

ОСНОВЫ БИОМОНИТОРИНГА ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА С УЧЕТОМ ЕГО ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ¹⁷

Калинкина Н.М., Полякова Т.Н., Сидорова А.И.,
Сярки М.Т., Теканова Е.В., Т.А. Чекрыжева Т.А.
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, г. Петрозаводск
cerioda@mail.ru

Онежское озеро –второе по величине озеро Европы, объем водной массы которого достигает 295 км³ [1, 2]. С учетом высокого качества воды Онежское озеро следует считать важнейшим объектом, обеспечивающим стратегический запас питьевой воды и, следовательно, требующим особых принципов и методов мониторинга и охраны.

К настоящему времени накоплен достаточный объем информации о влиянии климатических изменений и антропогенных факторов на экосистему Онежского озера: изучено распространение и накопление загрязняющих веществ в воде и донных отложениях; оценены элементы баланса органического вещества, рассмотрены температурный, гидрологический, химический режим, изучена роль биоты в процессах функционирования озера, дана оценка биоресурсного потенциала, разработаны модели, позволяющие проследить реакцию экосистемы Онежского озера на различную фосфорную нагрузку и изменение температурного режима [3-6; 2; 1].

В ходе комплексных исследований установлено, что в современный период экосистема Онежского озера на большей части своей акватории (обширный профундальный район озера – Центральное, Большое, Малое Онего, центральная часть Повенецкого залива), сохраняет природный статус, который характеризуется как олиготрофный. Основные источники загрязнений озера находятся на берегах его северо-западных заливов (Петрозаводская, Кондопожская губы, вершинная части Повенецкого залива). Трансформация заливов в настоящее время продолжается. Важнейший признак этих процессов – накопление в эвтрофируемых заливах загрязняющих и биогенных веществ, расширение зоны антропогенного влияния на

¹⁷ Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №14-17-00766).

центральный район озера. В последнее время серьезное воздействие на экосистему Онежского озера оказывают ускоряющиеся процессы биоинвазии.

В условиях климатических изменений и воздействия антропогенных факторов экосистема Онежского озера трансформируется, в связи с чем необходим постоянный экологический мониторинг ее состояния. Согласно современным принципам биомониторинга, гидробиологические показатели являются приоритетными для оценки состояния водных экосистем [7, 8]. Значение биомониторинга водной среды заключается в возможности выявления реакции экосистемы на загрязнение, которое невозможно изучить никакими другими подходами, включая прямое измерение гидрохимических параметров. Основными элементами биомониторинга являются биоиндикация и биотестирование. Последнее, в отличие от традиционных аналитических методов, позволяет получить быструю интегральную оценку загрязнения водных экосистем, отражающую действие всех присутствующих в пробе токсических веществ с учетом их антагонистического и синергетического взаимодействия.

Научные основы биомониторинга экосистемы Онежского озера предполагают, прежде всего, рассмотрение климатических условий, а также морфометрических и геохимических особенностей водоема. Климат региона по условиям образования принадлежит к атлантико-арктической зоне умеренного пояса [9]. Невысокая температура воды (ее среднегодовое значение составляет 8°C) лимитирует развитие планктона и является главным регулятором его сезонной цикличности в пелагиали озера. В сообществах бентоса сезонные явления выражены существенно меньше, что связано с незначительными колебаниями температуры на больших глубинах.

Низкая температура воды, невысокое содержание в воде биогенных элементов, достаточно большие площади рудоносных илов на дне Онежского озера – все эти факторы вместе определяют весьма низкую его продуктивность. Следует отметить, что для Онежского озера характерны малые скорости как продукционных, так и деструкционных процессов. Это определяет низкую способность водоема к самоочищению, а, значит, высокую уязвимость к загрязнению органическим веществом. Поэтому важнейшими критериями состояния экосистемы должны стать показатели продукционно-деструкционных процессов в воде и донных отложениях.

Согласно современным подходам [8], при изучении состояния пресноводных экосистем, кроме структурно-функциональных показателей биоты, важнейшим критерием состояния водоемов является цикличность биологических процессов. Критерием нормального состояния водоемов является естественное развитие водных сообществ, а именно, ненарушенные сезонные циклы биоты. При этом в качестве нормальных показателей циклов используются данные по сезонным фазам развития водных сообществ на референтных (фоновых) участках, не подверженных антропогенному воздействию.

Основные фенологические фазы биоты (состояние водных сообществ в начальный момент вегетационного периода, максимальное развитие биоты, а также процессы спада развития и переход к зимнему состоянию) являются важнейшими критериями состояния Онежского озера. Особую информативность эти показатели приобретают в настоящее время, когда Онежское озеро испытывает серьёзное влияние климатических изменений, в результате которых сход ледового покрова происходит на 10 дней раньше, чем десятилетие назад [10].

К настоящему времени выполнен анализ сезонной цикличности водных сообществ Онежского озера на основе статистических подходов, учитывающих соотношение внутри- и межгодовой изменчивости гидробиологических показателей [11-13]. Показано, что основные фазы первично-продукционного цикла в пелагиали Онежского озера зависят от цикличности географических факторов среды (температуры и падающей солнечной радиации). Сезонный максимум первичного продуцирования формируется недиадомовым фитопланктоном, хорошо обеспеченным хлорофиллом. Его развитие ограничивается низкими концентрациями фосфора в воде. Количественная оценка межгодовой изменчивости сезонного цикла показала, что цикл первичной продукции в открытом плесе Онежского озера представляет собой устойчивый процесс, который обеспечивает стабильное пополнение пелагической системы новообразованным органическим веществом.

Водным сообществам Онежского озера свойственны особые черты, которые важно учитывать при проведении мониторинга [14]. Представители фауны водоемов северных широт имеют иное индикаторное значение, чем виды более южных регионов. Индекс Шеннона не всегда адекватно отражает биоразнообразие зоопланктона Онежского озера. Широко рекомендованный индекс Вудивисса мо-

жет быть использован только на мелководье, так как с глубиной резко снижается биоразнообразие водных сообществ и этот индекс в условиях глубоководного Онего не применим. Таким образом, для условий Онежского озера должна быть разработана новая система биоиндикации, базирующаяся на оценке состояния биоты в различных районах озера, включая фоновые. Современными исследованиями показано, что исторически доминирующие в бентофауне Онежского озера олигохеты неоправданно завышают олигохетные индексы, что смещает итоговую оценку в сторону более высокой загрязненности озера. Это определило необходимость разработки нового амфиподно-олигохетного индекса для оценки состояния донных сообществ [15].

В биомониторинге Онежского озера важно учитывать геологическое строение пород, составляющих его котловину. Из подстилающих пород в верхние слои донных отложений могут поступать микроэлементы, что приводит к формированию на дне озера геохимических аномалий. Исследования химического состава придонных вод [16] обнаружили в глубоководных районах Онежского озера (залив Большое Онего, Уницкая губа) признаки субаквальной разгрузки, что определило здесь геохимические аномалии. В поверхностном слое донных отложений залива Большое Онего и Уницкой губы отмечается накопление микроэлементов (Zn, Ni, Cd, Cu, Pb). Там были обнаружены токсичные илы, что позволило предположить о существовании токсического фактора природного происхождения. Его угнетающее действие на бентос проявляется в центральных глубоководных районах озера. Статистический анализ данных по макрозообентосу Онежского озера за 1990-2013 гг. позволил выявить на дне озера четыре зоны, в пределах которых показатели состояния донных сообществ достоверно различаются по абсолютным значениям и соотношению групп бентоса. Первая зона отнесена к центральной глубоководной части озера, Лижемской и Уницкой губам, где наблюдается лимитирование развития организмов макрозообентоса за счет действия токсического фактора природного происхождения. Вторая зона дна – места интенсивного антропогенного воздействия (Кондопожская, Петрозаводская губы, Повенецкий залив, Кижские шхеры). Третья зона занимает промежуточное положение между первой и второй. Четвертая зона расположена, главным образом, в глубоководной части Петрозаводской губы, где наблюдается наиболее интенсивное развитие амфипод.

При проведении биомониторинга Онежского озера необходим учет выявленных 4-х зон с различным состоянием макрозообентоса. Для определения тенденций изменения экосистемы озера нужно не только сравнение зон между собой, но и выполнение анализа временных трендов для каждой из них в отдельности. Токсикологические исследования, позволяющие дать интегральную оценку пригодности условий для обитания макрозообентоса, должны стать неотъемлемой частью биомониторинга Онежского озера.

В последние годы литоральная зона Онежского озера претерпевает коренные изменения, связанные с появлением амфиподы байкальского происхождения *Gmelinoides fasciatus* Stebbing [17]. Этот вид более 40 лет назад в массовых количествах был завезён из оз. Байкал в верхние водохранилища Волги и озера Карельского перешейка для улучшения кормовой базы рыб. Около 15 лет назад этот вид впервые был обнаружен на литорали Онежского озера [18], а в настоящее время он стал одним из доминирующих видов. Исследованиями последних лет показано, что температура и кормовые условия не лимитируют развитие популяции вида *G. Fasciatus* в различных типах литорали. Затишные условия, а именно, наличие изрезанных берегов, небольших бухт, зарослей макрофитов оказались факторами, определяющими наиболее высокие показатели численности, биомассы и продукции *G. Fasciatus*. Ихтиологические исследования позволили установить, что в различных районах Онежского озера (Кумса-губа Повенецкого залива, Уницкая губа, Петрозаводская губа) вселенец *G. Fasciatus* стал объектом питания рыб, в частности, молоди окуня. Доля рачка в пищевом комке в желудках рыб из разных районов составляла от 5 до 70%. Таким образом, вселение вида *G. Fasciatus* в экосистему Онежского озера привело к заметному увеличению продукционных характеристик литоральных ценозов и улучшению кормовой базы рыб.

Литература

1. Онежское озеро. Атлас /Отв. ред. Н.Н. Филатов – Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2010. – 151 с.
2. Lake Ladoga and Onego: Great European Lakes. Observations and Modelling /Editors: L. Rukhovets, N. Filatov. Springer-Praxis. 2010. – 302 p.
3. Онежское озеро. Экологические проблемы / Под ред. Н.Н. Филатова – Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 1999. – 293 с.

4. *Филатов Н.Н., Назарова Л.Е., Сало Ю.А., Тержеев А.Ю.* Оценки возможных изменений климата и их воздействие на некоторые характеристики гидрологического режима Ладожского и Онежского озер // Водные ресурсы Европейского Севера России: итоги и перспективы исследований. Материалы юбилейной конференции, посвященной 15-летию ИВПС, 2006 г. Петрозаводск: Изд-во КарЦН РАН, 2006. С. 178-196.

5. *Руховец Л.А., Филатов Н.Н., Тержеев А.Ю., Астраханцев Г.П., Минина Т.Р., Мальгин А.Н., Петрова Н.А., Полосков В.Н., Белкина Н.А., Ефремова Т.В., Назарова Л.Е., Сало Ю.А., Сабьлина А.В., Тимакова Т.М.* Онежское озеро сегодня и завтра: опыт математического моделирования // Водные ресурсы Европейского Севера России: итоги и перспективы исследований. Материалы юбилейной конференции, посвященной 15-летию ИВПС, 2006 г. Петрозаводск: Изд-во КарЦН РАН, 2006. С. 127-153.

6. Биоресурсы Онежского озера / под ред. В. И. Кухарева, А. А. Лукина. – Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2008. – 272 с.

7. Water Framework Directive (WFD) 2000/60/EC: Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy: <http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/>

8. Рекомендации Росгидромет. 52.24.763-2012: Оценка состояния пресноводных экосистем по комплексу химико-биологических показателей.- Ростов-на-Дону. 2012.

9. *Назарова Л.Е.* Климат и озера / Озера Карелии. Справочник / под ред. Н.Н. Филатова, В.И. Кухарева. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. С. 22-23.

10. *Efremova T., Palshin N., Zdrovennov R.* Long-term characteristics of ice phenology in Karelian lakes // Estonian Journal of Earth Sciences. 2013. V. 62. № 1. P. 33–41.

11. *Сярки М.Т., Теканова Е.В.* Сезонный цикл первичной продукции в Онежском озере // Известия РАН. Серия Биологическая. 2008. № 5. С. 621-625.

12. *Сярки М. Т.* Изучение траекторий сезонной динамики планктона с помощью метода двойного сглаживания // Принципы экологии. 2013. № 1. С. 62–68. (DOI: 10.15393/j1.art.2013.2141).

13. *Сярки М.Т., Чистяков С.П.* О применении метода ортогональных расстояний для моделирования сезонной динамики планктона Онежского озера // Экология. № 2. 2013. С. 1-3.

14. Куликова Т.П., Полякова Т.Н. Вислянская И.Г. Оценка экологического состояния водоемов и качества воды по гидробиологическим показателям // Современное состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1992-1997 гг. Петрозаводск: изд-вл КарНЦ РАН, 1998. С. 23.-25.

15. Калинин Н. М., Белкина Н. А., Полякова Т. Н., Сярки М. Т. Биоиндикация состояния глубоководных участков Петрозаводской губы Онежского озера по показателям макрозообентоса // Водные ресурсы. 2013. Т.40, №5. С. 488-495.

16. Borodulina G.S., Belkina N.A. Study of the geochemical anomalies at the water-sediment boundary in subaqueous groundwater discharge zones in lake Onega // Book of abstract. 32nd congress of the international society of limnology. Budapest. August 4-9, 2013. P. 191.

17. 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.

18. Березина Н.А., Панов В.Е. Вселение байкальской амфиподы *Gmelinoides fasciatus* (Amphipoda, Crustacea) в Онежское озеро // Зоологический журнал. Т. 82, № 6, 2003. С. 731-734.

ОПЫТ СОЗДАНИЯ СХЕМ ЗАМЕРЗАНИЯ И ВСКРЫТИЯ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

Каретников С.Г.

Институт озероведения РАН, г. Санкт-Петербург

sergeyka55@mail.ru

Для крупных димиктических озёр большое значение имеет период существования на их поверхности ледовых явлений. Разнообразие ледового режима крупного озера обусловлено в основном различием тепловых потоков через поверхность воды в зимний период, а так же распределением глубин, и определяется региональной характеристикой суровости зимы. Даже тонкий ледяной покров сильно уменьшает теплоотдачу с поверхности воды, и, наоборот, существование в озере длительное время участка с открытой водой истощает его теплозапасы, что сказывается на тепловом режиме озера в весенний период.