

ГЛОБАЛЬНЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КРИЗИС: МИФЫ И РЕАЛЬНОСТЬ

УДК 556.55: 551.583: 504.61(470.2)

ББК 26.222.6

Н.Н. Филатов, Н.М. Калинин, А.В. Литвиненко, П.А. Лозовик, Е.В. Теканова

СОСТОЯНИЕ И ИЗМЕНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ КРУПНЕЙШИХ ОЗЕР- ВОДОХРАНИЛИЩ СЕВЕРА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Представлены результаты исследований современного состояния и изменения экосистем крупнейших озер-водохранилищ Севера Европейской части России, представляющих значительный интерес для развития экономики региона при интенсификации эксплуатации водных объектов Беломорско-Балтийского водного пути для освоения ресурсов Арктики. Для восстановления состояния озер-водохранилищ до олиготрофных водоемов, имеющих большое рыбохозяйственное значение требуется значительно сократить сбросы загрязненных и недостаточно очищенных вод.

Ключевые слова:

озеро, водохранилище, антропогенное воздействие, климатические изменения, водохозяйственное использование, экосистем, моделирование.

Филатов Н.Н., Калинин Н.М., Литвиненко А.В., Лозовик П.А., Теканова Е.В. Состояние и изменения экосистем крупнейших озер-водохранилищ Севера европейской части России // Общество. Среда. Развитие. – 2016, № 3. – С. 109–114.

- © Филатов Николай Николаевич – доктор географических наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник, Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, Петрозаводск; e-mail: nfilatov@rambler.ru
- © Калинин Наталья Михайловна – доктор биологических наук, профессор, заведующая лабораторией гидробиологии, Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, Петрозаводск; e-mail: nfilatov@rambler.ru
- © Литвиненко Александр Васильевич – старший научный сотрудник, Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, Петрозаводск; e-mail: nfilatov@rambler.ru
- © Лозовик Петр Александрович – доктор химических наук, заведующий лабораторией гидрохимии, Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, Петрозаводск; e-mail: nfilatov@rambler.ru
- © Теканова Елена Валентиновна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, Петрозаводск; e-mail: nfilatov@rambler.ru

В связи с интенсификацией деятельности по освоению ресурсов Арктики важным становится режим эксплуатации водных объектов единой глубоководной системы европейской части России (ЕЧР), в которую входит Беломорско-Балтийский канал и два крупнейших озера-водохранилища Северо-запада России: Выгозерское (Выгозеро) и Верхне-Свирское (Онежское озеро)*. Озера были преобразованы в XX веке в водохранилища: Выгозеро в 1931 г. – в Выгозерское водохранилище при строительстве Беломорско-Балтийского канала (ББК), соединившего Онежское озеро с Белым и Баренцевым морями, а через водную систему Свирь–Ладога–Нева–Невская губа – с Балтийским и Каспийским морями.

* Для краткости в дальнейшем будем называть эти озера-водохранилища – Выгозеро и Онежское озеро.

Эти водоемы, которые имеют важное значение для экономики Севера, в частности, как важные объекты питьевого и промышленного водоснабжения, гидроэнергетики, водного транспорта, рекреации, рыбного хозяйства, испытали за более чем 70-летний период существенные изменения.

Результаты

Климат водосборов исследуемых озер-водохранилищ можно охарактеризовать как переходный от морского к континентальному [11, с. 554–557]. Изменения средней годовой температуры воздуха на водосборах этих озер в течение XX – начале XXI вв. происходили синхронно для всех пунктов наблюдений. Норма средней годовой температуры воздуха со второй половины XX и в начале XXI в. повысилась на 0,8–1,0°C по сравнению с периодом

Изменения гидрологического режима и экосистемы Онежского озера

Второе по величине пресноводное озеро Европы – Онежское – в 1953 г. было преобразовано в водохранилище и состоит из Онежского озера и Ивинского разлива – участка затопленной долины р. Свири. В структуре водного баланса Онежского озера приток с водосбора играет ведущую роль. Его доля в приходной части многолетнего баланса составляет 76%, что в три раза превышает долю осадков на зеркало. В маловодные годы его доля уменьшается до 65% (1960 г.), в многоводном 1962 г. речной приток составлял 81% общего прихода. Доля осадков изменяется от 34 (в маловодном году) до 19% (в многоводном году). После подъема уровня озера на 40 см в 1954 г. при строительстве ГЭС естественные климатические внутривековые флуктуации сглаживаются регулированием режима [7, с. 81].

Водное хозяйство

В водопотреблении промышленность и теплоэнергетика составляют 48,7% от общего с доминированием целлюлозно-бумажной промышленности. Коммунально-бытовое хозяйство – 32,8, рыбное хозяйство – 18,2, а сельское хозяйство – всего 0,3%. Динамику водопотребления в прибрежной зоне Онежского озера – см. на

рис. 1. Снижение уровня лесозаготовок и ряд других причин начиная с 1989 г. привели к сокращению производства и снижению объемов водопотребления.

В настоящее время в бассейне Онежского озера самостоятельный сброс стоков осуществляют семьдесят семь водопользователей. Большая часть (79,0%) сбрасываемых ими стоков проходит очистку, но в недостаточной степени, 17,7% стоков считаются нормативно чистыми и сбрасываются без очистки, 2,4% сбрасываются в водные объекты загрязненными без очистки, остальные 0,9% – в выгреб и на рельеф [3, с. 53–55]. На экосистеме Онежского озера сказывается, в первую очередь, влияние поступлений от крупных предприятий – Петрозаводска, Кондопоги и Медвежьегорска, а также антропогенного стока с речными, ливневыми и дренажными водами. Следствием этого является загрязнение отдельных губ и заливов и антропогенное эвтрофирование озера. Далее рассмотрим химико-биологические особенности озера.

В последние 30 лет антропогенная нагрузка на эти водоемы резко уменьшилась, уменьшилось водопотребление всеми отраслями экономики. В настоящее время Онежское озеро характеризуется резко выраженной лимнической гетерогенностью, обусловленной его большими размерами, неравномерным распределением приточности и различной степенью антропогенного воздействия на отдельные его районы. По данным П.А. Лозовика и А.В. Сабьиной [3, с. 85–87], Центральный плес озера, залив Большое Онего, Лижемская и Уницкая губы, Повенецкий залив имеют высокие показатели качества воды (перманганатная окисляемость – около 6 мгО/л, $P_{общ}$ – 10–12 мкг/л, насыщение воды кислородом – 90–105%). При сохранении общих черт, типичных для олиготрофного водоема, отмечается тенденция роста содержания $P_{общ}$ в центре озера и заливе Большое Онего, которое в отдельные периоды достигает 22 мкг/л. При этом наблюдаются высокие значения хлорофилла *a*

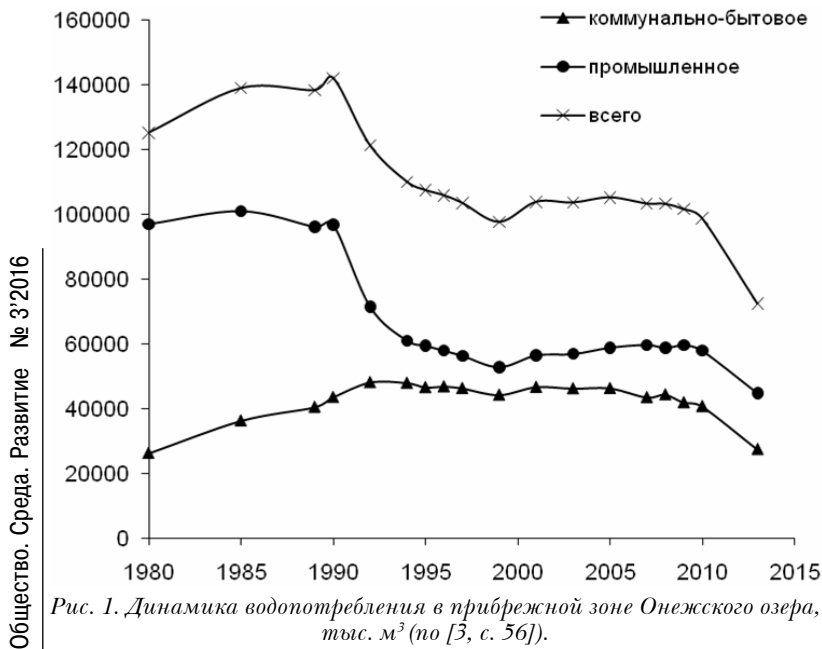


Рис. 1. Динамика водопотребления в прибрежной зоне Онежского озера, тыс. м³ (по [3, с. 56]).

(2,4–7,7 мкг/л), характерные для мезотрофных озер. На качественные характеристики вод Петрозаводской губы Онежского озера оказывают влияние сток р. Шуи, а также дренажный и ливневый сток с территории города и сточные воды Петрозаводского промузла. Для Кондопожской губы характерно существенное загрязнение и эвтрофирование, обусловленное поступлением сточных вод Кондопожского промузла. Загрязнение Онежского озера нефтепродуктами приурочено к районам интенсивного судоходства, концентрация тяжелых металлов значительно ниже предельно допустимых.

Установлено, что современная фосфорная нагрузка на экосистемы Онежского озера близка к допустимой [3, с. 88–94]. По результатам гидрохимических исследований 2010–2013 гг. и сравнения их с ранее проведенными ИВПС КарНЦ работами [7, с. 82–83; 9], установлено, что основная водная масса Онежского озера находится в устойчивом состоянии и отвечает уровню олиготрофных водоемов.

Сохранение олиготрофного статуса центральной глубоководной части экосистемы подтверждается данными по планктонным сообществам. Так, высокую устойчивость за последние 15 лет проявляет среднегодовалый сезонный ход продукции фитопланктона. Он характеризуется единственным летним максимумом, который приходится на вторую декаду июля и достигает 137 мг С/м²·сутки [10, с. 646–647]. Сообщество зоопланктона в центральных олиготрофных районах Онежского озера находится в динамическом равновесии и сохраняет устойчивое функционирование [3, с. 121–124]. В настоящее время показатели бентоса в Петрозаводской губе находятся на уровне 1960-х годов. В качестве возможных причин резкого падения численности бентоса рассматриваются три: снижение антропогенной нагрузки на водоем; вселение в Онежское озеро байкальской амфиоды *Gmelinoides fasciatus*, которое привело к обеднению кормовой базы глубоководного бентоса; заметное увеличение в последнее десятилетие концентраций железа и марганца в поверхностном слое донных осадков [2, с. 43–61].

Более чем за 60-летний период (с 1950 по 2012 гг.) прослежена динамика уловов рыбы в Онежском озере, которая была связана как с состоянием запасов промысловых рыб, так и с производственной базой рыбодобывающих организаций. Основу уловов на протяжении длительного периода составляют два вида – корюшка и

ряпушка, общая доля которых колеблется в пределах 70–80% от вылова всей рыбы из водоема [1, с. 121–141]. В 2001–2011 гг. уловы составили 1977–2079 т в год, т.е. увеличились в два раза по сравнению с периодом 1990–2000 гг. Несмотря на известную ограниченность и погрешность статистического учета добычи, отчетливо обозначилось сокращение доли вылова лососевых видов рыб (лосось, палия, форель), а также ряпушки, сига, судака и щуки. Только промысловое стадо налима остается стабильным, а численность корюшки возросла, вытесняя своего конкурента – ряпушку.

Результаты вычислительных экспериментов на математической модели, разработанной в СПб ЭМИ РАН [8, с. 77–78] показали, что изменения в гидротермодинамическом режиме озера при возможных изменениях климата в целом незначительны, существенно более значимой является реакция экосистемы озера на изменения антропогенной нагрузки. Результаты моделирования, сохранения олиготрофного статуса озера может быть обеспечено поддержанием поступления биогенов на уровне, не превышающем 800 т Р/год и 15 000 т N/год, и строительством комплексов очистных сооружений в городах, расположенных на побережье озера.

Изменения гидрологического режима и экосистемы Выгозера

Выгозерское водохранилище* и р. Н. Выг являются водными объектами многоцелевого использования: для энергетики (на р. Н. Выг находится каскад Выгских ГЭС), для судоходства (водохранилище и река входят в трассу Беломорско–Балтийского канала), для водоснабжения г. Сегежи, п. Надвоицы и населенных пунктов северного участка ББК, для сброса сточных вод Сегежского промцентра, а также в целях рыбного промысла и выращивания товарной форели. Выгозерское водохранилище было в 1954 г. вновь подвергнуто изменению гидрологического режима, уровень водоема был повышен на 6 м, что привело к существенным изменениям морфометрических характеристики водоема: в 2,7 раз увеличился объем воды в котловине, возросла аккумулирующая способность, внешний водообмен уменьшился, существенно изменился внутригодовой ход уровня воды [5, с. 421]. В настоящее время площадь зеркала 1250 км², полный объем воды – 9,3 км³, площадь водосбора – 20800

* Выгозерско-Ондское водохранилище.

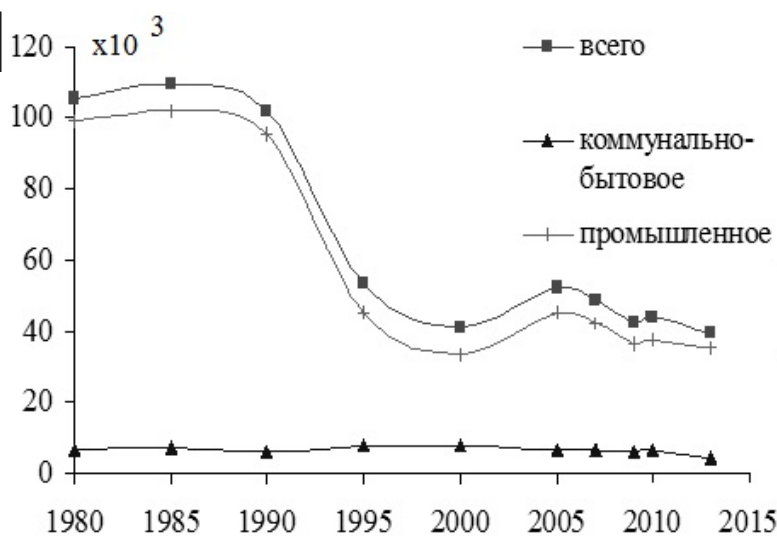


Рис. 2. Динамика водопотребления по бассейну Выгозерского водохранилища, тыс. м³.

км², $\Delta F_{\text{уд}} = 16,6$), период водообмена – 1,67 года. Внутригодовой ход уровня воды в водохранилище изменился – для естественного режима были характерны два периода повышенной водности, а в настоящее время четко выраженный осенний подъем не наблюдается. Для удовлетворения требований всех водопользователей уровень в Выгозерско-Ондском водохранилище должен поддерживаться в пределах отметок 88,35–89,30 м БС. В 2013 г. централизованный забор воды для нужд населения и отраслей экономики в целом по бассейну составил 39467 тыс. м³. Динамика водопотребления по бассейну Выгозерского водохранилища показана на рис. 2 (по [3, с. 222]).

По всему бассейну объем коммунально-бытового водопотребления за период с 2000 по 2013 г. уменьшился на 42%, хотя в целом объем этого вида водопотребления на протяжении многих лет менялся слабо. Объем сельскохозяйственного водопотребления с 2000 г. этот вид водопотребления практически исчез. В последние годы активно стало развиваться форелеводческое направление на озерах бассейна. Доля рыбохозяйственной отрасли в общем объеме водопотребления составляет всего 0,004%.

Большая часть сбрасываемых стоков (86%) проходит очистку, хотя и в недостаточной степени, 14% сбрасываются загрязненными без очистки. Объем сточных вод, сброшенных без очистки, постоянно сокращается. С 1980 по 2013 гг. он уменьшился почти в три раза, в основном за счет уменьшения сброса неочищенных стоков на ЦБК.

Периодически наблюдалось увеличение сброса загрязняющих веществ в водоем, в 1995 г. сбросы по БПК_{полн} возросли на 200%, по взвешенным веществам – на 90, по фосфатам – на 25%, а количество сточных вод увеличилось, несмотря на падение объема производства, на 16%.

За многолетний период наблюдений на водоеме, начиная с 1964 г. [6, с. 57–72] и по настоящее время, происходило как качественное, так и количественное изменение антропогенной нагрузки на водоем, связан-

ное с наращиванием мощности ЦБК. В 1992–2013 гг. отмечается постепенное сокращение производства и снижение объемов сброса сточных вод Сеgezского ЦБК до менее 50 млн м³ в год при максимально наблюдавшихся ранее объемах свыше 120 млн м³ в год. В начальный период функционирования Сеgezского ЦБК озерная экосистема подвергалась воздействию, в основном, высоких концентраций токсических веществ, отмечалось антропогенное эвтрофирование северной части Выгозерского водохранилища [3, с. 88–94], обусловленное высокими концентрациями биогенных элементов в сточных водах предприятия.

В последние 20 лет в связи с резким уменьшением фосфорной нагрузки наблюдаются процессы оздоровления экосистемы. Процессы формирования донных отложений находились десятилетиями под сильным влиянием поступления сточных вод Сеgezского ЦБК. По мере снижения интенсивности антропогенной нагрузки с 1991 г. происходило постепенное насыщение воды кислородом и появление на пустынных участках дна живых организмов [3, с. 95–102]. В 1960–1970 гг. в озеро поступали высокотоксичные сточные воды ЦБК, в заливах сформировались «мертвые» зоны, где в донных отложениях отмечались сульфатредуцирующие, тионовые, денитрифицирующие и целлюлозоразрушающие бактерии, выдерживающие дефицит или полное отсутствие кислорода. В 1980-е годы начала работать станция биологической очистки сточных вод, что

привело к резкому увеличению поступления в озеро фосфора. В этот период отмечается рост показателей развития организмов планктона и бентоса. По сравнению с предыдущим периодом в 4 раза возросли численность, биомасса и продукция фитопланктона, в 5–10 раз – количественные показатели зоопланктона и макрозообентоса. В этот период статус северной части Выгозера характеризовался высокой трофностью. В 1990-е и 2000-е гг. на Сеgezском ЦБК производство целлюлозы существенно снизилось, в результате чего сократились объемы сточных вод, уменьшились их токсические свойства. За последние два десятилетия почти в 20 раз уменьшилась фосфорная нагрузка на водоем. В экосистеме Выгозерского водохранилища в этот период отмечаются процессы олиготрофизации, т.е. снижения трофического статуса экосистемы. Так, в два раза снизились численность и биомасса фитопланктона, показатели бактериопланктона. В результате существенного обеднения кормовой базы уменьшились показатели развития зоопланктона. В 2007 г. отмечалось трехкратное снижение показателей бентоса по сравнению с 1980-ми годами [7, с. 152–156]. Однако до сих пор полного возврата экосистемы Выгозера к исходному состоянию не произошло. При общих низких уровнях развития фитопланктона соотношение между численностью зеленых и диатомовых водорослей характерно для эвтрофных озер. Это свидетельствует о потенциальной опасности и высокой вероятности быстрого эвтрофирования Выгозерского водохранилища при увеличении фосфорной нагрузки.

Для рыбного сообщества ключевыми факторами воздействия за долгий период существования Выгозерского водохранилища оказались следующие: регулирование стока, обогащение ихтиофауны новыми видами, влияние сточных вод Сеgezского ЦБК. Рыбное сообщество Выгозерского водохранилища отражает, главным образом, влияние акклиматизационных мероприятий. За период 1920–2012 гг. видовой состав рыбного населения возрос с 15 до 17 видов за счет новых видов-акклиматизантов – судака и европейской корюшки [3, с. 304–318; 4, с. 11]. За рассматриваемый период снизились общая ихтиомасса и удельный вылов рыбы, соответственно, на 10–15% и 75%. При этом снижение величины уловов в течение 1991–2011 гг. вызвано изменением условий и интенсивности рыбодобычи, а не состоянием запасов рыб. Современное

состояние популяций основных промысловых рыб в Выгозерском водохранилище относительно устойчиво, несмотря на воздействие техногенных факторов, и вылова [3, с. 304–318]. Гистопатологические исследования рыб в Выгозере в 2007–2008 гг. [3, с. 318–329] выявили необратимые некротические и дегенеративные изменения: кровоизлияния и воспалительные реакции в жабрах, печени и почках, диагностированы злокачественные новообразования в печени. Исследования указывают на присутствие в водной среде токсичных компонентов с мутагенными и канцерогенными свойствами.

Заключение

Крупнейшие озера Севера ЕЧР – Онежское и Выгозеро – находятся в стадии восстановления экосистем, олиготрофизации после существенного уменьшения антропогенной нагрузки с 1991 г. Существенно изменилась водохозяйственная обстановка при новой модели экономики. Снижение уровня лесозаготовок и ряд других причин, начиная с 1989 г., повлекли за собой сокращение производства и снижение объемов водопотребления.

Установлено, что современная фосфорная нагрузка на экосистему Онежского озера близка к допустимой, а основная водная масса Онежского озера находится в устойчивом состоянии и отвечает уровню олиготрофных водоемов.

В результате стихийной интродукции появились новые виды-вселенцы, которые начали оказывать все усиливающееся влияние на естественные экосистемы. Большое воздействие на изменение экосистем водоемов оказывает развитие аквакультуры, садкового рыбоводства, которое интенсивно развивается в Карелии, на водоемах которой выращивается более 70% форели в садках.

Вычислительные эксперименты с экосистемой Онежского озера показали, что при сохранении биогенной нагрузки Онежского озера на уровне 800 т P/год и 1500 т N/год, пелагиаль озера должна сохранять свой олиготрофный статус.

Изменения морфометрических характеристик Выгозера в 30-х и 50-х годах XX века привели к увеличению аккумулирующей способности водоема, уменьшению внешнего водообмена. В последние 20 лет в связи с резким снижением уровня фосфора в воде наблюдается деэвтрофирование Выгозерского водохранилища и снижение трофического статуса, которое можно охарактеризовать как олиго-мезотрофное, но

114 | при биогенном стимулировании есть потенциальная опасность быстрого перехода северной части экосистемы в эвтрофное состояние. Глубокие патологические изменения в органах и тканях рыб указывают на присутствие токсических веществ в озере (по-видимому, в донных отложениях) и на современном этапе. Не смотря на признаки оздоровления экологической ситуации, связанной со снижением антропогенной нагрузки, экосистема Выгозера остается пока в неустойчивом состоянии.

Для восстановления состояния озер-водохранилищ до олиготрофных водоемов, имеющих большое рыбохозяйственное значение, требуется значительно сократить сбросы загрязненных и недостаточно очищенных вод в эти водные объекты, для чего необходимо построить очистные канализационные сооружения в наиболее крупных населенных пунктах, а уже существующие необходимо усовершенствовать и довести очистку сточных вод до состояния нормативно очищенных.

Список литературы:

- [1] Биоресурсы Онежского озера. – Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2008. – 272 с.
- [2] Калинин 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. Т. 5. – 2016, № 2. – С. 47–68.
- [3] 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.
- [4] Кудерский Л.А. Экология и биологическая продуктивность водохранилищ. – М.: Знание, 1986. – 64 с.
- [5] Литвиненко А.В., Филатов Н.Н., Богданова М.С., Карпечко В.А., Литвинова И.А. Антропогенная трансформация и хозяйственное использование озера Выгозеро. 2014 г. // Водные ресурсы. Т. 41. – 2014, № 4, с. 1–10.
- [6] Литинская К.Д. Водоохранилища в системе водного хозяйства // Использование и охрана водных ресурсов бассейна Белого моря. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1994. – С. 57–72.
- [7] Озера Карелии. Справочник / Ред. Н.Н. Филатов. – Петрозаводск: РИО КарНЦ РАН, 2013. – 464 с.
- [8] Руховец Л.А., Филатов Н.Н. Использование математических моделей для решения задач сохранения водных ресурсов Онежского озера // Труды Карельского НЦ РАН. – 2011, № 4. – С. 77–87.
- [9] Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998–2006 гг. / Под ред. П.А. Лозовика, Т.П. Куликовой, Н.Н. Мартыновой. – Петрозаводск, 2007. – 209 с.
- [10] Теканова Е.В., Сярки М.Т. Особенности фенологии первично-продукционного процесса в пелагиали Онежского озера // Известия РАН. Серия биологическая. – 2015, № 6. – С. 645–652.
- [11] Филатов Н.Н., Георгиев А.П., Ефремова Т.В., Назарова Л.Е., Пальшин Н.И. Руховец Л.А., Толстиков А.В., Шаров А.Н. Реакция озер Восточной Фенноскандии и Восточной Антарктиды на изменения климата // Доклады Академии наук. Т. 444. – 2012, № 5. – С. 554–557.