

СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ ПИГМЕНТОВ ФИТОПЛАНКТОНА ВЫГОЗЕРСКО-ОНДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

© 2010 Ю.Л. Сластина

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, г. Петрозаводск

Поступила в редакцию 10.05.2010

Приведены результаты исследований содержания фотосинтетических пигментов фитопланктона в одном из крупнейших водоемов Карелии – Выгозерско-Ондском водохранилище, испытывающем антропогенную нагрузку в результате его многоцелевого использования. Обсуждается изменение пигментных характеристик в районе действия стоков Сегежского ЦБК и в зонах, менее подверженных антропогенному воздействию. Максимальные величины хлорофилла *a* в настоящее время регистрируются в бывшем приемнике сточных вод ЦБК Лайкоручье, в районе современного выпуска стоков Лейгубы и по ходу распространения загрязненных вод в Надвоицком заливе. Отсутствие значительных межгодовых изменений пигментных индексов и их соотношений характеризуют стабильное функционирование фитопланктона водохранилища.

Ключевые слова: *фитопланктон, пигменты, хлорофилл, водохранилище*

Антропогенное эвтрофирование внутренних водоемов получило на протяжении последнего столетия масштабы планетарного явления, имеющего многообразные экологические последствия. Особенную актуальность приобретает оценка и прогноз состояния крупных водохранилищ, многолетние регулярные наблюдения на которых дают возможность оценить тенденции развития сообществ, отличить последствия антропогенного воздействия и отклика биоты на естественную вариабельность различных физико-географических факторов. В рамках комплексных мониторинговых исследований крупнейших озер Северо-Запада России в летний сезон 2007-2009 гг. проводилось изучение видового состава и содержание хлорофиллов *a*, *b* и *c* в фитопланктоне Выгозерско-Ондского водохранилища, подвергаемого разностороннему антропогенному воздействию, основное из которых – сброс сточных вод Сегежского ЦБК в течение последних 80-ти лет. Данные, собранные по расширенной сетке станций, характеризуют особенности пространственного распределения фитопланктона, и, дополняя наблюдения предыдущих лет [1, 5, 6], составляют основу многолетнего мониторинга экосистемы водохранилища.

При исследовании водоемов для оценки их трофического статуса и качества воды часто используется содержание хлорофилла *a*, соотношение других пигментов и пигментных индексов, которые косвенно характеризуют продукционно-деструкционные процессы в сообществе планктона. Низкие значения соотношения каротиноидов и хлорофилла считаются индикаторами физиологического благополучия альгоценозов, высокие указывают на неактивное состояние [4]. Это позволяет использовать пигменты и пигментные индексы в качестве индикатора состояния фитопланктона при различных экологических ситуациях. Хотя четкая зависимость содержания хлорофилла в клетках

водорослей от их видового состава не всегда обнаруживается [3, 4].

Цель работы: оценка возможности использования пигментных характеристик при мониторинге антропогенного воздействия, а также выявление межгодовых и пространственных изменений функционирования фитопланктона в Выгозерско-Ондском водохранилище.

Материалы и методы. Материалом послужили данные по содержанию хлорофиллов *a*, *b*, *c*, каротиноидов и соотношению пигментов, полученные в июле 2007-2009 гг. параллельно с изучением видового состава, численности и биомассы фитопланктона для некоторых районов Выгозерско-Ондского водохранилища. За 3 года осуществлен отбор проб во многих районах водохранилища, но для характеристики межгодовых изменений в структуре пигментного комплекса выбраны районы, где работы проводились во все три года исследований 2007-2009 гг.: Надвоицкий залив, Лайкоручей, Центральная часть Северного Выгозера, две точки в центральной и две в южной части водоема (рис. 1). Пробы воды (объемом 1 л) для определения содержания пигментов отбирали батометром Руттнера из нескольких горизонтов (поверхностного, 2 м, 5 м, 10 м и придонного) одновременно с количественными пробами фитопланктона.

Содержание пигментов определяли стандартным спектрофотометрическим методом [3, 9] в смешанном 90% ацетоновом экстракте. Концентрации хлорофиллов *a*, *b*, *c*, феопигментов и каротиноидов рассчитывали по соответствующим формулам [3, 4]. Кроме этого, рассчитывали относительное содержание феопигментов (% от суммы с «чистым» хл *a*), а также соотношение каротиноидов и хлорофилла *a*, выраженное через отношение их концентраций (K/a) или оптических плотностей ацетонового экстракта в соответствующих максимумах поглощения (E_{480}/E_{664}). Разница в учете хлорофилла *a* в 70-80-е гг. и в период с 2000 по 2009 гг. заключалась в способах концентрирования водорослей (использование фильтров с разным диаметром пор) и хранения

материала (высушивание или заморозка). Для корректного анализа данных разных лет было проведено экспериментальное сравнение этих способов подготовки материала, в результате чего был получен поправочный коэффициент $2,1 \pm 0,1$, увеличивающий данные 70-х годов [9].

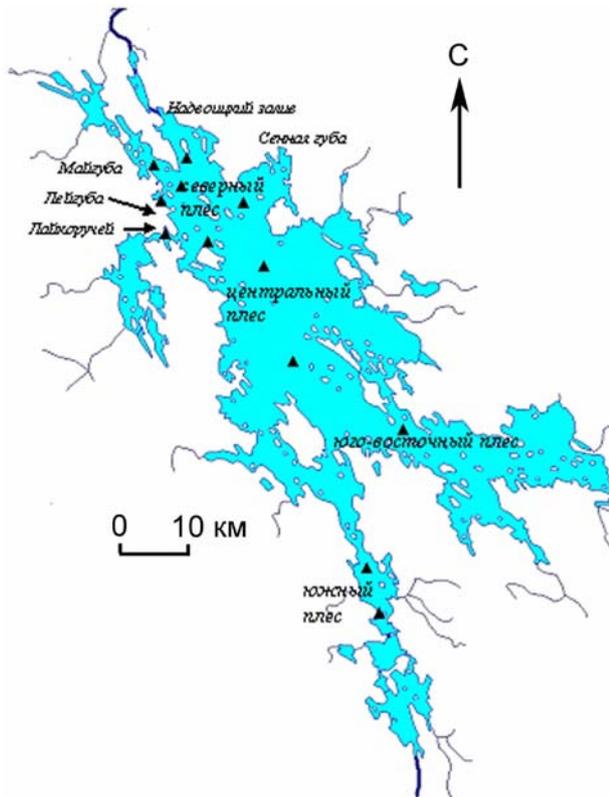


Рис. 1. Карта-схема расположения станций отбора проб Выгозерско-Ондского водохранилища

Результаты. Используемый на комбинате до 1976 г. сульфатный способ варки целлюлозы и механическая очистка промышленных стоков создали высокую экологическую опасность сточных вод. Со стоками в водоем попадало большое количество органических веществ (ОВ), в том числе ядовитые серосодержащие соединения. В то же время стоки были бедны биогенными элементами и не представляли угрозы эвтрофирования водоема [8]. Низкий уровень трофии отражалось и содержание хлорофилла *a* в фотическом слое воды – от 0,34 до 2,03 мг/м³ [1]. В начале 70-х гг. прошлого столетия северная часть, как и водохранилище в целом, представляло собой низкопродуктивную экосистему с резко выраженным отрицательным балансом ОВ. Лишь на ограниченном участке, где в результате активного биохимического разрушения легкоокисляемого ОВ сточных вод имели место повышенные концентрации фосфатов [8], концентрация хлорофилла *a* достигала здесь в отдельные периоды величин, характерных для мезотрофных экосистем.

Станция биологической очистки промышленных и бытовых сточных вод на Сегежском ЦБК начала функционировать с 1976 г. одновременно с переносом выпуска сточных вод из Лайкоручья в Мозог-губу. В стоках сократилось количество легкоминерализуемых и ядовитых веществ, зато

увеличилось содержание биогенных элементов, в частности фосфора, особенно в первые годы [6].

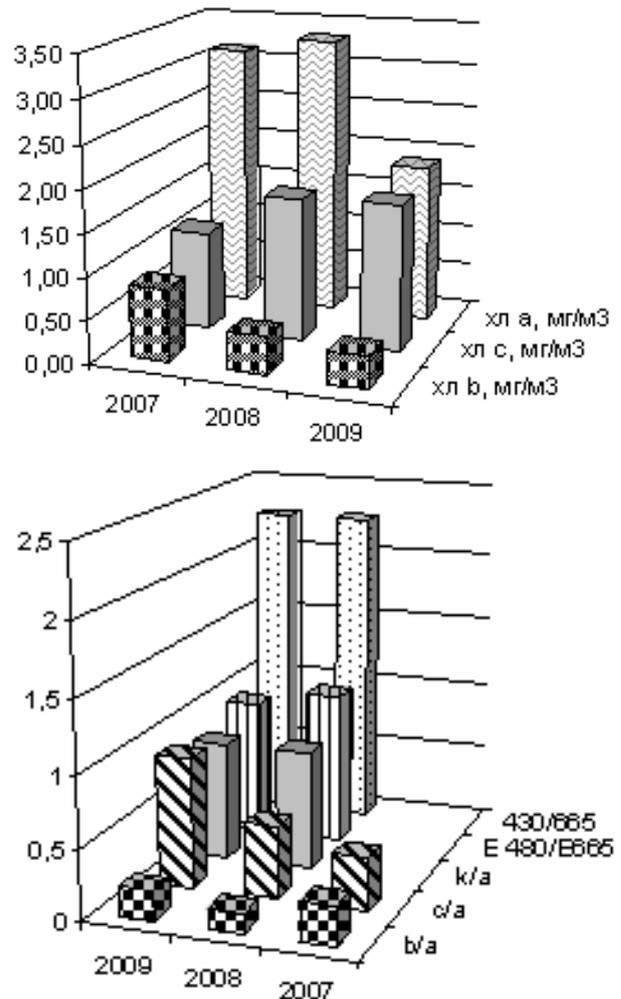


Рис. 2. Динамика пигментов северной части водохранилища (июль 2007-2009 гг.)

В последующие годы в воде северного района водохранилища отмечались наиболее высокие концентрации фосфора, превышающие $30 \text{ мг Р}_{\text{общ}} \cdot \text{м}^{-1}$, а в наиболее загрязненных участках Мозог-губе и Лайкоручье – до $190 \text{ мг Р}_{\text{общ}} \cdot \text{м}^{-1}$ [2]. Следствием снятия токсического эффекта и биогенной стимуляции стало резкое усиление продукционных процессов, повлекшее за собой значительное увеличение биомассы водорослей. Концентрация хлорофилла *a* в фотическом слое возросла в этот период до $11,0 \text{ мг/м}^3$. Одновременно с ростом биомассы в фитопланктоне отмечено увеличение доли высокопродуктивных зеленых и сине-зеленых водорослей [1, 2]. В 1981-1992 гг. в северном районе по сравнению с наблюдаемыми в 1971-1972 гг. в 4-5 раз возросли численность (до 910 тыс. кл./л) и биомасса (до $1,83 \text{ г/м}^3$) водорослей в фитопланктоне [5]. Начало 90-х гг. характеризовалось значительным спадом производства на Сегежском ЦБК и, соответственно, уменьшением объемов сточных вод. К настоящему времени годовое поступление в водоем общего фосфора со стоками ЦБК сократилось в 9 раз по сравнению с 80-ми годами (данные И.А. Литвиновой), а концентрация этого биогена в воде северного района

водохранилища сократилась в среднем до 12 мг/м³ (данные д.х.н. П.А. Лозовика).

В 1993-1996 гг. в связи с сокращением объема сточных вод ЦБК отмечалось снижение численности и биомассы фитопланктона в среднем до 390 тыс. кл./л и 0,59 г/м³ соответственно. В настоящее время количественные показатели фитопланктона водохранилища, остаются на уровне, отмеченном в 1993-1996 гг. [6]. На фоне существенного сокращения фосфорной нагрузки понизилась продукционная активность фитопланктона. Среднее содержание хлорофилла *a* в фотическом слое воды достигает в настоящее время 1,6-5,5 мг/м³, что в 3 раза ниже, чем в 1981 г. Тем не менее, концентрации хлорофилла остаются в 3 раза выше «олиготрофного» периода 1971-1972 гг. Максимальные для северной части водохранилища величины хлорофилла *a* в настоящее время регистрируются в бывшем приемнике сточных вод ЦБК Лайкоручье (до 4,2 мг/м³), в районе современного выпуска стоков Лейгубы (до 7,6 мг/м³) и по ходу распространения загрязненных вод (Майгуба, Надвоицкий залив – до 6 мг/м³). Межгодовая динамика пигментов в северном районе водохранилища отражает небольшие изменения в видовой структуре сообщества. Так, в 2009 г. при некотором увеличении доли золотистых водорослей (за счет активной вегетации р. *Dnobyron*), содержание хлорофилла *a* уменьшилось (рис. 2).

Центральный район Выгозерско-Ондского водохранилища – наименее подверженный антропогенному воздействию участок водохранилища. В то же время, содержание в воде хлорофилла *a* здесь возросло в 2,5 раза в сравнении с периодом начала 1970-х гг. и его концентрации в фотическом слое воды достигают 2,1-3,4 мг/м³ (табл. 1). Вертикальное распределение пигментов различается по станциям незначительно, вследствие мелководности центральной части водохранилища межгодовые изменения также невелики (рис. 3, 4).

Таблица 1. Средние концентрации хлорофилла *a* в разных районах Выгозерско-Ондского водохранилища, (фотический слой, мг/м³)

Район озера	1971-1972 гг.	1981 г.	2007-2009 гг.
северный	1,09	11,4	2,77
центральный	0,86	-	2,16
южный	3,21	-	7,11

Существенные изменения в продуктивности фитопланктона произошли в южной части водоема. Эта мелководная и узкая часть озера в течение более 70-ти лет является напряженной транспортной магистралью ББК, что отразилось на уровне антропогенно нагрузки, в том числе и биогенной. В настоящее время, содержание в воде хлорофилла *a* и первичная продукция превышают величины, отмеченные в 1971-1972 гг. более, чем в 2 раза. Так, летом 2007-2009 гг. содержание хлорофилла *a* в фотическом слое изменялось от 5,0 до 11,5 мг/м³. Повышение концентрации хлорофилла *a* в планктоне в сравнении с началом 70-х гг. на фоне сохранения значений биомассы и продукции может быть следствием произошедших

серьезных изменений в структуре альгоценозов. Увеличение содержания хлорофилла в биомассе фитопланктона в южной части водохранилища произошло одновременно с уменьшением доли диатомовых.

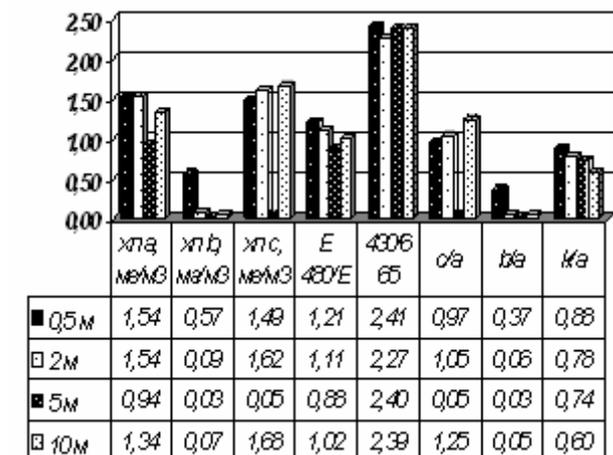


Рис. 3. Вертикальное распределение пигментов центральной части Выгозерско-Ондского водохранилища (июль, 2008 г.)

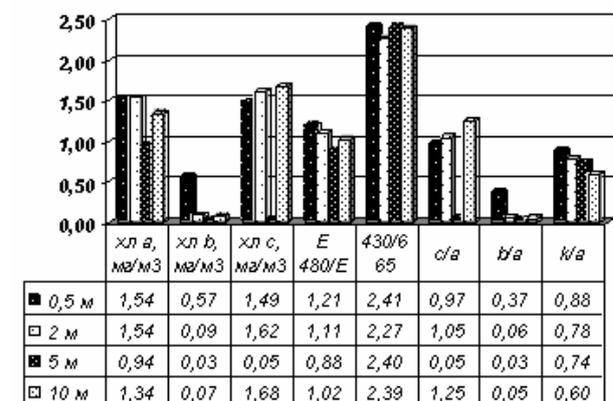


Рис. 4. Вертикальное распределение пигментов центральной части Выгозерско-Ондского водохранилища (июль, 2009 г.)

В начале 70-х гг. фитопланктоне водохранилища повсеместно (на 90-96%) доминировал диатомовый комплекс [1]. В настоящее время численность синезеленых и хлорококковых водорослей в биоценозах северного района водохранилища значительно возросла и достигает 30% от суммарной [6]. Несмотря на межгодовые изменения содержания хлорофиллов *a*, *b* и *c* в 1,2-1,5 раза, соотношения пигментов во все годы наблюдений в среднем по водохранилищу оставались практически неизменными – пигментный индекс E480/665 в 2007, 2008 и 2009 гг. составил соответственно 0,94; 0,96 и 0,97; индекс E430/665 – 2,23; 2,17; 2,3; соотношение каротиноиды/хлорфилл *a* – 0,72; 0,74 и 0,76, что свидетельствует о достаточно стабильном функционировании фитопланктонного сообщества (рис. 5). Значения индекс Маргалёфа характеризуют сообщество как находящееся в пограничном состоянии между преобладанием гетеротрофии и стадией активной вегетации микроводорослей.

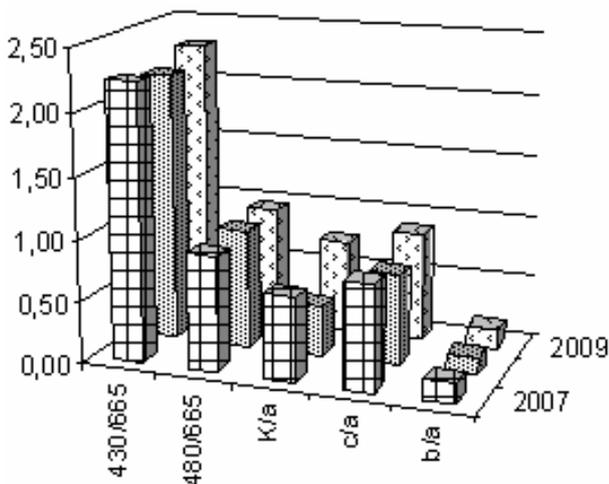


Рис. 5. Межгодовые изменения пигментных индексов и соотношения пигментов в летнем фитопланктоне Выгозерско-Ондского водохранилища (июль 2007-2009 гг.)

Выводы: через 15 лет после начала существенного снижения поступления в водоем промышленных стоков активность автотрофного звена экосистемы снизилось до уровня развития начала 70-х годов. Это стало возможным благодаря большой проточности озера, которая менее чем за год привела к снижению фосфорной нагрузки. Однако повышенное в сравнении с 70-ми гг. содержание хлорофилла *a* в планктоне свидетельствует о повышении продукционного потенциала экосистемы. Следовательно, существует возможность быстрого перехода ее на более высокий трофический уровень при благоприятных условиях. В период наших наблюдений (2007-2009 гг.) средние значения всех пигментных показателей изменялись незначительно. Первый опыт использования расширенного комплекса пигментных характеристик планктона для исследования Выгозерско-Ондского водохранилища выявил возможность их использования при мониторинге антропогенного воздействия, однако необходимы дальнейшие исследования водохранилища с целью формирования базы данных пигментных индексов для более корректного

выявления изменений структуры фитопланктонных сообществ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Вислянская, И.Г.* Фитопланктон и первичная продукция Выгозерского водохранилища / *И.Г. Вислянская, Н.С. Харкевич* // Органическое вещество и биогенные элементы в водах Карелии / Ред. *Е.П. Васильева, П.А. Лозовик*. – Петрозаводск: КФ АН СССР, 1985. – С. 144-165.
2. *Лозовик, П.А.* Изменение режима Северного Выгозера и реки Нижний Выг под действием сточных вод Сегежского ЦБК и допустимый объем их сброса. Практические рекомендации / *П.А. Лозовик, Н.И. Пальшин, Т.П. Куликова* и др. – Петрозаводск: КФ АН СССР, 1989. – 36 с.
3. Методические вопросы изучения первичной продукции планктона внутренних водоемов. – СПб: Гидрометеиздат, 1993. – 167 с.
4. *Минеева, Н.М.* Растительные пигменты в воде волжских водохранилищ. – М., 2004. – 156 с.
5. Современное состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1992–1997 гг. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1998. – 188 с.
6. Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998-2006 гг. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. – 210 с.
7. *Теканова, Е.В.* Первично-продукционные характеристики озера Выгозера в связи с изменением антропогенной нагрузки / *Е.В. Теканова, Ю.Л. Сластина* // Материалы XXVIII международной конференции Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов европейского Севера, Петрозаводск, 5-8 октября 2009 г. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. – С. 547-551.
8. *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.
9. SCOR-UNESCO Working Group¹ 17. Determination of photosynthetic pigments in sea water // *Monographs on Oceanographic Methodology*. – Paris: UNESCO, 1966. – P. 9-18.

COMPOUND AND PHYTOPLANKTON PIGMENTS CONTENTS IN VYGOZERSKO-ONDSKIY WATER BASIN DURING THE SUMMER PERIOD

© 2010 Yu.L. Slastina

Institute of Water Problems of the North KarSC RAS, Petrozavodsk

Results of researches the contents of phytoplankton photosynthetic pigments in one of the largest reservoirs in Kareliya - Vygozerslo-Ondskiy water basin testing an anthropogenic load as a result of its multi-purpose use are brought. Change of pigmentary characteristics in area of action of Segezhe CPC runoffs and in zones less subject to anthropogenic influence is discussed. The maximal magnitudes of chlorophyll *a* now registered in former wastewater receiver CPC Laykoruchey, in area of modern release of runoffs Leyguba and on course of distribution of the polluted waters in Nadvoitsliy bay. Absence of significant interannual changes of pigmentary indexes and their ratio characterize stable functioning of phytoplankton in the water basin.

Key words: *phytoplankton, pigments, chlorophyll, water basin*