

2. Sapelko T. V., Shemanaev K.V., Kuznetsov D.D. and Ignatieva N.V. Relation of human and natural factors in the development of lakes according to a complex analysis of lake sediments // Geophysical Research Abstracts, EGU General Assembly 2012, Vol. 14, EGU2012-11926, Vienna, Austria, 22–27 April 2012.

3. Sapelko T., Shemanaev K., Kuznetsov D., Ignatieva N., Ludikova A. Paleolimnological approach to the separation of the effects of anthropogenic and natural factors on the lake ecosystems // Geophysical Research Abstracts, Vol. 15, EGU2013-PREVIEW, 2013, EGU European Geosciences Union General Assembly, Vienna, Austria, 07–12 April 2013.

4. Верзилин Н.Н., Мороз Т.А., Севастьянов Д.В., Сапелко Т.В., Субетто Д.А. Эволюционно-географический подход при изучении геохимических особенностей голоценовых донных осадков озера Нижнее Суздальское (С.-Петербург) // Геология и эволюционная география, №5. СПб., 2005. С. 170-178.

5. Сапелко Т.В., Смирнов Н.Н., Щерочиньска К., Хасанов Б.Ф., Баянов Н.Г., Кузнецов Д.Д., Антипушина Ж.А. История озера Глубокого (Московская область) по результатам анализа донных отложений // Доклады Академии наук, 2013, том 450, №3. С. 344–347.

### **ОНЕЖСКОЕ ОЗЕРО И ЕГО ВОДОСБОР: ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ, ОСВОЕНИЕ ЧЕЛОВЕКОМ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ<sup>19</sup>**

Субетто Д.А., Калинкина Н.М., Лукина Ю.Н., Филатов Н.Н.  
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, г. Петрозаводск  
subetto@mail.ru

Онежскому озеру, наряду с Ладожским озером, было уделено особое внимание на Совете Безопасности Российской Федерации, как крупнейшему пресноводному резервуару, ухудшение качества воды в котором может привести к проблемам с обеспечением питьевой водой всего Северо-Западного региона Российской Федерации. Особенно было отмечено, что вопросами охраны данных водоемов следует заняться более предметно как на федеральном, так и на региональном уровнях. Онежское озеро является вторым по величине

---

<sup>19</sup>Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №14-17-00766).

после Ладожского озера пресноводным водоемом Европы. Вместе они входят в водосборный бассейн реки Невы, безальтернативного источника водоснабжения крупнейшего мегаполиса Северо-Запада России — Санкт-Петербурга, а также во многом определяющего качество воды Финского залива и всего Балтийского моря. При этом следует отметить, что Онежское озеро является объектом комплексного использования: служит источником питьевого, коммунально-бытового, промышленного водоснабжения и приемником сточных вод, является водохранилищем Верхне-Свирской ГЭС и воднотранспортной магистралью, имеет большое рыбохозяйственное и бытовое значение.

В последние десятилетия наметились тенденции ускоренной трансформации озера под влиянием естественных и антропогенных факторов. В частности, олиготрофное состояние озера изменилось в некоторых районах до мезотрофного, сократилась численность ценных видов рыб, таких, например, как пресноводный лосось. В результате стихийной интродукции появились новые виды, которые начали оказывать все усиливающееся влияние на естественные экосистемы. Заметное воздействие в последние годы на состояние экосистемы оказывает активное развитие аквакультуры и садкового рыбоводства. Большое значение для формирования гидрологического и химико-биологического режимов озера имеет частный водосбор, который более, чем в 5 раз превышает площадь озера. Именно поэтому остро стоит вопрос о необходимости комплексного исследования Онежского озера и его водосбора, которое станет основой для организации и проведения научно-общественного мониторинга качества воды, среды и биологических ресурсов, а также разработки научно-обоснованного режима водопользования и водопотребления.

Для решения поставленных задач в рамках гранта Российского научного фонда «Онежское озеро и его водосбор: история геологического развития, освоение человеком и современное состояние» (проект №14-17-00766) были запланированы исследования, направленные на изучение закономерностей и последствий изменения экосистемы Онежского озера под воздействием антропогенных и климатических факторов. Предполагалось выполнение палеоолиминологических реконструкций развития озера, исследование динамики водных масс и условий формирования водного баланса озера на базе мониторинга изотопного состава воды ( $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^2\text{H}$ ), оценка ан-

тропогенной нагрузки на водоем, изучение процессов трансформации водных сообществ, а также естественного воспроизводства лососевых видов рыб в притоках озера.

Одной из задач проекта явилось археологическое изучение Прионежья. История археологических исследований в районе Онежского озера насчитывает более ста лет. В настоящее время это наиболее изученный в археологическом отношении регион Карелии. Многочисленные археологические памятники, выявленные на побережье озера, датируются, начиная с мезолитического периода. Они предоставляют возможность проследить историю освоения человеком этого водоема на всём её протяжении. На данный момент наиболее ранней датой, полученной для Онежского побережья, является дата с поселения Бесов Нос VI на восточном берегу вблизи устья р. Шалы ( $8300 \pm 80$  лет назад). В то же время имеются косвенные признаки, позволяющие предполагать более раннее заселение этой территории, начиная уже с конца пребореала.

В рамках выполнения проекта в ходе комплексной экспедиции были подробно изучены два водоема Заонежского полуострова, расположенные на разных высотах — оз. Сяргозеро (48 м) и оз. Палозеро (132 м) с целью реконструкции палеоуровней Онежского озера в послеледниковое время. Выполнена батиметрическая съемка озер, выявлены основные морфологические особенности строения их котловин. Проведено бурение донных отложений ручным буром, в результате чего для каждого из озер получены полные колонки донных отложений. Сделано стратиграфическое описание колонок, взяты пробы на диатомовый, спорово-пыльцевой и радиоуглеродный анализ. Проведен отбор колонок поверхностного слоя донных отложений озер и проб воды на общий химический и изотопный состав. В ходе экспедиционных работ опробована методика поиска новых археологических памятников на основе высотных реконструкций Э. И. Девятовой и цифровой модели рельефа в программе SAGA GIS. Найден новый памятник — стоянка Больничное II, которая, согласно высотному расположению, относится к бореальному периоду.

В бассейне Онежского озера проведен комплекс работ, направленный на изучение динамики водных масс и условий формирования водного баланса озера на базе мониторинга изотопного состава воды ( $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^2\text{H}$ ). Комплекс включает наблюдения за атмосферными осадками как источника формирования водного стока, по-

верхностными водами (реками и озерами) и подземными водами. В ходе работ была выполнена экспериментальная оценка скорости испарения для изучения влияния испарения на изотопный состав воды в различных условиях. Наблюдения за атмосферными осадками включали сбор средне-недельных проб воды, для которых определялся объем выпадений, химические показатели и изотопный состав. При наличии экстремальных погодных явлений (тяжелых ливней или массивных снегопадов) пробы отбирались непосредственно по завершении этих событий. В конце зимы 2014 г. выполнена также снеговая съемка по субмеридиональным и субширотным профилям для оценки региональных трендов изменения изотопного состава снега. Оценка среднегодового изотопного состава речного стока выполнялась по результатам еженедельных (в половодье ежедневных) наблюдений за р. Неглинкой (приток Онежского озера), проводимых с 2012 г. Также на изотопный состав опробованы 22 притока Онежского озера и малые озера на водосборе. С учетом проведенных с 2009 г. наблюдений на данный момент на изотопный состав всего отобрано и проанализировано около 750 проб различных природных вод.

По результатам изотопного анализа получены статистические характеристики распределения величин  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^2\text{H}$  в атмосферных осадках по станции «Петрозаводск», в поверхностных и подземных водах региона за весь период наблюдений (с 2009 г. по настоящее время). Взвешенный среднегодовой состав атмосферных осадков  $\delta^{18}\text{O} \approx -11,4$  и  $\delta^2\text{H} \approx -83$  ‰ рассчитан с учетом распределения объема и состава выпадений во времени. Изотопный состав осадков в зимний период оценен по результатам снегомерной съемки величинами  $\delta^{18}\text{O} \approx -18,1$  и  $\delta^2\text{H} \approx -139$  ‰. Временное распределение изотопного состава осадков близко к синусоиде, экстремально легкие значения наблюдаются, как правило, в осенне-зимне-весенний период. Получен хронологический график изменения изотопного состава речной воды, отражающий структуру питания водотока. Наиболее существенное облегчение изотопного состава воды в реке обнаруживаются в период весеннего половодья. В осенне-зимне-весенний период в моменты наступления экстремальных погодных явлений отмечаются кратковременные (до 2–3 суток) существенные облегчения изотопного состава воды. В летний период на изотопный состав речной воды заметно влияет испарение, а в холодный период – замерзание воды. Обнаружено, что подземные воды ре-

гиона, в целом, имеют несколько облегченный (по сравнению с осадками) изотопный состав, что свидетельствует о преимущественном питании за счет таяния снега. В некоторых случаях получены экзотические изотопные составы подземных вод, существенно отклоняющиеся от глобальной линии метеорных вод, что связано с влиянием мерзлоты, имевшей место в прошедшие периоды глобального похолодания.

Согласно задачам проекта, было запланировано исследование антропогенной нагрузки на Онежское озеро, а именно, определение качества сточных вод, поступающих в Онежское озеро от точечных источников загрязнения и оценка эффективности их очистки. Всего в 2014 г. было обследовано 14 выпусков сточных вод (49 проб воды) — ОАО «Кондопога», ОАО «Петрозаводские коммунальные системы», ООО «Пудожское ВХК», ООО «Водоканал» г. Медвежьегорска, о.Кизи, ТЭЦ г. Петрозаводска, ООО «Санаторий Марциальные воды», ООО «Водоканал» пос. Пидуши, ООО «Рубин» в пос. Матросы, ЗАО «Эсойла». Всего было выполнено около 1300 элемент-определений. Из 14 выпусков на 9 сточные воды проходят очистку на биологических очистных сооружениях, на 2 выпусках — механическую очистку, а на 3 выпусках сточные воды не очищаются. Из числа обследованных выпусков непосредственно в Онежское озеро поступают сточные воды от 5 водовыпусков, а от остальных — в водные объекты бассейна Онежского озера. Результаты исследований показали, что сточные воды промышленных предприятий и хозяйственно-бытовые стоки населенных пунктов бассейна Онежского озера содержат большое количество минеральных и органических веществ, биогенных элементов, микроэлементов и тяжелых металлов. Поступление биогенных элементов со сточными водами в водные объекты может привести к их эвтрофированию. Особенно этому способствует избыточное содержание общего фосфора. В сточных водах бассейна Онежского озера отмечены весьма большие концентрации минерального и общего фосфора. Содержание минерального фосфора изменялось в пределах от 53 до 6112 мкг/л, а общего фосфора — от 426 до 6768 мкг/л. Почти на 80 % общий фосфор был представлен минеральными формами, что типично для многих видов сточных вод. Особенно высокие концентрации фосфора отмечены в сточных водах ПКС г. Петрозаводска, пос. Шуя, ЗАО «Эсойла», ООО «Пудожское ВХК», пос. Пудож. В целом работу

большинства исследованных очистных сооружений следует считать недостаточно эффективной.

В ходе выполнения проекта были отобраны образцы донных отложений Онежского озера для биотестирования. Исследованиями были охвачены основные районы: Центральное Онего, Южное Онего, Большое Онего, Малое Онего, не испытывающие прямого антропогенного воздействия, а также загрязненные участки (Петрозаводская губа, Кондопожская губа, Повенецкий залив; Кижские шхеры, Петрозаводское Онего). Оценка токсичности донных отложений Онежского озера дана по показателям жизнедеятельности тестовых видов ракообразных (*Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg). Исследования, проведенные в 2014 г., позволили установить, что большинство районов Онежского озера характеризуется нетоксичными донными отложениями. Наибольшее количество станций с токсичными илами расположено в районе Кондопожской губы, интенсивно загрязняемой сточными водами целлюлозно-бумажного комбината. Токсичность илов в Кондопожской губе связана с содержащимися в них загрязняющими веществами сточных вод (лигносульфонат, соединения серы). Впервые выявлен центральный глубоководный участок Онежского озера (Большое Онего и Центральное Онего), илы которого обладают высокой токсичностью, обусловленной, скорее всего, высоким содержанием микроэлементов, характерным для центральных районов озера. Результаты биотестирования илов, позволили предложить гипотезу о существовании особой зоны в центральной части Онежского озера, в которой развитие сообществ макрозообентоса лимитировано токсическим фактором природного происхождения. Гипотеза была подтверждена результатами анализа натуральных наблюдений за состоянием донных сообществ.

При выполнении проекта была изучена роль малых водотоков (притоков Онежского озера) как резерватов рыб, находящихся под угрозой исчезновения. В Онежском озере обитают ценные представители лососёвых: пресноводный лосось и кумжа. К началу XXI века популяция лосося и кумжи в озере существенно сократились в основном из-за неконтролируемого вылова. Популяция пресноводного лосося поддерживается частично (стадо реки Шуя) за счёт искусственного воспроизводства. Популяция кумжи существует исключительно за счёт естественного воспроизводства. Кумжа, как вид более пластичный, нерестится в малых реках (до 10 км дли-

ной). Крупные притоки Онежского озера (Шуя, Немина, Водла и др.) облавливаются практически круглый год местными жителями, а летом ещё и туристами. Активно лов лосося и кумжи производится и в озере, во время нагула рыб. Лов производится как сетями так и троллингом (ставшим недавно популярным способом ловли). В сложившейся ситуации популяции кумжи и лосося крупных рек находятся под угрозой исчезновения. В то же время стада кумжи малых рек характеризуются численностью в несколько десятков особей и в связи с этим не облавливаются, что способствует сохранению кумжи как вида в бассейне Онежского озера. Стада кумжи малых рек могут быть использованы для рыбоводных работ по восстановлению популяций кумжи в соседних реках, утративших полностью нерестовое стадо.

Исследования 2014 г. показали, что в обследованных малых реках (Нелукса, Орзег и Большая Уя) естественное воспроизводство кумжи осуществляется успешно. Наибольшие плотности расселения отмечены в реке Нелукса – 129 экз./100 м<sup>2</sup>. Это достаточно высокий показатель для бассейна Онежского озера. Сравнимые плотности распределения молоди пресноводного лосося отмечены только в р. Суна, где в 2008-2013 гг. плотность рыб достигала более 150 экз./100 м<sup>2</sup>. Причиной высокой плотности распределения молоди кумжи в р. Нелукса является отсутствие регулярного промысла. В реке Орзег общая плотность расселения составила 51 экз./100 м<sup>2</sup>, сравнимый показатель по сравнению с другими более крупными притоками Онежского озера. Плотность расселения рыб в возрастной группе 0+ в этой реке оказалась в два раза выше, чем в группе 1+. Отсутствие возрастной группы 2+ объясняется скатом в озеро преимущественно в этом возрасте. В реке Большая Уя общая плотность распределения рыб составила 16 экз./100 м<sup>2</sup>, это низкий показатель, как по сравнению с Орзегой и Нелуксой, так и с другими притоками озера. Причиной низкой численности для рек Орзег и Большая Уя является вылов производителей в реке во время нерестовой миграции. Антропогенный фактор (несанкционированный вылов рыбы) является основным, влияющим на численность кумжи в малых реках, поскольку гидрологические условия, фракционный состав и подвижность грунтов в этих реках соответствуют оптимальным условиям для нереста кумжи.