

УДК 556.55

НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗУЧЕНИЯ ОЗЕР

В. В. МЕНШУТКИН¹, Н. Н. ФИЛАТОВ²

¹ СПб ИЭМ РАН

² Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН

В работе рассматриваются вопросы развития науки об озерах – озероведения (лимнологии). Показано становление лимнологии, совершенствование теории и практики, формирование современной парадигмы развития научного знания от Фореля, Войекова, Верещагина до наших дней. Продемонстрировано, как формировалась и развивалась лимнология в историческом аспекте, каким образом менялись ее цели и задачи в зависимости от стоящих проблем, вызовов времени. Рассмотрены некоторые практические вопросы, связанные с изменением климата и воздействием этих изменений на здоровье, комфортность проживания населения, а также проблемы рационального использования, охраны, восстановления водных объектов в новых социально-экономических условиях. Сделаны предположения, что можно ожидать при углублении процесса глобализации, когда мир неузнаваемо изменится по сравнению с настоящим, когда встанут проблемы перераспределения ресурсов, в том числе и водных, и продажа воды даже на большие расстояния станет весьма актуальной. Показано, что это породит ряд не только научных, но и социально-экономических и политических проблем.

V. V. MENSHUTKIN, N. N. FILATOV. THE MAIN RESULTS AND PERSPECTIVES OF LIMNOLOGY

The article devote to development of limnology from XIX century till nowadays. It demonstrated development of theory and practice of limnology from period of first activities in limnology by founder of limnology professor Forel till now. In the article showed development of new technologies and applications of the achievements of science to limnology these are remote sensing, numerical modeling and others. Among the modern tasks are the investigation of impacts of regional and global changes to the water bodies and watersheds. The article addresses the contemporary problems of limnology, with special emphasis on the interactions between the aquatic and socio-economic environments and development of modern limnological paradigm.

Ключевые слова: лимнология, теория, практика, парадигма, моделирование, системный анализ, изменения климата, социоэкономические системы.

Недостаток пресной воды отмечается на территории, составляющей около 60% всей площади суши. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), примерно 1,2 млрд человек страдают от нехватки питьевой воды.

При углублении процесса глобализации к 2050–2100 гг. мир может неузнаваемо измениться по сравнению с настоящим, встанут проблемы перераспределения ресурсов, в том числе и водных, а продажа воды даже на

большие расстояния станет весьма актуальной. Положение еще более обострится с ростом населения и изменением климата. Роль пресных водных ресурсов, которые содержатся в озерах и являются одним из важнейших источников питьевой воды, будет все более возрастать. При этом вода не всегда является благом. В мире погибает несколько миллионов человек в год из-за явлений, происходящих на водоемах и реках, таких как наводнения, паводки, штормовые нагоны и другие. На ряде водных объектов отмечены экологические катастрофы, как, например, на Арале (Aladin, Plotnikov, 2003).

Как же будет реагировать на эти вызовы времени наука об озерах? Рассмотрим этот вопрос в историческом аспекте. Наука, изучающая озера, – озероведение, или лимнология, возникла в XIX в. Истории становления и развития лимнологии посвящены исследования многих ученых, и здесь мы лишь кратко остановимся на некоторых моментах. Основателем озероведения заслуженно считается швейцарский ученый Ф. А. Форель. Основы русской школы озероведения заложены работами Д. Н. Анучина, Л. С. Берга, А. И. Воейкова, Г. Ю. Верещагина, В. В. Молчанова, Б. Д. Зайкова, Б. Б. Богословского, С. Д. Муравейского, Л. Л. Россолова, М. А. Фортунатова, С. В. Калесника, В. В. Жакина, Г. И. Галазия, Г. Г. Винберга, М. М. Кожова и О. М. Кожовой, О. А. Алекина, А. Ф. Алимова, Г. Г. Мартинсона, А. В. Шнитникова. Из зарубежных ученых необходимо отметить, в первую очередь, А. Тинемана и Э. Наумана, которые более 80 лет назад в 1922 г. создали объединение ученых-лимнологов – лимнологическое общество, которое теперь называется Международной ассоциацией Теоретической и прикладной лимнологии («International Association of Theoretical and Applied Limnology» или «Societas Internationalis Limnologie – SIL»), и оно регулярно собирает вплоть до настоящего времени лимнологические съезды (конгрессами они стали называться с 1948 г.). Среди других известных зарубежных лимнологов отметим В. Роде, Х. Мортимера, Д. Хатчинсона, П. Хейненена, В. Оле, Э. Берджа, М. Страшкрабу, О. Иоергенссона, Р. Ветцеля и многих других.

Цели и задачи лимнологии менялись в зависимости от вызовов времени. Исследования озер на всех этапах истории обусловлены потребностями человеческого общества в их использовании. По мере развития общества расширяется использование природных ресурсов, в том числе и озер, при этом предъявляются все более высокие требования к их исследованию. Лимнология развивается в тесном контакте с рядом смежных наук: гидрологией, биологией, физикой, химией, геофизикой, геологией, метеорологией, математикой, информатикой, а в последние годы – и с развитием новых информационных технологий (интернет, геоинформационные системы, моделирование).

Начальный период формирования озероведения относится к 90-м годам XIX в., когда озероведение развивалось в связи с запросами рыболовства, водного транспорта и разработками соляных промыслов. Этот период развития не отличался систематичностью, исследования проводились попутно с географическими работами. Первые озерные наблюдения на водоемах в России были открыты в 1724 г. на Ладожском озере в связи со строительством Староладожских каналов, а также на Валдайских озерах. В XIX в. были открыты водоемы на Каспии, Селигере, Ильмене, Байкале, Севане, Саймаа, Великих Американских озерах.

Были организованы и специальные экспедиции для изучения озер, выявления возможностей их хозяйственного использования. Особенно интересны работы этого периода: Н. Я. Озерцовского «Путешествие по озерам Ладожскому, Онежскому» (1785), Н. Стабровского на Онежском озере (1854–1857 гг.), обнаружившего сейши. В 1859 г. вышла публикация «Главные озера и лиманы Российской Империи». Нельзя не упомянуть экспедицию А. П. Андреева на Ладожское озеро, в результате которой была написана фундаментальная монография «Ладожское озеро» (1892 г.).

В первый период развития лимнологии классическими были работы ее основателя Ф. А. Фореля на Женевском озере. Им же написана первая программа для исследований озер. Первые озерные станции в России были организованы в 1888 г. на Косинских озерах под Москвой. 1885 г. считают годом оформления лимнологии как самостоятельной отрасли науки на Международном географическом конгрессе в Лондоне, где Ф. А. Форель сформулировал ее цели и задачи. Крупный вклад в озероведение сделал русский ученый-географ, климатолог А. И. Воейков, который написал книгу «Климаты земного шара, в особенности России» (1884). Необходимо отметить комплексный географический характер исследований Л. С. Берга на Аральском море (1889–1902 гг.).

Со временем все больше возрастали запросы использования озер для рыбозаповедения, гидроэнергетики и регулирования стока. Этот период определяется открытием многих лимнологических станций в разных странах. В 1891 г. Московское общество любителей естествознания, антропологии и этнографии открыло первую русскую гидробиологическую пресноводную станцию на озере Глубоком (Московская губ.), а в 1896 г. профессор И. П. Бородин основал на Бологовском озере станцию, названную затем в его честь Бородинской. Эта станция была впоследствии перенесена на оз. Селигер. Особую роль в развитии динамического направления озероведения сыграли работы Е. А. Берджа (США), который впервые начал широко применять в озероведении методы,

развитые в океанологии. Ф. А. Форель, обобщив материалы многолетних наблюдений на Женевском озере, издал в 1891 г. фундаментальную монографию, а в 1901 г. – и руководство по лимнологии. Русский ученый Д. Н. Анучин написал книгу (1896) «Воды суши. Озера». В начале XX в. начались активные работы на многих озерах. Необходимо отметить исследования в Карелии, проводившиеся с 1919 г. Олонецкой экспедицией, Государственным гидрологическим институтом. В 20-х годах в Карелии работал Г. Ю. Верещагин. Особое развитие получили лимнологические исследования в связи с организацией в СССР Гидрометеослужбы. В 1921 г. был образован Гидрохимический институт в Новочеркасске. В 20–30-х годах были обобщены и опубликованы труды ГГИ в серии «Исследования озер СССР», а с 1931 г. проводится разработка водного кадастра. С развитием энергетики начались еще более широкие исследования озер. Упомянем здесь организацию в 1926 г. Севанского гидрометеобюро под руководством Л. К. Давыдова, в 1928 г. – Байкальской лимнологической станции под руководством Г. Ю. Верещагина, а в 1931 г. – Карельской научно-исследовательской рыбохозяйственной станции в Петрозаводске.

Следующий этап развития лимнологии характеризуется комплексностью гидрологических, гидрохимических и гидробиологических исследований.

В конце XX в. в лимнологии совершенно явно наметился кризис. Выразился он в том, что энергетическая парадигма, столь блистательно развитая во время Международной Биологической программы (IBP) 60-х годов, перестала удовлетворять тем все возрастающим по сложности и значимости проблемам, которые ставит перед наукой общество как на региональном, так и на государственном и глобальном уровне (Маргалеф, 1992; Моопу, 1998). За полстолетия основной фокус в лимнологии сместился от индивидуума и популяции к сообществам и экологическим системам. Практика поставила перед лимнологией грандиозную задачу оптимального управления экологическими системами (Underwood, 1998), для решения которой традиционные методы оказались недостаточными.

В дальнейшем изложении используются термины «лимнология XX в.» и «лимнология XXI в.», которые не следует понимать буквально, просто под первым термином понимается экологическая парадигма и практика экологических исследований, которая сложилась в 60–70-х годах XX в., а под вторым – черты того нового, что складывается в лимнологии настоящего времени и что, по мнению авторов, имеет надежду закрепиться в будущем.

Лимнология XX в. – это наука, которая продемонстрировала яркие, впечатляющие примеры. Так, для оз. Вашингтон (возле Сиэтла,

США) было показано, что озеро из крайне эвтрофного состояния может, при надлежащем воздействии человека, быть восстановлено и вернуться в олиготрофное состояние. И, наоборот, непринятие надлежащих мер привело к деградации огромного Аральского моря (Аладдин, 2003), и необратимые изменения в экологии оз. Севан (Армения) произошли тоже из-за интенсивного техногенного воздействия (Kondratyev, Filatov, 1999).

Лимнология XX в., несмотря на развитие продукционного направления, была наукой описательной. Алгоритм подавляющего большинства работ был таков: наблюдались некоторые факты в природе или в лабораторном эксперименте, иногда достаточно сложном, результаты наблюдений статистически обрабатывались, и все завершалось выводом эмпирической формулы в лучшем случае с оценкой доверительных интервалов. В разделе «обсуждение» обычно указывалось, чем полученные данные отличаются от данных других авторов на близкую или ту же тему.

Идеалом (правда, относительно редко реализуемым) лимнологии XX в. было использование длинных непрерывных временных рядов наблюдений. В изучении динамики популяций крупных водных животных (промысловых рыб) этот метод сыграл решающую роль и стал хрестоматийным. Например, выводы, полученные по данным относительно длинных рядов наблюдений численности тихоокеанских лососей (Меншуткин, 1993).

При таком подходе основным математическим инструментом в лимнологии и в экологии была теория вероятности, математическая статистика, а математическое моделирование с использованием аппарата дифференциальных уравнений было скорее экзотикой, а не рабочим инструментом исследователей.

Этот подход выглядел, в общем для того времени, убедительно, и в истинности описываемых фактов и полученных зависимостей сомнений обычно не возникало.

В лимнологии XX в. полагалось само собой разумеющимся, что чем больше будет получено данных о состоянии экосистемы, тем лучше. Особенно среди лимнологов-практиков бытовала мифическая вера в могущество статистических методов, которые помогут «вытащить» истину из больших массивов данных. Что это не так, первыми поняли сами же экологи-экспериментаторы, они и стали применять методы оптимального планирования эксперимента по примеру физиков и химиков (Налимов, 1983).

Но к тому времени практика уже давно перестала спрашивать у лимнологов, какой индекс биоразнообразия по Шеннону у того или иного планктонного или бентосного сообщества или какова продукция зоопланктона в данном озере (хотя сами по себе это далеко не простые и не надуманные экологические проблемы).

Итак, помимо описания отдельных фактов, лимнологи должны были обратить внимание на связи между элементами экологических систем и на исследование механизмов процессов на всех уровнях. Подобные идеи провозглашались достаточно давно (Верещагин, 1934; Фортунатов, Московский, 1970), но практическое их приложение продвигалось очень медленно.

Заметим, что ориентация на процессы, а не на отдельные факты – это отличительная черта объектного подхода, который находит все более широкое применение в экологических исследованиях в настоящее время (Henderson-Sellers, 2002).

Особую значимость при изучении озерных экологических систем приобретают не только причинно-следственные связи, но и взаимодействия, ибо именно взаимодействия формируют петли с отрицательной обратной связью, которые обеспечивают устойчивость и адаптивность водных экологических систем (Straskraba, 1995). Двух- или трехмерная пространственная структура рассматриваемых объектов и систем становится непременным атрибутом изучения экологических систем.

Лимнология XX в. – экология озер – продвигалась относительно небольшим числом ярких индивидуальностей при активном участии и содействии сформировавшихся в конце XX в. многочисленных коллективов лимнологов в созданных лабораториях и институтах, вокруг которых формировались научные школы специалистов одного профиля.

Только в последней трети XX в. лимнология стала рассматривать динамику своих элементов не только во времени, но и в пространстве. В области изучения водных экологических систем существенную роль стали играть эффекты пространственной неоднородности, пятнистости и трехмерной гидродинамической и гидробиологической структуры. Этому способствовало развитие средств аэро- и космического наблюдения, а также появление геоинформационных компьютерных систем, моделирования (Kondratyev, Filatov, 1999). На стыке экологии, географии и других наук о Земле появилась ландшафтная экология (Исаченко, 2003) со своими специфическими методами, включающими в себя, например, использование математического аппарата клеточных автоматов (Поспелов, 1986).

Основа лимнологии XX в. – это энергетический подход с оценкой баланса веществ и энергии (Винберг, 1968, 1981). Значимость этого подхода для понимания динамики экосистем несомненна и имела такой же фундаментальный смысл, как законы Ньютона в механике материальной точки или периодическая система элементов Менделеева в химии.

Однако развитие лимнологических знаний и особенно практика построения имитационных моделей показали, что знание энергетических зависимостей необходимо, но недостаточно

для адекватного описания динамики экологических систем. Действие таких факторов, как токсиканты, турбулентность, хеморецепция, не поддается объяснению в терминах энергетического баланса. Еще больше это относится к процессам, связанным с микроэволюцией, поведением животных, сукцессионными изменениями в растительных сообществах и пространственным распределением организмов.

Биоэнергетический подход необходим, но далеко не достаточен для решения экологических проблем XXI в.

Лимнология XXI в. – это, в первую очередь, экология озерных систем, причем смысл термина «система» надо понимать во всей его полноте и сложности (Флейшман, 1982). Философские основы такого подхода берут начало в учении о «процессах» и «сообществах» Уайтхеда (1990). Практика XXI в. потребовала от лимнологов знания не только того, как оценить, например, биоразнообразие природных сообществ, но и как его сохранить или изменить видовой состав в желаемом направлении. Не как измерить продукцию популяций зоопланктона или промысловых рыб (что, конечно, само по себе очень интересно), а сколько и как следует вылавливать рыбы, чтобы при получении максимальных выловов не только не подорвать промысловые запасы, но и не нарушить всю экологическую систему водоема.

Для решения подобных задач одних словесных описаний или анализа фактов мало, нужно понимание и описание процессов, происходящих в экологических системах.

Стремительное развитие информационных технологий и имитационного моделирования, в первую очередь, в сочетании с требованиями экологического прогнозирования сделало моделирование рабочим методом экологии. Достаточно сказать, что в журнале «Ecological Modelling» (см. Lhotka, Straskraba, 1987) за короткий срок его существования уже выпущено более 150 томов. Длинные временные ряды экологических данных стали не только объектом наблюдения, анализа (необходимость в этом не только не отпала, но и усилилась), но и объектом генерирования при помощи компьютерных моделей. Для решения лимнологических задач XXI в. компьютерное имитационное моделирование является одним из главных методических приемов. В связи с повышением интереса лимнологии к вероятностным процессам существенную роль начинает играть моделирование, основанное на имитации жизненных циклов отдельных особей (Uchmanski, Grimm, 1996).

В конце XX в. были отмечены резкая деградация, сильное антропогенное эвтрофирование ряда озерных экосистем. При этом экологические катастрофы были раньше и будут продолжаться, но дело экологической науки вовсе не констатация самого факта и не эмоциональ-

ное смакование этих катастроф (оставим это популяризаторам и «экологическим» журналистам), а создание таких экологических теорий, которые смогли бы если не предотвратить, то хотя бы предвидеть последствия таких катастроф и дать рекомендации по ликвидации их последствий.

Задача лимнологии XXI в. – это создание теории динамики экологических систем, способной к практическому прогнозированию не только в обычных, но и в экстремальных ситуациях. Представление о том, что экологические системы – это стохастические системы, идет еще от работ Ч. Дарвина, однако первыми дарвиновский подход усвоили генетики, а до лимнологии эти идеи дошли относительно не так давно. Между тем игнорировать микроэволюционные процессы в экологических прогнозах стало невозможным, а без стохастичности нет эволюции. Парадигма экологии XXI в. должна включать в себя представление о стохастичности экологических процессов.

Такой подход существенно меняет отношение к материалу лимнологических наблюдений, если при детерминированном подходе исследователей интересовала только средняя величина и среднеквадратическое отклонение, ошибка ее определения, то при стохастическом подходе важен весь вид функции распределения, который, как показала практика, очень редко имеет вид нормального распределения. Одними из первых результативность такого подхода поняли ихтиологи, которые установили, например, зависимость асимметрии распределения размеров рыб от трофических условий в водоеме.

С другой стороны, признание факта стохастичности озерных экологических систем существенно повышает требования к аппарату экологического прогнозирования и увеличивает значимость длинных рядов непрерывных наблюдений.

Приходится учитывать также принцип omnipotenti (Налимов, 1983), суть которого сводится к тому, что существуют факторы, которые вчера или сегодня не играют значимой роли в динамике той или иной экосистемы, но в будущем могут оказывать решающее воздействие на нее.

Типичной темой для лимнологической работы второй половины XX в. было выяснение антропогенного влияния на организмы, популяции, сообщества и экосистемы. Спектр этих влияний был достаточно широк – от загрязнений до промысловых изъятий.

Для решения проблем XXI в. такой подход оказался уже недостаточным. Нетронутых человеческим влиянием водных экосистем на Земле почти не осталось (даже озеро Восток в Антарктике), и человеческое общество стало неотъемлемой частью биосферы (ноосфера, по Вернадскому). Сегодня уже мало изучать влияние человека на экосистемы, требуется пере-

ход к изучению взаимодействия человека и природы. Это породило представление об эколого-экономических и даже социо-эколого-экономических системах. Экология стала составной частью региональной и мировой макроэкономики (Atkinson et al., 1997). В последние десятилетия интерес к проблеме управления экологическими системами значительно возрос (Walker, Cuff, 1988; Grant et al., 1997), от теоретических соображений исследователи начали переходить к вопросам оптимального управления конкретными природными водными объектами. К проблеме управления природными ресурсами обратились специалисты по макроэкономике (Atkinson et al., 1997). Можно вспомнить и применяемые подходы коллективов «Римского клуба» или Ренд корпорейшн. Результаты деятельности подобных коллективов с ясно поставленными целями заключаются в решении конкретной экологической задачи и подготовке сведений для лиц, принимающих решения. Задачу оптимального управления экосистемой озера можно представить как нахождение таких значений управляемых воздействий на экологическую систему (ψ), которые бы обеспечили при определенных неуправляемых воздействиях на экосистему (ϕ) достижение максимума некоторой функции эффективности (Ω) в течение достаточно длительного промежутка времени (Atkinson et al., 1997). При этом экологическое моделирование становится из абстрактного научного направления, каким оно было 20–30 лет назад, прикладной дисциплиной, без применения которой немислимо решение практических задач сохранения и использования природных ресурсов. Возрастает роль наблюдений (мониторинга) и целенаправленных научных исследований при подготовке задач управления озерной экосистемой. При рассмотрении проблемы управления природными ресурсами озера предполагалось, что состояние объекта управления полностью известно. Такая ситуация, пользуясь терминологией теории игр, называется игрой с природой при полной информации. Однако в лимнологической практике дело обстоит совсем не так. О состоянии управляемой экосистемы можно судить только по данным наблюдений, которые никогда не бывают полными и исчерпывающими. Более того, в описании экологической системы озера много величин, которые вообще не поддаются непосредственному измерению. Многие важные сведения для понимания функционирования озерной экосистемы и прогнозирования ее поведения обычно определяют на основе фундаментальных лимнологических исследований, и в первую очередь с использованием разных моделей.

В результате исследования модели можно получить не только сведения о состоянии характеристик, недоступных наблюдению, но и определить наиболее выгодный режим активного воздействия на систему. Таким образом,

эффективность использования экосистемы становится зависящей от степени адекватности отображения состояния и динамических характеристик эксплуатируемой экосистемы в созданной модели. В свою очередь, точность описания свойств реальной озерной экосистемы ее моделью зависит как от достоверности теоретических сведений, положенных в основу модели, так и от точности оперативной информации о состоянии реального озера.

Критерий эффективности системы управления экосистемой может быть записан как

$$E_1 = 1 - \text{ABS}(EO - E) / EO,$$

где E – эффективность использования экосистемы с применением модели с шумящими параметрами, которые соответствуют данному уровню затрат на мониторинг и фундаментальные исследования, EO – эффективность использования экосистемы с применением «абсолютно точной» модели, которая может быть получена при бесконечно больших вложениях в мониторинг и фундаментальные исследования. Оказалось, что увеличение затрат на фундаментальные исследования и мониторинг дает положительный эффект только до известного предела, и дальнейшее увеличение затрат принесит незначительные улучшения в данной конкретной ситуации. С другой стороны, для достижения высоких эффективностей управления экосистемами гораздо важнее вкладывать средства в фундаментальные исследования, нежели в усовершенствование мониторинга. Более того, достижение эффективного управления озерной экосистемой просто невозможно без некоторого порогового развития фундаментальных исследований даже при самом совершенном мониторинге.

Экологические системы в современном мире – это почти всегда эколого-экономические системы. В XXI в. лимнология – междисциплинарная наука, для решения задач которой необходимо создание коллективов специалистов различных дисциплин, объединенных не столько единым начальством, местом проведения исследования или средствами (например, экспедиционным судном), сколько единой идеей и задачей. Как показала практика последних лет, такие коллективы создаются из состава наиболее подготовленных специалистов, работающих, как правило, в разных организациях, а иногда и в разных странах. Наука в действительности становится более интернациональной.

В конце XX в. ряд обстоятельств привели к осознанию обществом необходимости нового отношения к своей среде обитания, к необходимости экономически оценивать нагрузку на природную среду, создаваемую в результате экономической деятельности общества, и как следствие – к необходимости наряду с правовыми и административными методами использовать экономические методы регулирования.

Ключевой вопрос управления системой: как регулировать процесс поступления загрязнений, как это сделать с использованием экономических механизмов. При использовании экономических механизмов важно знать основные цели: 1) улучшение состояния экосистемы водоема, выражающееся, например, в улучшении качества воды, или в увеличении концентрации кислорода в гипolimнионе, или в снижении первичной продукции фитопланктона и т. д.; 2) увеличение поступлений в экологические фонды; 3) сохранение экономической активности в бассейне озера; 4) сохранение или увеличение уровня налоговых поступлений от предприятий в бассейне озера и т. д. На основе моделирования для Ладожского озера, например, было показано, что при 4 и 6 тыс. т поступления фосфорсодержащих соединений в озеро не произойдет его эвтрофирование, а при дальнейшем увеличении начнется процесс, который приведет к изменению трофического уровня, ухудшению качества вод для питьевого водоснабжения, рыбы (Астраханцев и др., 2003).

Для решения проблем регулирования экосистем, внедрения экономических механизмов были разработаны такие определяющие понятия, как экономическая оценка природных ресурсов (ЭОПР), экономический ущерб от загрязнения природной среды (ЭУЗ), экономический и социальный оптимумы загрязнения (ЭОЗ и СОЗ). В работах К. Г. Гофмана и его единомышленников разработан подход к экономической оценке ассимиляционного потенциала (ЭОАП) природной среды.

Нельзя не упомянуть и о такой проблеме, как изменение климата и озера. Озера являются продуктом климата и чутко реагируют на его изменения. При этом сами озера, озерно-речные системы, увлажненность территории оказывают существенное влияние на формирование регионального климата. Наиболее важный, фундаментальный вопрос – какова причина заметных изменений климата, его потепления. Чем оно обусловлено: преобладающим влиянием антропогенного фактора или естественной изменчивостью – вот ключевой вопрос, на который пока исследователи не дали ответа. На примере богатейших данных и знаний об озерах можно попытаться ответить на него.

Новая экологическая парадигма еще не выработана и находится в стадии становления, причем усилия к этому прилагаются. История науки показывает, что теоретическое оформление новой парадигмы происходит обычно на завершающем этапе переходного периода от одной системы представлений о природе и методологии данной науки к следующей. Для лимнологии этот завершающий этап еще не наступил, но перечисленные тенденции свидетельствуют об интенсивном поиске новых форм и методов.

Предлагаемый краткий анализ состояния лимнологических знаний, дальнейших тенденций их развития ни в коей мере не претендует

на полноту, так, например, вне рассмотрения остались перспективы связи современной экологии с проблемой создания искусственного интеллекта, с глобальными и этическими проблемами поведения человека по отношению к окружающей среде и др. Однако сказанного достаточно для того, чтобы лимнологи, занимающиеся каждый собственной и, несомненно, нужной и актуальной проблемой, взглянули на пути развития науки несколько шире и дальше, чем это требует их повседневная научная и практическая деятельность. Таковы вызовы времени и такова необходимость смены парадигм.

Литература

- Аладин Н. В., 1993. Экологический кризис Аральского моря / Тр. Зоол. ин-та РАН. Т. 250. 190 с.
- Алимов А. Ф., Умнов А. А., 1997. Применение математической модели для исследования разнообразия биотических потоков в водоемах // Реакция озерных экосистем на изменение биотических и абиотических условий / А. Ф. Алимов, А. А. Бульон (ред.). (Тр. Зоол. ин-та РАН, т. 272.) СПб. С. 311–319.
- Астраханцев Г. П., Меншуткин В. В., Петрова Н. А., Руховец Л. А., 2003. Математическое моделирование крупных стратифицированных озер. СПб.: Наука. 320 с.
- Верещагин Г. Ю., 1934. Лимнология и ее главные задачи // Вестник АН СССР. № 3. С. 12–27.
- Винберг Г. Г. (ред.), 1968. Методы определения продукции водных животных. Минск. 212 с.
- Винберг Г. Г. (ред.), 1981. Основы изучения пресноводных экосистем. Л.: Наука. 172 с.
- Грачев М. А., Сергеева В. Н., Земская Е. И. и др., 1999. Перспективы использования банка знаний о Байкале для решения лимнологических задач // Сибирский экологический журнал. Т. 6, № 6. С. 551–598.
- Григорьев С. В., Грицевская Г. Л., 1959. Каталог озер Карелии. М.; Л.: Изд-во АН СССР. 237 с.
- Домбровский Ю. А., Ильичев В. Г., Селютин В. В., Сурков Ф. А., 1990. Теоретические и прикладные аспекты моделирования первичной продукции водоемов. Ростов н/Д: Изд-во Ростовского ун-та. 176 с.
- Ивлев В. С., 1977. Экспериментальная экология питания рыб. Киев: Наукова Думка. 272 с.
- Исаченко А. Г., 2003. Введение в экологическую географию. СПб.: СПбГУ. 192 с.
- Кофман А., 1982. Введение в теорию нечетких множеств. М.: Мир. 432 с.
- Кудерский Л. А., Румянцев Л. А., Драбкова В. Г., 2000. Экологическое состояние водной системы Онежское озеро – Ладожское озеро – река Нева – Финский залив в канун XXI века. СПб. 78 с.
- Маргалеф Р., 1992. Облик биосферы. М. 214 с.
- Меншуткин В. В., 1993. Имитационное моделирование водных экологических систем. Л.: Наука. 196 с.
- Меншуткин В. В., 2002. Компьютерное моделирование процесса эволюции рыб // Вопросы ихтиологии. 42 (4). С. 543–548.
- Моделирование Онежского озера для решения задач использования и сохранения его ресурсов, 2003. Ч. 1 / Ред. Л. А. Руховец, Н. Н. Филатов. СПб. 32 с.
- Налимов В. В., 1983. Анализ оснований экологического прогноза. Паттерн-анализ как ослабленный вариант прогноза // Человек и Биосфера. Вып. 8. М.: МГУ. С. 31–47.
- Пригожин И., 2001. Введение в термодинамику необратимых процессов. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». 160 с.
- Поспелов Д. А. (ред.), 1986. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. М.: Наука. 312 с.
- Россолимо Л. Л., 1977. Изменение лимнических систем под воздействием антропогенного фактора. М.: Наука. 165 с.
- Руховец Л. А., Астраханцев Г. П., Меншуткин В. В., Петрова Н. А., 2003. Комплекс моделей экосистемы Ладожского озера // Обзорные прикладной и промышленной математики. Т. 10, вып. 1. С. 39–62.
- Уайтхед А., 1990. Избранные работы по философии. М.: Прогресс. 720 с.
- Умнов А. А., 1997. Изучение стабильности экосистем при помощи их математических моделей // Реакция озерных экосистем на изменение биотических и абиотических условий / А. Ф. Алимов, А. А. Бульон (ред.). (Тр. Зоол. ин-та РАН, т. 272.) СПб. С. 303–310.
- Флейшман Б. С., 1982. Основы системологии. М.: Радио и Связь. 368 с.
- Фортунатов М. А., Московский Б. Д., 1970. Озера Ярославской области. Кадастровое описание и краткие лимнологические характеристики // Озера Ярославской области и перспективы их хозяйственного использования. Ярославль. С. 3–178.
- Хендерсон-Селлер Б., Маркланд Х., 1990. Умирающие озера. Л.: Гидрометиздат. 279 с.
- Эбелинг В., 1979. Образование структур при необратимых процессах. М.: Мир. 279 с.
- Aladin N. V., Plotnikov I. S., 2003. Changing of the biodiversity in the Caspian Sea during 20th century. Global Threats to Large Lakes. Chicago, USA. P. 77.
- Atkinson G., Dubourg R., Hamilton K. et al., 1997. Measuring of sustainable development. Macroeconomics and the environment. Edward Elgar, Lyme US. P. 252.
- DeBernardi R., Glussani G., 1999. Biomanipulation in Lakes and Reservoirs, Guidelines of Lake Management. Vol. 7. ILECF, Shiga. 182 p.
- Golterman H. L., 1974. Physiological Limnology. Amsterdam. 362 p.
- Grant W. E., Pedersen E. K., Marin S. L., 1997. Ecology and natural resource management, system analysis and simulation. N. Y.: J. Wiley & Son. 348 p.
- Guidelines of Lake Management, 1989. Vol. 1. Principles of Lake Management / Ed. S. E. Jorgensen, R. A. Vollenweider. Shiga, Japan: Pub. Of the International Lake Env. Committee Foundation. 200 p.
- Guidelines of Lake Management, 1997. Vol. 8. The World Lakes in Crisis / Ed. S. E. Jorgensen, S. Matsui. ILEC. Japan. 186 p.
- Hakanson L., R. Peter H., 1995. Predictive Limnology. Methods for predictive modelling. SAP Academy. 350 p.
- Henderson-Sellers B., 2002. The use of object technology in modelling aquatic systems // Verh. Internat. Verein. Limnol. Vol. 28 (8). P. 426–428.
- Hutchinson G. A., 1957. A Treatise on Limnology. Vol. I (Geography, Physics and Chemistry). New York; London.

- Jorgensen S. E., Halling B. S., Nielsen N. (ed.)*, 1995. Handbook of environment and ecological modelling. Lewins Pub. 620 p.
- Klekowski R., Menshutkin V. V.*, 2002. Modelowanie komputerowe w ekologii. KUL, Lublin. 178 p.
- Kondratyev K. Ya., Filatov N. N.*, 1999. Limnology and Remote sensing. A contemporary approach. London: Springer-Praxis. 406 p.
- Lauenroth W. K., Skogerboe G. U., Flug M. (eds.)*, 1983. Development in Enviroments Modelling, 5: Analysis of ecological systems: state-of-the-art in ecological modelling. Amsterdam: Elsevier Sci Publ.
- Lhotka L., Straskraba M.*, 1987. Combinatorial model of ecosystem dynamics // Ecological Modelling. Vol. 39, N 1-2. P. 181-200.
- Limnoogy Now. Paradigms of Planetary problems*, 1994 / Ed. Margalef. Elsevier.
- Mauersberger V. P.*, 1981. Entropie und freie Entalpie im aquatischen Oecosystem (Entropy and Free Enthalpy in an Aquatic Ecosystem) // Acta Hydrophysica. Vol. 26. P. 67-90.
- Mortimer C. H.*, 1979. Strategies for coupling data collection and analysis with dynamic modelling of lake motions // W. H. Graf & C. H. Mortimer (eds.). Hydrodynamics of lakes. Amsterdam: Elsevier Sci. Publ. P. 183-222.
- Scheffer M., Brock W. A., Westley F.*, 2000. Socioeconomic mechanism preventing optimum use of ecosystem: an interdisciplinary theoretical analysis // Ecosystems. Vol. 3. P. 451-471.
- Straskraba M.*, 1995. Cybernetic Theory of Ecosystems // A. Gnauck, A. Frischmuth and A. Kraft (eds.). Okosysteme. Modelling and Simulation. Eberhard Blotter Verlag, Taunusstein. Germany. P. 31-51.
- Uchmanski J., Grimm V.*, 1996. Individual-based modelling in ecology: what make the difference? // Trends in Ecol. & Evol. Vol. 10. P. 437-441.
- Underwood A. J.*, 1998. Relationships between ecological research and environmental managements // Landscape and Urban Planning. 40. P. 123-130.
- Vollenweider R. A.*, 1987. Scientific concepts and methodologies pertinent to lake reasearch and lake restoration // Swiss Journal of Hydrology. Vol. 49, N 2. P. 129-147.
- Walker H. D., Cuff W. R.*, 1988. Scientist, models and resourse managers // Modelling in support of resurse management. Memory Entom. Sos. Canada. Vol. 143. P. 11-17.