. по сравнению с предыдущим периодом определялась низким содержанием в воде биогенных элементов [14]. Отмечены также изменения в структуре фитопланктона по сравнению с 70-ми годами [2, 3, 6, 26]: сократился разрыв между относительной численностью диатомовых и синезеленых (соответственно 37—57 и 24—35%), диатомовых и хлорококковых (соответственно 37—48 и 21—35%).

Показатели обилия осеннего (2001 г.) фитопланктона были достаточно высокими (130—610 тыс. кл/дм<sup>3</sup> и 0,3—1,6 мг/дм<sup>3</sup>), минимальные значения отмечены в районах, испытывающих непосредственное влияние Сегежского ЦБК (заливы Мозог-губа и Лайкоручей) — 117—255 тыс. кл/дм<sup>3</sup> и 0,3—0,5 мг/дм<sup>3</sup>. Количественные показатели осеннего фитопланктона на 70—90% определялись развитием диатомовых. Водоросли других групп, хотя и были очень разнообразными, но не достигали значительных количественных показателей, за исключением заливов Мозог-губа и Лайкоручей, где биомасса зеленых (26—33 %) была сопоставима с биомассой диатомовых.

Сапробиологическое состояние вод северной части Выгозерского водохранилища, оцененное по индикаторным видам фитопланктона, за период наблюдений соответствовало  $\alpha$ — $\beta$ -мезосапробной зоне (индекс сапробности 1,4—2,4), или II—III классу качества вод с умеренным содержанием органических веществ [13, 16]. Наиболее высокие значения индекса сапробности (2,2—2,4) зафиксированы в районах водоема, в наибольшей степени подверженных негативному влиянию сточных вод Сегежского ЦБК.

### **Заключение**

Сравнительный анализ многолетних данных (1971—2008 гг.) количественного развития фитопланктона северной части Выгозерского водохранилища, в течение длительного периода испытывающей воздействие сточных вод Сегежского ЦБК, показал возрастание численности и биомассы в 1981 и 1992 гг. (период после пуска СБО) по сравнению с 1971 г.

В 1993—1996 гг., в связи с сокращением объема сточных вод ЦБК и загрязнений, отмечено снижение численности и биомассы. Эта же тенденция характерна и для последнего десятилетия. Так, средняя численность составляет 330 тыс. кл/дм<sup>3</sup>, биомасса — 0,36 мг/дм<sup>3</sup>, что существенно ниже, чем в первой половине 1990-х годов.

В процессе антропогенного евтрофирования северной части Выгозерского водохранилища в таксономической структуре фитопланктона отмечено увеличение количества видов, являющихся показателями повышенного уровня трофности и органического загрязнения водоемов.

Обследованная акватория водохранилища согласно оценке сапробиологического состояния соответствует  $\alpha$ — $\beta$ -мезосапробной зоне, II—III классу качества вод с умеренным содержанием органических веществ.

\*\*

У фітопланктоні Выгозерського водосховища (Республіка Карелія, Росія) виявлено 264 таксони водоростей рангом нижче роду. Видове багатство формується діатомовими (45%), зеленими (32%) та золотистими (9%) водоростями. Наведено дані про кількісні показники та особливості еколого-флористичного складу фітопланктону, виявлено види — індикатори екологічного стану та якості вод. Відмічено зростання кількості видів — показників підвищеного рівня трофності та органічного забруднення. Оцінено сапробіологічний стан обстеженої акваторії.

\*\*

*Phytoplankton of the Vygozerskoye reservoir (Karelia, Russia) for a long time affected by the waste waters of the Segezha paper-mill comprises 264 taxa of algae. Bacillariophyta (45%), Chlorophyta (32%) and Chrysophyta (9%) were the most diverse. Data on numbers and biomass, ecological characteristics are given, species-indicators of ecological state are determined. Changes in taxonomic structure of phytoplankton communities were noted — increased number of indicators of the elevated trophity level and organic pollution. The long-term data (1971—2008) on quantitative characteristics of the reservoir were analyzed and saprobiological characteristics were determined.*

\*\*

1. Барінова С.С., Мегвегева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. — Тель-Авив: Pilies Studio, 2006. — 498 с.
2. Вислянская И.Г. Фитопланктон Выгозерского водохранилища // Гидробиология Выгозерского водохранилища. — Петрозаводск: КФ АН СССР, 1978. — С. 15—42.
3. Вислянская И.Г. Северное Выгозеро, река Нижний Выг и озеро Воицкое. Характеристика биоценозов. Фитопланктон // Современное состояние водных объектов Республики Карелия. — Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1998. — С. 112—115.
4. Вислянская И.Г., Харкевич Н.С. Фитопланктон и первичная продукция Выгозерского водохранилища // Органическое вещество и биогенные элементы в водах Карелии. — Петрозаводск: КФ АН СССР, 1985. — С. 144—165.
5. Давыдова Н.Н. Диатомовые водоросли — индикаторы природных условий водоемов в голоцене. — Л.: Наука, 1985. — 244 с.
6. Изменение режима Северного Выгозера и реки Нижний Выг под действием сточных вод Сегежского ЦБК и допустимый объем их сброса: Практические рекомендации. — Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1989. — 35 с.
7. Каталог озер и рек Карелии. — Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2001. — 290 с.
8. Комулайнен С.Ф., Чекрыжева Т.А., Вислянская И.Г. Альгофлора озер и рек Карелии. Таксономический состав и экология. — Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. — 81 с.
9. Кузьмин Г.В. Фитопланктон // Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. — М.: Наука, 1975. — С. 73—84.
10. Кузьмин Г.В. Таблицы для вычисления биомассы водорослей. — Магадан, 1984. — 47 с.

11. Лозовик П.А. Химический состав воды // Современное состояние водных объектов Республики Карелия. Северное Выгозеро, река Нижний Выг и озеро Воицкое. — Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1998. — С. 101—109.
12. Макрушин А.В. Библиографический указатель по теме «Биологический анализ качества вод» с приложением списка организмов — индикаторов загрязнения. — Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1974. — 53 с.
13. Окслюк О.П., Жукинский В.Н. Методические приемы использования эколого-санитарной классификации поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. — 1983. — Т. 19, № 5. — С. 63—67.
14. Платонов А.В. Северное Выгозеро и озеро Воицкое. Химический состав воды // Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998—2006 гг. — Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. — С. 141—147.
15. Прошкина-Лавренко А.И. Диатомовые водоросли — показатели солёности воды // Диатомовый сборник. — Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1953. — С. 186—205.
16. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. — Л.: Гидрометеиздат, 1983. — 50 с.
17. Свиренко Д.О. Материалы к флоре водорослей России. Некоторые данные к систематике и географии (Онежское, Ладожское, Выгозеро, рр. Тележинка, Ковда и др.) // Тр. о-ва испытат. природы Харьк. ун-та. — 1915. — Т. 1. — С. 61—148.
18. Современное состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1992—1997 гг. — Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1998. — 188 с.
19. Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998—2006 гг. — Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. — 210 с.
20. Стефановская А.Ф. Гидрохимические особенности некоторых водохранилищ Карелии // Биология внутренних водоемов Прибалтики. — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1962. — С. 267—272.
21. Сухоголов В.В. Гидрохимическая характеристика Выгозерского водохранилища // Тр. Карел. отд-ния ГосНИОРХа. — 1967. — Т. 5, вып. 1. — С. 71—79.
22. Федоров В.Д. О методах изучения фитопланктона и его активности. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. — 166 с.
23. Фрейнглинг В.А. Формирование температурного режима Выгозерского водохранилища // Водные ресурсы Карелии и их использование. — Петрозаводск: КФ АН СССР, 1978. — С. 22—56.
24. Харкевич Н.С. Влияние сточных вод Сегежского целлюлозно-бумажного комбината на химический состав и качество вод р. Сегежи и Выгозера // Вопросы гидрологии, озераведения и водного хозяйства Карелии. — Петрозаводск: КФ АН СССР, 1969. — С. 30—59.
25. Харкевич Н.С. Характеристика химического состава и качества воды Выгозерского водохранилища // Водные ресурсы Карелии и их использование. — Петрозаводск: КФ АН СССР, 1978. — С. 107—150.



26. *Чекрыжева Т.А., Вислянская И.Г.* Северное Выгозеро и озеро Воицкое. Фитопланктон // Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998—2006 гг. — Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. — С. 147—151.
27. *Sladeček V.* System of water quality from the biological point of view // Arch. Hydrobiol. — 1973. — Vol. 7. — S. 1—128.
28. *Tikkanen T.* Kasviplanktonopas. Suomen Luonnonsuojelun Tuki Oy. — Helsinki, 1986. — 277 p.

Институт водных проблем  
Севера Карельского НЦ РАН, Петрозаводск

Поступила 01.07.11