
Теория и практика исследования водных экосистем

9

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ СТРАН ЕС

Т. И. Регеранд, Н. Н. Филатов

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в странах Европейского сообщества (ЕС) активно реализуется Водная Рамочная Директива (Water Framework Directive – WFD), принятая в 2000 г., в соответствии с которой выполняются различные мероприятия, направленные на улучшение экологического состояния водных объектов. Первым этапом работы стала их типизация и классификация с оценкой качества воды для различных целей ее использования. Как показал опыт, состояние многих водных объектов в странах ЕС для водопользования и водопотребления является неудовлетворительным по причине их эвтрофирования, закисления и токсического загрязнения. Для предотвращения негативных последствий проводятся различные природоохранные мероприятия, направленные на снижение нагрузки на водные системы.

Изменения, происходящие в озерах Европы, существенно снижают возможности их использования в качестве объектов питьевого водоснабжения, рекреации, энергетики, транспорта и рыбного хозяйства.

Данная статья подготовлена на основе обзора практических методов управления и восстановления водных объектов, используемых в восьми странах Европы, которые приняли участие в международном проекте LakePromo ("Lakepromo – Tools for water management and restoration

processes"): Финляндия, Дания, Россия, Эстония, Германия, Великобритания, Венгрия и Испания (<http://lakepromo.savonia-amk.fi>) (рис. 1–3). Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН был представлен в нем в качестве наблюдателя, при этом один из объектов – оз. Пряжинское в Карелии – также был включен в этот проект.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Поверхностные водные объекты Европы, представленные в проекте, характеризуются различными параметрами, которые делают каждый из них уникальным.

Отмечаются значительные расхождения в терминах, используемых для характеристики водных объектов, которые в разных странах имеют несколько значений. Примерами этого могут быть как основные термины – «озеро» (lake) и «пруд» или «маленькое озеро» (pond), так и качественные характеристики, такие, как «мелкое озеро» (shallow lake). Например, средняя глубина озер в Финляндии составляет 7,2 м, а в Дании – только 1,6 м, поэтому «мелкое озеро» Финляндии будет являться средним по глубине для территории Дании. Нет также строгого определения «большое озеро» (large lake). В одной из работ, выполненной в рамках проекта ЕС, дается возмож-

ное определение большого озера с точки зрения гидробиологии.

В настоящее время принятая в 2000 г. в странах Европейского Союза Водная Рамочная Директива определяет принципы единой классификации водных объектов с разделением их на группы по типам (типизация озер). Такой подход способствует проведению сравнительных исследований и обмену опытом по восстановлению экологического статуса водных объектов. Типизация водных объектов проводится согласно Системе Б приложения II Водной Рамочной Директивы (B System of Annex II of the Water Framework Directive). Обязательными параметрами для определения типа водоема являются географическое положение, геология водосборной территории и площадь водоема. Например, в Венгрии выявлено 10 типов озер и 25 типов рек. Согласно типологическим исследованиям, на территории Германии имеется 14 типов озер, 25 типов текущих водных объектов и 5 типов прибрежных морских зон. В Финляндии насчитывается 12 типов озер и 11 типов прибрежных морских зон. Далее, при определении группы озер принимается во внимание не только размер водного объекта, но и содержание гумуса. Кроме того, озера с высоким содержанием гумуса или кальция в естественном состоянии выделяются в отдельные группы. В качестве дополнительного параметра учитывается глубина водоема как основополагающий фактор для определения термической стратификации и тем самым функционирования экосистемы в целом.

Согласно программе действий, все поверхностные водоемы и подземные воды должны иметь хорошее экологическое состояние до конца 2015 г. Для достижения этой цели к 2009 г. должны быть реализованы национальные планы по восстановлению водных бассейнов в каждой стране ЕС. В них определяются основные факторы риска для каждого водоема, цели и задачи его восстановления и необходимые для осуществления мероприятий механизмы действий.

Согласно директиве, одними из основных критериев качества становятся биологические параметры, такие, как икhtiофауна, бентос и макрофиты, при условии минимального антропогенного воздействия на водоем.

Классификация качества водных объектов включает пять категорий: отличное, хорошее, удовлетворительное, низкое и плохое. Определение категории проводится по химическим, биологическим и морфологическим параметрам. Водоем, относящийся к категории «отличное качество», при минимальном антропогенном воздействии или его отсутствии может служить контрольным (reference) объектом для других водоемов, относящихся к одному и тому

же типу. Определение качества воды водоемов основывается на установлении степени отклонения от контрольного водного объекта в пределах одного типа как по химическим, так и по экологическим параметрам.

Водные объекты Европы находятся в состоянии «слабых естественных изменений», которые значительно усиливаются в результате антропогенной нагрузки. Чаще всего это приводит к усилению процессов эвтрофирования. Для большинства внутренних водоемов стран Европы основным лимитирующим фактором экосистемы является фосфор и азот. Источники поступления биогенных элементов в водоемы могут быть различными, однако проявления процесса эвтрофирования фактически везде одинаковые:

- «цветение» воды в результате увеличения количества сине-зеленых водорослей
- доминирование карповых (Cyprinidae) в икhtiофауне
- снижение содержания кислорода в воде
- рост макрофитов и изменение их видового состава
- снижение рекреационной значимости водоема и доходов от туризма
- усиление риска для здоровья животных и населения в результате «цветения» воды.

Финляндия

Большая часть территории Финляндии находится в зоне бореальной тайги. Климат Финляндии характеризуется как морской и континентальный. Озера покрыты льдом в зимний период в течение 5–7 мес. Слой льда (примерно 50–90 см, в среднем) может вызвать снижение содержания кислорода, особенно в мелких эвтрофированных водоемах.

На территории Финляндии расположено около 188 тыс. озер с площадью более 0,5 га, и озерность составляет примерно 10%. По современной классификации экологического состояния, 80% озер имеют хорошее и отличное качество воды (рис. 4, табл.).

НОРМАТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КЛАССА КАЧЕСТВА ВОД В ФИНЛЯНДИИ (The Lakepromo Project Information Package..., 2006)

Индикатор эвтрофикации	Класс качества вод				
	отличное	хорошее	удовлетворительное	посредственное	плохое
Хлорофилл <i>a</i> (мкг/л) – озера	<4	<10	<20	20–50	>50
Хлорофилл <i>a</i> (мкг/л) – море	<2	2–4	4–12	12–30	>30
Общий фосфор (мкг/л) – озера	<12	<30	<50	50–100	>100
Общий фосфор (мкг/л) – море	<12	13–20	20–40	40–80	>80



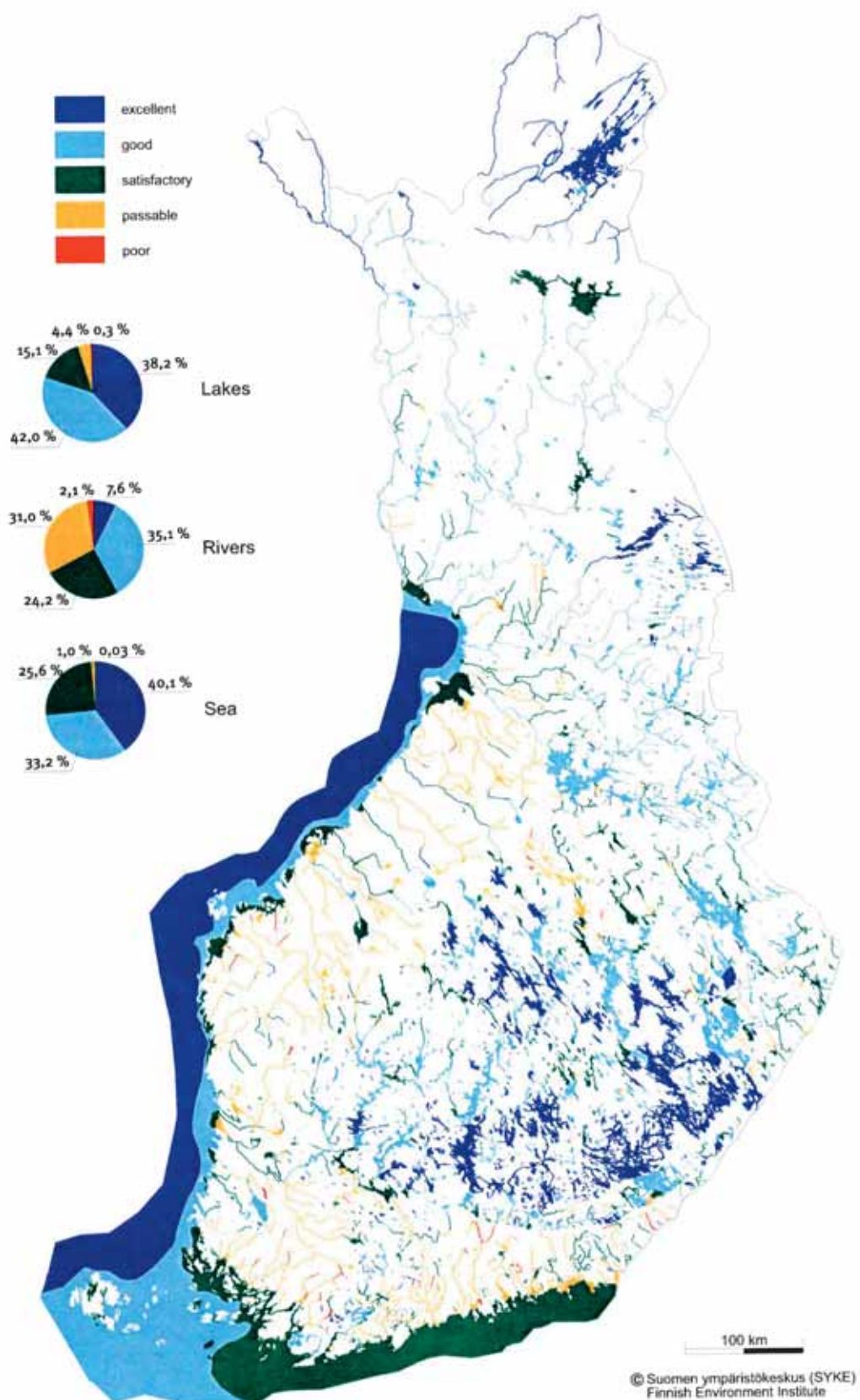
Р и с . 1 . Карта Европы
с названиями стран-
участников проекта
LakePromo



Р и с . 2 . Участники проекта
на семинаре в Великобритании,
Брайтон, 26–28.10.2005 г.



Р и с . 3 . Участники проекта
на семинаре в Карелии,
гидрологическая экскурсия
по р. Шуе, 31.08.2006 г.



Р и с . 4 . Классификация качества поверхностных вод Финляндии по данным 2000–2003 гг.
(The Lakepromo Project Information Package..., 2006)

Озера Финляндии очень чувствительны к антропогенному воздействию. В основном они небольшие по площади и мелкие, средняя глубина 7,2 м. Малый объем водной массы, длительный период водообмена, характер грунтов снижают естественную устойчивость озер к закислению, особенно на севере Финляндии, и их способность противостоять эвтрофированию.

Начиная с XVIII века и до середины 90-х годов XX века уровень воды почти 3 тыс. озер понизился в результате проведения мелиоративных работ для увеличения доли земель, используемых в сельском хозяйстве. В 50-х годах использование усовершенствованной техники и применение различных удобрений в земледелии привело к увеличению поступления нитратов в водоемы. В настоящее время животноводческие фермы укрупняются, а использование удобрений в лесном и сельском хозяйствах сокращается.

Начиная с 50-х годов стали быстро увеличиваться объемы выбросов от промышленных предприятий и населенных пунктов. 70-е годы – время интенсивного антропогенного влияния, но и одновременно развития технологий очистки сточных вод. Начиная с 90-х годов сточные воды сбрасываются в водоем только после эффективной очистки. Основными источниками биогенной нагрузки остаются сельское и лесное хозяйство, рассредоточенные источники от сельского хозяйства и точечные от населенных пунктов. В локальном масштабе дополнительными значительными факторами риска могут быть звероводческие и рыбоводческие фермы, а также разработки торфа.

Каждый пятый житель Финляндии (около миллиона человек) проживает в помещениях, не подключенных к централизованной канализационной системе. Кроме того, на территории Финляндии имеется около 30–50 тыс. дачных домиков, оснащенных современным сантехническим оборудованием. Согласно данным 2003 г., нагрузка по фосфору на территории Финляндии составила 4209 т/год. Основными источниками его поступления являются сельское хозяйство – 63%, рассредоточенные населенные пункты – 8% и лесное хозяйство – 8%. Поступление азота в водоемы составляет 77 081 т/год. Основными источниками азота являются сельское хозяйство – 51%, рассредоточенные населенные пункты – 17% и лесное хозяйство – 16%.

Институт окружающей среды Финляндии и региональные центры окружающей среды проводят постоянный мониторинг состояния озер, рек и береговой морской территории начиная с 60-х годов и мониторинг качества воды начиная с 70-х годов.

Класс качества и уровень трофности поверхностных вод в Финляндии определяется при использовании нескольких параметров, основными из которых являются химические показатели (содержание общего фосфора и азота) и биологические (содержание хлорофилла *a* или значение биомассы фитопланктона) (табл.).

Эстония

На территории Эстонии имеется около 1200 небольших озер и водохранилищ с площадью более 1 га. Озера Псковско-Чудское (Peipsi) и Вертсъярв (Võrtsjärv) (рис. 5) относятся к крупным озерам Европы.

В 50-х и 60-х годах озера Эстонии считались чистыми, не подверженными значительному антропогенному воздействию. При этом олиготрофный статус имели только 2% озер. К началу 2000 г. типичные олиготрофные озера почти исчезли, а количество гипертрофных озер увеличилось в 1,7 раза. В настоящее время около половины озер Эстонии находятся в эвтрофном состоянии.

Одним из основных факторов риска эвтрофирования является сельское хозяйство (внесение удобрений, поступление сточных вод животноводческих ферм). Существуют и другие проблемы, такие, как сбросы коммунальных и промышленных сточных вод, разработки торфа и нефтяных месторождений на шельфе, атмосферные выпадения.

Основные признаки проявления эвтрофирования озер следующие:

- значительное повышение таких показателей качества вод, как общая щелочность, pH, концентрации фосфатов, сульфатов и органического вещества,
- содержание кислорода в придонном слое снизилось наполовину по сравнению с периодом 40 лет назад,
- в связи с изменением климата вегетационный период стал длиннее, а сезонное распределение биогенных элементов – более равномерным,
- в результате изменения соотношения N : P в летний период наблюдается преобладание цианобактерий и «цветение» воды,
- значительное увеличение популяции карповых (Cyprinidae) в озерах всех типов,
- изменения видового состава ихтиофауны,
- постоянное увеличение количества макрофитов в озерах, увеличение зоны, занимаемой прибрежной растительностью, и проникновение литеральных видов растений в крупные озера,
- смешение типов трофии озер,
- закисление озер северо-восточной Эстонии.

Дания

Большинство озер Дании мелкие. Примерно половина из 500 зарегистрированных озер имеет среднюю глубину менее 2 м, и только 3% имеют среднюю глубину, превышающую 10 м. В настоящее время на территории Дании насчитывается около 120 тыс. озер площадью более 0,01 га. При этом только 2% из них площадью более 1 га и 6 озер – больше чем 1000 га. Площадь наиболее крупного озера Дании – Арресо (Arreso) составляет 4000 га. Озера занимают 1,4% всей территории Дании.

Озера Дании находятся под сильным антропогенным воздействием уже длительный период времени (рис. 6). Они стали более мелкими, заросшими растительностью с переходом некоторых из них в статус болот, заливных лугов и лесов. Большинство озер Дании 50–200 лет тому назад были чистыми, олиготрофными. Однако процесс эвтрофирования, инициированный сильным антропогенным воздействием, привел к увеличенному поступлению биогенных элементов, что стало очевидным по росту численности фитопланктона в озерах. В настоящее время концентрации фосфора больше 150 мг/л характерны почти для 50% озер. В летний период прозрачность по Секки (Secchi) в 65% озер меньше 1 м.

Основным источником поступления биогенных элементов являются сельское хозяйство и сброс неочищенных или недоочищенных сточных вод. В настоящее время очистка сточных вод проводится очень эффективно, так что остается один фактор риска – поступление биогенных элементов в результате сельскохозяйственной деятельности.

Германия

В Германии водные объекты подразделяются на природные и искусственные (водохранилища, пруды, резервуары, оставшиеся после разработки горных пород, и др.). Эти водоемы в основном используются для следующих целей: контроль паводков, регулирование потоков, рекреация, охота и рыболовство, сбор тростника, забор воды для водоснабжения, полив и орошение, прием сточных и дренажных вод.

Эвтрофирование водных объектов – наиболее актуальная и серьезная проблема водопользования в Германии (рис. 7) вследствие усиленной антропогенной нагрузки, особенно в начале XX века. Основными его причинами являются поступление сточных вод (главным образом в прошлом), сельское хо-

зяйство, атмосферные выпадения и интенсивный туризм.

Поступление фосфора в водоемы Германии составило в 1975 г. 125 000 т, но к 2000 г. оно уменьшилось до 33 000 т/год. В течение этого периода рассредоточенное поступление уменьшилось на 13% и точечное – на 86%, что, естественно, способствовало улучшению экологического состояния озер.

Венгрия

Вся территория Венгрии расположена на водосборе реки Дунай и принадлежит к эко-региону, называемому Венгерская Долина (Hungarian Lowland). Почти все (95%) поверхностные воды поступают в Венгрию из соседних государств: Хорватии, Австрии, Словении, Украины и Румынии. Самые крупные и наиболее мелкие пресные озера Центральной Европы находятся на территории Венгрии: Балатон, Веленсе и Ферто (Balaton, Velence, Fertő).

Экологическое состояние оз. Балатон (рис. 8) было наиболее сложным в 1995 г. вследствие сильной антропогенной нагрузки, приводящей к его эвтрофированию и загрязнению. В результате принимаемых мер, таких, как уменьшение объемов используемых удобрений, введение правительственных мер, поступление инвестиций на улучшение состояния окружающей среды, модернизация методов очистки сточных вод и организации хранения отходов, качество воды в озере стало улучшаться. Однако опасность эвтрофирования озера до сих пор существует.

Вода оз. Веленсе содержит большое количество органических и неорганических веществ. Озеро было в эвтрофном состоянии в 90-х годах, однако в последние годы этот процесс замедлился, а содержание хлорофилла снизилось.

Озеро Ферто (Lake Neusiedlersee) расположено на границе с Австрией. Одна из особенностей озера заключается в том, что оно очень мелкое и несколько раз полностью высыхало (последний раз в 1866–1867 гг.). Содержание биогенных элементов в озере невысокое. Однако отмечены высокие концентрации органических веществ естественного происхождения за счет водной растительности.

Согласно типизации водных объектов, на территории Венгрии находится 10 типов естественных озер, 100 естественных водных объектов и 124 искусственных водных объекта. Мониторинг проводится только на трех крупных озерах, на мелких озерах осуществляется нерегулярный контроль. Основным источником поступления биогенных элементов – это сточ-

ные воды, ливневые стоки, сельское хозяйство и промышленность.

Великобритания

Озер в Великобритании немного, и поэтому для решения водохозяйственных проблем большое значение имеют увлажненные территории (рис. 9). Восстановление ухудшенного естественного состояния увлажненных территорий является одним из основных моментов экологической программы Великобритании. Необходимо отметить, что это касается не только качественных показателей деградирующих увлажненных территорий, но и их количества. Последнее особенно актуально для юго-восточной части Англии, где высокая плотность населения и небольшое количество атмосферных осадков способствуют снижению водных запасов, что, в свою очередь, приводит к снижению разбавления биогенных элементов в воде и тем самым к эвтрофированию и изменению экологического статуса водных объектов.

Одним из основных факторов риска деградации и исчезновения увлажненных территорий в Великобритании является рассредоточенное загрязнение от сельского хозяйства: интенсивное животноводство, использование удобрений в больших количествах, мелиорация. В среднем в водоемы Великобритании поступает от сельского хозяйства 43% фосфора.

Контроль за точечными источниками поступления биогенных элементов в связи с предотвращением эвтрофирования увлажненных территорий Великобритании является особо актуальным. В основном это касается введения нормативных параметров для станций очистки сточных вод.

Испания

В Испании увлажненные территории всегда ассоциировались с малярией. Мелиорация таких участков считалась методом снижения численности комаров. Впоследствии эти территории использовались для сельского хозяйства, что и явилось основной причиной исчезновения увлажненных территорий в Испании.

После того как в 1984 г. было образовано Агентство по окружающей среде, много усилий было предпринято для охраны и сохранения увлажненных территорий Испании. Программы охраны в основном были нацелены на контроль антропогенной нагрузки и восстановление растительности в пределах границ увлажненных территорий.

Интенсивное развитие туризма вокруг лагун привело к интенсивному строительству непосредственно вблизи этих территорий. Шум и

свет от населения и транспорта, накопление отходов создают проблемы для охраны фауны, обитающей на увлажненных территориях.

Наиболее значимые для использования маленькие лагуны являются закрытыми экологическими системами. У большинства нет связи с морем, и они не имеют водного стока. Вода испаряется из водоема, а взвешенные вещества остаются и накапливаются в донных отложениях, что делает их чувствительными к загрязнению любого типа.

Основным фактором риска является интенсивное сельское хозяйство (рис. 10). Особенно это касается Андалузии, где на северной и восточной территориях расположено много парниковых хозяйств. Удобрения и пестициды, которые используются в них в больших объемах, попадают в лагуны и на увлажненные территории.

НАИБОЛЕЕ ПОПУЛЯРНЫЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

В странах ЕС понятие «управление водными объектами» понимается как проведение мероприятий, направленных на сохранение их хорошего экологического состояния, а также осуществление восстановительных работ. Процесс восстановления озер состоит из мероприятий, улучшающих обстановку непосредственно в озере, а также профилактических и/или восстановительных действий, осуществляемых на его водосборе.

В разных странах определение данных терминов может быть различным. Однако в обычном понимании сущность процессов «восстановление» и «управление» в отношении озер аналогична. В Германии, например, термин «Sanierung» используется при определении мероприятий, проводимых на водосборе, по ликвидации внешней нагрузки, а термин «Restaurierung» относится к действиям, осуществляемым непосредственно внутри водоема.

Во многих странах существуют длительные традиции мониторинга и восстановления озер и других водных объектов. Первые попытки предотвратить загрязнение озер, используя систематический подход, были сделаны в 60-х годах 19 столетия. Впервые были использованы такие методы, как аэрация, землечерпание и обработка сточных вод. В последние десятилетия проходили активные исследования в данной области, которые были сконцентрированы на разработке методов и возможности использовать их в различных условиях. Во многих случаях для достижения существенных результатов требуется повторное применение нескольких методов в течение ряда лет. Необ-



Р и с . 5 . Изменение уровня воды в оз. Вертсъярв (Võrtsjärv) – пилотный объект проекта LakePromo в Эстонии (фото Леа Тувикене)



Р и с . 6 . Типичное небольшое озеро Дании (фото Т. И. Регеранд)



Р и с . 7 . Экскурсия участников проекта LakePromo на озеро Scharmützelsee (Bad Saarow)
(фото Н. Н. Филатова)



Р и с . 8 . Озеро Балатон (Венгрия) (фото Т. И. Регеранд)

ходимо также обратить внимание на то, что достигнутые результаты следует поддерживать мониторинговыми программами.

Аэрация и искусственное обогащение кислородом – увеличение содержания кислорода в водной массе путем растворения кислорода в воде или подачи обогащенной кислородом воды в водоем со сниженным его содержанием. Существует много различных технических приспособлений, применение которых способствует увеличению концентрации кислорода в гипolimнионе.

Искусственная дестратификация (принудительная циркуляция) – подача воздуха в водоем для предотвращения образования термической стратификации или ее ликвидации.

Биоманипуляция (изменение пищевой цепи) – улучшение качества воды в результате удаления популяции рыбы при доминировании карповых с последующим повтором работ для предотвращения ухудшения состояния озера. При этом укрепляется популяция хищных рыб за счет пополнения их запасов (искусственное разведение) и регуляции размера ячеи рыболовных сетей.

Покрытие дна – установка барьера для снижения поступления биогенных элементов и загрязнителей из донных отложений или подземных вод в водоем с использованием различных технических возможностей.

Химическое связывание фосфора – связывание растворенного в воде фосфора соединениями железа или алюминия с последующим осаждением частиц на дно. Высокие дозы алюминия и железа усиливают способности фосфора к соединению с донными отложениями, что, в свою очередь, предотвращает его обратное вымывание на долгий период времени. Результат воздействия зависит от pH воды в водоеме.

Разбавление и поливка – снижение концентрации биогенных элементов в воде при дополнительном введении в водоем воды с низким содержанием биогенных элементов. Это увеличивает дебит и снижает время водообмена, что, в свою очередь, создает эффект разбавления и приводит к ликвидации фитопланктона и снижению концентрации биогенных элементов.

Землечерпание (удаление донных отложений) – увеличение глубины водоема и возможностей использования береговой зоны в результате удаления загнивающего материала и предотвращения обратного выхода биогенных элементов из донных отложений. Предварительно необходимо провести химический анализ донных отложений. Особое внимание следует уделить размещению удаленных из водоема донных отложений.

Удаление макрофитов (водной высшей растительности) – повышение рекреационной значимости водоема, улучшение условий обитания ихтиофауны и рыболовства. Растительность может быть удалена при использовании механических, физических, химических и биологических методов.

Подъем уровня воды – предотвращение распространения растительности в озере, повышение рекреационной значимости и улучшение береговой зоны.

Уменьшение объема вод в гипolimнионе – замена воды из гипolimниона с высокой концентрацией биогенных элементов и низким содержанием кислорода водой эпимимниона, насыщенной кислородом за счет гравитации или насосом.

Важной предпосылкой для успешного проведения всех мероприятий по восстановлению озер является снижение внешней нагрузки на водоем до предела, с которым оно способно справиться самостоятельно (предел устойчивости). Внешнюю нагрузку на водосборе можно снизить различными способами (эффективная очистка сточных вод, снижение поступления от рассеянных источников сельского хозяйства, отстойники на территориях лесных угодий, организация зон для предотвращения затоплений и др.).

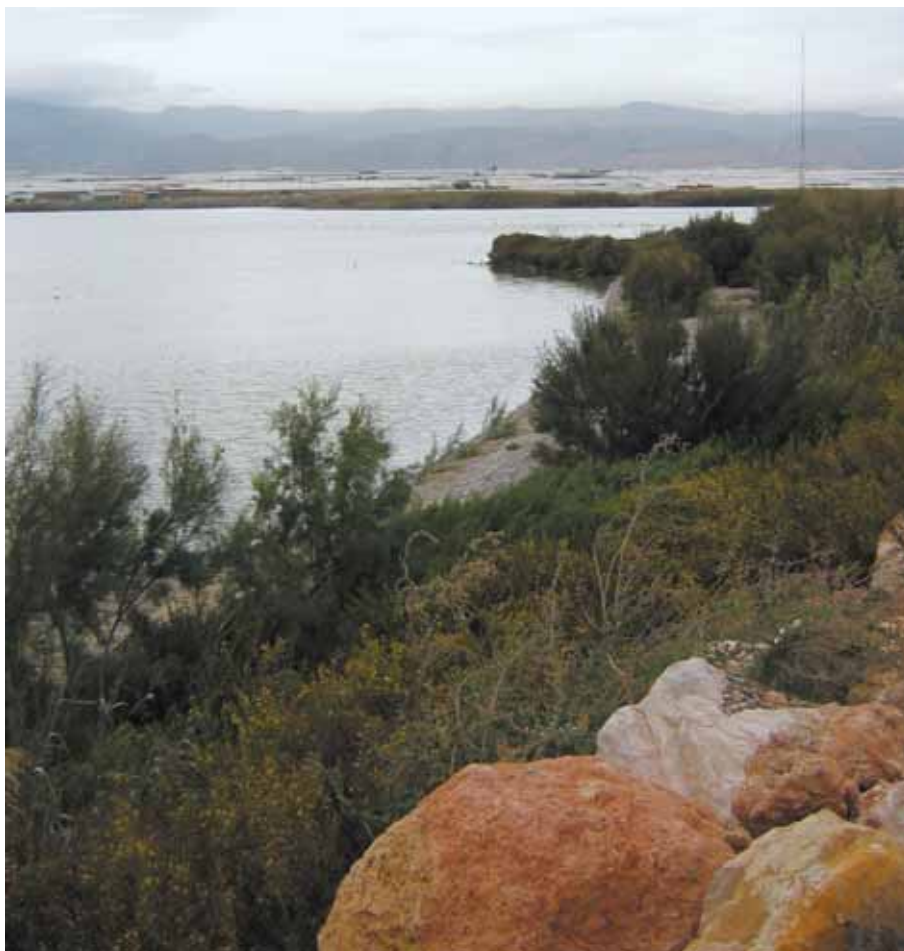
Финляндия

В Финляндии в 1970–2002 гг. было проведено 776 проектов по восстановлению озер. Ежегодно регистрируется около 45 новых проектов. Согласно обзору, сделанному в 1999 г., в Финляндии около 1500 озер нуждаются в восстановлении. Региональные Центры окружающей среды разработали принципы ежегодного отбора озер для составления планов восстановительных мероприятий в них. Наиболее популярными методами в период 1998–2002 гг. были: удаление макрофитов, землечерпание и биоманипуляция.

В Финляндии имеется определенный опыт проведения мероприятий по аэрации и биоманипуляции. Впервые испытание метода аэрации было осуществлено в начале 70-х годов, и уже в 80-х годах этот метод стал широко применяться. Он используется для снижения внутренней нагрузки в водоеме и предотвращения гибели рыбы в силках в зимний период. Основная задача биоманипуляции – улучшение качества воды в водоеме. Но не менее важной дополнительной целью этого метода является улучшение популяции ихтиофауны и сохранение коммерческого значения озера. Подтверждено, что циркулирующая аэрация является наиболее эффективным с



Р и с . 9 . Увлажненные территории Великобритании – пример зарастания канав в Превенси Левелз (Pevensy Levels – пилотный объект проекта LakePromo в Великобритании) (Wetland Restoration and Management..., 2006)



Р и с . 1 0 . Лагуна Хорнилло (Hornillo lagoon) – пилотный объект проекта LakePromo в Испании
(фото Вели-Матти Валлинкоски)

точки зрения затрат способом снижения внутренней нагрузки на водосборе в летний период.

Метод удаления карповых рыб, широко используемый в настоящее время в Финляндии, был разработан во время проведения проекта на оз. Весиярви (Vesijärvi) с использованием профессионального рыболовного оборудования для ловли ряпушки (*Coregonus albula*) во внутренних водоемах. Для успешного осуществления биоманипуляции необходимы хорошие знания об иктиофауне конкретного озера и экологических особенностях обитания основных видов, а также понимание доминирующих условий в водоеме. Кроме того, необходимо иметь соответствующее оборудование и опыт ловли рыбы. Ежегодно из эвтрофных водоемов вылавливается большое количество рыбы, до 200 кг/га. Однако в озерах с меньшим содержанием биогенных элементов достаточным считается вылов рыбы в объеме 50 кг/га. Для сохранения полученных результатов необходимо проводить контрольные выловы рыбы меньшего объема и/или поддерживать популяцию хищных рыб.

Другие методы, такие как перемешивание донных отложений (опробовано в 4 маленьких озерах), покрытие донных отложений (опробовано на 3 объектах по восстановлению), временное удаление воды из озера (2 озера), являются примерами мероприятий, осуществленных в последние годы в Финляндии с положительными результатами. Однако они единичны, и на сегодняшний день нет результатов мониторинговых исследований последствий их применения.

Эстония

В Эстонии пока нет ни одного примера тщательно спланированного и правильно реализованного проекта по восстановлению озер, несмотря на то что начиная с 70-х годов предпринималось несколько попыток. Основной целью первых экспериментов в этом направлении было увеличение популяции промысловых рыб. В 90-е годы приоритеты изменились и важным стало восстановление состояния озер в целом. Наиболее популярные методы – биоманипуляции, подъем уровня воды, удаление макрофитов, землечерпание и разные способы аэрации.

В оз. Вертсъярв (Võrtsjärv) были проведены работы, направленные на увеличение популяции промысловой рыбы. В оз. Харку (Harku), которое расположено в западной части города Таллина и имеет большое рекреационное значение, метод биоманипуляции был опробован в начале 90-х годов. Последним примером по использованию данного метода явля-

ется оз. Улемисте (Ülemiste), в котором массовый вылов карповых рыб был проведен в 2004–2006 гг.

Дания

В Дании осуществляется обширная национальная программа мониторинга водных объектов, запущенная в 1989 г., в которую включено около 1100 озер разного размера с различной частотой проводимых исследований. Первый проект по восстановлению состояния крупного водного объекта был проведен в Дании в течение 1986–1988 гг. на озере Вьенг (Vieng), расположенном в центральной Ютландии. После этого биологический метод был использован примерно на 50 озерах. Различные физико-химические способы применялись менее чем в 20 озерах. Наиболее популярным методом является биоманипуляция, или удаление из водоема видов рыб, питающихся планктоном, в основном плотвы и леща, с одновременным усилением популяций хищных видов иктиофауны, в основном щуки. При этом в водоемах с низким уровнем трофности наблюдается каскадный эффект, в результате которого происходит улучшение качества воды. Доказано, что этот метод очень эффективен, даже при низкой частоте использования.

Массовый вылов карповых рыб может быть проведен с применением невода, траловых или жаберных сетей, ловушек и/или электро-рыболовства. Для выбора метода необходимо провести исследование видового состава и распространения карповых рыб, а также морфометрических характеристик донных отложений. Кроме того, выбор метода должен основываться на эффективности лова с учетом затраченного времени и усилий.

Массовый вылов карповых рыб проводится после установления факта наличия большого количества как взрослых, так и молодых особей, которые не попадают в обычные сети. Предпосылкой его использования является изобилие взрослых особей карповых и высокая степень выживаемости молоди планктоноядных рыб. Для контроля популяции молоди карповых проводят выпуск мальков щуки (размером 0+, 20–50 мм) в больших объемах ($>0,1$ экз./м²), что также в долгосрочном периоде приводит к укреплению популяции хищных рыб в водоеме. Однако последний обзор данных по 47 озерам Дании показал, что общий эффект от этих мероприятий минимальный. Несмотря на это, увеличение популяции хищных рыб может рассматриваться как эффективный метод ее усиления с хорошим результатом в будущем.

В последнее время в Дании были апробированы новые методы восстановления озер.

Например, использование искусственных деревьев из пластика для создания условий укрытия мальков щуки, разведение окуня, использование специальных сетей для откладывания икры с целью регулирования численности леща и плотвы, применение ультразвука для разрушения фитопланктона и обработка воды озера на биологической станции очистки.

Германия

В Германии первые мероприятия на водосборе, такие как фильтрация сточных вод животноводческих ферм в место прямого сброса их в водоем, были применены в конце XIX века. Первый в мире канализационный коллектор для сбора сточных вод и предотвращения загрязнения водоема был построен вокруг оз. Тегерн (Tegern) в 1957–1960 гг.

Эко-технологические мероприятия для сохранения водоемов стали проводиться в Германии начиная с 60-х годов XX века. Первыми из них стали системы аэрации. Частично землечерпание было применено в 70-х годах, а удаление придонного слоя воды и преципитация биогенных элементов алюминием и железом – в 80-е годы. В 1990 г. в Германии были инициированы 30 программ по восстановлению экологического состояния относительно крупных водных объектов, в которых проводились следующие мероприятия: покрытие донных отложений (3), аэрация (7), землечерпание (9), преципитация биогенных элементов (6), удаление придонного слоя воды (4) и принудительная циркуляция (1).

Озера Тегель (Tegel) и Шляхтензее (Schlachtensee) являются хорошим примером успешного проведения мероприятий по восстановлению городских водных объектов. В этих двух озерах проблемы возникли в результате их многофункционального использования, в частности для рекреации, любительского и промышленного рыболовства, в качестве приемника сточных вод и источника водоснабжения. Кроме того, оз. Тегель использовалось для судоходства. В 70-х годах был разработан план восстановления озера. Успешная реализация плана в основном базировалась на использовании станций очистки от фосфора и дополнительных мерах, таких, как аэрация в оз. Тегель и удаление придонной воды в оз. Шляхтензее.

В Германии возможные методы восстановления озера постоянно совершенствуются и используются комплексно, например, землечерпание с одновременным перемешиванием донных отложений и аэрацией, преципитация фосфора с введением кальция и аэрацией, одновременное использование кальция и преципитация алюминием, покрытие донных отложений окисью железа и аэрация. Подготовлена специ-

альная компьютерная программа (SIMPL), помогающая выбрать соответствующий метод и подготовить план его реализации.

Венгрия

Планы и реализация мероприятий по восстановлению водных объектов базировались на «водосборном подходе» к проблеме еще задолго до рекомендаций Водной Рамочной Директивы. Управление водным объектом понималось в основном как деятельность, связанная с регулированием озера (регулирование уровня воды, котловиной озера, береговой линией, водных маршрутов) и сохранением качества воды (развитие системы канализации и очистки сточных вод, планирование и создание охранных зон и фильтрационных резервуаров и др.).

В Венгрии не было ранее и не существует в настоящее время единого унифицированного метода по восстановлению озера. На некоторых крупных озерах Венгрии для восстановления качества воды использовались локальные решения, такие, как землечерпание, окисление, удаление водной растительности.

Стабилизация колебаний уровня воды, снижение пиков как максимума, так и минимума является важным способом создания хорошего статуса водоемов типа озер в Венгрии. Прямой линейной зависимости между уровнем воды и инвазией водорослей не обнаружено. Однако значительное снижение уровня воды может уменьшить рекреационное значение озера и привести к его эвтрофированию.

В Венгрии разработано оборудование для землечерпания типа «вакуум-фильтр», позволяющее удалять донные отложения, толщиной 15–20 мм, наиболее обогащенные биогенными элементами. В настоящее время в связи с финансовыми затруднениями дальнейшее усовершенствование оборудования приостановлено. Другое инновационное оборудование – «кислородный» аэратор – является многофункциональным устройством. Он увеличивает концентрацию кислорода в воде, удаляет органические загрязняющие примеси путем их выпаривания при низкой температуре кипения (такие как аммоний и гидрокарбонаты) и снимает отрицательный эффект от стагнации водной массы путем ее медленного перемешивания.

В Венгрии инновации в области управления водными объектами и восстановления озера в первую очередь понимаются не как техническое решение вопроса, а как теоретические и методологические разработки для более эффективного достижения требуемого результата (например, попытки снизить биогенную нагрузку путем разработки нового водного законодательства, сети мониторинга, создание более

предпочтительных условий обитания для местных видов рыб и эффективный контроль).

В 1956 г. Венгрия и Австрия как страны-соседи подписали договор о сотрудничестве по управлению пограничными территориями и поверхностными и подземными водными объектами. Особым примером этого сотрудничества является управление пограничным озером Ферто/Неусиделерзее (Fertő/Neusiedlersee).

Великобритания

В Великобритании нет национальной программы по восстановлению увлажненных территорий, поэтому данная работа проводится в виде нескольких отдельных проектов. Для предотвращения эвтрофирования увлажненных территорий Агентство по окружающей среде разработало общую стратегию управления. Многие коррективные мероприятия осуществляются по агро-экологическим схемам.

В настоящее время в Великобритании используются следующие методы: удаление излишней биомассы водорослей, биоманипуляция, удаление макрофитов, дестратификация, землечерпание, снижение точечного и рассредоточенного загрязнения.

По проблеме эвтрофирования увлажненных территорий в Великобритании работает несколько исследовательских групп, которые проводят оценку точечного и рассредоточенного загрязнения, вторичного загрязнения из донных отложений и объемов общего поступления фосфора в речные системы.

Испания

В Испании в последнее время было начато несколько проектов по восстановлению эвтрофных озер и лагун. Наиболее часто используемые методы: контроль за внешним поступлением биогенных элементов от сельского хозяйства и населения, землечерпание, биоманипуляция и химическая преципитация фосфора солями алюминия и/или железа.

В 1993–2003 гг. проводились работы по проекту ЕС с целью восстановления увлажненных территорий лагун и прибрежной зоны с применением следующих методов: землечерпания в местах усиленного скопления органического загрязнения, перенос излишнего количества донных отложений в наиболее глубоководные зоны лагун и строительство природоохранных систем для снижения поступления загрязнения в лагуну.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В Водной Рамочной Директиве определены четкие цели по вопросам управления и восста-

новления водных объектов стран ЕС для создания хорошего экологического статуса поверхностных водоемов и подземных вод к 2015 г.

Ранее статус водных объектов определялся преимущественно на основе использования физико-химических показателей воды, однако, согласно Водной Рамочной Директиве, в настоящее время вводится широкий мониторинг водных объектов по биологическим параметрам с постоянным обновлением данных. При определении статуса водоема и последующих мероприятий по его восстановлению необходимо учитывать факт естественного эвтрофного или мезотрофного состояния водоема.

Процесс восстановления водных объектов требует взаимодействия нескольких заинтересованных сторон, наличия четких рекомендаций и инструкций, согласующихся с национальным законодательством, относительно охраны и управления водными ресурсами, активного и плодотворного обмена опытом на международном уровне.

Во всех странах-участниках международного проекта LakePromo имеется богатая теоретическая база проведения научных исследований для оценки состояния водных объектов и практический опыт по использованию различных методов восстановления экологического статуса поверхностных водоемов. Однако большинство этих методов разрабатывались по принципу «проб и ошибок» при отсутствии точной информации о их результатах на длительный последующий период времени. Необходим сбор дополнительной информации по возможности комплексного использования различных методов для достижения лучших результатов на различных типах водных объектов.

Механизм восстановления водоемов – очень длительный процесс. Проведение базовых исследований и планирование дальнейших мероприятий может занять 1–2 года. Непосредственное «восстановление» часто требует повтора мероприятий для достижения более стойких длительных результатов с последующим многолетним мониторингом. В связи с этим возникает ряд проблем, таких, как получение достаточного финансирования на несколько лет и вовлечение добровольных активных и осознающих пользу от своего труда помощников.

Постановка цели и задач восстановления водного объекта является очень ответственным моментом в работе, требующим учета интересов многих сторон, естественных особенностей каждого объекта, а также внешних независимо от участников процесса меняющихся условий, таких как климат.

ИВПС благодарит руководство проекта LakePromo за предоставленную возможность участия и четкое управление.

ЛИТЕРАТУРА

Federal Environmental Agency. Water body management and restoration procedures in Germany. Umweltbundesamt & Brandenburgische Universität Cottbus. 2006.

Lake Management and Restoration in LakePromo-countries / Ruokojärvi, Arja (ed.). Joint Summary Manual. Savonia University of Applied Sciences, Series D9/2006. Kuopio. 2006.

Lake Management and Restoration Practices in Hungary / Karacsonyi, Zoltan; Magyarics, Andras; Karacsonyi, Judit; Ibranyi, Andras; Szabo, Tiinde. University of Debrecen, Centre for Environmental Management and Policy. 2006.

Lake Management and Restoration procedures in Estonia / Tuvikene, Lea; Tuvikene, Arvo; Laas, Alo; Sarik, Diana & Jarvalt, Ain. Estonian University of life Sciences, Centre for limnology. 2006.

Lake Management and Restoration procedures in LakePromo-countries / Roquetas de Mar. Information package – Spain. Roquetas de Mar, Almeria-Spain. 2006.

Management and Restoration of lakes in Denmark. The County of North Jutland / Bramm, Mette; Christensen, Inge. 2006.

Teemu, Ulvi; Lakso, Esko (toim.). Ympäristöopas 114. Järvien kunnostus. Helsinki. Suomen Ympäristökeskus. 2005.

The Lakepromo Project Information Package on Lake Management and Restoration Practices in Finland / Tiilikainen, Satu (eds.). Savonia University of Applied Sciences, Engineering Kuopio. Series D 4/2006.

Wetland Restoration and Management: United Kingdom Information Package / Diston, Dave; Mitchell, Steve. University of Brighton, School of the Environment. 2006.

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ «ОЗЕРА КАРЕЛИИ»

В. В. Меншуткин*, Н. Н. Филатов**

* Санкт-Петербургский Экономико-математический институт РАН

** Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время ресурсы многочисленных озер России оценены весьма приблизительно, так как изучено менее 1% озерного фонда, который в нашей стране насчитывает более 2 млн озер. Таким образом, в связи с отсутствием или недостатком информации о ресурсах озер, главным образом биологических, требуется разработать новые эффективные методы и средства их изучения. Для условий недостатка или отсутствия данных предлагается разработка экспертной системы (ЭС) для озер, которая создается с использованием методов искусственного интеллекта с применением математического аппарата нечеткой логики. Разработка выполнена на примере наиболее изученного в России озерного региона – Карелии (Григорьев, Грицевская, 1959; Озера Карелии..., 1959; Китаев, 1994; Литвиненко и др., 1998; Современное состояние..., 1998; Каталог озер и рек Карелии, 2001; Водные ресурсы..., 2006).

Для разработки ЭС в Институте водных проблем Севера КарНЦ РАН создана база данных по морфометрии, гидрологии, гидрохимии и гидробиологии для 100 наиболее изученных озер. В эту базу вошла информация по 100 озерам, ранее описанным в справочнике «Озера Карелии...» (1959). На предварительном этапе создания ЭС была выполнена классификация озер методами многомерной статисти-

ки, факторного, кластерного и логико-информационного анализа с использованием метода многомерного шкалирования (Китаев, 2007; Меншуткин и др., 2008). С использованием экспертной системы определен трофический статус этих озер, и на конечном этапе применена ЭС для классификации озер Карелии. Разработанная методика может использоваться для более корректного, чем ранее, оценивания ресурсов озера, применяться как инструмент управления для охраны и рационального использования озер и их ресурсов.

Для разработки экспертной системы были созданы базы данных (БД) за «фоновый» период, когда озера были мало подвержены антропогенному влиянию, т. е. за 1940–1960-е годы, а также за 1970–2006 гг. Таким образом можно было проследить динамику изменения озерных систем. Собранная информация систематизировалась на основе структуры знаний о предметной области, которая отображает отношения между понятиями. Для широкого круга пользователей разработана электронная информационно-справочная система о водных объектах, которая создана на основе MapObject LT и реляционной СУБД.

Классификация озер Карелии осуществлялась неоднократно многими исследователями (Герд, 1956; Китаев, 1984; Лозовик и др., 2003) (рис. 1). Все классификации основывались на выделении какого-либо одного признака или группы сходных признаков. Характерная осо-