

ПЕРВИЧНО-ПРОДУКЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОЗЕРА ВЫГОЗЕРА В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЕМ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

Е.В. Теканова, Ю.Л. Сластина

Учреждение Российской академии наук Институт водных проблем Севера
Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск, Россия
e-mail: etekanova@mail.ru

Введение

Озеро Выгозеро (Центральная Карелия) на протяжении последнего столетия подвергалось целому ряду антропогенных вмешательств, которые изменили его гидрологический, химический и биологический режимы. Существенное влияние на состояние экосистемы озера оказали сточные воды Сегежского ЦБК, попадающие в северную часть Выгозера с 1936 года. По мере развития производства и объем, и состав сточных вод ЦБК менялся, трансформируя среду обитания биоты водоема.

Первично-продукционные показатели экосистемы наиболее быстро реагируют на изменения среды и являются важнейшим критерием ее функционирования. В связи с этим были проанализированы долговременные закономерности изменения первично-продукционных характеристик северной части Выгозера, принимающей стоки ЦБК (первичная продукция, содержание хлорофилла «а» в воде, его ассимиляционная активность). Хотя таких данных не много, однако, они вполне отражают основные этапы трансформации экосистемы в связи с изменением количества и качества сточных вод Сегежского ЦБК.

Материалы и методы

Измерения продукции фитопланктона выполнены скляночным методом в кислородной модификации (Винберг, 1960). При пересчете данных на углерод принимался ассимиляционный коэффициент 1,25. Определение концентрации хлорофилла «а» в воде проведено спектрофотометрическим методом с использованием общепринятой формулы расчета (Scor–UNESCO..., 1966). Разница в учете хлорофилла «а» в 1970–80-е и 2000-е гг. заключалась в способах концентрирования водорослей (фильтры 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 1970-х годов.

Результаты и обсуждение

Используемый на комбинате до 1976 г. сульфатный способ варки целлюлозы и лишь механическая очистка промышленных стоков обуславливали 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 (Харкевич, 1978).

В этот период (1971–1972 гг.) были исследованы показатели первичной продуктивности (Вислянская, Харкевич, 1985). Уровень первичной продукции (табл. 1) вполне укладывался в пределы, установленные для олиготрофных экосистем (Бульон, 1983; Китаев, 1984). Так, суточные скорости фотосинтеза в поверхностном слое воды на акватории Северного Выгозера не превышали пределов $41\text{--}159 \text{ мг С}\cdot\text{м}^{-3}$, в фотическом слое воды – $89\text{--}277 \text{ мг С}\cdot\text{м}^{-2}$ (рис. 1). Лишь в месте попадания в озеро разбавленных сточных вод (приустьевой участок р. Сегежи) продукция фитопланктона достигала уровня мезотрофных экосистем.

Низкий уровень трофии отражало и содержание хлорофилла «а» в фотическом слое воды – от $0,34$ до $2,03 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-3}$ (рис. 2). Его суточная ассимиляционная активность (САЧ) при низких абсолютных величинах была довольно высока и достигала $103,8\text{--}121,5 \text{ мг С}\cdot\text{мг}^{-1}$ (табл. 1). Высокая ассимиляционная активность хлорофилла встречаются в северных олиготрофных водоемах. Например, на подобные САЧ в арктических озерах указывал В.В. Бульон (1983), связывая это с большой продолжительностью дня. На фоне этих значений выделялся прибрежный участок в месте поступления в озеро разбавленных сточных вод, где величины САЧ оказались чрезмерно высоки и более свойственны морским экосистемам (до $500 \text{ мг С}\cdot\text{мг}^{-1}$). Возможно, таким образом проявились адаптационные способности фотосинтетиков к поддержанию биомассы в условиях токсичного влияния сточных вод ЦБК, так как удельный фотосинтез очень чувствителен к изменению экологических условий.

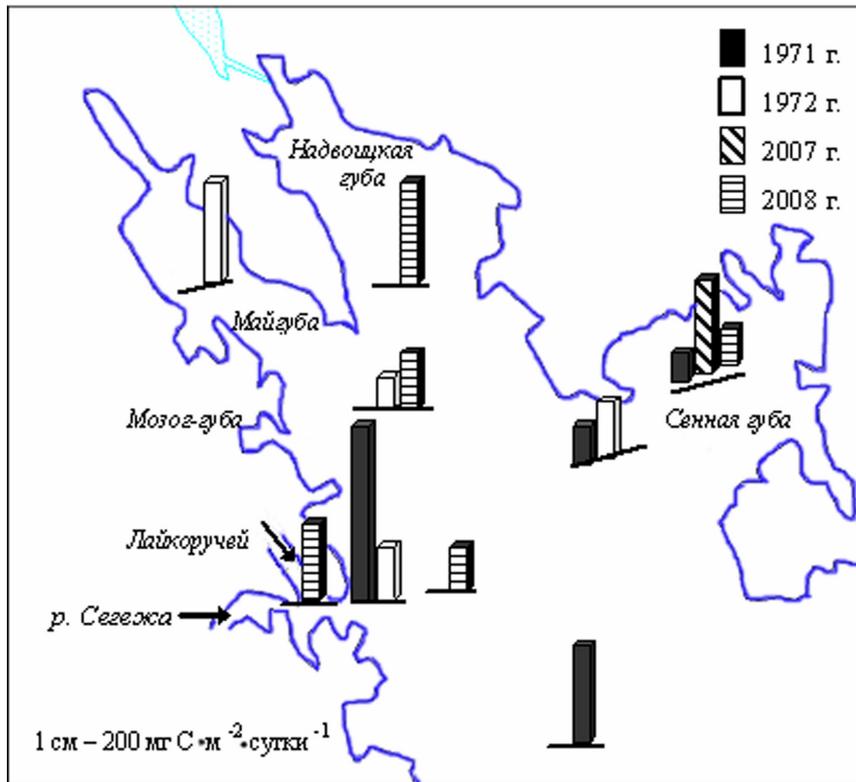


Рис. 1. Первичная продукция в Северном Выгозере в 1971–1972* и 2007–2008 годах
*– по: Вислянская, Харкевич, 1985

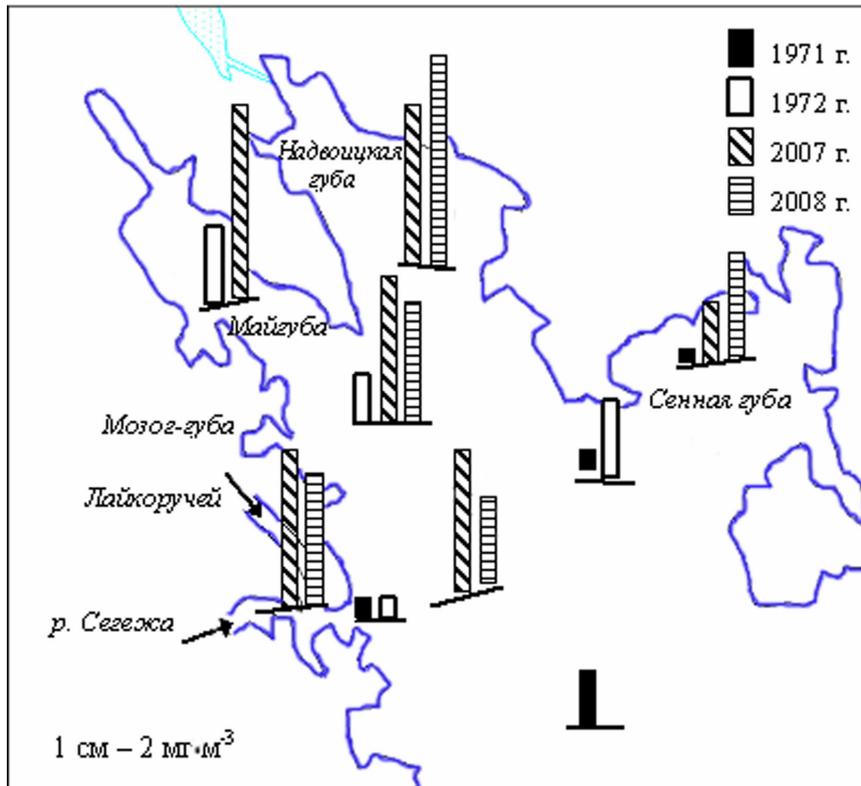


Рис. 2. Среднее в фотическом слое воды содержание хлорофилла «а» в Северном Выгозере в 1971–1972* и 2007–2008 годах.
*– по: Вислянская, Харкевич, 1985

Первичная продукция (А), концентрация (Chl «а») и ассимиляционная активность (САЧ) хлорофилла «а» в Северном Выгозере в летний период

Показатель	1971–1972 гг.*	1981 г.*	2007–2008 гг.
А в поверхностном слое воды, мг С·м ⁻³ ·сутки ⁻¹	116.5±28.0	366.1	106.1±15.1
А в фотическом слое воды, мг С·м ⁻² ·сутки ⁻¹	204.2±46.3	673.0	191.6±27.1
Chl «а», средне для фотического слоя воды	1.09±0.26	11.4	3.84±0.34
САЧ в поверхностном слое воды	86.3±15.5	32.1	36.4±8.2
САЧ в фотическом слое воды	26.5±5.0	9.8	11.2±2.5

* – по: Вислянская, Харкевич, 1985

Средние в толще воды скорости разрушения ОВ на акватории Северного Выгозера достигали в этот период пределов от 0.04 до 0.43 мгС·л⁻¹ (Вислянская, Харкевич, 1985). В расчете на фотический слой первичная продукция на акватории озера составляла лишь 30–40 %, а во всем столбе воды только 10–20% от деструкции ОВ. В водоеме активно разрушалось аллохтонное ОВ как естественного, так и антропогенного происхождения.

Таким образом, в начале 70-х гг. прошлого столетия Северное Выгозеро, как и озеро 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 (Харкевич, 1978), продукция фитопланктона достигала в отдельные периоды пределов мезотрофных экосистем.

Станция биологической очистки объединенных 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 значительно сократилось количество легкоминерализуемых и ядовитых веществ, зато увеличилось содержание биогенных элементов, в частности фосфора, особенно в первые годы (Лозовик, 1985). В последующие годы в воде Северного Выгозера отмечались наиболее высокие концентрации фосфора, превышающие 30 мкг Р_{общ.}·л⁻¹, а в наиболее загрязненных участках Мозог-губе и Лайкоручье – до 190 мкг Р_{общ.}·л⁻¹ (Лозовик и др., 1989). Следствием снятия токсического эффекта и биогенной стимуляции стало резкое усиление первично-продукционных процессов (табл. 1), повлекшее за собой значительное увеличение биомассы водорослей. Продукция фитопланктона в Северном Выгозере летом 1981 г. уже достигала в среднем 637 мг С·м⁻²·сут.⁻¹, в 3.5 раза превысив уровень 1971–1972 гг. (Вислянская, Харкевич, 1985). Концентрация хлорофилла «а» в фотическом слое возросла в этот период до 11.0 мг·м⁻³, его ассимиляционная активность снизилась в среднем в 2.4 раза. Кроме того, в фитопланктонном сообществе, помимо роста биомассы, начались структурные изменения, связанные увеличением доли высокопродуктивных зеленых и сине-зеленых водорослей (Вислянская, Харкевич, 1985; Лозовик и др., 1989).

Вследствие снижения содержания в сточных водах легкоминерализуемой фракции ОВ почти в 3 раза уменьшились величины деструкции в районе их сброса, а в целом на акватории – в среднем на 35 %. Тем не менее, в экосистеме поддерживался отрицательный баланс ОВ (Тимакова, 1985). Лишь в районе выпуска сточных вод первичная продукция превышала деструкцию в столбе воды приблизительно в 1.5 раза, то есть происходило накопление ОВ.

Начало 1990-х гг. характеризовалось значительным спадом производства Сегежского 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 Выгозера сократилась в среднем до 12 мкг·л⁻¹ (данные д.х.н. П.А. Лозовика).

На фоне существенного сокращения фосфорной нагрузки понизилась продукционная активность фитопланктона Северного Выгозера. Первичная продукция летом 2007–2008 гг. в слое максимального фотосинтеза не уже превышала пределов 60.4–152.3 мг С·м⁻³·сут., в фотическом слое воды – 110.4–278.2 мг С·м⁻²·сут., что соответствует олиготрофному уровню 1971–1972 гг. и в 3.5 раза ниже ее величин в период максимальной фосфорной нагрузки (табл. 1, рис. 1). Среднее содержание хлорофилла «а» в фотическом слое воды достигает в настоящее время 1.6–5.5 мг·м⁻³, что в 3 раза ниже, чем в 1981 году. Тем не менее, концентрации хлорофилла остаются в 3 раза выше олиготрофного периода 1971–1972 годов (табл. 1, рис. 2). Ассимиляционная активность хлорофилла, – 22.8–76.0 мг С·мг⁻¹, сравнима с САЧ, полученными в 1981 году (табл. 1). Максимальные для Северного

Выгозера величины хлорофилла и первичной продукции в настоящее время регистрируются в бывшем приемнике сточных вод ЦБК Лайкоручье, в районе современного выпуска стоков Лейгубы и по ходу распространения загрязненных вод (Майгуба, Надвоицкий залив).

В целом, произошедшее снижение продуцирования органического вещества фитопланктоном до уровня начала 1970-х гг. соответствует сокращению его биомассы (Чекрыжева, Вислянская, 2007). Однако повышение содержания хлорофилла в фитопланктоне по сравнению с началом 1970-х гг. на фоне биомассы и продукции, не превышающих уровень этих лет, может быть отражением произошедших серьезных изменений в структуре фитоценозов. Хотя в литературе нет единого мнения о зависимости содержания хлорофилла в клетках водорослей от их видового состава (Трифонова, 1990; Елизарова, 1993 и др.), тем не менее, увеличение содержания хлорофилла в биомассе фитопланктона Северного Выгозера произошло с уменьшением доли диатомовых в сообществе. Так, в начале 1970-х гг. фитопланктон всего водоема на 90–96% был представлен диатомовым комплексом (Вислянская, 1978), а в настоящее время численность в биоценозах Северного Выгозера синезеленых и хлорококковых водорослей превышает 30% (Чекрыжева, Вислянская, 2007).

Значительное снижение объемов поступающих в водоем сточных вод ЦБК в результате спада производства повлекло за собой и дальнейшее снижение напряженности деструкционных процессов в Северном Выгозере. Так, скорости деструкции ОВ здесь в настоящее время не превышают 0.007–0.10 мг С·л⁻¹·сут., что не только в 5 раз меньше, чем в 1970-е гг. (Вислянская, Харкевич, 1985), но и в 3 раза ниже, чем в 1981 году, когда из сточных вод стало изыматься легкоминерализуемое ОВ (Тимакова, 1985). В участках наибольшего загрязнения (Лейгуба и Лайкоручей) это сокращение достигает 6 и 2 раз соответственно.

Ослабление деструкционной активности повлекло изменения в биотическом балансе. Если в начале 1970-х гг. в фотическом слое соотношение продукционно-деструкционных процессов составляло 0.3–0.4, то сейчас они оказываются относительно уравновешенными со средним их соотношением 1.1. В расчете на столб воды продукция достигает в среднем 60% от деструкции ОВ.

Заключение

Таким образом, развитие первично-продукционных процессов в экосистеме Северного Выгозера было сопряжено с изменением биогенной нагрузки сточных вод Сегежского ЦБК. Через 15 лет после начала существенного снижения поступления в водоем промышленных вод и фосфора в их составе в результате спада производства на ЦБК активность автотрофного звена экосистемы снизилось до уровня развития начала 1970-х годов. Это стало возможным из-за большой проточности озера (период условного водообмена 0.63 года), благодаря чему при условии постоянного снижения на водоем антропогенной нагрузки довольно быстро, менее чем за год, в воде может устанавливаться новая, более низкая концентрация фосфора. Кроме того, в водоеме мала вероятность выхода фосфора из донных отложений (за исключением Лайкоручья и Мозог-губы), то есть угрозы вторичного эвтрофирования, что было экспериментально установлено П.А. Лозовиком (Лозовик, 1985; Лозовик и др., 1989). Однако, более высокое, чем в 1970-е гг., содержание хлорофилла «а» в планктоне свидетельствует о повышении продукционного потенциала экосистемы на современном этапе развития, то есть о возможности быстрого перехода ее на более высокий трофический уровень при благоприятных условиях.

Литература

- Булъон В.В. 1983. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Л.: Наука. 150 с.
- Винберг Г.Г. 1960. Первичная продукция водоемов. Минск: Из-во АН БССР. 328 с.
- Вислянская И.Г., Харкевич Н.С. 1985. Фитопланктон и первичная продукция Выгозерского водохранилища // Органическое вещество и биогенные элементы в водах Карелии / Ред. Е.П. Васильева, П.А. Лозовик. Петрозаводск: КФ АН СССР. С. 144–165.
- Елизарова В.А. 1993. Хлорофилл как показатель биомассы фитопланктона // Методические вопросы изучения первичной продукции планктона внутренних водоемов / Ред. И.Л. Пырина. С.-Пб.: Гидрометеоздат. С.126–130.
- Китаев С.П., 1984. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М.: Наука, 208 с.
- Лозовик П.А. 1985. Взаимодействие донных отложений Северного Выгозера с водой // Органическое вещество и биогенные элементы в водах Карелии. Петрозаводск: КФ АН СССР / Ред. Е.П. Васильева, П.А. Лозовик. С. 61–74.
- Лозовик П.А., Пальшин Н.И., Куликова Т.П., Тимакова Т.М., Вислянская И.Г., Чекрыжева Т.А. 1989. Изменение режима Северного Выгозера и реки Нижний Выг под действием сточных вод Сегежского ЦБК и допустимый объем их сброса. Практические рекомендации. Петрозаводск: КФ АН СССР. 36 с.

- Тимакова Т.М. 1985. Экология целлюлозоразрушающих бактерий // Органическое вещество и биогенные элементы в водах Карелии / Ред. Е.П. Васильева, П.А. Лозовик. Петрозаводск: КФ АН СССР. С. 128–143.
- Трифорова И.С., 1990. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л.: Наука. 184 с.
- Харкевич Н.С., 1978. Характеристика химического состава и качества воды Выгозерского водохранилища // Водные ресурсы Карелии и их использование / Ред. Н.С. Харкевич. Петрозаводск: КФ АН СССР. С. 107–150.
- Чекрыжева Т.А., Вислянская И.Г. Фитопланктон // Состояние водных объектов Республики Карелия. Гл. 5. Северное Выгозеро и озеро Воицкое / Гл. ред. П.А. Лозовик. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН. 2007. С. 147–151.
- Scor-UNESCO, Working group 17. 1966. Determination of photosynthetic pigments in seawater. Paris. 69 p.

PRIMARY PRODUCTION CHARACTERISTICS OF THE LAKE VYGOZERO (KARELIA, RUSSIA) DEPENDING ON ANTHROPOGENIC LOAD CHANGE

E.V. Tekanova, Y.L. Slastina

Northern Water Problem Institute of Karelian Research Centre, Russian Academy of Science,
Petrozavodsk, Russia, e-mail: etekanova@mail.ru

Long-term changes of the primary production indexes (primary production, concentration of chlorophyll «a», daily assimilation numbers) in the north part of lake Vygozero influenced by the sewage of pulp-and-paper mill are analyzed. It is shown, that the lake was appear low-production ecosystem (mean primary production of 200 mg C·m⁻²·day⁻¹, concentration of chlorophyll «a» 1.1 mg·m⁻³, its daily assimilation number of 86 mg C·mg Chl) in 1970th. In 1980th primary production and of chlorophyll «a» concentration have considerably increased, daily assimilation numbers have decreased by reason of structural changes in a phytoplankton. Present primary production level is comparable about 1970th, daily assimilation numbers are remained at level of 1980th (mean 36 mg C·mg Chl). It is discussed, that changes of primary productivity are depended on quantity and composition variations of the sewage, transformation phytoplankton communities, high degree of the lake water exchange.

НЕРВНО-МЫШЕЧНАЯ СИСТЕМА ТРЕМАТОДЫ *GYMNOPHALLUS DELICIOSUS* (GYMNOPHALLIDAE)

Н.Б. Теренина¹, О.С. Осипова¹, В.В. Куклин², М.М. Куклина², О.О. Толстенков¹

¹ Центр паразитологии Учреждения Российской академии наук Института проблем экологии и эволюции им. А.Н.Северцова РАН, г. Москва, Россия, e-mail: otolo@mail.ru

² Учреждение Российской академии наук Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН, г. Мурманск, Россия

Нейромедиаторы – серотонин и нейропептиды обнаружены в нервной системе паразитических плоских червей и, в частности, трематод (Halton, Maule, 2004). Предполагается, что эти вещества участвуют в регуляции мышечной активности стенки тела, прикрепительных органов, репродуктивной системы гельминтов. С целью дальнейшего исследования наличия и функционального значения нейромедиаторов у различных представителей трематод, относящихся к различным таксономическим группам, в настоящей работе исследовали наличие и локализацию нейромедиаторов серотонина и нейропептида FMRFамида в нервной системе представителя семейства *Gymnophallidae* – *Gymnophallus deliciosus* (Olsson, 1893) Odhner, 1900) – паразита жёлчного пузыря чайки.

Материалы и методы

Гельминтов *Gymnophallus deliciosus* извлекали из желчного пузыря серебряистой чайки *Larus argentatus* (район Баренцева моря). Материал фиксировали в 4% параформальдегиде в 0,1 М фосфатном буферном растворе (рН 7,4) при 4 °С и затем сохраняли в 10% сахарозе, приготовленной на 0,1 М фосфатном буфере. Локализацию серотонинергических и пептидергических (FMRFамидергических) компонентов определяли иммуноцитохимически в соответствии с методом Coons et al. (1955). Образцы инкубировали в первичной антисыворотке (Incstar, USA, в разведении 1:500) при температуре +4°C; затем во вторичной антисыворотке (FITC, ДАКО, в разведении 1:50). Для исследования взаимоотношения выявляемых нейромедиаторов с мышечными элементами одновременно