

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представляемой монографии нами рассмотрены 50 крупнейших озер мира (рис. 9.1), выделенных благодаря их значительным размерам, уникальности экосистем, а также благодаря социально-экономическому, рекреационному и эстетическому значению этих водоемов в жизни людей, проживающих на их берегах. Учитывая природное и социальное значение выбранных озер, мы позволили себе в данной книге именовать их «Великими». Согласно приводимым оценкам суммарный объем воды, содержащейся в рассматриваемых озерах, составляет 165595 км^3 (в том числе 81338 км^3 солоноватой и соленой и 84257 км^3 пресной). Данная величина, однако, не включает объем воды антарктического озера Восток, поскольку официальных оценок таковой на сегодняшний день не приводится. Основываясь на опубликованных данных сейсмического зондирования, можно предположить, что объем содержащейся в оз. Восток воды составляет от 5500 до 8000 км^3 (6500 км^3). Это позволяет отнести данное глубочайшее рифтовое озеро к крупнейшим озерам мира как по площади, так и по объему. С учетом данной приблизительной оценки, суммарный объем пресных вод Великих Озер мира составляет $90500 \pm 1500 \text{ км}^3$, а суммарный объем пресных, солоноватых и соленых вод - $172000 \pm 1500 \text{ км}^3$. Эти озера вмещают около $\frac{3}{4}$ вод, содержащихся во всех озерах мира, если принимать за основу суммарные величины озерных вод, приводимые в работе Wetzel (1975), в том числе 74% пресных и 78% солоноватых и соленых. Основная масса солоноватых вод сконцентрирована в Каспийском море, а основная масса пресных содержится в глубочайших рифтовых озерах – Байкале, Танганьике, Ньясе, Востоке и в Великих Американских Озерах (рис. 9.2). Вследствие разницы глубин (рис. 9.3) градация озер по величине площади их водного зеркала (рис. 9.4) существенно отличается от градации по объемам водных масс. При этом ряд озер, расположенных, прежде всего, в бассейнах крупнейших рек, может сильно варьировать по площади в различные периоды года. Примерами могут служить оз. Тонлесап, Бангвеулу и Донгтинг, которые при значительном разливе покрывают водой площадь, превышающую 10000 км^2 , тогда как в межень их размер не превосходит нескольких тысяч квадратных километров.

Необходимо отметить, что наибольшее количество озер на Земном шаре расположено в умеренной и субарктической зоне Северного полушария (севернее 50° с.ш.) и связано с деятельностью последнего четвертичного (Валдайского или Висконсинского) оледенения или находится в областях распространения многолетней мерзлоты. Наряду с огромным количеством малых и средних озер здесь расположено 17 крупнейших озер мира, рассматриваемых в данной книге. Несмотря на это, основная масса озерной воды приходится на широтную зону от 30 до 50° с.ш., где находится крупнейшее солоноватое озеро Земли – Каспийское море. Наряду с ним на севере этой широтной зоны расположены и Великие Американские Озера, приносящие в общий объем свою значительную долю пресной воды. Большие объемы воды содержатся в Великих Африканских озерах (в диапазоне 10 градусов от экватора), при этом общее количество озер в данной широтной зоне не велико. Значительное количество чистой пресной озерной воды находится также в широтной зоне $10-30^\circ$ ю.ш. и южнее южного полярного круга, под антарктическим ледниковым щитом.

Среди континентов наибольшим объемом озерных вод характеризуется Евразия. Только в Великих озерах здесь сконцентрировано 105856 км^3 воды, что составляет более 60% от объема воды во всех рассмотренных озерах. При этом 74% сосредоточено в Каспийском море, около 25% приходится на крупнейшие Азиатские озера и лишь около 1% – на Европейские. В крупнейших озерах Африки и Северной Америки сконцентрировано, соответственно, 18 и 16% от объема воды Великих озер мира (рис. 9.5), в Южно-Американских – менее 1%, в оз. Восток (Антарктида) – около 4%.

Глубочайшие озера Земли приурочены к рифтовым областям. В большинстве своем это древние водоемы, характеризующиеся богатой фауной, отличающиеся высоко прозрачными водами со слабой минерализацией. Суммарный объем воды, сконцентрированной в крупнейших озерах рифтовых областей, составляет 54293 км^3 или около $\frac{1}{3}$ от всего объема воды Великих озер мира (рис. 9.6). К рифтовым озерам относится также подледное оз. Восток, однако в силу его чрезвычайной специфики оно рассматривалось нами наряду с озерами высоких широт.



Рис. 9.1. Цифрами на карте обозначены озера: 1 – Байкал; 2 – Хубсугул; 3 – Виктория; 4 – Танганьика; 5 – Ньяса; 6 – Альберт; 7- Эдуард; 8 – Киву; 9 – Турхана; 10 – Каспий; 11 – Маракайбо; 12 – Никарагуа; 13 – Тонлесап; 14 – Донгтинг; 15 – Поянху; 16 – Тайху; 17 – Бангвеулу; 18 – Ханка; 19 – Верхнее; 20 – Гурон; 21 – Мичиган; 22 – Эри; 23 – Онтарио; 24 – Б. Медвежье; 25 – Б. Невольничье; 26 – Атабаска; 27 – Виннипег; 28 – Ладога; 29 – Онега; 30 – Сайма; 31 – Ильмень; 32 – Чудско-Псковское; 33 – Венерн; 34 – Веттерн; 35 – Меларен; 36 – Эльмарен; 37 – Б. Соленое; 38 – Эйр; 39 – Балхаш; 40 – Титикака; 41 – Цинхай; 42 – Иссык-Куль; 43 – Урмия; 44 – Вае; 45 – Севан; 46 – Таймыр; 47 – Имандра; 48 – Восток; 49 – Арал; 50 – Чад.

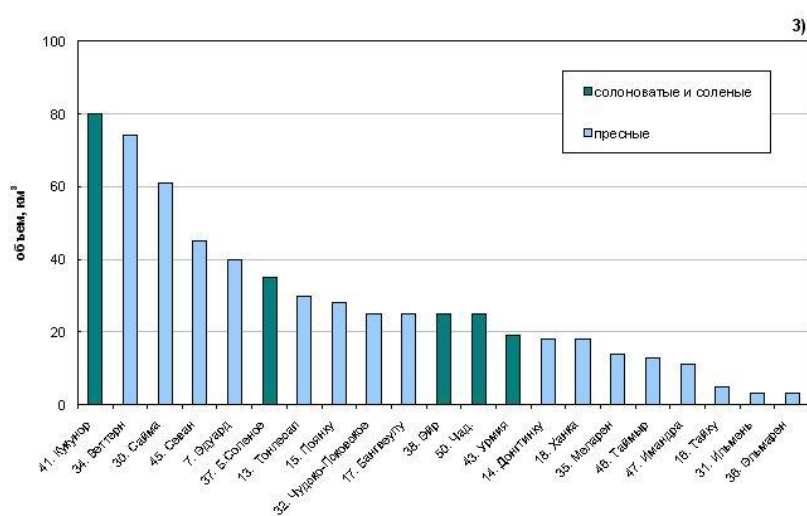
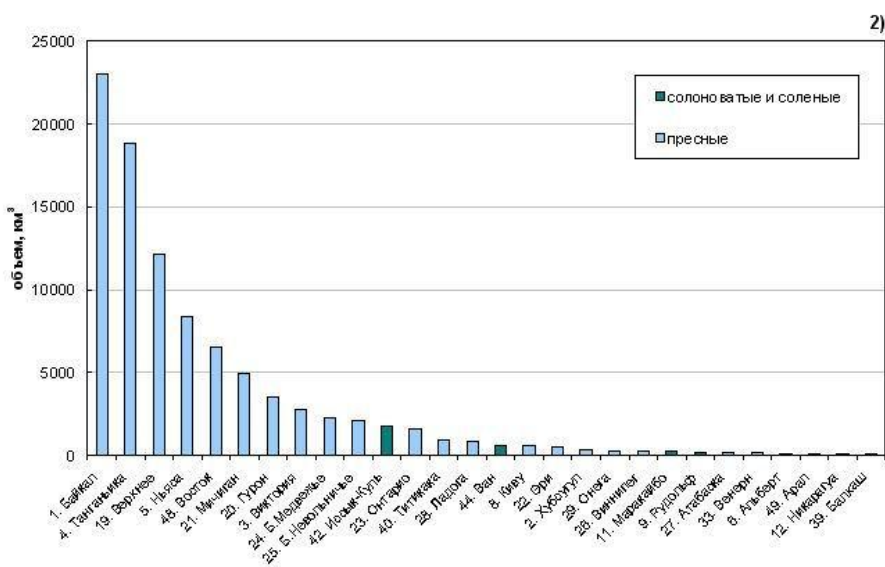
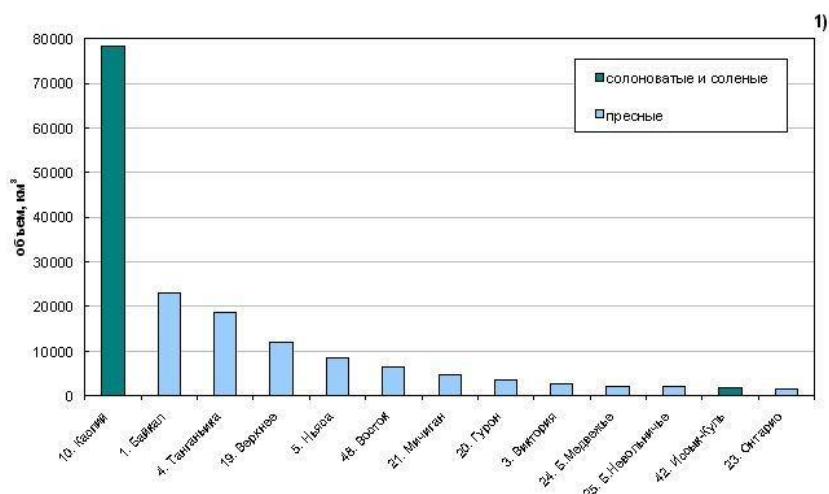


Рис. 9.2. Объем воды, содержащейся в Великих озерах мира. Озера: 1) – с объемами, превышающими 1000 км³; 2) с объемами, превышающими 100 км³ (без Каспийского моря); 3) – с объемами менее 100 км³. Цифры перед названием озера соответствуют его номеру на карте (рис. 9.1) и порядковому номеру в данной книге.

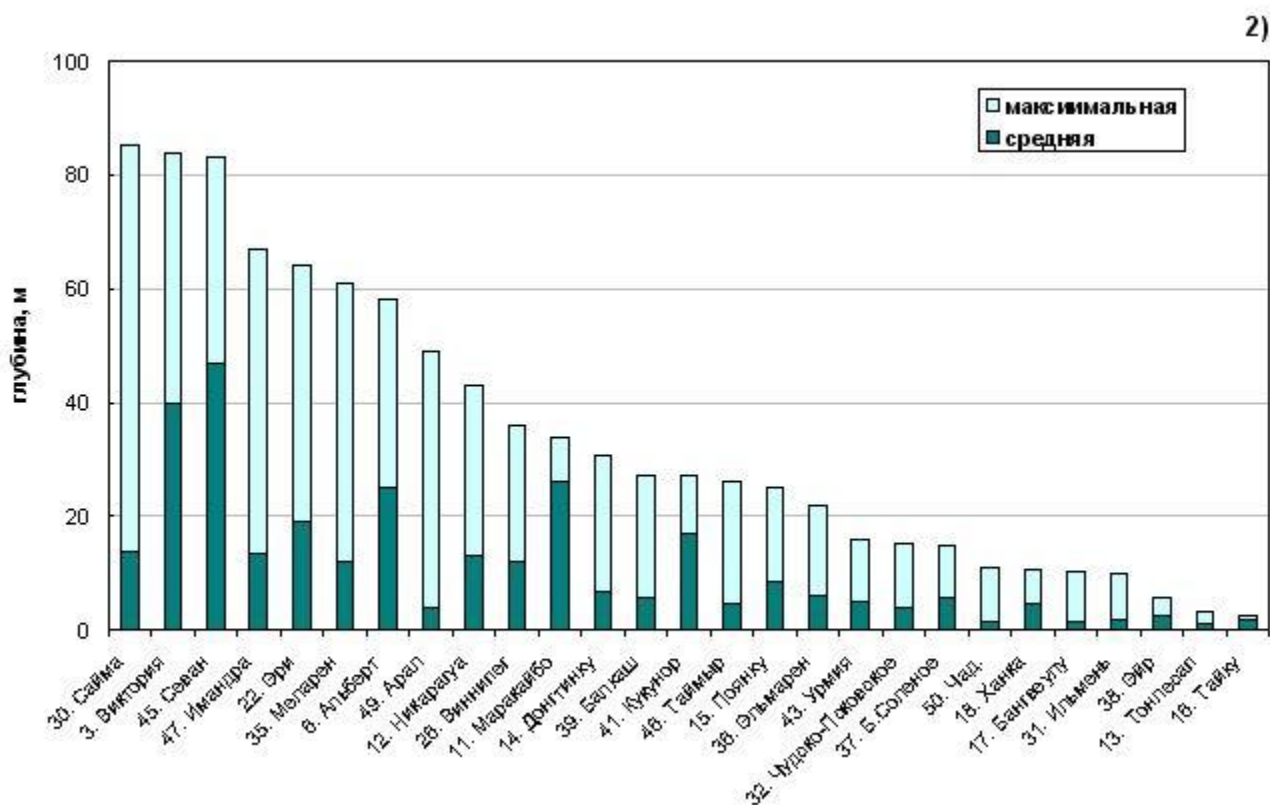
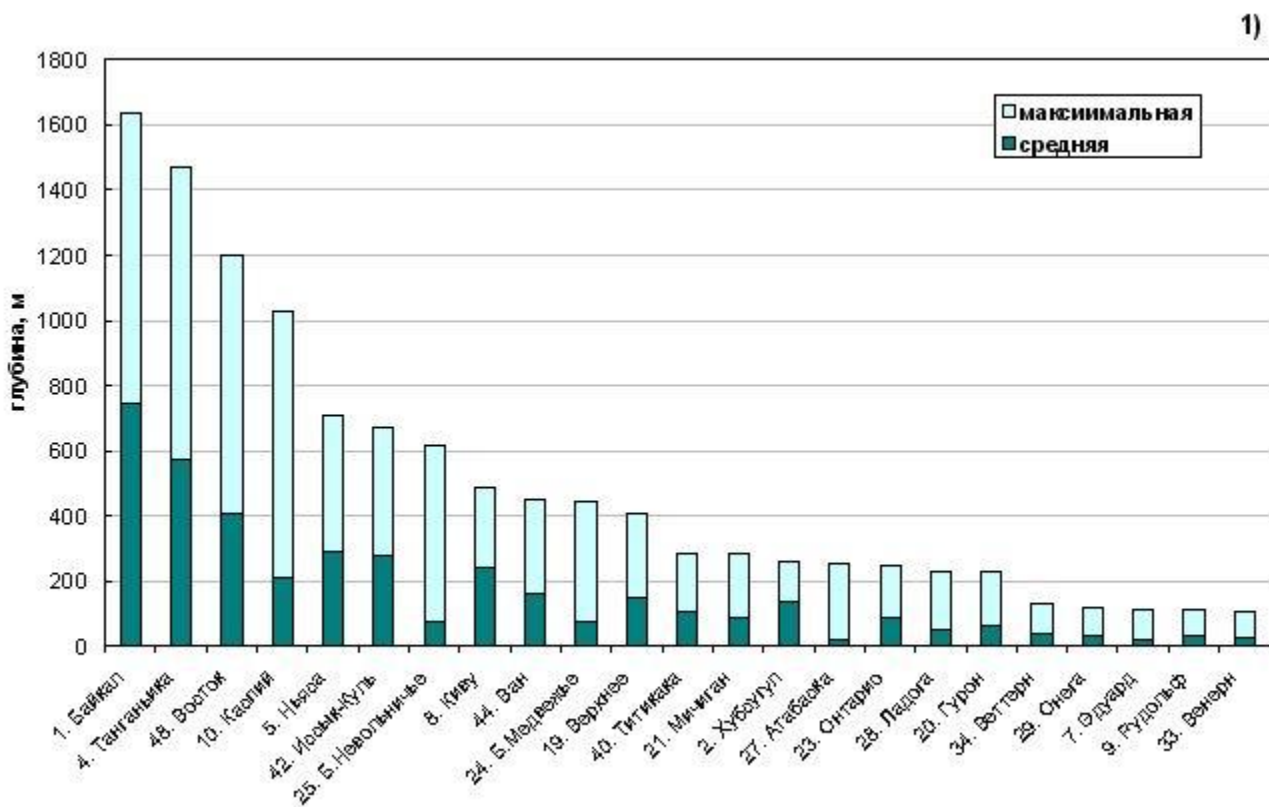


Рис. 9.3. Максимальная и средняя глубины Великих озер. Озера: 1) – с макс. глубинами, превышающими 100 м; 2) с макс. глубинами, менее 100 м.

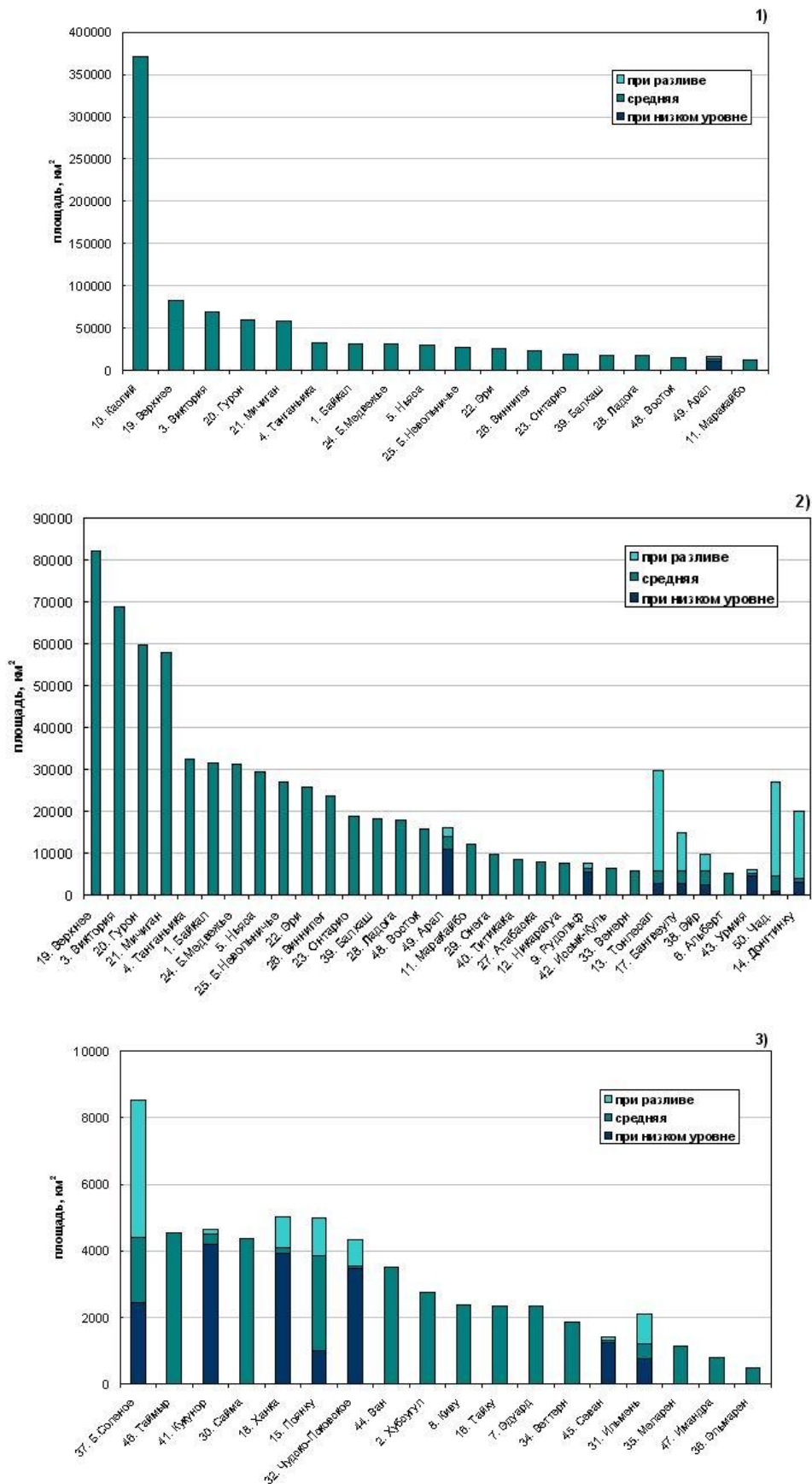


Рис. 9.4. Площади Великих озер. Озера: 1) – с площадями, превышающими 10000 км²; 2) с площадями, превышающими 5000 км² (без Каспийского моря); 3) – с площадями менее 5000 км²

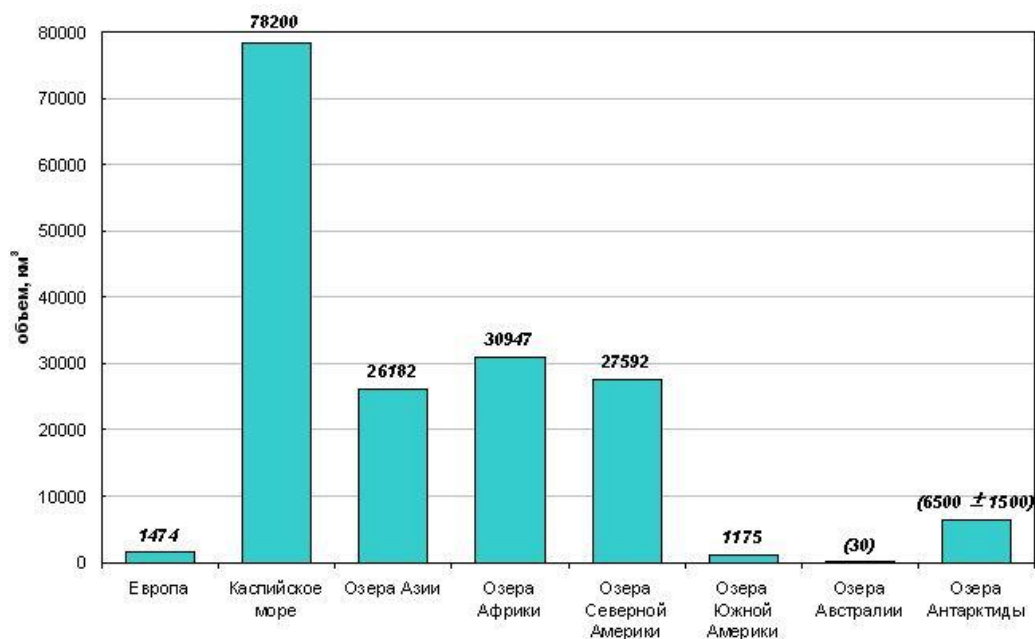


Рис. 9.5. Объем воды в Великих озерах по континентам. На рисунке приводятся приблизительные данные объема воды оз. Восток, объем воды в оз. Эйр (Австралия) приводится на период его заполнения.

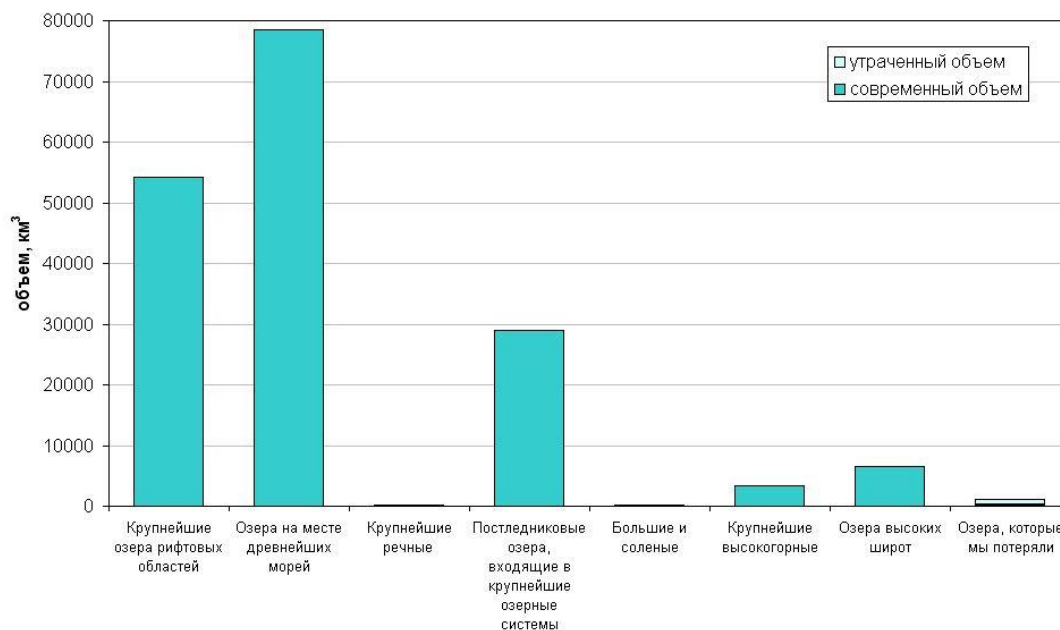


Рис. 9.6. Объем воды Великих озер по выделенным в данной монографии группам.

Большее чем в рифтовых озерах количество воды, содержится лишь в озерах, сформировавшихся на месте древнейших морей (78553 км³ или 45% от объема воды Великих озер мира). Основная масса этой воды (78200 км³) заключена в Каспийском море – остатке древнего моря Тетис. Два из трех крупнейших озер,

включенных в описываемую группу (Каспий и Маракайбо), содержат солоноватую воду и отличаются высоким уровнем естественной трофности. Третье озеро, Никарагуа, включено в данную группу условно, хоть оно и считается остатком древнего морского залива, оно характеризуется пресной водой со средним уровнем

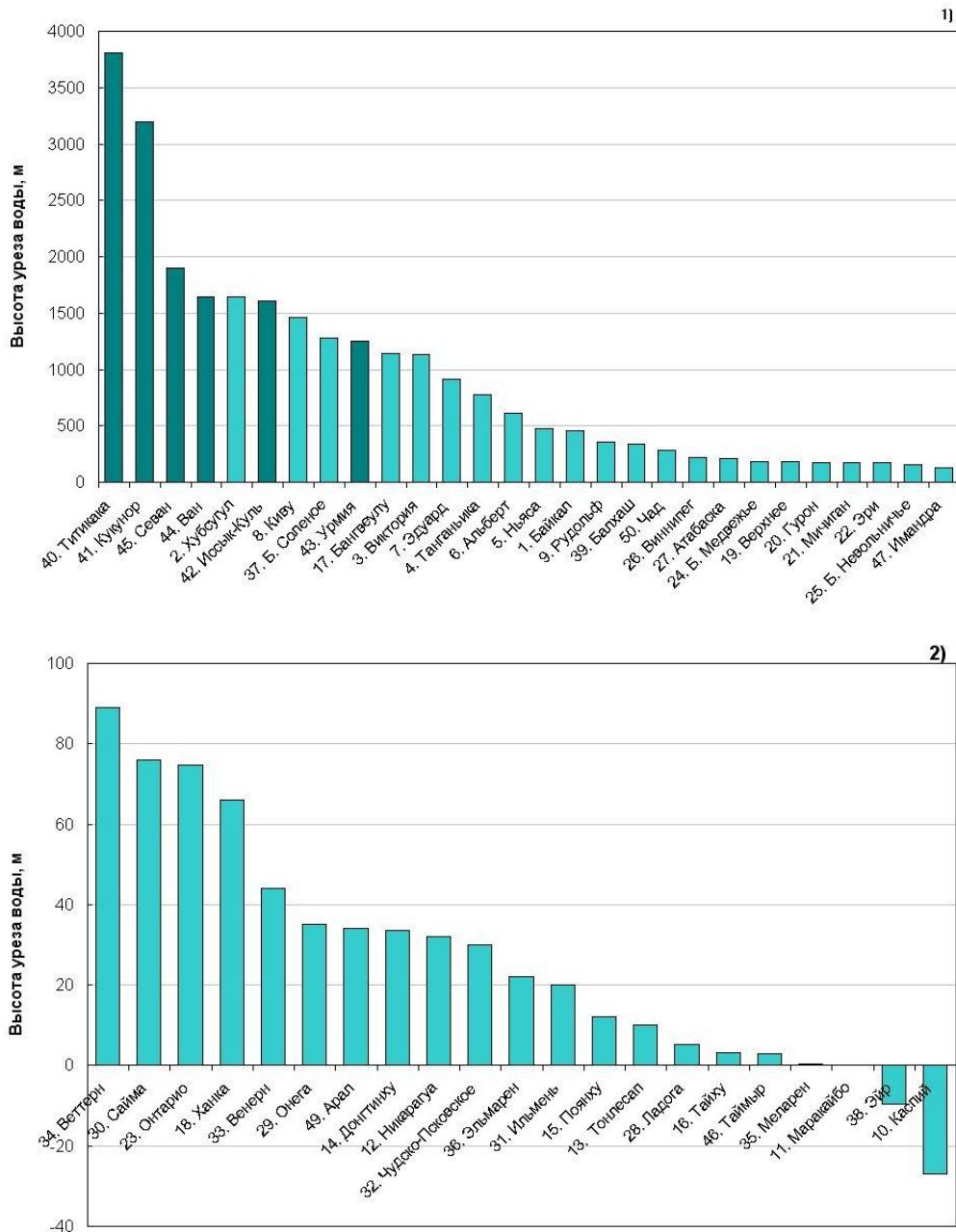


Рис. 9.7. Градация Великих озер по высоте уровня уреза воды. Озера: 1) – расположенные выше 100 м; 2) озера, расположенные ниже 100 м н.у.м.

естественной тропности.

Третьей группой по объему содержащейся воды (28912 км³ или 17% от объема воды Великих озер мира) являются постледниковые озера, оставшиеся на месте последнего четвертичного оледенения. Большинство крупнейших постледниковых озер являются результатом совместного действия ледников, переуглубивших существовавшие до этого дренажные системы ледниковым переплыванием, и подъ-

ема земной поверхности. Многие из них соединены между собой и входят в состав крупнейших озерных систем Земли. В данной монографии приводится информация по 18 наиболее крупным и известным постледниковым озерам. Кроме того, в умеренных широтах северного полушария на месте последнего оледенения расположено еще 32 пресноводных озера, с площадями зеркала, превышающими 1000 км², суммарный объем содержащейся в них воды составляет около 1100 км³. В естественном сос-

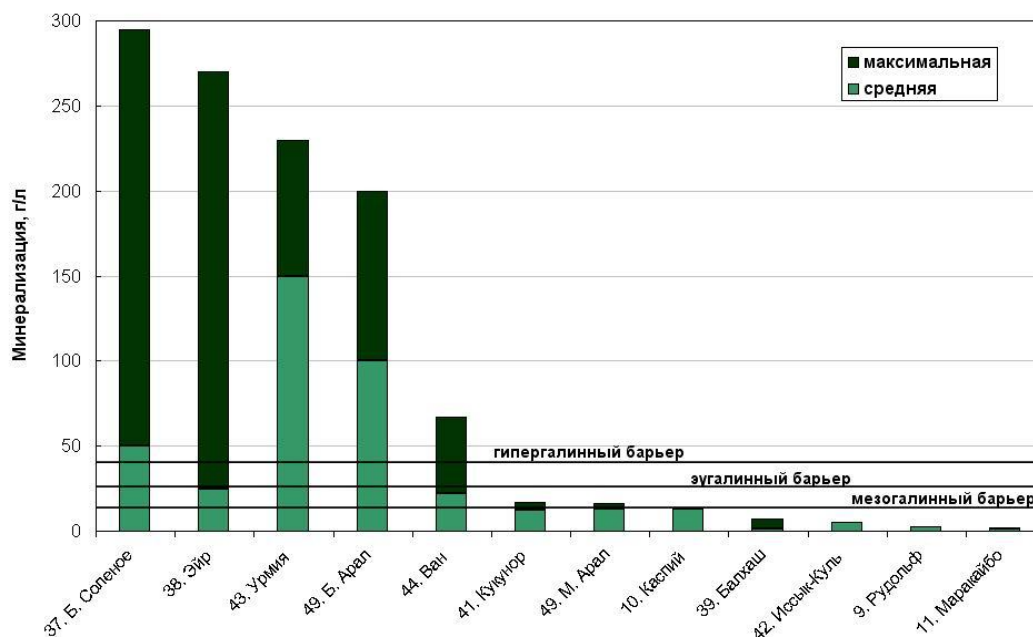


Рис. 9.8. Градация Великих озер по солености.

тоянии большинство постледниковых озер характеризовалось низким уровнем трофности, однако в силу высокого антропогенного давления, оказываемого на некоторые крупнейшие озера в течение XX в., они оказались значительно загрязнены.

Интересной группой являются крупнейшие речные озера. Они расположены в бассейнах крупнейших рек Земного шара и характеризуются значительными колебаниями своей площади, в зависимости от внутригодового режима питающей их реки. Как уже отмечалось выше, в периоды разлива они могут покрывать территории, превышающие 10000-15000 км². Практически все озера данной группы отличаются небольшими глубинами, а потому суммарный объем содержащейся в них воды невелик (всего 124 км³ или около 0.1% от общего объема воды Великих озер мира). В естественном состоянии большинство озер данной группы характеризовались средним уровнем трофности. Несмотря на то, что многие речные озера располагаются в густо населенных регионах Земли и испытывают на себе колоссальный антропогенный прессинг, их экологическое состояние в силу высоко промышленного режима остается относительно неплохим.

К группе высокогорных озер относятся водоемы, водное зеркало которых расположено на

высоте, превышающей 1200 м (рис. 9.7), со всех сторон они окружены горами, оказывающими значительное воздействие на климатические условия водосбора. В главе «Крупнейшие высокогорные озера» нами рассматриваются только шесть водоемов, два из которых пресноводные, два – солоноватоводные и два – соленые, однако наряду с этими водоемами к крупнейшим высокогорным озерам могут быть отнесены также рифтовые озера – Хубсугул и Киву и Большое Соленое озеро, приводимые в других главах книги. В озерах, рассматриваемых нами в данной группе, сконцентрировано 3388 км³ воды или около 2% от общего объема воды Великих озер. Поскольку большинство высокогорных озер является бессточными или слабо проточными для них характерна повышенная уязвимость к загрязнениям, даже несмотря на то, что горные водосборы обычно отличаются небольшой степенью заселенности и невысоким уровнем развития экономики и сельского хозяйства, сдерживаемыми природными факторами.

Среди 50 рассмотренных нами крупнейших озер мира 11 относятся к категории водоемов с повышенной степенью минерализации. При этом категория соленых озер включает четыре водоема плюс оставшееся после распада Аральского моря оз. Большой Арал, а категория солоноватоводных – 6 водоемов плюс Малый Арал (рис. 9.8). Большинство соленых озер

рассматривались нами наряду с пресными в соответствующих главах книги: в главе «Крупнейшие высокогорные» - оз. Ван, Урмия, Кукунор и Иссык-Куль, в главе «На месте древнейших морей» - оз. Каспий и Маракайбо, в главе «Крупнейшие рифтовые» - оз. Рудольф и в главе «Озера, которые мы потеряли» - оз. Арал. В главе «Большие и соленые» приводятся данные лишь по 3 озерам: наиболее минерализованным – Большому Соленому и Эйр, а также уникальному водоему, характеризующемуся смешанной минерализацией его разных частей – оз. Балхаш. Суммарный объем воды, содержащейся в этих трех озерах, составляет 171 км³. Для большинства солоноватых озер характерен повышенный уровень естественной трофности и многообразие животного мира. Чрезмерно высокая минерализация сдерживает развитие биоты, в связи с этим соленые озера характеризуются небогатым видовым составом. В годы повышенной водности, когда такие озера получают огромный приток пресных вод, их минерализация резко снижается, преодолевая гипергалинный барьер, в результате наблюдается расцвет водной флоры и фауны.

Отдельную главу книги нами была выделена группа озер высоких широт, включающая два арктических и одно антарктическое озеро. Количество крупных озер высоких широт, расположенных севернее полярного круга значительно больше, еще 8 озер имеют площади, превышающие 800 км², однако характерной особенностью большинства этих озер является низкая степень изученности. Рассматриваемые нами два российских озера – Таймыр и Имандра представляют уникальные экосистемы, изучением которых активно занимались отечественные ученые. Антарктическое оз. Восток, как уже отмечалось выше, крупнейший резервуар чистой воды на Земле. Несмотря на то, что сведений о нем пока очень мало, в силу его уникальности не включить его в число Великих Озер мира просто невозможно.

Последняя глава книги посвящена двум величайшим трагедиям XX века – озерам Арал и Чад, утратившим в силу чрезмерной антропогенной активности на их водосборах большую часть своей акватории. Сокращение площади Аральского моря на протяжении последних 50 лет составило около 50 тыс км², площадь оз. Чад примерно в это же время уменьшилась на 25 тыс км², при этом потери

воды в объемном выражении составляли 970 и 80 км³, соответственно. Если перспектива восстановления оз. Чад связывается с переброской воды р. Убанга (бассейн р. Конго) по р. Шари, что позволит не только наполнить озеро, но и обеспечить огромные потребности водопользователей на его водосборе, то Аральское море в его прежнем виде утрачено нами навсегда. Переброска Убангийских вод встречает положительный отклик не только у стран, расположенных в бассейне оз. Чад, но и в Демократической Республике Конго и Республике Конго, заинтересованных в развитии гидроэнергетики на своей территории. В тоже время, необходимое для восстановления Аральского моря снижение водозабора в странах его бассейна губительно для их экономики, а возникавшая ранее идея переброски в Арал стока северных Российских рек является нерентабельной и бессмысленной. Поэтому на сегодняшний день оптимистичные прогнозы связаны лишь с судьбой Малого Арала, сохранение которого признается одной из важнейших экологических задач Казахстана, тогда как перспективы сохранения водоемов, оставшихся на месте Большого Арала, весьма сомнительны.

ИЗМЕНЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА ВЕЛИКИХ ОЗЕР ЗА ПОСЛЕДНИЕ 50 ЛЕТ

Чрезмерная антропогенная активность, наблюдавшаяся на протяжении большей части XX в., привела не только к количественным потерям озерного фонда, но и значительно ухудшила качество воды большинства крупнейших озер мира. Собственно единственным нетронутым на сегодняшний день крупнейшим водоемом Земли является уникальное антарктическое оз. Восток. В связи с этим становятся понятна чрезвычайная озабоченность мирового научного сообщества, связанная с возможным завершением в летний сезон 2011-2012 гг. российскими учеными бурения скважины до поверхности озера. Все остальные Великие озера на протяжении второй половины XX в. в той или иной степени испытывали на себе антропогенный стресс. В том числе даже такие озера как Таймыр, Б. Медвежье, Хубсугул, Рудольф, Бангвеулу и Эйр, водосборы которых остаются на сегодняшний день наименее затронутыми хозяйственной активностью.

К основным последствиям антропогенной

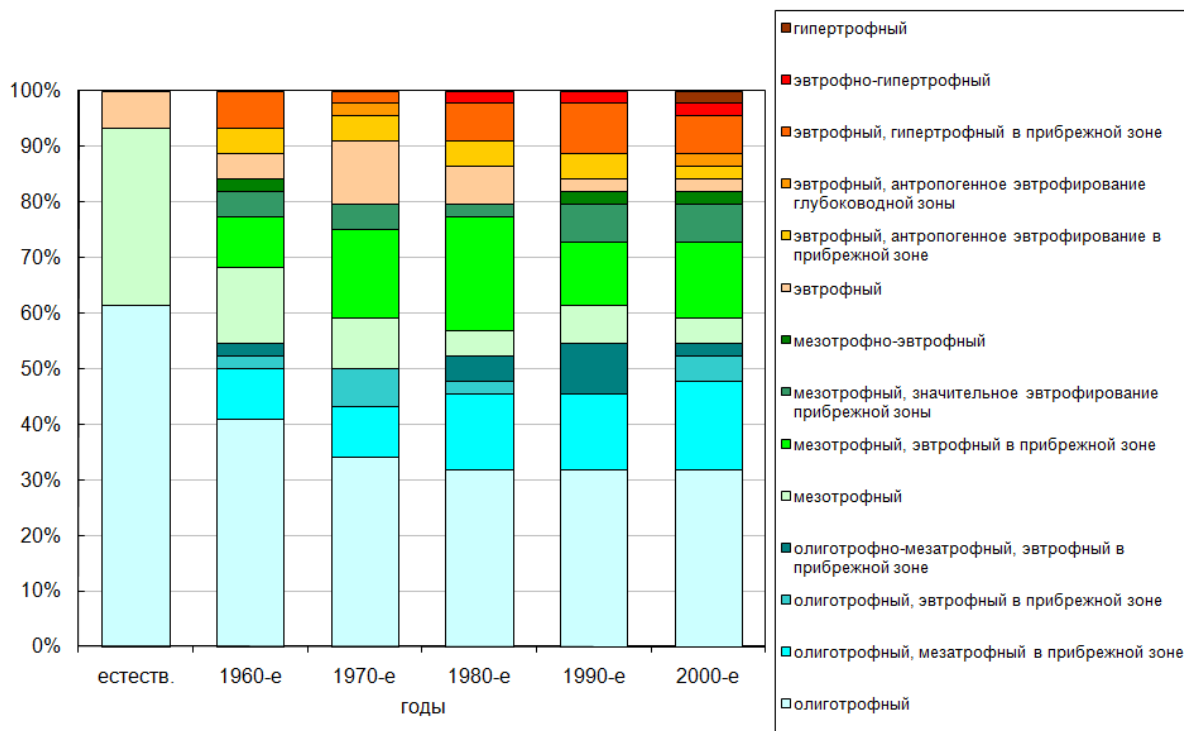


Рис. 9.9. Процент озер различной трофности среди Великих Озерх мира.

активности применительно к крупнейшим озерам мира относятся эвтрофирование, заиление и токсическое загрязнение. Процессы эвтрофирования и заиления водоемов характерны и в естественных условиях, однако их скорость значительно увеличивается за счет хозяйственной активности на водосборе, причем при высокой степени антропогенного воздействия темпы деградации некоторых водоемов становятся катастрофическими. В отличие от эвтрофирования и заиления процесс токсического загрязнения водоемов является исключительно результатом антропогенной деятельности. В силу особенностей подстилающих пород ряд токсичных элементов может встречаться и в природных водах, однако масштабного характера токсическое загрязнение достигло только с активным развитием промышленности. Еще одно последствие антропогенной активности – ацидификация на крупнейших озерах практически не проявляется, поскольку рассматриваемые водоемы характеризуются высокой степенью буферности.

Антропогенное эвтрофирование

Проблемы антропогенного эвтрофирования в той или иной мере затронули на сегодняшний день большинство крупнейших озер мира. На

рис. 9.9 приведено процентное соотношение Великих озер мира различной трофности, рассчитанное за период 1960 – 2010 гг., а также их естественная трофность. На рис. 9.10 представлен трофический статус их водных масс, в объемном выражении. Поскольку чуть менее половины всех вод, содержащихся в крупнейших озерах, заключено в Каспийском море, на рис. 9.11 отдельно приводится трофический статус водных масс, содержащихся в пресноводных озерах.

Наиболее быстро процессы антропогенного эвтрофирования происходили в мелководных водоемах, как тропических широт, так и умеренной зоны. В тропических озерах они еще более усиливались постоянно высокими температурами, способствующими быстрому протеканию биологических процессов. Среди рассмотренных нами крупнейших водоемов мира в результате антропогенного воздействия эвтрофно-гипертрофный статус к началу XXI в. приобрели оз. Тайху (ср. глубина около 2 м) и часть Чудско-Псковского озерного комплекса (ср. глубина около 4 м). Гипертрофного статуса к концу XX в. достигли и более глубокие озера, находящиеся под значительным антропогенным прессом, среди них - оз. Альберт (ср. глубина 25 м), оз. Маракайбо (глубина 26 м), оз. Виктория (ср. глубина 40 м). Существенное

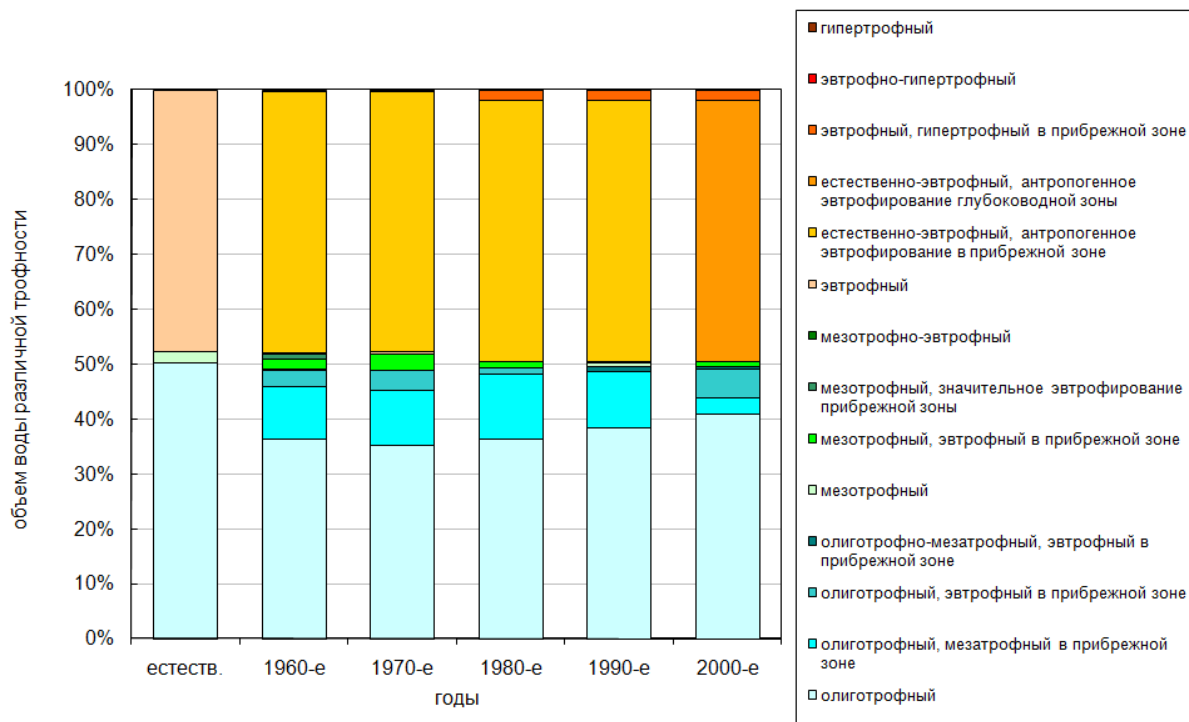


Рис. 9.10. Трофический статус водных масс Великих озер.

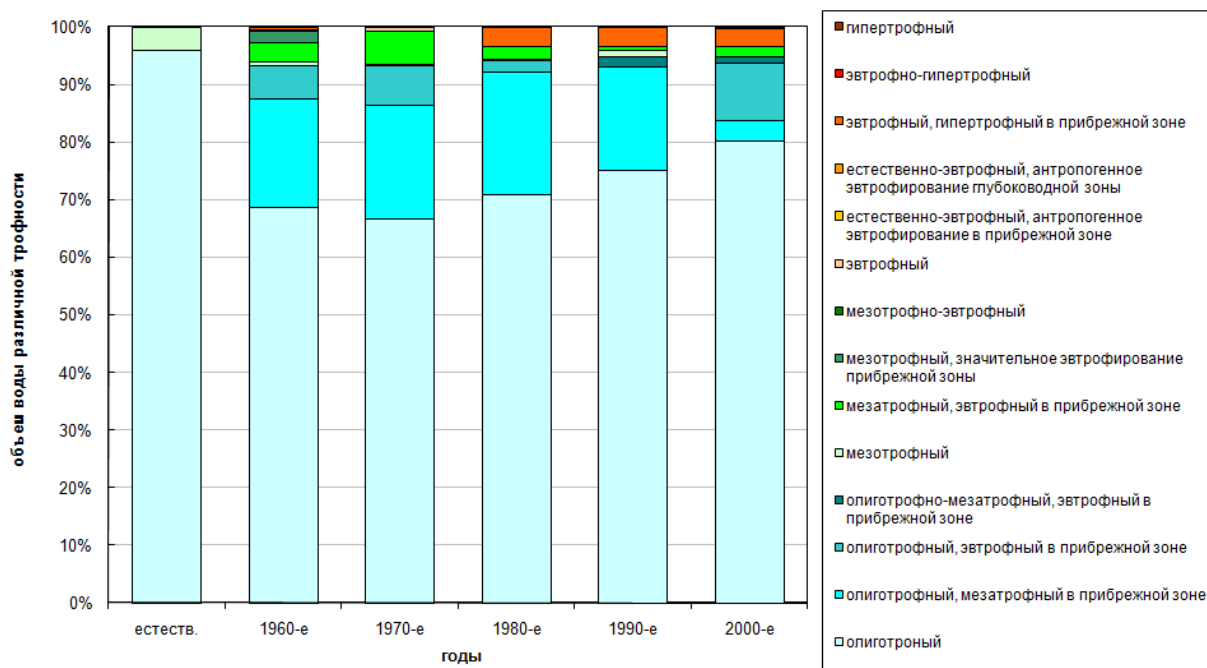


Рис. 9.11. Трофический статус водных масс пресноводных Великих озер.

эвтрофирование наблюдалось также на самом крупном внутреннем водоеме – Каспийском море, характеризующемся естественно-эвтрофным статусом. Причем если на протяжении второй половины XX в. антропогенное эвтрофирование захватывало лишь прибреж-

ную зону этого озера, то на рубеже XX и XXI в. оно перекинулось и на глубоководную зону (рис. 9.10). В 1960-70-е гг. эвтрофно-гипертрофного статуса достигало и наиболее мелкое из Великих Озер – Эри (ср. глубина 19 м). С конца 1970-х гг. в результате принятых прави-

тельствами США и Канады мер, состояние оз. Эри начало улучшаться. Согласно данным Конференции по Великим Озерам, прошедшей в 2003 г. Западный бассейн оз. Эри возвращается к олиготрофному состоянию, хоть его фитопланктонное сообщество пока еще по своему видовому составу отвечает характеру мезотрофного водоема.

Связанное с антропогенным фактором эвтрофирование наблюдалась также в мелководных китайских озерах Донгтингху и Поянху (ср. глубины 6.7 и 8.4 м). Однако, поскольку оба озера расположены в бассейне крупнейшей р. Янцзы, и являются в этой связи высокопроточными, они по большей части своей акватории оставались мезотрофными, несмотря на высокую степень заселенности водосбора (плотность населения на водосборе – 60 и 270 чел/км²) и активное развитие здесь сельского хозяйства. Резкое повышение трофности на озерах наблюдалось в годы низкой водности. Так, значительное ухудшение качества воды отмечалось в 2000-е гг., и было связано с завершением строительства выше по течению р. Янцзы дамбы «Три Ущелья» и с заполнением созданного водохранилища полезной ёмкостью 22 км³, в результате чего сток по Янцзы был резко сокращен.

В больших глубоководных озерах, содержащих огромные массы воды, процессы эвтрофирования проявлялись преимущественно локально, затрагивая мелководную зону. Слабая степень антропогенного эвтрофирования наблюдалось на озерах, водосборы которых населены сравнительно мало (оз. Байкал, Хубсугул), а также на наиболее глубоких Великих Озерах, где начавшийся процесс ухудшения качества воды был достаточно быстро приостановлен благодаря своевременному принятию мер. Небольшое эвтрофирование, охватывающее в основном прибрежную зону, наблюдалось и на глубочайших Великих Африканских озерах - Танганьике, Ньяса и Киву, в бассейнах которых плотность населения очень высокая, а обработка сточных вод практически не производится. Огромные массы воды этих озер и высокая скорость процессов самоочищения уменьшают негативные последствия антропогенного воздействия.

Благодаря тому, что именно в глубочайших озерах сосредоточена основная масса пресной воды, суммарная величина олиготрофных вод, содержащихся в Великих озерах, достаточно

велика и составляет на уровень 2000-х гг. около 80% суммарного объема воды крупнейших пресноводных озер мира (рис. 9.11). За последние десятилетия эта величина даже увеличилась, благодаря улучшению состояния Великих Американских Озер и крупнейших озер Швеции. В естественном состоянии доля олиготрофных вод составляла 96%.

Обсуждая вопросы антропогенного эвтрофирования водоемов, расположенных в различных регионах мира, необходимо отметить, что наиболее жесткие последствия этот процесс имеет в тропических странах, характеризующихся:

- высокими температурами, способствующими быстрому развитию биоты;
- значительными осадками, определяющими высокие нормы вымывания биогенного вещества;
- высокой плотностью населения, увеличивающей степень антропогенного прессинга на природные ресурсы;
- отсутствием должного экологического законодательства и соответствующих институтов, что не позволяет своевременно реагировать на возникающие проблемы;
- низким уровнем экономического развития, в силу которого для принятия адекватных мер не хватает средств.

Интересно, что в экономически слабо развитых странах наиболее сложным, по всей видимости, является снижение биогенных стоков, имеющих коммунальное происхождение, при этом именно коммунальные стоки представляют наибольшую опасность, являясь источником возникновения различного рода эпидемий. Первым условием для принятия действенных мер по снижению биогенного притока с коммунальными стоками является строительство систем канализации, а вслед за ними систем очистки коммунальных стоков, что требует значительных финансовых вложений. Повальная бедность, примитивное жилье, очень высокие темпы прироста населения, отсутствие систем контроля и скоординированных действий различных организаций не позволяют охватить системами канализации даже уже построенное жилье, не говоря о постоянно возникающих новых поселениях.

Из-за быстрого роста городов, существующие системы канализации не справляются с постоянно растущим объемом стоков, часто происходит их прорыв и перелив сточных вод. Кроме того, во время ливней часть нечистот попадает в грунтовые воды и в плохо защищенные колодцы, используемые для питьевого водоснабжения. Даже при наличии целевого международного финансирования, направленного на строительство очистных систем, осуществить должную очистку коммунальных стоков обычно не удается. Большинство вводимых в эксплуатацию систем практически сразу не успевает справиться с очисткой постоянно увеличивающегося объема стоков, выходят из строя и не работают по несколько месяцев.

Необходимо признать, что решение задачи по сокращению биогенного притока в озера с коммунальными стоками в большинстве африканских и ряде азиатских стран на ближайшее время мало вероятно. Одним из направлений международного финансирования, осуществляемого с целью улучшения экологического состояния крупнейших озер тропической зоны, является в последнее время борьба с нищетой населения, проживаемого в их бассейнах, поскольку уже имеющийся опыт в этом направлении показал, что без решения проблемы нищеты решение других вопросов практически невозможно.

Проблемы снижения биогенной нагрузки на водоемы, расположенные в умеренной зоне решаются значительно более успешно, особенно в странах с высоко развитой экономикой. Основная биогенная нагрузка на водоемы умеренной зоны обычно происходит за счет сельскохозяйственных стоков, и вызывается активным использованием на водосборе удобрений, направленным на повышение урожайности выращиваемых культур. Доля коммунальных стоков в дополнительном привносе в водоем биогенного вещества существенно ниже. Вошедшее уже в норму с 70-80-х гг. XX в. жесткое ограничение биогенного притока при строгом соблюдении выработанных нормативов и неуклонном соблюдении законодательства обычно приводят к хорошим результатам и улучшению экологического состояния озер, даже тех из них, на которых в 1960-70 е гг. наблюдалось значительное повышение уровня трофности. Скорость реолиготрофикации зависит при этом не только от масштаба принятых мер, но и от специфических особенностей самого водоема,

то есть от его природной способности к самоочищению. Для мелководных и слабо проточных водоемов характерна замедленная реакция на предпринимаемые водоохранные меры, связанная с накоплением в их донных отложениях огромных объемов биогенных веществ, являющихся в дальнейшем их поставщиком обратно в воду. Восстановление таких водоемов представляет собой более сложную задачу.

Ускоряющееся заиление водоемов

Наряду с эвтрофированием, важнейшей проблемой современной лимнологии является ускорение процессов заиления озер, вызванное антропогенной деятельностью. Особо серьезный характер процессы заиления также носят в тропических и субтропических широтах, где, в последние десятилетия, они порой достигают колоссальных размеров. Горный рельеф, обилие осадков, мягкие, легко размываемые почвы способствуют значительной эрозии и поверхностному смыву, резко увеличивающимися по мере сведения лесов и их замещения сельскохозяйственными землями. Необходимо отметить тот факт, что нормы вымывания при сведении тропических лесов в сравнении с лесами умеренной зоны существенно выше. В результате вместе с почвенным покровом в водоемы поступает и огромное количество биогенного вещества, которое более не используется древесной растительностью. Ситуация с заилением усугубляется также слабой сельскохозяйственной практикой, характерной для развивающихся стран тропической зоны. К особо серьезным последствиям приводит сведение деревьев на крутых склонах и в непосредственной близости к водоемам.

На сегодняшний день заиление, вызванное антропогенной деятельностью, в той или иной степени испытывает на себе большинство крупнейших озер Африки, Латинской Америки и тропической Азии. Среди наиболее пострадавших водоемов Африки – озера Виктория, Танганьика, Ньяса, Киву, Турхана. Негативное проявление заиления особенно заметно в приустьевых участках этих водоемов. Происходящее вдоль побережья быстрое осадконакопление угрожает биологическому разнообразию прибрежной зоны, приводит к уменьшению привычных сред обитания и нарушает существующие здесь биотопы. Кроме того, привносимые в озеро частицы почв, содержат значительное количество биогенного матери-

ала, ускоряя процессы эвтрофирования прибрежной зоны. Прогрессирующее заиливание африканских озер – процесс, проявляющий себя относительно недавно, лишь с конца XX века, и пока еще не нашедший никакого практического решения. На Американском континенте наблюдается усилившееся заиливание озер Никарагуа и Танганьика.

Большинство крупнейших тропических озер юго-восточной Азии имеет речное происхождение, процессы седиментации в таких озерах происходят иначе, чем в слабо проточных. Так, на оз. Тонлесап, несмотря на значительные масштабы сведения лесов в его бассейне и связанную с ним деградацию почвенного покрова, темпы седиментации увеличились незначительно. Большая часть привносимого ила оседала не в озере, а на затопляемых землях, где использовалась растительностью, таким образом, угроза заиливания водоема была не столь велика, напротив, ил являлся важной частью озерной экосистемы, обеспечивающей питательную среду. Схожая отчасти картина наблюдалась и на крупнейших озерах, расположенных в бассейне р. Янцзы. Осадконакопление является одной из важнейших проблем этих озер, однако его скорость была не настолько велика, как можно было бы ожидать, поскольку значительная часть наносов уносилась рекой вниз. В тоже время, возросшее за XX век заиливание, часто приводило к исчезновению небольших озер, расположенных в бассейне Янцзы. По мере сокращения объема крупнейших озер, количество исчезающих озер-спутников увеличивалось. Активные меры по предотвращению седиментации были предприняты в Китае с начала 1980-х гг. Лесонасаждения и строительство дамб позволили существенно сократить осадконакопление. Значительное его снижение последовало после завершения строительства крупнейшей дамбы «Три ущелья». Только за первые 4 месяца 2003 г. (июнь-сентябрь) в результате заполнения водохранилища в нем аккумулировалось около 100 млн. тонн наносов, что привело к снижению скорости отложения осадков в оз. Донгтинг в 2003 г. с 10 до 4.7 мм/год (Dai et al. 2005).

Токсическое загрязнение

Токсическое загрязнение является, пожалуй, одним из самых опасных проявлений антропогенного воздействия на озера и водные экосистемы, приводящим к отравлению водной

среды и ее живого населения. Токсические загрязнители обычно поступают в водоемы со сточными водами и атмосферными осадками. Природные воды или не содержат токсикантов или их количество не превышает концентрацию, опасную для существования гидробионтов. Бурное развитие промышленности, имевшее место с конца XIX, начала XX века, привело к загрязнению природных вод целым комплексом токсикантов различной природы. Наряду с токсическими веществами естественного происхождения, такими как тяжелые и цветные металлы, благодаря успехам химии в водные объекты поступило большое количество синтезированных ксенобиотиков (нефтепродуктов, пластмасс, полициклических и галогенированных ароматических углеводородов, пестицидов, синтетических поверхностно-активных веществ и др.). Несмотря на то, что далеко не все ксенобиотики являются ядовитыми или токсичными, в силу своей чужеродной природы они способны вызвать нарушение биологических процессов или, вследствие биотрансформации, образовывать токсичные метаболиты. Загрязненная токсикантами вода превращается из среды жизнеобеспечивающей в среду агрессивную и враждебную для нормального развития гидробионтов, в которой изменяются процессы формирования состава и структуры биоценозов, а также динамика популяций отдельных видов.

Процесс токсического загрязнения природных вод происходил по мере развития промышленного производства, поэтому раньше других от него начали страдать водоемы, расположенные в наиболее экономически развитых странах мира. Большинство государств Европы, Северной Америки, ряд стран Азии столкнулись с проблемами токсического загрязнения уже в первой половине XX века, тогда как на 1960-70-е гг. приходился пик максимального загрязнения природных вод. Осознание масштаба возникших проблем привело к разработке экологического законодательства, существенному ограничению производства и использования ряда наиболее опасных синтезированных веществ, к введению систем многоступенчатой очистки сточных вод. В результате, уже с начала 1980-х гг. на многих водоемах Европы, Азии и Америки наблюдалось существенное снижение поступления токсикантов. Скорость, с которой удавалось справиться с проблемой токсического загрязнения, была пропорциональна степе-

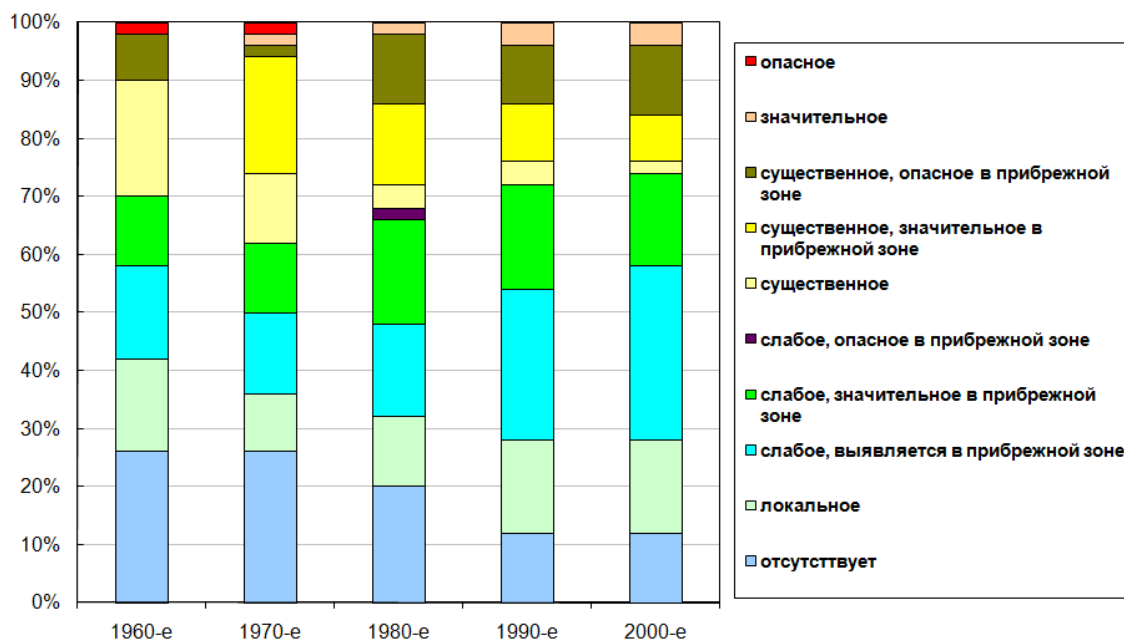


Рис. 9.12. Процент Великих Озер с различным статусом токсической загрязненности

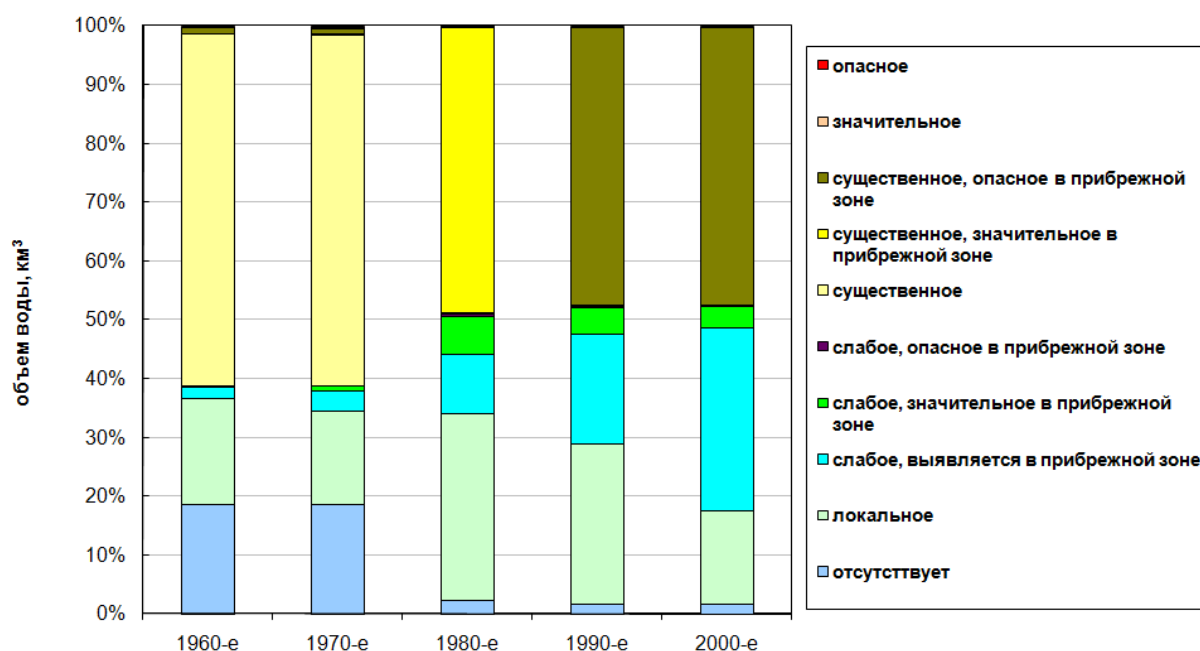


Рис. 9.13. Объемы водных масс Великих Озер по степени их токсической загрязненности.

ни экономического развития государства, определяющего как его финансовые, так и технические возможности, жесткости разработанных законодательных инициатив, а также их поддержке большей частью населения.

Итоговые данные по изменению токсической загрязненности рассматриваемых в книге озер за период 1960 – 2010 гг. приводятся на рис.9.12, на котором представлено процентное соотношение озер различной степени загряз-

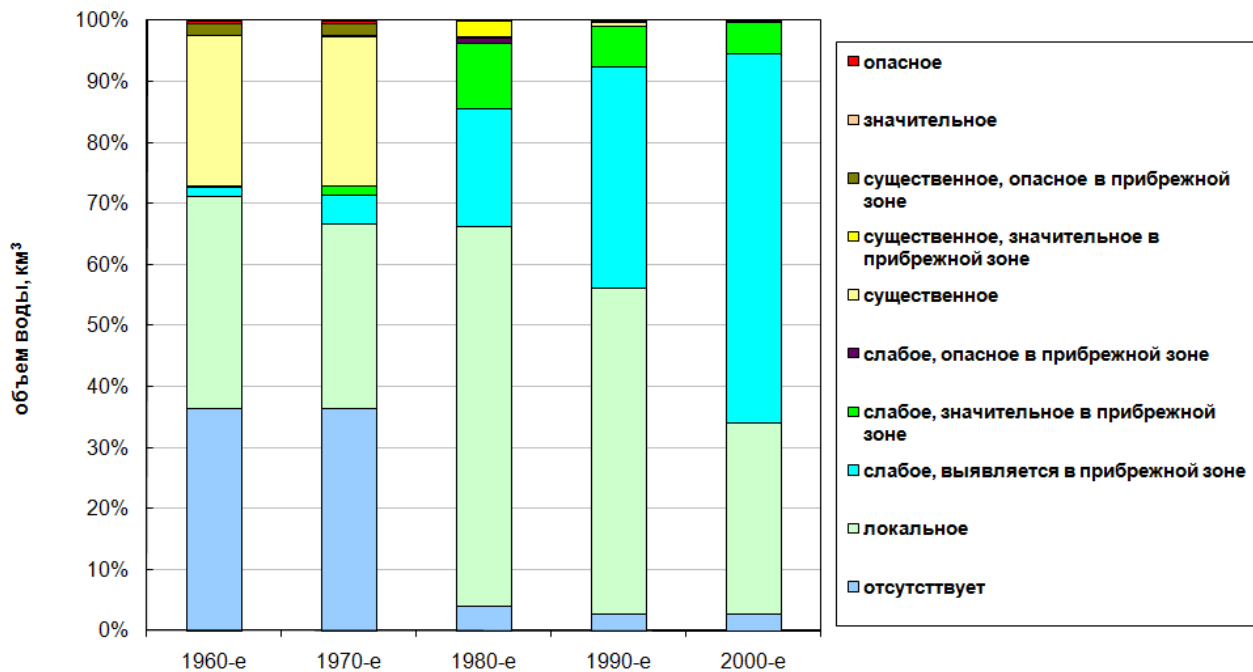


Рис. 9.14. Объемы водных масс пресноводных Великих Озер по степени их токсической загрязненности

ненности за рассматриваемый период, а на рис. 9.13 – объемы воды, содержащейся в Великих озерах, по степени их токсической загрязненности. Поскольку чуть менее половины всех вод, содержащихся в крупнейших озерах, заключено в Каспийском море, на рис. 9.14 отдельно приводятся данные по загрязненности пресноводных Великих Озер.

Во второй половине XX в. среди крупнейших озер мира наиболее загрязненными токсическими веществами оказались Великие Американские Озёра. Регион Великих Озер является одним из наиболее экономически развитых и густонаселенных регионов Северной Америки. Основное загрязнение Великих Озер происходило в 1960-е - начале 1970-х гг., когда значительно ухудшилось качество воды практически всех озер. Даже на расположенном в верхней части системы озере Мичиган в конце 1960-х гг. сложилась ситуация, вынудившая закрыть пляжи его южного побережья и залива Грин Бей. Основными загрязнителями озера явились незаконные промышленные сбросы предприятий Чикаго и Милуоки, содержащие в огромных количествах такие опасные загрязнители, как цианиды, фенолы, органические растворители, смазочные материалы, газолин, нефтепродукты и др. Центральные

части озер Мичиган, Верхнее и Гурон продолжали оставаться относительно чистыми, однако и здесь наблюдалось присутствие загрязняющих веществ. В 1965-1967 гг. управление водных ресурсов штата Висконсин обследовало несколько тысяч рыб, относящихся к 35 видам, выловленных в ряде водоемов штата, в том числе в озерах Верхнее и Мичиган. Хлорированными углеводородами было загрязнено около 70% всех выловленных рыб, в каждой из проб были обнаружены ДДТ или аналогичные ему ядохимикаты, применяемые в сельском хозяйстве при борьбе с насекомыми-вредителями. Но наиболее катастрофические последствия токсического загрязнения имели место в двух нижних озерах - Эри и Онтарио, получающих стоки как с собственных частных водосборов, так и из верхней части системы. Озеро Эри является наиболее мелким среди всех Великих Озер, и, вместе с тем, наиболее населенным, в результате чего на него пришлась основная масса промышленных стоков. В 1960-е гг. в его воду, а впоследствии в донные отложения, поступило огромное количество ионов тяжелых металлов, ртути, консерогенов, ДДТ, бензопирин, РСВs, и пр. Огромные масштабы загрязнения оз. Эри крайне негативно отразились и на качестве воды расположенного ниже оз. Онтарио, в

которое также поступило громадное количество консергоенов, ДДТ, бензопирин, РСВb, а также ртуть и свинец.

Столкнувшись с катастрофическими масштабами загрязнения Великих Американских Озер, правительства США и Канады с начала 1970-х годов стали вкладывать огромные средства в изучение возникших проблем и разработку способов борьбы с ними. Между двумя странами было подписано соглашение «Great Lakes Water Quality Agreement». После введения в 1972 г. строгих ограничений и запретов на производство наиболее экологически опасных видов продукции, общее производство только семи основных видов токсичных соединений было снижено более чем на 70% (ЕС 1999, ЕС 2000, ЕС 2001). Было запрещено использование синтетических моющих средств, содержащих фосфор, в пределах водосбора. Ряд сточных вод, ранее попадавших в озера, были отклонены в бассейн р. Миссисипи. Благодаря ужесточению законодательной базы были существенно сокращены аварийные разливы нефти (Global Environment..., 2002). В результате уже с середины 1980-х гг. вода озер стала визуально чище, значительно уменьшилось содержание тяжелых металлов и органических элементов, уровень заражения рыб и птиц резко снизился. К концу XX в. состояние всех озер существенно улучшилось, однако ряд вопросов продолжает оставаться нерешенным до сих пор.

Наряду с Великими Озерами существенных успехов в 1970-2000-е гг. удалось добиться при восстановлении крупнейших скандинавских озер. Улучшилось и состояние крупнейших озер Европы – Ладожского и Онежского. В последние десятилетия удалось стабилизировать быстро растущее во второй половине XX в. токсическое загрязнение озер Китая. Вместе с тем в ряде крупнейших озер Евразии проблема растущего токсического загрязнения остается по-прежнему нерешенной. Прежде всего, это касается мелководных водоемов как, например, оз. Ханка. Существенное загрязнение проявляется в прибрежной зоне среднеазиатских озер. Токсическое загрязнение имеет также место и на некоторых достаточно крупных северных озерах России (оз. Имандра).

Большинство африканских и ряд беднейших азиатских стран серьезно столкнулись с проблемами токсического загрязнения природ-

ных вод только к концу XX в. Еще в 1970-80-е гг. вопросам токсического загрязнения здесь уделялось мало внимания. На ряде крупнейших озер начальное загрязнение фиксировалось, однако значительных негативных последствий не отмечалось. Основными загрязнителями большинства тропических озер являлись тяжелые металлы, поступающие в воду со стоками шахтных вод (разработка полезных ископаемых производится в бассейнах всех крупных озер тропической зоны), а также химикаты и пестициды, выносимые с полей. Размер загрязнения оставался практически неизученным. К концу XX в. стало очевидным, что огромную опасность представляют также содержащие патогенные организмы сточные воды крупных населенных пунктов, попадающие без какой либо обработки в водоемы, обеспечивающие в дальнейшем питьевой водой миллионы людей. В большинстве беднейших стран тропической зоны очистка воды, используемой в питьевых и бытовых целях, фактически не производилась, что приводило к возникновению очагов различных инфекций, усиливающихся по мере укрупнения поселений.

К началу XXI в. вопросам токсического загрязнения в развивающихся странах стало, наконец, уделяться больше внимания. Его наиболее ранние оценки были выполнены в середине 1990-х гг. на оз. Виктория, в результате в воде и донных отложениях зал. Мванза были обнаружены, хоть и в неопасных количествах, следы таких тяжелых металлов как хром, свинец, кадмий, медь и цинк (Kishe and Machiwa, 2001). Чуть позднее, в начале 2000-х гг. вблизи основных городов, расположенных на побережье озера, было выявлено уже существенное повышение содержания тяжелых металлов, имеющих промышленное происхождение. Наряду с тяжелыми металлами отмечался рост концентрации в воде пестицидов. С конца XX в., опираясь на накопленный опыт развитых стран, развивающиеся государства также начали вводить на промышленных предприятиях системы очистки стоков. Однако в силу нехватки средств и экономической отсталости, вводимые системы очень редко соответствовали необходимым требованиям, большинство промышленных стоков оставались плохо очищенными или неочищенными.

Еще одним загрязнителем Больших Афри-

канских озер в последнее время стали нефтепродукты, попадающие в воду за счет аварийных ситуаций на водном транспорте и с переливных станций. Однако в ближайшее время масштабы нефтезагрязнения могут стать в данном регионе значительно более опасными. Так, в случае разработки обнаруженных недавно месторождений нефти в глубинных пластах Угандийского побережья и в донных отложениях оз. Альберт нефтяное загрязнение может стать серьезной проблемой для этого водоема, также как сегодня оно является основным загрязнителем другого тропического озера - Маракайбо, расположенного в экономически более благоприятном регионе. Продолжающаяся уже около столетия нефтедобыча и нефтепереработка на этом южноамериканском водоеме привела к его значительному токсическому загрязнению, наблюдения со спутников подтверждали наличие на поверхности воды регулярных нефтяных пятен (Hu Ch et al., 2003). Практически все нефтяные пятна достаточно быстро убирались, однако регулярные разливы успевали нанести значительный ущерб экологии озера. В условиях Африканского континента, особенно его центральной части, где большинство государств относятся на сегодняшний день к категории беднейших стран мира, нефтедобыча даже в значительно меньших масштабах может привести к куда более серьезным последствиям. Единственная надежда на то, что разработка нефтяных месторождений способствует подъему экономики, что позволяет, в конце концов, выделять необходимое количество средств и на экологический мониторинг.

Токсическое загрязнение озер тропической зоны, где обработка сточных вод практически отсутствует, является колоссальной экологической опасностью, масштабы которой пока до конца не очевидны. Значительное отставание темпов промышленного производства в рассматриваемом регионе позволяет надеяться на то, что процесс загрязнения будет идти не столь быстро, как в свое время в Европе и Америке, вместе с тем, техническая и финансовая отсталость не позволяет рассчитывать не только на принятие адекватных мер, но и на возможность своевременно осознать масштаб опасности. Уже накопленный опыт промышленно развитых стран в данном случае едва ли сможет значительно пригодиться, из-за нехватки

средств, технических возможностей, иной системе приоритетов и отсутствия скоординированных действий, характерных для большинства государств тропической зоны.

ВОПРОСЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОЗЕР

На фоне катастрофически быстрых темпов снижения качества воды крупнейших озер Земли, являющихся важнейшим резервом легко доступной пресной воды, вопросы восстановления озер выходят в современной лимнологии на передний план. Беспрецедентный опыт улучшения качества Великих (Американских) озер, а также озер Скандинавии внушают оптимизм. Вместе с тем, положительный результат, которого удалось добиться буквально за несколько десятилетий, потребовал от правительств стран, разделяющих эти водоемы, колоссальных усилий и материальных затрат. Комплекс предпринятых мер включал:

- Строгие ограничения и запреты на производство наиболее экологически опасных видов продукции;
- Введение многоступенчатых систем очистки на всех предприятиях;
- Обеззараживание коммунальных стоков;
- Строительство коллекторных сетей и переброски наиболее опасных стоков за пределы водосбора;
- Контроль за применением удобрений, пестицидов и гербицидов;
- Изменение сельскохозяйственной практики;
- Управление животноводческими стоками;
- Контроль за состоянием почв и многое другое,

В случаях, когда проводимых на водосборе мер было недостаточно, проводился также комплекс мероприятий непосредственно на озерах. Для реализации всех указанных мер была выработана строгая законодательная политика, направленная на охрану водных ресурсов. Предпринятые усилия позволили фактически вернуть и Великие Озера, и крупнейшие озера Скандинавии к изначальному уровню трофности и существенно улучшить качество их воды, понизив токсическое загрязнение до допустимых пределов. Несмотря на то, что определенный уровень загрязненности по-прежнему сохраняется и ряд вопросов

продолжает пока еще оставаться нерешенным, на сегодняшний день можно определенно говорить о достижении сбалансированности и устойчивости восстановленных озерных экосистем. К сожалению, большинство других крупнейших озер находятся в регионах менее благоприятных в финансовом отношении. В этом случае невозможность принятия полного комплекса необходимых мер значительно замедляет процесс восстановления озер.

Значительно хуже обстоят дела с восстановлением озер, расположенных в беднейших тропических регионах. Реализация необходимых мероприятий здесь возможна в весьма ограниченном объеме. Даже при попытках их частичного проведения, реальные темпы строительства, например, очистных сооружений, значительно отстают от существующих потребностей и не успевают за растущим антропогенным прессингом. В результате к моменту завершения строительства очистных сооружений их мощностей начинает не хватать для очистки всего объема возросших к этому моменту стоков, значительно превышающих запланированные. Огромные сложности возникают также и из-за того, что большинство крупнейших тропических озер являются пограничными водоемами. Отсутствие скоординированной политики еще более замедляет проведение необходимых мероприятий.

Наряду с экономическими факторами, на замедление процессов восстановления озер значительное воздействие оказывают и природные факторы. Наиболее простым примером может служить более сложная очистка мелководных озер в сравнении с глубоководными. Одной из причин более медленного восстановления таких озер является наличие на их дне большого количества минеральных и органических осадков, которые накапливают в себе огромные объемы поступающего в водоем биогенного вещества, становясь в дальнейшем их поставщиком обратно в воду. В отличие от глубоководных озер придонные слои воды в мелководных озерах вовлечены в процесс перемешивания значительную часть года, так что поступление, например, биогенного вещества в верхние слои озера, где оно подпитывает фитопланктонные сообщества, происходит достаточно легко. Повышенной чувствительностью к антропогенной нагрузке обладают также северные водоемы, их экосистемы характеризуются чрезвычайной хрупкостью, быстро реагируют на изменения,

например, фосфорной нагрузки, и крайне медленно восстанавливаются.

В связи с вышесказанным становится ясно, что накопленный положительный опыт по восстановлению водоемов далеко не всегда может быть воспроизведен в условиях других стран. Между тем разработка экологической политики, пусть даже на начальном уровне, крайне необходимо на всех крупнейших озерах Земли. Определенные усилия в этом направлении предпринимаются и всячески поддерживаются мировым сообществом. С этой целью происходит финансирование Международных Программ, направленных на изучение и улучшения качества воды крупнейших озер, прежде всего пограничных водоемов. При этом надо отметить, что большинство беднейших стран наиболее охотно включаются в программы, направленные на восстановление рыбного сообщества озер, так как рыбная ловля является для них важнейшей отраслью экономики, обеспечивающей пропитанием широкие слои населения. Опасность токсического загрязнения и чрезмерной эвтрофикации водоемов осознается ими значительно хуже.

При современных темпах антропогенного развития вопрос экологического состояния крупнейших озерных экосистем является чрезвычайно важным. Избранные пути его решения будут определять возможности дальнейшего развития человеческой цивилизации, и отвечать за ее выживание.