

ЭКОСИСТЕМА ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА: РЕАКЦИЯ ВОДНЫХ СООБЩЕСТВ НА АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ И КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ*

© 2017 г. Н.М. Калинкина, Е.В. Теканова, М.Т. Сярки

ФГБУН «Институт водных проблем Севера Карельского научного центра Российской академии наук», г. Петрозаводск, Россия

Ключевые слова: Онежское озеро, качество воды, водные сообщества, антропогенная нагрузка, эвтрофирование, реолиготрофизация, нефтяное загрязнение, биоинвазии, климатические изменения.



Н.М. Калинкина

Е.В. Теканова

М.Т. Сярки

Систематизированы и проанализированы собственные и литературные сведения о динамике антропогенной нагрузки, состоянии планктона и бентоса Онежского озера на протяжении по-

следних 55 лет с целью оценки реакции экосистемы на долговременные и недавно появившиеся факторы воздействия – климатические изменения, химическое и биологическое загрязнение. Показано, что загрязнение озера носит локальный характер, в то время как более 90 % его акватории сохраняет исходный олиготрофный статус. Биогенные вещества, поступающие в озеро со сточными водами целлюлозно-бумажного производства и коммунального хозяйства, привели к эвтрофированию двух северо-западных заливов. В последнее десятилетие нагрузка от точечных источников загрязнения снизилась, что проявилось в процессах реолиготрофизации, протекающих в донных сообществах эвтрофируемых заливов, однако появились рассеянные источники поступления загрязняющих веществ.

Потенциальную угрозу эвтрофирования озера представляют форелевые хозяйства в северо-западных заливах. Выявлено хроническое нефтяное загрязнение Петрозаводской губы озера, с которым экосистема залива пока справляется. Биологическое загрязнение, связанное с вселением байкальской амфиподы *Gmelinoides fasciatus* Stebbing, привело к увеличению продуктивности отдельных участков литоральной зоны и улучшению кормовой базы молоди окуня. Климатические изменения

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-17-00766)

тические изменения вызывают отклонения в структуре и сезонной цикличности планктонных сообществ, которые носят обратимый характер. В целях сохранения экономической ценности водного объекта предлагается законодательно закрепить систему мер по охране Онежского озера как стратегического источника пресной воды и разработать научно обоснованные критерии экологического мониторинга с учетом его гетерогенности.

Дефицит пресной воды – глобальная проблема современности. Одним из важнейших аспектов социально-экономической значимости северных водных объектов является большой объем чистой пресной воды [1]. В первую очередь, это относится к крупным природным резервуарам с многовековыми запасами пресной воды высокого качества. В северо-западном регионе России – это Онежское и Ладожское озера, в которых содержится около 90 % пресной озерной воды Европейской части России и 1 % ее мировых запасов.

Северные водные экосистемы наиболее уязвимы к любым внешним воздействиям по причине медленной скорости их восстановления. Невысокие температуры определяют замедленный метаболизм и низкую скорость самоочищения таких экосистем. В современных условиях активного освоения севера России и глобальных климатических изменений состояние крупных озер этого региона требует постоянного контроля с целью сохранения высокого качества воды и хозяйственной ценности водных объектов. Поэтому в последние годы особое внимание уделяется разработке методов оценки и прогнозирования состояния крупнейших озер России, в т. ч. Онежского и Ладожского как стратегических источников пресной воды [2].

Сигнальным «откликом» экосистемы на возмущающие воздействия выступают наиболее информативные биологические показатели. Необходимость изучения закономерностей реагирования биоты на такие воздействия для оценки и прогнозов биопродуктивности и качества воды (состояния водного объекта в целом по комплексу химико-биологических показателей) отражена в Рекомендациях Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Российской Федерации [3].

В работе рассмотрены долговременные и появившиеся в последнее десятилетие факторы внешнего воздействия на экосистему Онежского озера, их последствия для биоценозов водоема.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА

Онежское озеро (с 1951 г. Верхне-Свирское водохранилище) расположено в северо-западном регионе России на границе с субарктическим поясом (рис. 1). Климат региона формируется под преобладающим влиянием

арктических и атлантических воздушных масс [4]. Онежское озеро – молодой водоем ледниково-тектонического происхождения, образовавшийся около 13 000 лет назад после схода ледника [5], где до настоящего времени продолжается формирование флоры и фауны, встречаются реликтовые формы ракообразных. Площадь озера составляет 9720 км², средняя глубина 30 м, максимальная – 120 м, объем воды 295 км³, площадь водосборного бассейна 53 100 км². Онежское озеро питают 152 реки, вытекает из озера одна р. Свирь.



Рис. 1. Картохема расположения Онежского озера и основных населенных пунктов.

Отличительные особенности водоема – холодноводность (средняя температура поверхностного слоя в период открытой воды не превышает 8 °С), сложный термический режим (формирование весеннего и осеннего термобара), замедленный водообмен (период условного водообмена 15,6 лет) и лимническая неоднородность, проявляющаяся в его морфометрии, геологии котловины, термическом режиме, приточности, биопродуктивности, антропогенной нагрузке.

Основная часть Онежского озера, за исключением небольших локальных участков, с начала его изучения в 1960-е годы и до настоящего времени сохранила природное олиготрофное состояние. Вода обладает высокой прозрачностью (4,5 м), мало минерализована (35 мг/л) и слабо окрашена (20 град. цветности) [6]. Для экосистемы озера характерна низкая биопродуктивность [7]. В период открытой воды средняя концентрация общего фосфора в водоеме составляет 8 мкг/л, хлорофилла «а» – 1,1 мкг/л, концентрация раство-

ренного кислорода близка к полному насыщению. Средняя биомасса фитопланктона не превышает 0,7 мг/л, биомасса зоопланктона – 0,2 мг/л. Рыбные уловы в озере невелики, в среднем около 1800 т в год [7]. В число промысловых видов рыб входят ценные породы – сиг, ряпушка, корюшка, паalia.

Онежское озеро как объект многоцелевого хозяйственного использования имеет большое значение в экономике северо-западного региона России. Оно служит транспортной магистралью из Балтийского в Белое море, используется в целях гидроэнергетики, для нужд водопотребления и водоотведения населенных пунктов и промышленности, рыбного промысла, рыборазведения. Непосредственными потребителями воды являются три коммунально-промышленных центра на побережье северо-западных заливов озера: в Петрозаводской губе – г. Петрозаводск с населением 277 тыс. чел., в Кондопожской губе – ОАО «Кондопога» (целлюлозно-бумажный комбинат) и г. Кондопога (31 тыс. чел.), в Повенецком заливе – г. Медвежьегорск (14 тыс. чел.), город и порт Повенец с населением около 2 тыс. чел. (см. рис. 1).

В современных условиях можно выделить три главных фактора, которые могут привести к изменению состояния экосистемы Онежского озера: антропогенное воздействие, биологическое загрязнение (биоинвазии) и климатические изменения.

Антропогенное воздействие

Главными точечными источниками антропогенной нагрузки в настоящее время остаются сточные воды городов Петрозаводска, Кондопоги и Медвежьегорска. Сведения статистической отчетности о водоотведении этих промышленных центров свидетельствуют о последовательном нарастании объемов сточных вод до конца 1980-х годов (рис. 2).

Результатом многолетнего поступления обогащенных фосфором сточных вод в Онежское озеро стало эвтрофирование Кондопожской и Петрозаводской губы. Наибольшему эвтрофированию подверглась Кондопожская губа, трофический статус которой оценивается как мезотрофный [8]. Экосистема более проточной Петрозаводской губы характеризуется олиго-мезотрофным состоянием. До настоящего времени эвтрофирование Онежского озера носит локальный характер и ограничивается Кондопожской и Петрозаводской губами (около 4 % площади озера), т. к. эти заливы относительно изолированы от основного плеса озера (см. рис. 1).

Тем не менее, периодически во время устойчивых северо-западных и западных ветров наблюдаются выносы загрязненных вод в сопредельные участки, что отражается на состоянии планктона. В пелагиали озера во время выноса загрязненных вод из Кондопожской губы регистрируются высокие величины продукции фитопланктона, выходящие за установленные пределы многолетней изменчивости [9] (рис. 3).

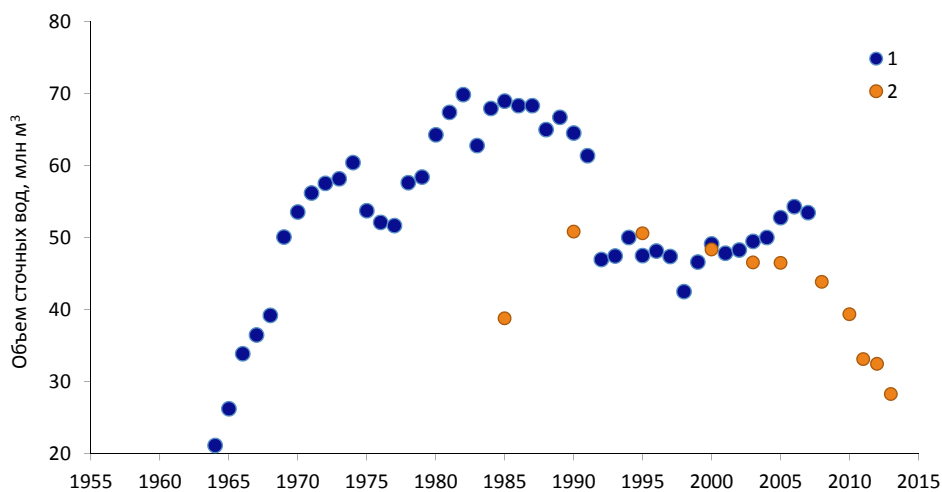


Рис. 2. Динамика сброса сточных вод: 1 – в Кондопожскую губу; 2 – в Петрозаводскую губу Онежского озера.

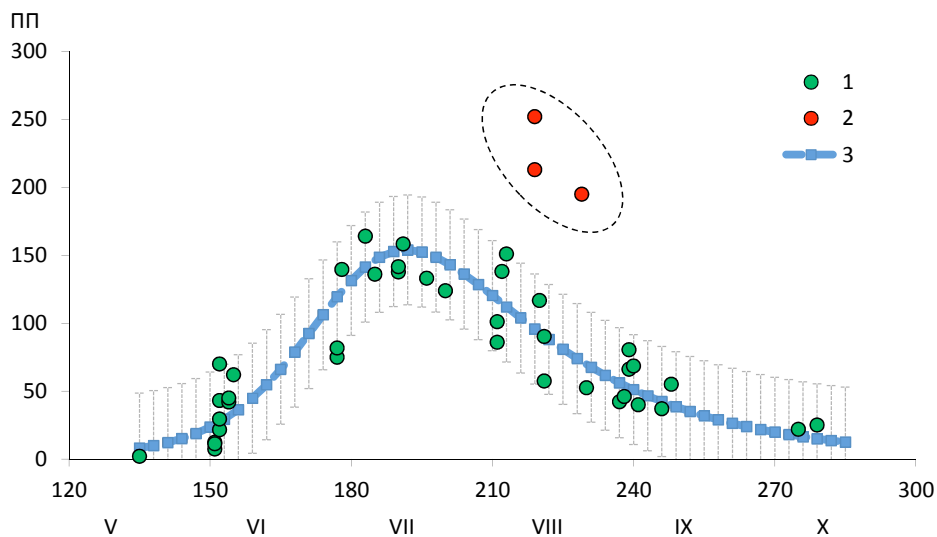


Рис. 3. Сезонная динамика первичной продукции (ПП, г С/м²·сут) в центральной части Онежского озера: 1 – эмпирические данные; 2 – экстремальные величины в период выноса загрязненных вод из Кондопожской губы; 3 – линия регрессии, отражающая среднемноголетний сезонный ход первичной продукции [8].

С начала 1990-х годов объем сточных вод последовательно сокращался в связи со спадом производства. В последнее десятилетие наблюдается некоторая стабилизация количества сбрасываемых сточных вод на более низком уровне. Так, объединенный годовой сброс сточных вод целлюлозно-бумажного комбината и г. Кондопоги в Кондопожскую губу в 1982 г. достигал многолетнего максимума – 70 млн м³. В последние 20 лет его объем находится в пределах 42–54 млн м³ [10]. В Петрозаводскую губу наибольшее количество сточных вод г. Петрозаводска поступало также в 1980-е годы – до 50 млн м³ в год, в последние пять лет – не превышало 30 млн м³ [11] (рис. 2).

В результате сокращения антропогенной нагрузки в эвтрофированных участках Онежского озера наблюдаются признаки реолиготрофизации, т. е. возврата экосистемы к природному, более низкому уровню трофии [12, 13]. Наиболее ярко на снижение антропогенной нагрузки отреагировали глубоководные бентосные сообщества, отражая обеднение кормовой базы. Так, в Петрозаводской губе и в центре озера с начала 1990-х годов количество донных организмов снизилось в 7 раз (рис. 4).

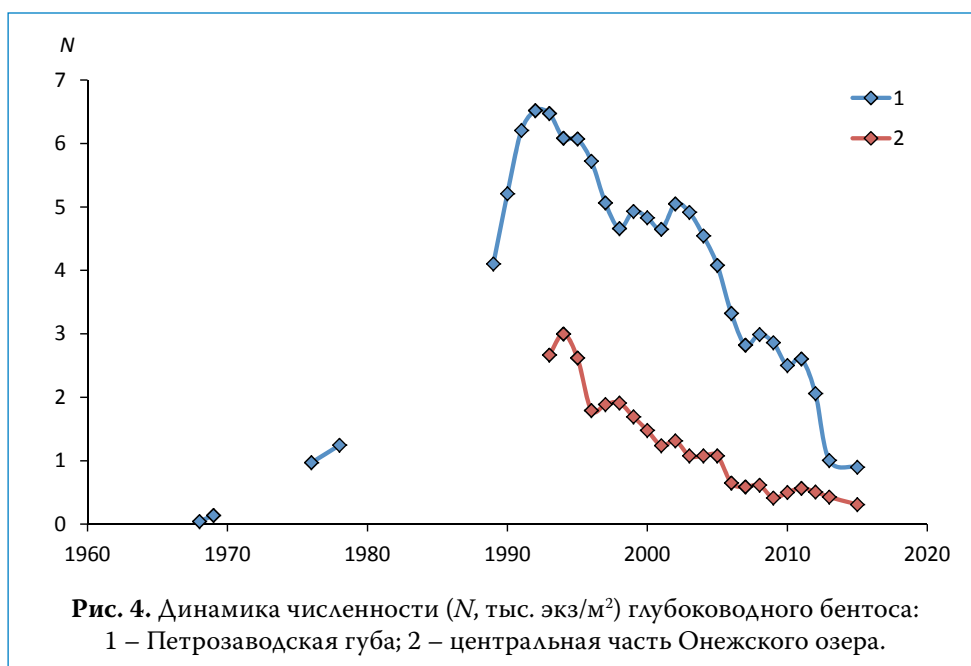


Рис. 4. Динамика численности (N , тыс. экз/м²) глубоководного бентоса: 1 – Петрозаводская губа; 2 – центральная часть Онежского озера.

Обнаруженное снижение численности бентоса в центральной части озера указывает на то, что зона загрязнения донных отложений достигала и условно чистого района водоема в силу специфики распространения

загрязнения в нижних слоях воды [14]. В Кондопожской губе за последние пять лет отмечается аналогичная тенденция в развитии бентоса, однако снижение не столь выражено и его кратность не превышает 2–3 раз.

Процессы реолиготрофизации в планктоне эвтрофируемых заливов Онежского озера протекают существенно слабее, возможно, в силу сложного разнонаправленного действия на планктон природных и антропогенных факторов [8]. Так, выявление признаков реолиготрофизации в планктоне существенно затрудняет его высокая сезонная изменчивость. Устойчивое снижение биопродуктивности можно ожидать после установления более низкой концентрации фосфора в воде, как правило, через три периода водообмена после прекращения действия антропогенного фактора. С учетом того, что поступление фосфора в эвтрофируемые заливы, хотя и в меньшем объеме, но продолжается, восстановление природного состояния планктона возможно лишь отчасти. Некоторые признаки реолиготрофизации выявлены в фитопланктонном сообществе Кондопожской и Петрозаводской губы, где в 2000-е годы численность и биомасса оказались в 1,5 раза меньше, чем в 1990-е. Кроме того, отмечено увеличение доли крупноклеточных диатомовых, что указывает на улучшение экологической ситуации на этих участках озера [15].

Наряду со снижением нагрузки от точечных источников загрязнения возникают новые угрозы экосистеме Онежского озера от так называемых рассеянных источников. Немаловажной проблемой является загрязнение водоема нефтепродуктами, попадающими в озеро в результате судоходства и с урбанизированных территорий (Петрозаводск, Кондопога, Повенец, Медвежьегорск) в составе ливневых стоков и аварийных стоков предприятий. Загрязнению нефтепродуктами наиболее подвержена Петрозаводская губа. Так, в 2009 г. обнаружено и до настоящего времени продолжается поступление нефтяных углеводородов в залив в составе стока № 5 ливневой канализации (рис. 5). По мнению специалистов, речь идет о накопленном загрязнении геологической среды на территории города [16]. Загрязнение грунтовых вод выявлено еще в середине 1980-х годов при строительстве городского микрорайона в километровой береговой зоне г. Петрозаводска.

Были установлены токсичные свойства воды загрязненного нефтепродуктами ливневого стока, вызывающей 20–50 % гибель животных в течение 7–14 сут [17]. Ликвидация подземного скопления нефтепродуктов в городской черте требует значительных финансовых затрат, при этом около 30 % нефтепродуктов извлечь невозможно. Менее затратна установка локального очистного сооружения на выпуске № 5 [16].

В силу высокой проточности возможности экосистемы Петрозаводской губы к самоочищению довольно высоки, что пока позволяет ей выдержи-



Рис. 5. Сток № 5 ливневой канализации г. Петрозаводска в Петрозаводскую губу Онежского озера (стрелками указано загрязнение прибрежной зоны нефтепродуктами).

вать значительную антропогенную нагрузку. Так, в результате аварийного сброса нефти в Петрозаводскую губу в 2001 г. загрязнению подверглись донные отложения на площади 17 км², концентрация нефтепродуктов в 200 раз превышала ПДК. В пробах бентоса были обнаружены покрытые слоем нефтепродуктов ракообразные в угнетенном состоянии. Трансформация нефтепродуктов протекала при активном участии углеводородокисляющих микроорганизмов, развитие которых носило характер «вспышки» и достигало сотен миллиардов клеток на м² дна. Тем не менее, уже через год количество углеводородокисляющих бактерий снизилось на 2–3 порядка, а концентрация нефтяных углеводородов не превышала ПДК [18].

В последнее десятилетие на акватории озера появился еще один потенциальный рассеянный источник загрязнения – интенсивно развивающееся садковое форелеводство. По состоянию на 2010 г. преимущественно в северо-западных заливах Онежского озера функционируют 14 форелевых ферм, суммарная мощность которых достигает 7000 т или более 30 % всей товарной форели, выращиваемой в Карелии [19, 20]. Возможные нарушения рыбоводно-биологических обоснований на организацию форелевых ферм, технологии выращивания форели могут привести к загрязнению водоема органическими веществами и биогенными элементами, развитию локальных зон эвтрофирования и, как следствие, к ухудшению качества

воды – снижению содержания растворенного кислорода, зарастанию прибрежных участков, цветению воды, исчезновению ценных пород рыб и потере рыбохозяйственной значимости водоема. Например, в Кефтьень-губе Онежского озера в результате деятельности форелевых хозяйств антропогенная нагрузка по фосфору уже превышает допустимую, а в Святухе – приближается к допустимой. Очевидно, что для сохранения экосистемы озера необходимо снижение объемов товарного производства [20]. Так, закрытие форелевого хозяйства в Лахтинской губе Онежского озера привело к стабилизации водной среды и природных биоресурсов в этом заливе через пять лет [21]. Деятельность форелевых хозяйств в настоящее время не сказывается на состоянии основной глубоководной части Онежского озера вследствие относительной изолированности заливов от основного плеса водоема и его очень большой разбавляющей способности. Тем не менее, для предотвращения подобных ситуаций необходима организация постоянного биомониторинга в районах расположения садков.

Биологическое загрязнение

В последние годы проявилась еще одна экологическая проблема Онежского озера – биологическое загрязнение или инвазия (проникновение в природную экосистему чужеродных видов). Инвазивный вид донного рачка был обнаружен в западном побережье Онежского озера в 2001 г. и идентифицирован как *Gmelinoides fasciatus* Stebbing [22]. Его расселение по Европейской части России началось 40 лет назад, когда этот вид был целенаправленно завезен из оз. Байкал в волжские водохранилища для повышения их рыбопродуктивности. К 2015 г. инвазивный вид с балластными водами судов проник в Онежское озеро и расселился по всей береговой линии до глубины 1 м, что составляет менее 5 % площади озера [23]. Одной из причин такого быстрого и масштабного распространения стала эврифагия (всеядность) вида. Большие размеры (до 1,5 см) определяют высокую биомассу животных. В затишных участках литоральной зоны с зарослями макрофитов (менее 30 % всей литорали озера), где складываются благоприятные условия, их средневегетационная биомасса составляет 7,7 г/м², а доля в общей биомассе бентоса достигает 90 %, в то же время в каменисто-прибойной открытой литорали – лишь 4,0 г/м² и 20 % соответственно [24, 23].

Этот рачок стал важной частью рациона молоди окуня, его доля составляет в среднем 30–50 % пищевого комка в желудках окуней [25, 23]. Гмелиноидес обладает большой питательной ценностью для молоди рыб [26] и поэтому улучшает кормовую базу прибрежных рыбных сообществ, в частности, окуня, что может положительно сказаться на его продуктивности. Сведения об увеличении продуктивности онежского окуня в связи с изменением питания отсутствуют, этот вопрос требует отдельного большого

исследования. Еще одним последствием появления нового вида *G. fasciatus* может быть его влияние на зараженность рыб. Например, в Байкале этот донный рачок является промежуточным хозяином паразитов рыб – трематод *Crepidostomum farionis* (Muller, 1780) [27].

Климатические изменения

Глобальные изменения климата на территории Карелии проявляются, главным образом, в повышении среднегодовой температуры воздуха на 1 °С и увеличении годового количества атмосферных осадков на 20–70 мм по сравнению с климатической нормой 1960–1990-х годов [28]. Следствием таких изменений температурного режима стало увеличение в последнее десятилетие безледоставного периода на карельских водоемах на 10–16 дней.

Для Онежского озера период открытой воды увеличился более чем на 20 сут [29]. В результате возросла сумма эффективных для биоты температур воды (выше 10 °С), т. е. увеличился период «биологического лета». Даты перехода температуры поверхности воды через 10 °С смещаются на более ранние сроки весной со скоростью 1,4–1,7 сут/10 лет и на более поздние – осенью со скоростью 1,0–2,3 сут/10 лет [30]. В дальнейшем климатические изменения будут проявляться, в первую очередь, в смещении дат сезонных фаз и изменении цикличности планктона и его видового состава.

Регистрируемые климатические изменения пока не привели к устойчивым изменениям структуры, биомассы и сезонной цикличности планктона Онежского озера, в первую очередь, по причине теплоинертности холодной водной массы озера. Отмечены лишь отдельные обратимые колебания в соотношении видов тепловодного и холодноводного летнего комплекса зоопланктона в зависимости от температурных особенностей года, а также разовое появление в пелагиали в 2014 г. большого количества рачка *Bosmina (E.) cf. crassicornis* Lilljeborg, 1887 из наиболее прогретой литоральной зоны озера.

Кроме того, отдельные сезонные аномалии температуры приводят к обратимому смещению фенологических фаз развития планктонных животных, несмотря на высокую в целом степень устойчивости сезонной цикличности пелагического планктона [31]. Так, в отличающихся ранней теплой весной 2010 и 2016 гг. развитие планктона началось на две недели раньше, чем обычно (рис. 6). Таким образом, нарастание процессов потепления климата, несомненно, скажется на изменении дат сезонных фаз развития планктона и его видового состава.

Выявленная на основе эмпирических данных инертность планктонной системы Онежского озера в отношении изменения климата подтверждается результатами имитационного моделирования [32, 33]. Модель экосистемы Онежского озера, созданная на основе трехмерной гидротермодинамиче-

ской модели, прогнозирует даты наступления основных гидрологических событий в водоеме (разрушение и становление льда, появление осеннего и весеннего термобара, наступление прямой термической стратификации) и сезонных явлений в планктоне. Согласно модели, увеличение теплосаха водоема приводит к более ранним срокам развития планктона, но мало увеличивает абсолютные величины планктонной биомассы. Более значимым (по сравнению с климатическими изменениями) фактором для жизнедеятельности планктона оказалась величина биогенной нагрузки, рост которой приводит к увеличению биомассы первичного звена трофической сети – фитопланктона.

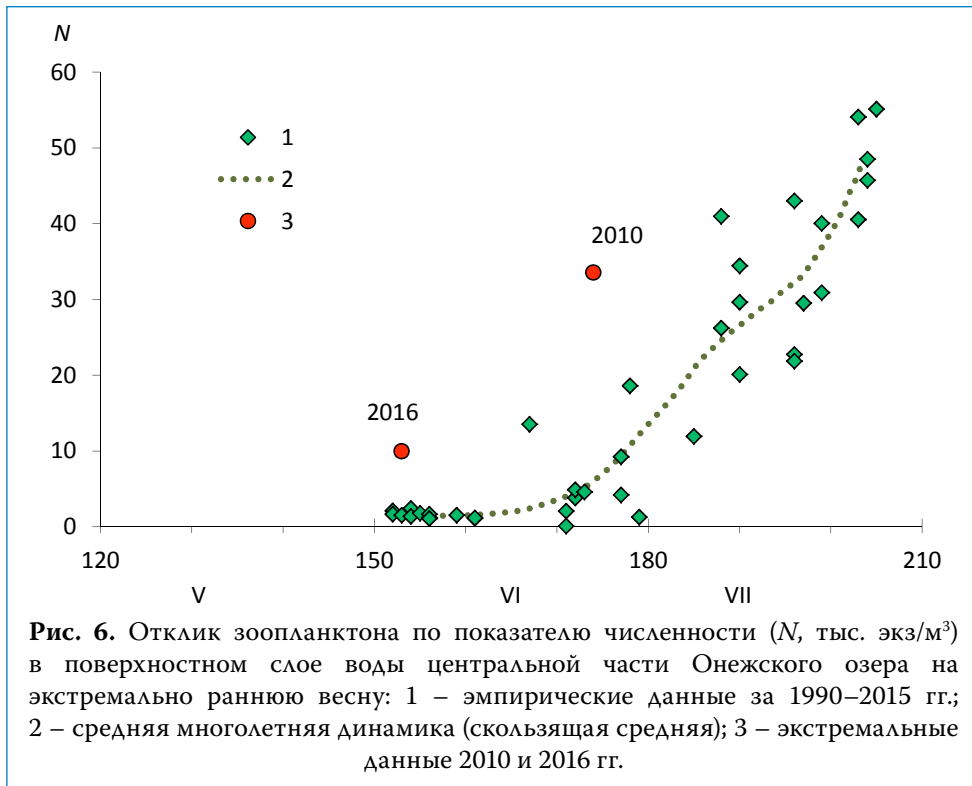


Рис. 6. Отклик зоопланктона по показателю численности (N , тыс. экз/м³) в поверхностном слое воды центральной части Онежского озера на экстремально раннюю весну: 1 – эмпирические данные за 1990–2015 гг.; 2 – средняя многолетняя динамика (скользящая средняя); 3 – экстремальные данные 2010 и 2016 гг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На современном этапе развития экосистема Онежского озера функционирует в условиях меняющихся природных и антропогенных воздействий, которые в будущем могут привести к снижению как природной, так и экономической ценности водоема. На фоне снижения антропогенного поступления биогенных веществ от точечных источников загрязнения

(коммунально-промышленные центры) и развития процессов реолиготрофизации в донных сообществах озера в последнее десятилетие возникла потенциальная опасность эвтрофирования водоема от рассеянных источников (садковые форелевые хозяйства). Обнаружено хроническое загрязнение Петрозаводской губы Онежского озера нефтепродуктами, с которым экосистема залива пока справляется. Слабая изученность механизма поступления нефтепродуктов в ливневые стоки и возможность увеличения их содержания в воде залива представляют потенциальную угрозу для питьевого водоснабжения г. Петрозаводска. Накопление нефтепродуктов в донных отложениях может привести к формированию мертвых зон и ухудшению кормовой базы бентосоядных рыб.

Биологическое загрязнение литоральной зоны озера донным рачком *Gmelinoides fasciatus* привело к увеличению продуктивности бентосного сообщества в литорали зарослевого типа и улучшению кормовой базы молоди окуня. Следствием этого может быть увеличение продуктивности этого вида рыб, возможны и структурные изменения ихтиоценоза озера. На современном этапе климатических изменений выявленные отклонения в состоянии планктона не носят устойчивого характера. Однако нарастание проявлений потепления климата приведет к изменению сезонных фаз развития планктона и, как следствие, к увеличению годовой продуктивности за счет удлинения вегетационного периода.

Обозначенные экологические проблемы с учетом экономической важности Онежского озера требуют системного контроля. Сложность получения объективной информации о состоянии водоема и источниках антропогенной нагрузки заключается в том, что озеро находится в сфере интересов различных ведомств и регионов. С целью координации действий для принятия своевременных мер по устранению или минимизации негативных воздействий назрела необходимость принятия закона об охране Онежского озера, как это было сделано для оз. Байкал (Федеральный закон от 1 мая 1999 г. № 94-ФЗ «Об охране озера Байкал» с изменениями от 28 июня 2014 г. № 181-ФЗ). Проект Федерального закона об охране Онежского и Ладожского озер 4 августа 2016 г. был внесен в Государственную Думу Российской Федерации депутатами Законодательного собрания Республики Карелия.

В свете вышеизложенного, весьма перспективными представляются исследования по разработке научно обоснованных критериев экологического мониторинга Онежского озера с учетом его глубоководности, лимнической неоднородности и термических особенностей. Важной задачей также представляется оценка современного состояния рыбного сообщества и выявление изменений в результате биологического загрязнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дрaбкова В.Г., Измайлова А.В. Изменение состояния вод крупнейших озер и водохранилищ России // География и природные ресурсы. 2014. № 4. С. 22–29.
2. Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 г.»: Сб. научных трудов. Т. 1 / отв. ред. В.Г. Пряжинская. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. 486 с.
3. Рекомендации Р.52.42.763-2012. Оценка состояния пресноводных экосистем по комплексу химико-биологических показателей / разработчики Т.А. Хоружая, Л.И. Минина, Н.А. Мартышева. Росгидромет, ФГБУ ГХИ. Р.-на-Д., 2012. 22 с.
4. Назарова Л.Е. Климат // Онежское озеро. Атлас. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2010. С. 75–76.
5. Демидов И.Н. Этапы развития котловины Онежского озера // Онежское озеро. Атлас. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. С. 27–28.
6. Сабылина А.В., Лозовик П.А., Зобков М.Б. Химический состав воды Онежского озера и его притоков // Водные ресурсы. 2010. Т. 37. № 6. С. 717–729.
7. Биоресурсы Онежского озера / ред. А.А. Лукин, В.И. Кухарев. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2008. 272 с.
8. Тимакова Т.М., Куликова Т.П., Литвинова И.А., Полякова Т.Н., Сярки М.Т., Теканова Е.В., Чекрыжева Т.А. Изменение биоценозов Кондопожской губы Онежского озера под влиянием сточных вод целлюлозно-бумажного комбината // Водные ресурсы. 2014. Т. 41. № 1. С. 74–82.
9. Сярки М.Т., Теканова Е.В. Сезонный цикл первичной продукции в Онежском озере // Известия РАН. Серия биологич. 2008. № 5. С. 621–625.
10. Калинкина Н.М., Куликова Т.П., Литвинова И.А., Полякова Т.Н., Сярки М.Т., Теканова Е.В., Тимакова Т.М., Чекрыжева Т.А. Биоиндикация загрязнения вод и донных отложений в Кондопожской губе Онежского озера // Геоэкология. 2011. № 3. С. 265–273.
11. Калинкина Н.М., Сидорова А.И., Полякова Т.Н., Белкина Н.А., Березина Н.А., Литвинова И.А. Снижение численности глубоководного макрозообентоса Онежского озера в условиях многофакторного воздействия // Принципы экологии. 2016. Т. 5. № 2. С. 47–68. Режим доступа: DOI: 10.15393/j1.art.2016.5182.
12. Решетников Ю.С. Проблема ре-олиготрофирования водоемов // Вопросы ихтиологии. 2004. Т. 44. № 5. С. 709–711.
13. Теканова Е.В., Лозовик П.А., Калинкина Н.М., Куликова Т.П., Полякова Т.Н., Рябинкин А.В., Сластина Ю.Л., Тимакова Т.М., Чекрыжева Т.А. Современное состояние и трансформация северной части Выгозерского водохранилища // Тр. Карельского научного центра РАН. Водные проблемы Севера и пути их решения. 2011. № 4. С. 50–56.
14. Сабылина А.В. Химический состав воды. Онежское озеро // Современное состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1992–1997 гг. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1998. С. 40–51.
15. Чекрыжева Т.А. Фитопланктон. Оценка современного состояния Онежского озера по гидробиологическим показателям и устойчивости функционирования

- ния водных сообществ // Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада Европейской части России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. С. 115–121.
16. Основные экологические проблемы Республики – под контролем парламента. Режим доступа: http://karelia-s.ru/presssluzhba/novosti/osnovnye_ekologicheskie_problemy_respubliki_pod_kontrolem_parlamenta/.
 17. Сидорова А.И., Калинин Н.М., Дыдик И.В. Реакция байкальской амфиподы *Gmelinoides fasciatus* Stebbing на действие ливневых стоков города Петрозаводска // Тр. Карельского научного центра РАН. Эксперимент. биол. 2012. № 2. С. 125–130.
 18. Белкина Н.А., Рыжаков А.В., Тимакова Т.М. Распределение и трансформация нефтяных углеводородов в донных отложениях Онежского озера // Водные ресурсы. 2008. Т. 3. № 4. С. 472–481.
 19. Дзюбук И.М., Рыжков А.П. Рост и выживаемость мальков радужной форели в садковом хозяйстве Карелии // Тр. Карельского научного центра РАН. № 5. 2014. С. 117–122.
 20. Стерлигова О.П., Китаев С.П., Ильмаст Н.В., Комулайнен С.Ф., Кучко Я.А., Павловский С.А., Савосин Е.С. Состояние заливов Онежского озера при товарном выращивании радужной форели // Поволжский эколог. журнал. 2011. № 3. С. 386–393.
 21. Рыжков А.П., Кучко Т.Ю. Отдельные водные объекты. Мониторинг и качество вод // Государств. докл. о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2010 году. Петрозаводск: Карелия, 2011. С. 65–71.
 22. Березина Н.А., Панов В.Е. Вселение байкальской амфиподы *Gmelinoides fasciatus* (Amphipoda, Crustacea) в Онежское озеро // Зоологич. журнал. 2003. Т. 82. № 6. С. 731–734.
 23. Сидорова А.И., Калинин Н.М. Инвазия байкальской амфиподы *Gmelinoides fasciatus* в Онежское озеро. Сезонная динамика популяционных показателей. LAP Lambert Academic publishing, 2015. 80 с.
 24. Кухарев В.И., Полякова Т.Н., Рябинкин А.В. Распространение байкальской амфиподы *Gmelinoides fasciatus* (Amphipoda, Crustacea) в Онежском озере // Зоологич. журнал. 2008. Т. 87. № 10. С. 1270–1273.
 25. Ильмаст Н.В., Кучко Я.А. Байкальский бокоплав (*Gmelinoides fasciatus*) как кормовой объект рыб литоральной зоны Онежского озера // Вопросы рыболовства. 2012. Т. 13. №1 (49). С. 35–40.
 26. Барков Д.В., Курашов Е.А. Особенности экологии и биологии байкальской эндемичной амфиподы *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing, 1899) в Ладожском озере // СПб: Нестор-История, 2011. С. 294–350.
 27. Русинек О.Т. Паразиты пелагических бычковых рыб // Атлас и определитель пелагиобонтов Байкала (с краткими очерками по их экологии). Новосибирск: Наука, 1995. С. 541–581.
 28. Назарова Л.Е. Изменчивость средних многолетних значений температуры воздуха в Карелии // Известия РГО. 2014. Т. 146. Вып. 4. С. 27–33.

29. *Efremova T., Palshin N., Zdorovenkov R.* Long-term characteristics of ice phenology in Karelian lakes // *Estonian Journal of Earth Sciences*. 2013. Vol. 62. No 1. P. 33–41.
30. *Филатов Н.Н., Руховец Л.А., Назарова Л.Е., Георгиев А.П., Ефремова Т.В., Пальшин Н.И.* Влияние изменений климата на экосистемы озер севера Европейской территории России // *Ученые записки Российского государственного гидрометеоролог. ин-та*. № 34. СПб: РГГМУ, 2014. С. 49–55.
31. *Теканова Е.В., Сярки М.Т.* Особенности фенологии первично-продукционного процесса в пелагиали Онежского озера // *Известия РАН. Серия биологич.* № 6. 2015. С. 645–652.
32. *Ladoga and Onego – great European Lakes. Observations and Modeling / L. Rukhovets, N. Filatov (edd).* Chichester, UK: Springer, 2010. 302 p.
33. *Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада Европейской части России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях / отв. ред. Н.Н. Филатов.* Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. 375 с.

Сведения об авторах:

Калинкина Наталия Михайловна, д-р биол. наук, зав. лабораторией гидробиологии, ФГБУН «Институт водных проблем Севера Карельского научного центра Российской академии наук» (ИВПС КарНЦ РАН), Россия, 185030 Республика Карелия, г. Петрозаводск, пр. А. Невского д. 50; e-mail: cerioda@mail.ru

Теканова Елена Валентиновна, канд. биол. наук, старший научный сотрудник, лаборатория гидробиологии, ФГБУН «Институт водных проблем Севера Карельского научного центра Российской академии наук» (ИВПС КарНЦ РАН), Россия, 185030 Республика Карелия, г. Петрозаводск, пр. А. Невского д. 50; e-mail: etekanova@mail.ru

Сярки Мария Тагевна, канд. биол. наук, старший научный сотрудник, лаборатория гидробиологии, ФГБУН Институт водных проблем Севера Карельского научного центра Российской академии наук (ИВПС КарНЦ РАН), Россия, 185030 Республика Карелия, г. Петрозаводск, пр. А. Невского д. 50; e-mail: msyarki@mail.ru