

УДК 574.5: 556.55: 57.04 (470.22)

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭКОСИСТЕМЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА И ТЕНДЕНЦИИ ЕЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ

**Т. М. Тимакова, А. В. Сабылина, Т. Н. Полякова,
М. Т. Сярки, Е. В. Теканова, Т. А. Чекрыжева**

Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН

Дана оценка современного состояния экосистемы Онежского озера в последние десятилетия. Показаны изменения в биологических сообществах за длительный период времени. Выявлены основные причины, вызывающие эвтрофирующие процессы в озере, и факторы, способствующие их локализации и распространению на акватории водоема.

Ключевые слова: водная экосистема, фосфорная нагрузка, эвтрофирование, бактериопланктон, фитопланктон, первичная продукция, зоопланктон, макрозообентос.

**T. M. Timakova, A. V. Sabylina, T. N. Polyakova, M. T. Syarki, E. V. Tekanova,
T. A. Chekryzheva. MODERN STATE OF THE ONEGO LAKE ECOSYSTEM
AND TRENDS OF ITS CHANGE DURING THE PAST DECADES**

The modern state of the Onego Lake ecosystem during the last few decades was assessed. Changes in the aquatic communities over a long-term period are presented. The main reasons for the eutrophication of the lake ecosystem and the factors behind its localization and distribution over the water area are indicated.

Key words: water ecosystem, phosphorus loading, eutrophication, bacterial plankton, phytoplankton, primary production, zooplankton, macrozoobenthos.

Введение

Развитие производства и сельского хозяйства в наиболее развитых странах неизбежно приводит к увеличению антропогенной нагрузки на природные ландшафты. Водоемы, являясь аккумулялирующими системами, в наибольшей степени испытывают влияние антропогенного фактора. Онежское озеро – второй по величине крупнейший водоем Европы, относится к великим озерам мира. Его географическое положение определяет специфику термического и радиационного режимов, обуславливает низкий биопродукционный потенциал и слабую самоочистительную способность вод. Озеро обладает стратегическими запасами пресной

воды, является важнейшей водно-транспортной магистралью, используется для водоснабжения населения и промышленности. Вместе с тем водоем служит приемником промышленно-коммунальных стоков и подвержен их локальному влиянию. Его экосистема в настоящее время, как и другие крупные водоемы Европы и России в том числе, подвержена антропогенному эвтрофированию. Однако в отличие от них эта проблема для Онежского озера стоит не столь остро. В последние 15–16 лет на водосборе озера происходили изменения, связанные с экономической ситуацией в стране, что не могло не отразиться на величине антропогенной нагрузки на водоем и развитии процесса эвтрофирования его экосистемы.

Целью данного исследования явилась оценка современного состояния экосистемы Онежского озера и тенденций ее изменения за последние десятилетия.

Материал и методы

Формирование химического режима в озере в значительной степени обуславливает речной сток. Доминирующее влияние оказывают основные притоки, дренирующие сельскохозяйственные и мелиоративные угодья, – реки Водла, Шуя, Суна, которые являются основными источниками поступления в озеро фосфора – свыше 50 %. Меньшее значение в обогащении водоема биогенными веществами, чем реки (до 24 %), имеют сточные воды промышленных и коммунальных предприятий. На их долю в настоящее время приходится 173 т $P_{\text{общ}}$ и 3,3 тыс. т органического вещества в год [Сабылина, 2007]. Распределение источников загрязнения на водосборной площади неравномерно. Преобладающая их часть расположена на северо-западном побережье в районе городов Петрозаводска и Кондопоги. Ведущая роль в поступлении фосфора в составе промышленных стоков принадлежит Кондопожскому ЦБК, коммунальных – г. Петрозаводску (табл. 1).

Таблица 1. Поступление общего фосфора и органического вещества в экосистему Онежского озера от разных промцентров

Промцентр	$P_{\text{общ}}, \text{ т} \cdot \text{год}^{-1}$		ОВ (БПК _{полн}), тыс. т · год ⁻¹	
	1992–1996	1998–2007	1992–1996	1998–2007
Петрозаводский	122	103,6	0,65	0,5
Кондопожский	66,5	65,7	5,0	2,8

Изучение гидрохимического состава воды проводилось по аттестованным методикам [Ефременко, 2007]. Исследование водных сообществ выполнялось общепринятыми в гидробиологической практике методами: бактериопланктон, первичная продукция [Кузнецов, Дубинина, 1989]; фитопланктон, зоопланктон, макрозообентос [Методика изучения..., 1975].

Результаты и обсуждение

Первые признаки развития антропогенного эвтрофирования в Онежском озере проявились в середине 1970-х гг., в период интенсивного освоения водосбора, развития промышленности и роста населения на побережье. Важным моментом, определяющим сценарий развития этого процесса, явилось совмещенное влияние двух основных источников поступления фос-

фора с речным и промышленно-коммунальным стоками в сравнительно изолированных от основного плеса озера северо-западных губах – Кондопожской и Петрозаводской. При этом неустойчивая циркуляция водных масс, обусловленная системой ветровых течений, особенно в летний период, создает условия для спорадического выноса эвтрофирующих веществ из обеих губ в пелагический район озера [Бояринов, Руднев, 1990]. Однако сложная морфометрия и система течений в озере, а также большой объем водной массы препятствуют быстрому их распространению на всей акватории водоема. Глубоководные пелагические районы озера (Центральное, Большое, Малое, Южное Онего, северные заливы – Повенецкий, Лижемский) до настоящего времени сохранили свою экологическую стабильность и проявляют черты олиготрофии. В таксономической структуре фитопланктона не произошло существенных таксономических изменений. Сезонные комплексы в фитопланктоне в течение длительного периода исследований определяют диатомовые водоросли, которые составляют подавляющую долю (>75 %) в структуре общей биомассы фитопланктона. Однако в последнее десятилетие все же отмечается некоторое снижение доли участия диатомовых водорослей и увеличение вклада других систематических отделов, в частности зеленых (от 10 до 20 %), в создании общей биомассы летнего фитопланктона. Выявляются также изменения в размерной структуре фитоценозов, что проявляется в постепенном увеличении доли мелкоклеточных видов (наопланктон) в его общей летней биомассе – в среднем 18 % [Чекрыжева, 2008б]. Однако, несмотря на отмеченные изменения, биомасса как и в прежние годы, так и в настоящее время соответствует статусу олиготрофных вод (табл. 2).

Уровень первичной продукции на преобладающей акватории пелагического района озера за 17-летний период наблюдений (с 1989 по 2006 г.) существенно не изменился. Ее величины варьируют в пределах 24–138 и в среднем составляют менее 100 мг $C \cdot m^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$ ($88,3 \pm 15,5$ в Центральном Онего и $96,3 \pm 10,5$ мг $C \cdot m^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$ в южной части озера). Однако сравнение данных для Центрального Онего за более длительный срок – с 1960-х [Романенко, 1965; Сорокин, Федоров, 1969; Трифонова и др., 1982] по 2000-е гг. [Тимакова, Теканова, 1999] – выявило увеличение первичной продукции в 1,5 раза, хотя оно не является достоверным. В годовом цикле доминирующее положение занимает летний фотосинтез – до 70 % от продукции за вегетационный период. Сезонный цикл ее развития имеет одновершинный характер

и на протяжении последних 20 лет характеризуется устойчивостью и хорошей ежегодной воспроизводимостью [Сярки, Теканова, 2008]. Биотический баланс резко отрицателен. Суточная деструкция органического вещества под м² повсеместно превышает первичную продукцию в 10–12 раз, что подтверждает величины (в 13 раз), полученные Ю. И. Сорокиным и В. К. Федоровым [1969], и свидетельствует об особом значении в функционировании этого района экосистемы аллохтонного органического вещества. Максимальные величины деструкции (до 0,06 мг С · л⁻¹ · сут⁻¹) приурочены к слою эпилимниона, минимальные повсеместно фиксируются в гипolimнионе. В зависимости от толщины последнего деструкция составляет 0,3–1,7 г С · м⁻² · сут⁻¹, нередко превышая показатели для эпилимниона [Теканова, Тимакова, 2006].

Таблица 2. Сравнительная характеристика биомассы фитопланктона в разных районах Онежского озера за 50-летний период, г/М³

Район озера	Период наблюдений, годы	Сезон наблюдений		
		Весна	Лето	Осень
Петрозаводская губа	1960-е	0,640	0,130	–
	1970-е	0,960	1,057	0,200
	1980-е	1,650	1,310	0,570
	1990-е	2,347	1,028	0,850
	2000-е	1,118	1,442	0,168
Большое Онего	1960-е	0,500	0,100	–
	1970-е	0,537	0,361	0,301
	1980-е	0,835	0,654	0,443
	1990-е	0,674	0,468	0,361
	2000-е	0,678	0,494	0,392
Центральный плес	1960-е	–	0,060	–
	1970-е	–	0,250	–
	1980-е	0,608	0,798	–
	1990-е	0,351	0,602	–
	2000-е	0,694	0,687	–
Кондопожская губа	1960-е	0,270	0,165	–
	1970-е	0,068	0,100	–
	1980-е	7,770	0,680	1,100
	1990-е	12,973	0,858	0,352
	2000-е	2,724	1,315	0,307
Южное Онего	1980-е	1,211	0,582	–
	2000-е	0,805	0,691	0,332

Бактериоценозы характеризуются количественными показателями, приближающимися к верхнему пределу олиготрофии. В середине прошлого столетия общая численность бактерий (ОЧБ) не превышала 0,5–0,6 млн · мл⁻¹

[Александрова, 1973]. В конце 1990-х гг. ее величины все чаще стали достигать значений 0,8 млн · мл⁻¹, а в последнее десятилетие проявляют заметную вариабельность. Так, в летний период ОЧБ изменяется в пределах от 0,17 до 2,51 (в среднем 1,03 ± 0,09) млн · мл⁻¹. Небольшие размеры бактериальных клеток (V = 0,31 мкм³) определяют невысокие величины бактериальной биомассы от 4,2 до 160,4 (среднее 25,3 ± 2,1 мг С · л⁻¹). Численность сапрофитных бактерий (СБ) достигает среднелетних значений 301 ± 53 КОЕ · мл⁻¹. Биосинтетическая активность биоценозов до конца 1990-х гг. не превышала максимальных значений 0,9, а в 2000-х, при изменчивости ее величин на акватории пелагического района от 0,01 до 7,21, в среднем составила 0,74 ± 0,21 мг С · л⁻¹ · сут⁻¹ (табл. 3). Средневзвешенная величина бактериальной продукции (243,4 ± 53,2 мг С · м⁻² · сут⁻¹) составляет более 100 % от первичной. Отмечаемая в последние годы высокая изменчивость количественных показателей бактериопланктона при слабом протекании фотосинтетических процессов, по-видимому, обусловлена участвовавшим поступлением в этот район загрязненных вод как из литоральных участков озера, так и из губ.

Зоопланктон Онежского озера имеет черты, характерные для всех крупных озер северо-запада России. Высокая инертность водных масс центрального и глубоководных районов озера определяет устойчивость структуры, функционирования и динамики сезонных процессов в пелагическом зоопланктоне. Его видовой состав достаточно однороден по районам, пелагический доминантный комплекс представлен 10–15 видами, обычными для озер этого региона. Количественные, структурные и функциональные показатели свидетельствуют об олиготрофном характере большей части озера. В центральном и глубоководных районах озера численность и биомасса зоопланктона достигают 20 тыс. экз. · м⁻³ и менее 1 г · м⁻³. В столбе воды среднелетняя биомасса не изменилась с 1960-х гг. и составляет 8,3 ± 1,0 г · м⁻² (менее 0,3 г · м⁻³). Остался также неизменным

Таблица 3. Распределение величин темновой ассимиляции CO₂ на акватории Онежского озера в период открытой воды в 1989–2006 гг. (по: Тимакова, 2008)

Район	Среднее для толщи воды, мкг С л ⁻¹ · сут ⁻¹		В столбе воды под м ² , мг С м ⁻² · сут ⁻¹	
	min – max	среднее ± m _М	min – max	среднее ± m _М
Центральная часть	0,11–1,62	0,53 ± 0,09	18,45–41,43	32,32 ± 3,42
Большое Онего	0,01–7,21	0,89 ± 0,25	13,90–172,60	49,12 ± 12,06
Южная часть	0,24–3,73	0,81 ± 0,13	4,48–31,18	17,26 ± 2,91
Кондопожская губа, вершина	0,60–48,00	12,64 ± 2,33	33,90–431,0	151,93 ± 38,44
Кондопожская губа, центр	0,04–10,96	2,04 ± 0,37	26,52–501,3	131,1 ± 37,78
Петрозаводская губа	0,02–25,04	1,66 ± 0,27	3,9–83,0	20,98 ± 3,85

состав доминирующего комплекса зооценозов [Николаев, 1972; Сярки, 2008]. Преобладающей группой в этих районах (с биомассой более 50 %) являются веслоногие рачки. Холодноводность и слабое развитие кормовой базы определяют невысокое развитие группы коловраток и ветвистоусых рачков. Видовое разнообразие зоопланктона (индекс Шеннона по биомассе до 3,5) свидетельствует о неизменном характере структуры сообщества.

Население макрозообентоса также отличается сравнительно невысокими количественными показателями (в среднем 2 тыс. экз. · м⁻² и 3 г · м⁻²) и постоянным видовым составом. Сообщества представлены реликтовыми ракообразными, олигохетами, в небольшом количестве двустворчатými моллюсками и холодноводными видами хирономид. Внесенный в Красную книгу Карелии реликтовый бокоплав *Relictocanthus lacustris* G. Sars. относится к исчезающим видам и встречается крайне редко. Более 90 % биомассы животных приходится на амфипод и олигохет. Однако с конца 1980-х гг. в поверхностном слое донных отложений было отмечено увеличение концентрации органического вещества (ОВ), содержания общего фосфора в 3 раза, легкоподвижного – более чем на порядок [Белкина, 2007]. Это повлекло за собой устойчивый рост количественных показателей макрозообентоса, которые в центральном плесе достигли пределов 1,0–3,5 (среднее 1,45 ± 0,19) тыс. экз. · м⁻² и 1,9–10,0 (3,1 ± 0,4) г · м⁻², что превышает аналогичные характеристики 1970-х гг. в 3 раза (табл. 4). Здесь стали заметными также структурные преобразования в донных группировках. Прежде всего они проявляются в увеличении соотношения численности олигохет (N_{ол}) и суммарной численности бентоса (N_б), что хорошо отражает накопление ОВ и биогенных веществ на дне водоема. К числу отрицательных изменений относится уменьшение в центральном плесе количества реликтовых амфипод.

Наиболее эвтрофируемыми районами Онежского озера являются Кондопожская и Петрозаводская губы. Резкое увеличение фос-

форной нагрузки (P_{общ}) на Петрозаводскую губу началось в 1980-е гг. До середины 1990-х гг. ее величины от Петрозаводского промузла достигали 2,7, а с речным стоком – 1,2 г · м⁻² · год⁻¹. С конца 1990-х ситуация изменилась. Нагрузка P_{общ} с речным стоком (1,6 г · м⁻² · год⁻¹) стала преобладать над таковой от промузла – 1,4 г · м⁻² · год⁻¹ [Сабылина, 2007]. В настоящее время в Петрозаводскую губу из всех источников поступает 223,8 т · год⁻¹ P_{общ}, а среднегодовая концентрация в воде залива достигает 20 мкг · л⁻¹ против 17 в 1990-е и 25 мкг · л⁻¹ в 1980-е гг.

Основным загрязнителем Кондопожской губы до конца 1970-х гг. было органическое вещество, в составе которого преобладали биохимически нестойкие фракции – спирты, альдегиды, сахара, органические кислоты, фурфурол. Они быстро утилизируются бактериофлорой, являются потенциальным источником минеральных форм фосфора и служат основой для развития гетеротрофных процессов. До 1980-х гг. антропогенное эвтрофирование тяготело здесь к гетеротрофному пути развития. В начале 1980-х, после пуска первой очереди станции биологической очистки сточных вод на Кондопожском ЦБК, вынос фосфора в губу со сточными водами быстро возрос в 3–6 раз по сравнению с 1960–1970-ми гг. Его содержание в воде на акватории изменялось в пределах 17–40 мкг · л⁻¹, что привело к активизации первично продукционных процессов и резкому увеличению биомассы фитопланктона.

Количественные показатели летнего фитопланктона (см. табл. 2) выросли на порядок по численности (235,0 тыс. кл. · л⁻¹) и в 20 раз (0,45 г · м⁻³) по биомассе. Происходило заметное расширение круга массовых форм синезеленых (р. *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Aphanizomenon*) и зеленых (р. *Ankistrodesmus*, *Crucigenia*, *Coelastrum*, *Dictyosphaerium*, *Eudorina*, *Planctococcus*) на фоне интенсивной вегетации доминанта олиготрофного периода *Aulacoseira islandica* (O. Müll.) Sim. К концу 1980-х гг. развитие водорослей возросло еще больше по сравнению с началом 1980-х (в 5 и в 2 раза) по численности и биомассе (соответственно в 5 и

Таблица 4. Многолетние изменения количественных характеристик макрозообентоса в различных районах озера

Район озера	1970-е		1980-е		1990-е		2000-е	
	N	B	N	B	N	B	N	B
Центральный плес	0,48	1,28	0,94	1,52	1,73	3,36	1,50	3,10
Большое Онего	0,43	1,02	0,85	2,70	1,54	2,88	1,00	2,67
Повенецкий залив	1,16	1,68	2,30	2,78	–	–	2,80	3,0
Южная часть	0,756	1,53	1,05	1,91	3,03	5,13	2,20	3,23
Петрозаводская губа	0,96	2,06	3,00	6,04	8,11	13,27	7,31	8,26
Кондопожская губа	0,27	0,72	1,30	1,88	4,10	6,54	8,35	12,63

Примечание. N – численность, тыс. экз. · м⁻²; B – биомасса, г · м⁻².

в 2 раза) за счет массовых эвтрофных видов. В последние десятилетия общее повышение уровня трофии Кондопожской губы во многом обусловлено влиянием богатых органическими веществами сточных вод ЦБК. Фитопланктонный комплекс пополняется не только видами, характерными для вод более высокого уровня трофии, но и видами, являющимися индикаторами органического загрязнения. В настоящее время в планктоне губы 70 % видов относятся к индикаторам β -, β - α -, α -сапробных условий, в том числе из криптофитовых р.р. *Chroomonas* и *Cryptomonas* [Чекрыжева, 2008а]. До конца 1990-х гг. только один вид был отнесен к показателям α -сапробных условий и 12 видов – β -сапробных условий, в целом не более 20 %.

Фитоценозы Петрозаводской губы в период значительного роста фосфорной нагрузки на экосистему (1980-е гг.) также отреагировали увеличением продуктивности. Их численность возросла в среднем до 2,0 млн кл. \cdot л⁻¹, а биомасса – до 7,0 г \cdot м⁻³. В последующие десятилетия и до настоящего времени количественные показатели фитоценозов остались приблизительно на таком же уровне, что и в конце 1980-х – начале 1990-х гг. (см. табл. 2).

В трансформации фитоценозов в обеих губах можно выделить схожие моменты: значительное увеличение количественных характеристик в весенний период, обусловленное мощной вегетацией *A. islandica*; ускоренное развитие синезеленых и хлорококковых водорослей на фоне диатомовых при относительной устойчивости структуры фитоценоза; рост всех массовых видов олиготрофного периода; усиление роли летнего и осеннего фитопланктона в годовом цикле; заметное присутствие в фитоценозах водорослей – показателей сапробности.

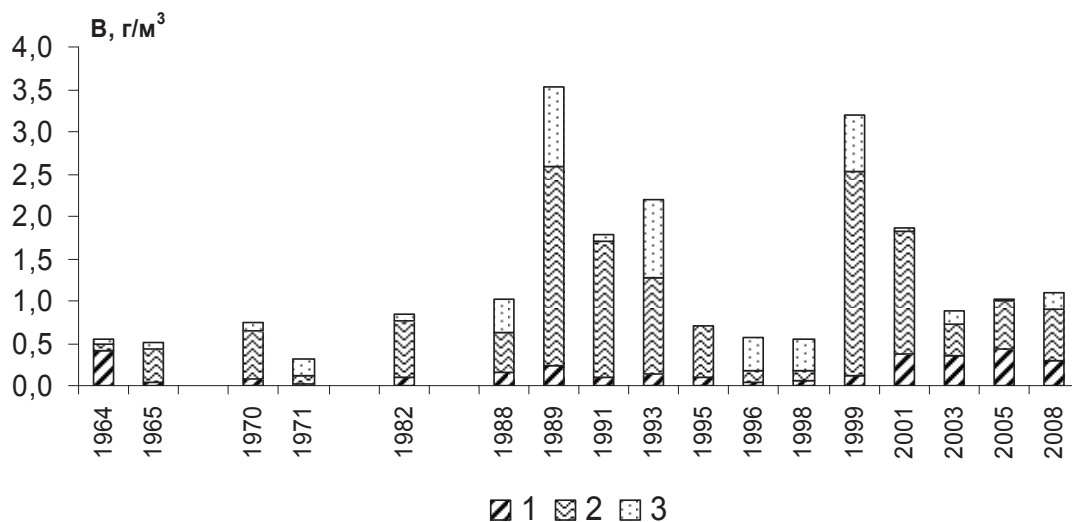
Одновременно с интенсивным развитием фитопланктона в эвтрофируемых губах возрастала интенсивность фотосинтеза, которая превысила показатели олиготрофных пелагических районов в 3–10 раз, интегральная продукция – в 1,5–3,0 раза. Максимальные значения первичной продукции в Кондопожской губе достигли величин 1037 мг С \cdot м⁻² \cdot сут⁻¹, в Петрозаводской, за счет выноса фосфора в открытые участки озера, она в 1,5 раза ниже, чем в Кондопожской. В сопредельном с Петрозаводской губой районе (Петрозаводское Онего) ее показатели бывают даже выше, чем в самой губе. Интенсивность деструкции органического вещества в губах превосходит ее величины в пелагических глубоководных районах озера в 1,5–2,0 раза.

Наиболее подвижной структурой биоты в губах является бактериопланктон. До 1980 г. бактериальному звену принадлежала особая

роль в развитии эвтрофирования Кондопожской губы, особенно в ее северной части, так как аллохтонное органическое вещество, включающееся в биотический круговорот, значительно превалировало над автохтонным. Численность бактерий здесь в среднем достигала 3,5 млн \cdot мл⁻¹, количество СБ – до 10 тыс. КОЕ \cdot мл⁻¹. После пуска на комбинате СБО в 1980-е гг. все большее значение в развитии эвтрофирования стал приобретать автотрофный путь. Бактериопланктон в этот период в количественном развитии достиг некоторой стабилизации. Общая численность бактерий в среднем для губы составила 1,3 млн \cdot мл⁻¹, СБ – 0,6 тыс. КОЕ \cdot мл⁻¹. Уменьшение антропогенной нагрузки на 30 % в середине 1990-х гг. привело к снижению развития бактерий в 1,5–2 раза, особенно в районе, где жизнедеятельность бактерий базируется преимущественно на ОВ, поступающем со сточными водами. Однако с конца 1990-х гг. вновь происходит рост объема сбрасываемых сточных вод и подъем количественных показателей бактериоценозов. В последние годы они характеризуются большой изменчивостью. В разных районах губы ОЧБ изменяется в пределах от 1,6 до 3,3 млн кл. \cdot мл⁻¹, а интенсивность темновой фиксации CO₂ – от 9,7 до 15,0 мкг С \cdot л⁻¹ \cdot сут⁻¹.

В Петрозаводской губе благодаря интенсивному водообмену ОЧБ в течение последних 15 лет достигает уровня 0,9–1,8 млн \cdot мл⁻¹. Биосинтетическая активность бактериальных сообществ (по темновой ассимиляции CO₂) на акватории обеих губ варьирует в широких пределах, однако средние величины характерны для мезо-эвтрофных водоемов (см. табл. 3).

В зоопланктонных сообществах наиболее наглядные изменения в обеих губах прослеживаются в районах с сильно выраженными признаками эвтрофирования [Куликова, Сярки, 2004]. В Кондопожской губе в начальный период развития этого процесса (1980-е гг.) летние численность и биомасса зооценозов в северной части губы составляли 90 тыс. экз. \cdot м⁻³ и 2,4 г \cdot м⁻³, тогда как в 1960-е гг. – 20 и 0,5 соответственно. Разнообразие организмов (индекс Шеннона по численности 2,11–2,46 и по биомассе 2,53–2,68) за 20-летний период существенно не изменилось, поскольку прирост общей численности произошел не за счет видов-доминантов, а за счет средне- и малочисленных видов [Куликова и др., 1997]. Наиболее выраженные изменения в зоопланктоне проявились лишь в конце 1980-х гг. – в период интенсивного развития процесса антропогенного эвтрофирования (рис.). Рост численности поч-



Многолетние изменения биомассы зоопланктона в северной части Кондопожской губы:
1 – Copepoda; 2 – Cladocera; 3 – Rotatoria

ти всех видов определил высокие общие количественные параметры (до 100 тыс. экз. · м⁻³ и 3,5 г · м⁻³). Преобладание 1–2 видов (в основном фильтраторов, в частности *Daphnia cristata*) привело к уменьшению разнообразия сообщества – индекс Шеннона по численности составлял 1,57–1,73, а по биомассе – 1,94–2,40. Вследствие этого было сдвинуто соотношение основных таксономических групп. Среди трофических групп увеличилась доля фильтраторов за счет уменьшения хищных видов. При снижении нагрузки в 1990-х гг. количество зоопланктона заметно понизилось. В настоящее время планктонная система испытывает неустойчивые колебания количественных показателей. Следует заключить, что в наиболее эвтрофированных участках озера (северная часть Кондопожской губы) перестройка трофической структуры зоопланктона отражается на основных энергетических показателях: увеличивается как общая продукция сообщества, так и затраты на поддержание его жизнедеятельности.

В Петрозаводской губе зоопланктон с 1970-х гг. не претерпел значительных изменений, и его количественные характеристики в столбе воды сопоставимы с таковыми из центральной части озера (среднегодовая биомасса 9,0 г · м⁻², или около 1 г · м⁻³). Высокая динамичность вод обеспечивает перемешивание и выравнивание показателей зоопланктона по акватории губы. Лишь в районе сброса стоков КОС общая численность зоопланктонов может увеличиваться до 40–50 тыс. экз. · м⁻³. В то же время структура сообщества в губе изменяется в сторону увеличения роли коловраток и мелких циклопов, что приближает ее к β-мезотрофному состоянию.

Наиболее сильно эвтрофирование проявляется на состоянии донных ценозов, которые претерпевают устойчивые изменения. Они выделяются стабильно высоким количественным развитием, обилие которого в несколько раз, а в отдельных случаях и на порядок выше, чем в других районах озера (см. табл. 4). Так, в Кондопожской губе средние величины численности и биомассы в последнее десятилетие составляют $8,35 \pm 0,94$ тыс. экз. · м⁻² и $12,63 \pm 1,26$ г · м⁻², при размахе их колебаний – 0,04–15,0 тыс. экз. · м⁻² и 0,02–53,0 г · м⁻². Рост количественных характеристик сопровождается структурными преобразованиями – снижением видового разнообразия за счет исчезновения наиболее чувствительных к ухудшению экологических условий типичных представителей фауны олиготрофных водоемов и замены их на толерантные эврибионтные формы, уменьшением индивидуальной массы особей, что, в свою очередь, обуславливает изменения уровня функционирования сообществ. Снижение показателей выровненности и увеличение индексов полидоминантности на протяжении всего периода наблюдений указывают на возрастание степени доминирования отдельных элементов системы и в конечном счете – упрощение ее структурной организации.

По уровню количественного развития сообществ донных животных ($7,31 \pm 0,86$ тыс. экз. · м⁻² и $8,26 \pm 0,60$ г · м⁻²) эвтрофирование в Петрозаводской губе к настоящему времени достигает β-мезо-, а в Кондопожской – α-эвтрофного уровня [Китаев, 2007].

Не менее актуальной проблемой последнего десятилетия для Онежского озера является

биологическое загрязнение. В литоральных биоценозах происходят серьезные экосистемные преобразования в связи с инвазией чужеродного вида *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing). В настоящее время он распространился практически по всему водоему и является массовым видом в прибрежном мелководье. Прочно войдя в состав донных сообществ, байкальский бокоплав существенно изменил их структурные характеристики. Он стал доминирующим видом на всех типах озерной литорали (32–71 % средней численности и 37–73 % средней биомассы) и увеличил количество бентоса в прибрежье озера в среднем на 50 % [Кухарев и др., 2008]. Этот вид кардинальным образом трансформировал потоки вещества и энергии в литорали, потребляя, с одной стороны, различные виды трофических ресурсов и, с другой стороны, выступая в качестве жертв для рыб, которые охотно используют его в пищу.

Выводы

1. Антропогенное эвтрофирование наглядно проявляется в северо-западных губах, Кондопожской и Петрозаводской, составляющих 4–5 % от всей площади озера. До 1980-х гг. в его развитии большую роль играли гетеротрофные процессы. В последующие десятилетия, после введения биологических очистных сооружений на побережье обеих губ, все большее значение приобретает автотрофный путь развития этого процесса.

2. Основная акватория водоема сохраняет свое первоначально олиготрофное состояние и характеризуется низким биопродукционным потенциалом. Однако водообмен между губами и открытой частью озера, а также высокая ассимиляционная способность донных отложений приводят к неуклонному росту концентраций как фосфора, так и органического вещества в иловых отложениях сопредельных с губами глубоководных пелагических районов озера. Это сопровождается устойчивым ростом количественных показателей макрозообентоса, а в последние годы – заметными структурными преобразованиями в донных группировках. В планктонных сообществах (бактерио-, фито-, зоопланктоне) отмечаются лишь спорадические изменения, которые не имеют постоянного характера.

3. В последнее десятилетие в Онежском озере появился новый тип антропогенного воздействия – биологическое загрязнение. Литоральные биотопы озера претерпели значительные преобразования под влиянием инвазионного вида *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing), который распространился практически по всему озеру и

является массовым видом в прибрежном мелководье.

Литература

Александрова Д. Н. Бактериопланктон и микрофлора донных отложений Онежского озера // Микробиология и первичная продукция Онежского озера. Л.: Наука, 1973. С. 5–83.

Белкина Н. А. Онежское озеро и его притоки. Химический состав донных отложений // Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998–2006 гг. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. С. 40–49.

Бояринов П. М., Руднев С. Ф. Инструментальные исследования течений // Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения. Л.: Наука, 1990. С. 53–71.

Ефременко Н. А. Методы отбора и химического анализа проб воды // Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998–2006 гг. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. С. 10–12.

Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. 394 с.

Кузнецов С. И., Дубинина Г. А. Методы изучения водных организмов. М.: Наука, 1989. 286 с.

Куликова Т. П., Кустовлянкина Н. Б., Сярки М. Т. Зоопланктон Онежского озера. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 1997. 110 с.

Куликова Т. П., Сярки М. Т. Влияние антропогенного эвтрофирования на распределение зоопланктона в Кондопожской губе Онежского озера // Водные ресурсы. 2004. Т. 31, № 1. С. 91–97.

Кухарев В. И., Полякова Т. Н., Рябинкин А. В. Распространение байкальской амфиподы *Gmelinoides fasciatus* (Amphipoda, Crustacea) в Онежском озере // Зоол. журн. 2008. Т. 87, № 10. С. 1270–1273.

Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 240 с.

Николаев И. И. Сравнительно-лимнологическая характеристика зоопланктона Онежского озера // Зоопланктон Онежского озера. Л.: Наука, 1972. С. 283–304.

Романенко В. И. Микробиологическое обследование Онежского озера, Выгозерского водохранилища и озер Беломорско-Балтийского канала // Микробиология. 1965. Т. 34, вып. 2. С. 350–356.

Сабылина А. В. Онежское озеро и его притоки. Внешняя нагрузка на Онежское озеро // Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998–2006 гг. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. С. 19–21.

Сорокин Ю. И., Федоров К. В. Первичная продукция и деструкция в Онежском озере // Предварительные результаты работ комплексной экспедиции по исследованию Онежского озера. Петрозаводск, 1969. Вып. 3. С. 29–33.

Сярки М. Т. Оценка рыбопродуктивности по состоянию кормовой базы. Зоопланктон // Биологические ресурсы Онежского озера. Петрозаводск, 2008. С. 54–67.

Сярки М. Т., Теканова Е. В. Сезонный цикл первичной продукции в Онежском озере // Известия РАН. Сер. Биол. 2008. № 5. С. 621–625.

Теканова Е. В., Тимакова Т. М. Первичная продукция и деструкция органического вещества в Онежском озере // Состояние и проблемы продукционной

гидробиологии. М.: Содружество научных изданий КМК, 2006. С. 60–71.

Тимакова Т. М. Бактериопланктон, как пищевой ресурс для развития кормовой базы рыб в Онежском озере // Биологические ресурсы Онежского озера. Петрозаводск, 2008. С. 43–54.

Тимакова Т. М., Теканова Е. В. Характеристика процессов первичного продуцирования органического вещества // Онежское озеро. Экологические проблемы. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 1999. С. 174–191.

Трифонов И. С., Ульянова Д. С., Чеботарев Г. Н. Первичная продукция, содержание хлорофилла и ор-

ганическое вещество сестона в Онежском озере летом 1977 года // Гидробиол. журн. 1982. Т. 18, № 5. С. 106–109.

Чекрыжева Т. А. Изменения в структуре летнего фитопланктона Кондопожской губы Онежского озера в процессе антропогенного эвтрофирования // Тр. Карельского НЦ РАН. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2008а. С. 156–163.

Чекрыжева Т. А. Фитопланктон как компонент биоресурсной базы озера // Биоресурсы Онежского озера. Петрозаводск, 2008б. С. 24–36.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Тимакова Тамара Михайловна

старший научный сотрудник, к. б. н.
Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185030
эл. почта: ttm49@mail.ru
тел.: (8142) 576520

Сабылина Альбина Васильевна

старший научный сотрудник, к. х. н.
Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185030
эл. почта: lozovik@nwpi.krc.karelia.ru
тел.: (8142) 576541

Полякова Тамара Николаевна

главный гидробиолог
Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185030
эл. почта: TNPVVL@mail.ru
тел.: (8142) 576520

Сярки Мария Тагиевна

научный сотрудник, к. б. н.
Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185030
эл. почта: msyarki@mail.ru
тел.: (8142) 576520

Теканова Елена Валентиновна

научный сотрудник, к. б. н.
Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185030
эл. почта: etekanova@mail.ru
тел.: (8142) 576520

Чекрыжева Татьяна Александровна

старший научный сотрудник, к. б. н.
Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185030
эл. почта: Tchekryzheva@mail.ru
тел.: (8142) 576520

Timakova, Tamara

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Science
50 A. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: ttm49@mail.ru
tel.: (8142) 576520

Sabylina, Al'bina

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Science
50 A. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: lozovik@nwpi.krc.karelia.ru
tel.: (8142) 576541

Polyakova, Tamara

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Science
50 A. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: TNPVVL@mail.ru
tel.: (8142) 576520

Syarki, Maria

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Science
50 A. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: msyarki@mail.ru
tel.: (8142) 576520

Tekanova, Elena

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Science
50 A. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: etekanova@mail.ru
tel.: (8142) 576520

Chekryzheva, Tatyana

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Science
50 A. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: Tchekryzheva@mail.ru
tel.: (8142) 576520