

Б. Л. ГУСАКОВ
Н. А. ПЕТРОВА

ПЕРЕД ЛИЦОМ ВЕЛИКИХ ОЗЕР



ЛЕНИНГРАД
ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ
1987

537.49
Г96
26.222.6
Г96

Рецензент Л. Ю. Преображенский, канд. физ.-мат. наук

342.562

Ленинградский
Гидрометеорологический ин-т
БИБЛИОТЕКА
Л-д 195196 Малосеменовский пер. 39

Есть на Земле такие природные объекты, которые вызывают восторг и волнение уже при первом приближении к ним. Это и величественные горы с сияющими вершинами, и гремящие водопады, низвергающиеся с многометровой высоты, и могучие реки, прорезающие своими потоками целые материки, и конечно, огромные озера, одновременно манящие своей красотой и пугающие необъятными размерами. Таких озер не так много на земном шаре, они есть даже не на каждом материке. Безусловное первенство среди них принадлежит Байкалу, глубочайшему из озер мира, но есть еще ряд озер, почти не уступающих ему, по крайней мере по площади поверхности.

В последнее время в связи с проблемой дефицита чистой пресной воды к большим озерам мира, этим громадным естественным хранилищам пресных вод, привлечено особое внимание. Это внимание вызвано не только красотою уникальных водоемов, но и ухудшением состояния их основного богатства — векового запаса озерных вод.

Повышенный интерес вызывают озера, которые издавна осваивались человеком и сейчас оказались составной частью развитых в хозяйственном отношении регионов. Это, в первую очередь, две известные озерные системы: озера Верхнее, Мичиган, Гурон, Эри, Онтарио — в Северной Америке и Ладожское с Онежским — в Европе. Обе озерные системы имеют гораздо больше сходства, чем различий. Их объединяют общность геологического происхождения, размеры, основные черты режима, характер освоения и проблемы ухудшения качества воды, возникшие в последнее время. Обе системы представляют огромную значимость и ценность для стран, в состав которых они входят. Даже частичную утрату их природных ресурсов можно рассматривать как ущерб национальному достоянию. Сами эти озера широко известны во всем мире, но далеко не все знакомы с теми проблемами, которые с ними связаны и вызывают серьезную тревогу об их будущем. Мы бы хотели, чтобы как можно больше людей хорошо узнали эти озера, полюбили их, разделили нашу тревогу за них и, по крайней мере, определили свое отношение к их проблемам. Только все вместе перед лицом великих озер мы можем решить — удастся ли нам сохранить для потомков эти уникальные творения природы.

Авторы благодарят ученых, писателей и журналистов, чьи исследования, высказывания и мысли были в той или иной степени использованы при написании этой книги.

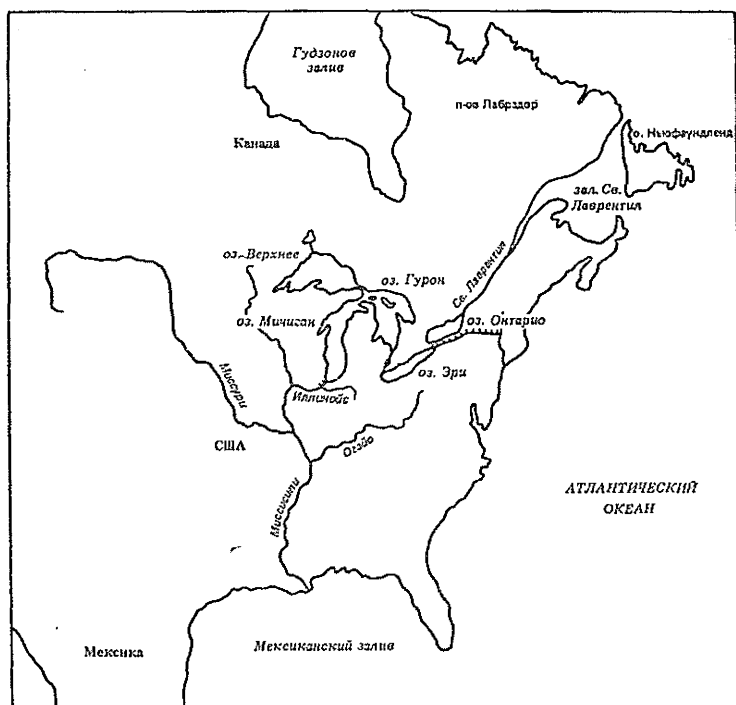
1

СИСТЕМЫ ВЕЛИКИХ ОЗЕР. ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ

Две системы огромных озер Земли вполне могут быть названы пресными морями. Это Великие американские озера — Верхнее, Мичиган, Гурон, Эри, Онтарио — и наши Ладожское и Онежское, которые хотя и уступают в размерах американским, тем не менее являются крупнейшими в Европе, намного превосходя остальные европейские озера по площади и объему воды. Они вполне заслуживают наименования Великих европейских озер, хотя официально их так не называют.

Великие американские озера — это пять связанных между собой огромных водоемов, расположенных на северо-востоке Северной Америки, на границе между США и Канадой, и представляющих собой величайшую в мире систему пресноводных озер. Общая площадь их водной поверхности 245 тыс. км², а объем воды, заключенной во всех пяти озерах, — почти 23 тыс. км³. У четырех озер максимальные глубины превышают 200 м, и лишь у озера Эри максимальная глубина составляет 64 м. Самое крупное из них — Верхнее — имеет площадь зеркала 82 тыс. км², а самые „маленькие“ озера системы, Эри и Онтарио, — одни из крупнейших озер планеты.

Озера соединены между собой относительно короткими, порожистыми и многоводными реками. Озера Гурон и Мичиган, имеющие практически единый уровень, соединяются широким проливом Макино (ширина около 5 км). Озера Эри и Онтарио, расположенные на разной абсолютной высоте, соединяет река Ниагара, в среднем течении которой находится знаменитый Ниагарский водопад. Из озера Онтарио вытекает одна из крупнейших американских рек — река Св. Лаврентия, впадающая в Атлантический океан (в залив Св. Лаврентия). По этой реке осуществляется сток из всей системы Великих озер, ее средний расход воды около 7800 м³/с, что составляет примерно 250 км³/год. Для сравнения: сток реки Волги — 240 км³/год, реки Невы — 80 км³/год. Водный путь по всем пяти озерам от порта Дулут, расположенного на западном берегу озера Верхнего, до устья реки Св. Лаврентия, доступный в настоящее время практически любым судам, составляет более 3000 км.



Расположение Великих американских озер.

Озера Ладожское и Онежское, также представляющие единую озерную систему*, — крупнейшие озера Европы. Общая площадь их водной поверхности около 30 тыс. км², а объем воды, заключенной в обоих озерах, составляет 1200 км³. Максимальная глубина Онежского озера 120 м, а Ладожского — почти вдвое больше. Связывает озера река Свирь, вытекающая из Онежского озера в его юго-западном конце у поселка Вознесенье. Годовой сток Свири составляет в среднем 20 км³, она является самым многоводным притоком Ладожского озера. Достаточно длинная (224 км), Свирь в прошлом славилась своими многочисленными порогами, создававшими большую помеху судоходству. В настоящее время река зарегулирована, и по ней проходит трасса Волго-Балта. Из Ладожского озера вытекает Нева, короткая

* В систему Ладожского и Онежского озер входят еще два озера: Сайма (финское) и Ильмень, но они так существенно отличаются по своим параметрам и режиму от Ладожско-Онежской пары, а также и от Великих американских озер, что не могут быть рассмотрены в качестве родственных им водоемов.

(74 км) и полноводная река, по которой осуществляется сток из всей озерной системы. Средний годовой сток Невы около 80 км³. Впадает Нева в Невскую губу Финского залива Балтийского моря.

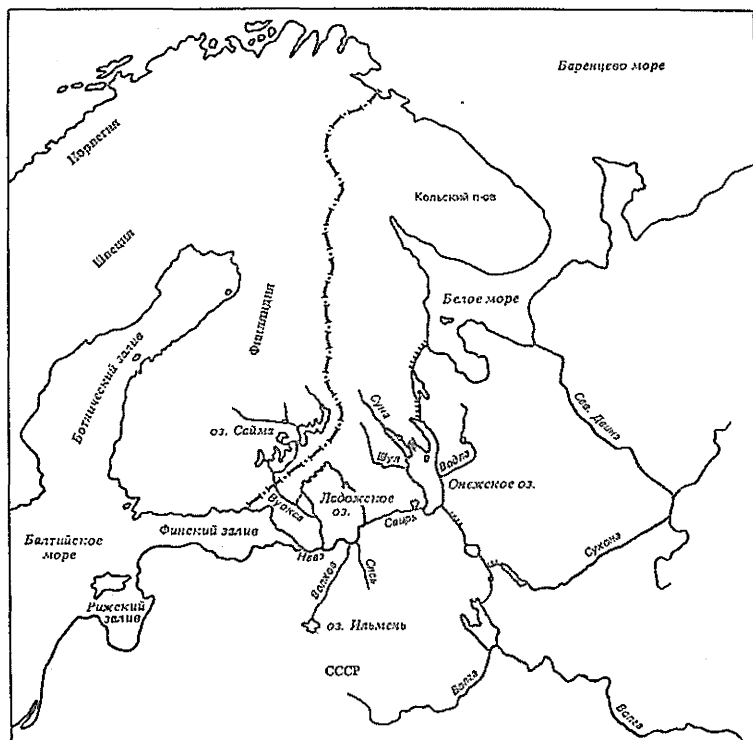
Основные параметры великих озер

Название	Длина, км	Ширина, км	Площадь, км ²	Объем км ³	Глубина, м	
					средняя	максимальная
Верхнее	560	256	82 400	12220	150	406
Мичиган	490	188	58 000	4870	84	281
Гурон	330	292	59 600	3530	53	228
Эри	385	91	25 700	460	18	64
Онтарио	309	85	19 500	1635	85	244
Ладожское	219	83	17 800	908	51	230
Онежское	248	80	10 000	280	30	120

Эти две системы крупных озер имеют глубокое сходство, вытекающее в первую очередь из параллелизма геологической эволюции их котловин и бассейнов, начавшегося на самой заре геологического времени.

Обе озерные системы сформировались на стыке кристаллических щитов (Канадского и Балтийского), представляющих собой древние ядра материков, с платформами Североамериканской и Русской, сложенными осадочными палеозойскими породами. В области кристаллических щитов на поверхность выходят древнейшие породы Земли, в основном граниты и гнейсы, имеющие возраст до 2 млрд. лет. Примыкающие к щитам участки платформ представлены в основном известняками, доломитами и песчаниками, возраст которых менее 570 млн. лет. Северные части котловин и водосборных бассейнов озер Верхнего, Гурон, Ладожского и Онежского сформировались в кристаллических породах щитов в местах древних тектонических разломов, а южные части этих озер, а также котловины озер Мичиган, Эри и Онтарио — в осадочных породах в течение последнего ледникового периода.

Последнее оледенение четвертичного периода, максимум развития которого был приблизительно 25—10 тыс. лет назад, было наиболее важным фактором в формировании бассейнов и котловин обеих озерных систем, хотя и в доледниковое время в кристаллических породах здесь существовал ряд крупных трещин и разломов. При своем максимальном развитии ледники покрывали всю северную часть материков Северной Америки и Европы, полностью включая области Великих американских и европейских озер. Из центральных частей ледяного массива лед по нескольким направлениям двигался к периферии, изменяя рельеф подстилающей поверхности. Наибольшей силы ледниковая эрозия достигала в окра-



Расположение озер Ладожского и Онежского.

инных частях щитов, где именно и складывались системы огромных (бордюрных) озер.

Согласно современным представлениям, центральную область материковых ледников, где лед практически неподвижен, окружает полоса интенсивного выпахивания льдом коренных пород, с которой связаны наиболее изрезанные и глубокие части озерных котловин. За полосой интенсивного выпахивания следовали зоны транспортировки и аккумуляции моренного материала — валунов, щебня, песка. По крайней границе распространения ледника располагалась зона развития приледниковых озер и древних долин стока ледниковых озер. В обоих озерных бассейнах представлены все зоны формирования ледникового рельефа. Ледник прорезал глубокие борозды в кристаллических породах и выпахивал обширные впадины в мягких палеозойских породах. В периоды таяния ледника в этих впадинах накапливались талая ледниковая вода и обломочный материал, влекаемый ледником. Таким образом, периодически образовывались обширные при-

ледниковые озера, имевшие обычно уровень на десятки метров выше современного, ограниченные с севера ледяными дамбами, а с юга возвышенностями.

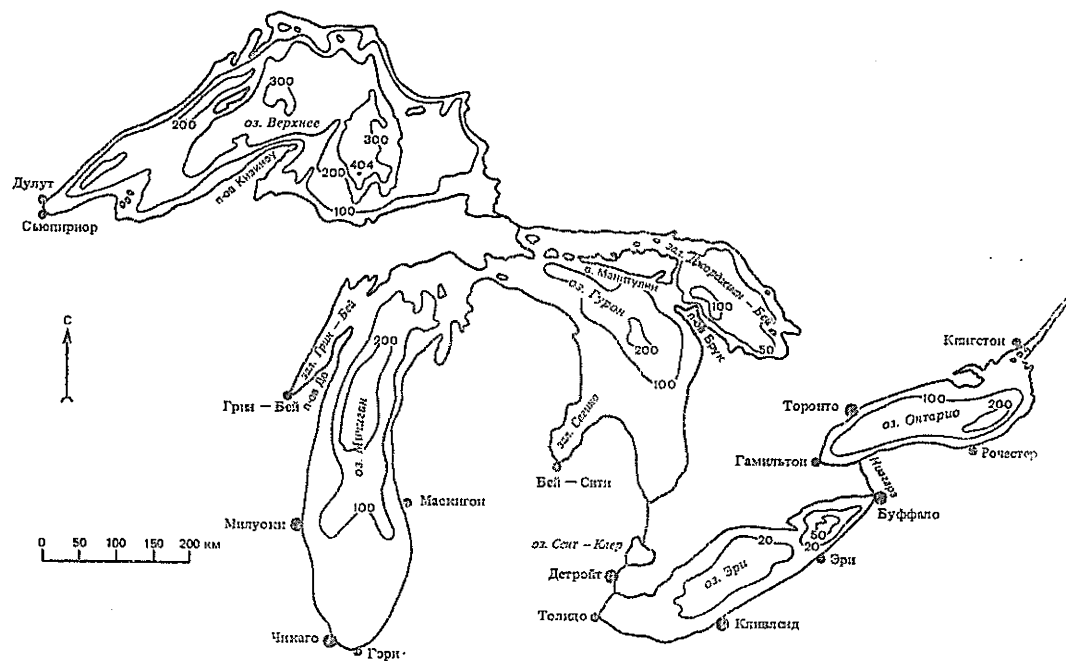
Формирование системы Великих американских озер началось с бассейнов Мичигана и Эри, которые первыми освободились от ледника. Здесь последовательно образовывалось несколько самостоятельных приледниковых озер (Чикаго, Моми, Уитлси), связанных друг с другом и имевших общий сток, направленный на юг, в бассейн реки Миссисипи. Озер Верхнего, Гурон и Онтарио тогда еще не существовало, эти территории были покрыты ледяным массивом. В более позднюю стадию, когда лед освободил южную часть котловины озер Гурон и Онтарио, появляется новое озеро, названное Альгонкин. Сток из него осуществлялся по реке Сент-Клер к озеру Эри, которое при подъеме уровня начало изливаться в озеро Онтарио, преодолевая Ниагарский уступ. Здесь зародилось ущелье будущей реки Ниагары. В момент своего наибольшего распространения озеро Альгонкин имело площадь поверхности около 250 тыс. км².

В течение первых стадий этой эволюции озеро Онтарио, подпруженное льдом у современного города Кингстон, образовало самостоятельный водоем (озеро Ирокез), которое изливалось через реку Могаук в реку Гудзон и далее в Атлантический океан. Дальнейшее отступление ледника открыло выход стоку из Онтарио в долину реки Св. Лаврентия, но уровень местности был тогда настолько низок, что современные равнины бассейна реки Св. Лаврентия были затоплены морской водой почти до озера Онтарио. При освобождении от ледника вся эта территория испытывала устойчивое изостатическое поднятие, море отступало, сток из озер усиливался по мере таяния ледника в верхних озерах системы. Постепенно озера сокращались в размерах, пока не обрели современные очертания. Весь этот процесс завершился всего около 5 тыс. лет назад.

История развития Ладожского и Онежского озер непосредственно связана с начальной стадией формирования Балтийского моря — Балтийской системой приледниковых озер.* Основным водоемом этой системы было Южно-Балтийское приледниковое озеро, которое существовало приблизительно 12—13 тыс. лет назад. Ладожское и Онежское озера в это время были еще покрыты ледником.

Примерно 11,8 тыс. лет назад при отступании ледника образовалось Балтийское ледниковое озеро, которое занимало большую часть котловины современного Балтийского

* Этот вопрос подробно освещен в книге советского ученого-географа Д. Д. Квасова «Позднечетвертичная история крупных озер». — Л., Наука, 1975.



Система Великих американских озер.

моря. Уровень этого озера был выше уровня тогдашнего океана, и морские соленые воды в него не попадали. Сток из этого озера осуществлялся через южную часть пролива Зунд. Ладожское озеро было заливом этого Балтийского озера, соединяясь с ним нешироким проливом в северной части Карельского перешейка. Современное северное побережье Ладожского озера до отметок порядка 50 м находилось под водой, южная часть Ладоги представляла собой сушу.

Примерно в это же время освободились ото льда южная и восточная части котловины Онежского озера. Здесь образовались Вытегорское и Водлинское приледниковые озера. Позднее эти озера объединились, образовав Южно-Онежское приледниковое озеро, которое тогда еще не соединялось с Ладожским, сток из него шел в бассейн реки Онеги. Только после того, как ледник освободил долину реки Свири, Южно-Онежское озеро получило новый, гораздо более низкий порог стока. Уровень озера снизился до отметок, близких современным, а река Свирь начала впадать в Ладожский залив Балтийского ледникового озера.

При дальнейшем отступании ледника, примерно 10 тысяч лет назад, освободился порог стока в средней Швеции, находившийся тогда ниже уровня океана. Уровень Балтийского ледникового озера упал более чем на 20 м и сравнялся с уровнем океана. Морские воды постепенно проникли в Балтику и образовали водоем, который был назван Иольдиевым морем.

Падение уровня Балтийского ледникового озера привело к тому, что Ладожское озеро перестало быть его заливом и впервые обособилось в отдельный водоем. На месте пролива образовалась река, по которой шел сток из Ладожского озера в Иольдиевое море. Поскольку уровень Ладожского озера в то время был значительно выше уровня Иольдиевого моря, то морские солоноватые воды в него не попадали и озеро оставалось пресным.

В это же время, при дальнейшем таянии ледника, продолжало свое формирование Онежское озеро, северная часть которого имела размеры гораздо больше современных. После полного освобождения от ледника северное побережье испытало изостатическое поднятие, которое продолжается отчасти и до сих пор, и Онежское озеро приобрело почти современные очертания.

Такое же изостатическое поднятие Швеции привело к исчезновению пролива в ее средней части. Приток соленых вод вначале уменьшился, а затем прекратился вовсе. Уровень древнебалтийского водоема опять начал расти, и он из солоноватого Иольдиевого моря вновь стал пресноводным сточным озером, которое получило название „Анцилового". Во время максимального подъема уровня Анцилового озера он превысил порог стока Ладожского озера, и в северной части



Система великих европейских озер.

Карельского перешейка на относительно короткое время вновь образовался мелководный пролив, снова сделавший Ладожское озеро заливом, но на этот раз Анцилового озера.

Примерно 8,4 тыс. лет назад у Анцилового озера сформировался новый порог стока в районе современных Датских проливов. Там возникла река, дальнейшая эрозия (углубление русла) которой привела к понижению порога стока, а следовательно, и к падению уровня Анцилового озера на 12 м. При этом падении уровня пролив в северной части Карельского перешейка исчез, на этот раз уже окончательно, оставив на своем месте реку, примерно по линии Приозерск — Выборг, по которой осуществлялся сток из Ладожского озера.

В дальнейшем морские воды вновь проникли в древнебалтийский водоем, и здесь существовало некоторое время Литориновое море, но даже при его максимальном развитии уровень Ладожского озера всегда оставался выше, что исключало попадание туда соленых вод. На протяжении всего времени своего формирования Ладожское озеро оставалось пресноводным водоемом.

Около 4 тыс. лет назад формирование современного Балтийского моря фактически закончилось. К этому времени приобрело современный облик и Онежское озеро. Только Ладожское озеро продолжало трансформацию. Его северное побережье испытывало заметное изостатическое поднятие, и это в конечном итоге привело к тому, что сток из Ладожского озера в северной части Карельского перешейка почти полностью прекратился. Уровень озера стал расти, что особенно сказалось в южной части побережья. Наибольшего подъема ладожские воды достигли около 2 тыс. лет назад. Уровень озера сравнялся с высотой водораздела, разделявшего реку Мгу, впадавшую в Ладожское озеро, и реку Тосну, впадавшую

в Финский залив. В результате ладожские воды прорвали и размыли разделявший эти реки узкий перешеек водораздела (на месте нынешних Ивановских порогов) и образовалась река Нева.

После образования нового порога стока уровень Ладоги стал понижаться. Сток через северный Хейнийокский проток полностью прекратился, и Нева стала единственным стоком из Ладожского озера. Ее средний расход — $2500 \text{ м}^3/\text{с}$ — с тех пор практически не изменился. Окончательное формирование реки Невы, а с ней и всей системы Великих европейских озер, произошло совсем недавно, менее 2 тыс. лет назад.

Таким образом, две крупнейшие озерные системы североамериканского и европейского материков относительно молоды по своему происхождению. Они заканчивали свое формирование и приобретали современный облик всего несколько тысяч лет назад, вероятно, уже на памяти древних поселенцев этих мест.

В своем современном виде Великие озера Америки и Европы представляют собой уникальные системы огромных пресных водоемов, которые вполне справедливо называют внутренними морями.

Несмотря на разительное сходство, которое проявляется в режимах великих озер не меньше, чем в истории их формирования, озера обеих систем отличаются друг от друга, имея ряд индивидуальных особенностей, и прежде, чем перейти к их режимным характеристикам, необходимо коротко сказать о каждом из озер отдельно.

Система Великих американских озер начинается с озера Верхнего — самого большого, самого глубокого, самого холодноводного озера системы. Озеро Верхнее относительно молодо, оно освободилось ото льда последним из озер системы, всего несколько тысяч лет назад. Однако та часть бассейна и озерной котловины, которая сложена кристаллическими породами Канадского щита, представляет собой древнейшие породы Земли. Возраст гранитов, кварцев и гнейсов, которыми сложены отвесные скалы северного побережья озера, более 2 млрд. лет. Обрывистые скалы и сглаженные каменные уступы покрыты лишайником и сосновым лесом. Реки, которые здесь впадают в озеро, глубоко врезаются в скалы и обладают стремительным течением. На обнаженных местах скал видны длинные глубокие параллельные борозды, сделанные движущимся ледником. Холодные пяти-шестиметровые волны бьются о древний берег, а во время штормов, достигающих на этом огромном озере неистовой силы, на берега обрушиваются двенадцатиметровые горы воды.

Породы Канадского щита окаймляют озеро с запада и частично с юга, здесь берег понижается, но часто встречаются крутые обрывы (сбросы). С этими древними вулка-

ническими породами связаны месторождения руд, издавна привлекавших сюда внимание человека.

На большом протяжении вдоль южной береговой линии (штаты Мичиган и Висконсин) озерное побережье и дно мелководий сложены мягкими красными глинами, которые подвергаются сильной волновой эрозии. Этот естественный эрозионный процесс создает высокую мутность воды у побережья, оказывая неблагоприятное воздействие на развитие озерной жизни (биоты) в южной и западной прибрежных частях озера.

Верхнее — очень глубокое озеро. Практически вся его котловина глубже 100 м, причем на многих участках побережья стометровые глубины подходят почти к самому берегу. Несколько обширных впадин имеют глубины более 200 м. В западной части озера, ближе к северному берегу, они достигают максимальных глубин 250—260 м и ориентированы с северо-востока на юго-запад. В восточной части озера глубоководные впадины ориентированы с севера на юг и достигают глубин 300—350 м. Максимальная глубина, 405 м, расположена в восточной части озера, ближе к южному берегу, в длинном узком желобе.

Верхнее — самое северное, самое суровое и величественное из всех озер системы. Оно поражает как своими размерами, грозным характером, так и дикими, почти не тронутыми человеком неприступными берегами. В настоящее время на американском и канадском побережье создан ряд национальных парков и заповедников, которые позволяют сохранить уникальную красоту здешних ландшафтов.

В западном конце озера в двойной стрелке небольших заливов находится двойной порт Дулут-Сьюпириор, от которого начинается судоходный путь вниз по озерам. Сток из озера Верхнего осуществляется по относительно короткой (112 км), порожистой реке Сент-Мери (ныне полностью шлюзованной) в озеро Гурон.

Озеро Гурон, хотя и было первым увиденным европейцами, остается до сих пор малоисследованным и относительно мало заселенным по берегам. Озеро необычно по своим очертаниям и очень контрастно по характеру и виду различных участков побережья. Северная часть озера Гурон, отделенная от основной акватории островом Манитулин, образует обширный залив Джорджиан-Бей. Остров Манитулин весьма знаменит в своем роде — это самый большой остров в мире, расположенный в пресноводном водоеме. Его длина достигает 160 км, а наибольшая ширина — 80 км.

Северный берег залива Джорджиан-Бей сложен, как и берег озера Верхнего, гранитными породами древнего кристаллического щита. Нагромождение скал, каменных откосов, пещер, обрывов чередуется в этой части побережья с тысячами небольших озер, прозрачных и быстрых речек и ручьев. Крутые скалистые обрывы покрыты густым сосновым лесом. В самом заливе множество каменных островов, гранитных

скал и валунов, торчащих из воды. Общее число островов в северной части озера Гурон, включая отдельно торчащие крупные скалы,—около 50 тысяч. Неподалеку от острова Манитулин в сторону открытого озера расположен район максимальных глубин.

Залив Джорджиан-Бей с юга ограничен полуостровом Брук, берега которого с одной стороны — все те же скалистые откосы, а с другой — прекрасные пляжи белого песка. Этот полуостров обозначает как бы смену типа побережья, поскольку далее к югу от залива Джорджиан-Бей берег представляет собой сплошные песчаные пляжи, местами пересеченные голыми или залесенными дюнами. Достойны упоминания почти 300-метровые известняковые обрывы, возвышающиеся в отдельных местах этого участка берега (близ города Колингвуд) почти от самого уреза воды. Это место получило название Голубые горы.

Легкие бризы, дующие с севера, овевают низкий и песчаный юго-восточный берег. Открытые пологие пляжи окаймляют здесь береговой уступ, крутой и низкий, который связан с берегом древнего ледникового озера, существовавшего в этой части бассейна. Этот тип побережья распространяется и дальше к северо-западу, становясь все более лесистым. На юге озера расположен обширный мелководный залив Сагино-Бей.

Глубины в озере распределены неравномерно. Южная часть Гурона имеет пологое дно, плавно понижающееся к северу от глубин 20—25 м до 70—80 м. Затем довольно резко начинается глубоководная впадина, захватывающая почти всю северную часть озера, примыкающую к острову Манитулин. Глубины здесь повсеместно более 100 м, есть несколько впадин с глубинами до 200 м, в одной из которых (к югу от острова Манитулин) расположена максимальная глубина озера 228 м. В заливе Джорджиан-Бей глубины от 30 до 70 м, у самого берега полуострова Брук расположена впадина с глубинами до 140 м.

Озеро Мичиган — третье по величине и единственное озеро из системы, расположенное полностью в США. Оно имеет единый уровень с озером Гурон и соединяется с ним широким проливом Макино, через который в настоящее время проложен мост, один из наиболее длинных в мире (8 км) и очень сложный по конструкции. Большие участки южного побережья озера густо заселены, но северная часть озера почти так же дика и необжита, как у озера Верхнего.

Между береговой линией Мичигана и моренными грядами, окаймляющими его на расстоянии 20—25 км от современной линии уреза воды, находится часть дна древнего ледникового озера, предшественника Мичигана. Это почти идеальная равнина, поднятая на 6—8 м над уровнем современного озера и несущая на себе древние береговые валы — гряды песчаных дюн, расположенные параллельно береговой линии. Дюны,

возвышаясь местами до 50—60 м, под действием сильных ветров постепенно передвигаются в направлении от побережья.

Как правило, побережье озера — слегка холмистая пологая местность, образующая береговую линию, почти сплошь представленную песчаными пляжами. Исключением является только полуостров До, отделяющий от основной акватории озера залив Грин-Бей. Скалистые обрывистые берега полуострова напоминают северные берега озера Верхнего. Этот полуостров является частью так называемого Ниагарского уступа (куэсты), который протягивается тысячемильной дугой отсюда через озеро Гурон, выходя к реке Ниагаре и формируя там обрыв, с которого обрушивается свои воды Ниагарский водопад. Твердые доломиты, которыми местами сложен этот уступ и образован полуостров До, — одни из древнейших на Земле. Ледник при своем движении выпалхал долины озера Мичиган и залива Грин-Бей, но доломитовый участок, разделяющий эти впадины, устоял под его напором. Надвинувшись на эти скалы, ледник покрыл их тонким слоем своих отложений — щебня, гравия, песка и валунов, которыми до сих пор усыпана поверхность полуострова До.

Южная часть побережья озера — индустриальный район. Здесь расположен ряд промышленных центров и портов, крупнейший из которых — город-порт Чикаго, чьи сточные воды создают серьезные проблемы качества воды в южной части озера. В Чикаго начинается система каналов, связывающая Мичиган с бассейном реки Миссисипи.

Дно озера представляет собой чередование пологих поднятий и углублений, подобных холмистой местности побережья. В южной части глубины около 50—60 м, затем дно довольно быстро понижается, достигая в центральной части максимальной глубины 280 м.

Когда-то уровень озера был выше и сток из него осуществлялся на юг, в бассейн реки Миссисипи. Сейчас между бассейном Великих озер и Миссисипи существует водораздел, но очень невысокий, так что при сильных весенних разливах и наводнениях часть озерных вод может даже попадать в речные системы притоков Миссисипи. В настоящее время территория бассейна озера Мичиган продолжает испытывать медленное изостатическое послеледниковое поднятие. Даже небольшое изменение в скорости этого поднятия может в какой-то момент направить воды Мичигана, а тем самым сток из трех озер (Верхнего, Гурона и Мичигана) на юг по древней линии стока через реку Иллинойс в бассейн реки Миссисипи. Если это произойдет, то величина стока многоводных рек, вытекающих из системы озер, — Ниагары и Св. Лаврентия — резко сократится. Это может быть очень серьезным событием для всего материка и для обеих стран — США и Канады, — но сейчас ясно, что вероятность его чрезвычайно мала.

Современный сток из озер Гурон — Мичиган в озеро Эри происходит по реке Сент-Клер длиной 43 км, имею-

щей в средней части озеровидный разлив (озеро Сент-Клер), а затем по реке Детройт, длиной 51 км, на которой расположен крупнейший центр автомобильной промышленности США.

Озеро Эри — четвертое по площади и самое мелководное из пяти озер. Средняя глубина его 18 м, а максимальная — 64 м, в северо-восточной части котловины. После суровых и строгих пейзажей озер Верхнего и Гурона Эри радует глаз открытыми песчаными пляжами побережий, а окружающая его растительность имеет почти тропический вид. Вернее, следует сказать „имела“, поскольку богатый и разнообразный лиственный лес побережий озера в своем первозданном виде давно уже не существует, он сохраняется только на территории национальных парков и заповедников. Во многих местах, некогда расчищенных под пашню, а затем брошенных, на изрезанной оврагами земле имеется лишь скудная кустарниковая растительность.

Само озерное побережье представляет собой отложения древних приледниковых озер. Следы этих озер обнаруживаются в бассейне озера в виде эрозионных береговых уступов, древних дельт и соединительных каналов. Повсеместно встречаются известковые илы, слегка покатые песчаные пляжи, а также вытянутые береговые песчаные косы.

Низкий западный берег озера местами сильно заболочен. Когда-то эта часть побережья озера была настоящим раем для водоплавающей птицы, которой здесь было неисчислимое множество. Большинство этих болот было осушено при строительстве городов и устройстве крупных ферм. Оставшиеся заболоченные территории, превращенные в заповедники, находятся сейчас под охраной.

Национальный парк-заповедник Пойнт-Пеле (северо-западный участок побережья) — одно из последних мест на континенте, где сохранились нетронутыми обширные болота. Здесь более 1000 га тростниковых и камышовых зарослей, где обитают ондатры и норки, а также огромное количество пернатых. Около 90 различных видов птиц гнездится в этих болотах. Кроме того, через эти места проходит один из двух основных маршрутов птичьих перелетов.

Далее по северному берегу болота почти не встречаются, берега озера пологие, песчаные. Такого же типа берега и в юго-восточной части озера.

На Эри есть несколько крупных и мелких островов, все они расположены в юго-западном мелководном конце озера. На некоторых островах сохранились очевидные следы прохождения ледника. Это, как правило, глубокие гладкие борозды (до полутора метров глубиной), прорезанные в известняковых породах, покрывающих твердое скалистое основание. На одном из островов (Келлис) на прибрежных невысоких скалах сохранились загадочные рисунки и пиктографические надписи людей каменного века.

2765007

2765007

2765007

2765007

2765007

2765007

2765007

2765007

пород водопад постоянно отступает в сторону озера Эри со средней скоростью 7—10 см в год, на отдельных участках — до 1,5 м в год. За все время своего существования (7—8 тыс. лет) Ниагарский водопад отступил вверх по течению более чем на 11 км.

Долгое время водопад являлся непреодолимым препятствием для судоходства и сдерживал его развитие по всей озерной системе. В 1829 г. был открыт первый Уелленд-канал, севернее реки в обход Ниагарского водопада, а в 1932 г. — второй Уелленд-канал, шире и глубже старого, позволяющий проходить через него любому современному судну.

Многоводность реки Ниагары активно используется обеими странами (США и Канадой), и в настоящее время здесь сооружены четыре крупные гидроэлектростанции. Через Ниагару сток из всех четырех Великих озер попадает в Онтарио — последнее озеро системы.

Озеро Онтарио — самое маленькое по площади, но весьма глубокое и по объему воды заметно превосходит озеро Эри. Находясь рядом с Эри, Онтарио тем не менее обладает гораздо более приветливым характером. Имея меньшую площадь поверхности и большую глубину, оно не так быстро раздувается ветром до штормового состояния. Хотя и на нем бывают достаточно сильные шторма, особенно при северных ветрах.

На языке ирокезов „онтарио“ означает „прекрасное“, и это справедливо. Озеро действительно очень красиво, особенно оно было красиво в прошлом. Берега его невысоки и пологи, местами покрыты густым и богатым лиственным лесом. Встречаются участки и смешанного леса. Много прекрасных песчаных пляжей. Основной тип рельефа побережий — так называемые озерные равнины, где окраинные морены ледника покрыты отложениями древних ледниковых озер.

В юго-восточной части побережья часто встречаются высокие остроконечные скалы, придающие берегу вид средневековой крепости. Глинистые сланцы, некогда прорезанные ледником, и сейчас подвергаются значительной эрозии, образуя выемки в более твердых породах песчаника. Они-то и возвышаются здесь в виде остроконечных пиков, беспорядочно торчащих из зарослей хемлока, кедра и сосны. В северо-восточной части побережья встречаются высокие дюны, круто входящие в озерную воду.

Дно Онтарио понижается достаточно круто и равномерно к центральной части озера. Глубины более 100 м занимают большую часть котловины, а максимальная глубина, 240 м, расположена в восточной части озера в обширной по площади впадине с глубинами 150—200 м. К истоку реки Св. Лаврентия глубины уменьшаются до 20—25 м.

Земли побережья Онтарио чрезвычайно привлекательны для поселений, они плодородны и удобны при сельскохозяйственной обработке. Неудивительно, что бассейн озера Он-

тарио — самый освоенный из всех. Большая часть южного и юго-западного побережья озера занята обширными плантациями фруктовых деревьев. Здесь растут вишни, виноград и даже персики. В мае все эти сады дивно цветут, а в сентябре с виноградников получают около 70 млн. л вина.

На северном, канадском, берегу Онтарио, на участке побережья, известном под названием „Золотая подкова“, расположено много крупных промышленных центров страны — Гамильтон, Торонто, Ошава, Кобург и другие. Когда-нибудь этот берег будет представлять собой один огромный приозерный супергород. Сегодня так выглядит 35-мильный участок побережья от Гамильтона до Торонто.

Интенсивное освоение прибрежных земель, сопровождавшееся сведением лесов и активной обработкой почв, привело в некоторых местах побережья к очень сильной почвенной эрозии. Обнажившиеся пески под действием ветра на некоторых участках пришли в движение. Перемещаясь, эти белые и желтые горы заваливали дома, конторы, церкви, отели и фермы. Сейчас предпринимаются серьезные усилия по реставрации опустошенных земель, что требует большого, кропотливого труда и финансовых затрат. Вдоль побережья Онтарио с канадской и американской сторон образован ряд национальных парков-заповедников.

Из озера Онтарио вытекает река Св. Лаврентия, по которой осуществляется сток из всей озерной системы.

Река Св. Лаврентия — одна из самых больших и многоводных рек Северной Америки. Ее длина от озера Онтарио до устья более 1200 км. Долина реки расположена в обширной тектонической впадине на стыке Канадского кристаллического щита и Аппалачских гор.

Ниже города Кингстон на протяжении более 80 км река Св. Лаврентия протекает между бесчисленными островами, группы которых начинаются уже в Онтарио, в северо-восточном углу озера. Этот участок реки получил название „Тысяча островов“, хотя в действительности их около двух тысяч. Острова и прилегающие берега реки покрыты прекрасным густым лесом. Огромные дубы перемешаны с кленами, американским орехом, тюльпановым деревом; здесь встречаются практически все породы лиственных деревьев Северной Америки. Есть и хвойные деревья — сосна, кедр, хемлок.

Многочисленные острова не создают серьезных препятствий для судоходства, проходы между ними достаточно широки и глубоки. Но по течению реки есть несколько порожистых участков, непреодолимых для судов. В среднем течении, там, где река пересекает узкий отрог Канадского кристаллического щита, имеется длинный порожистый участок с падением уровня в 70 м на протяжении 175 км. Ниже города Квебек река Св. Лаврентия образует обширный эстуарий длиной около 400 км; в месте соединения с водами залива Св. Лаврентия ширина его достигает 50 км. Берега

эстуария высокие и обрывистые. Морские приливы распространяются по реке до города Труа-Ривьер, достигая у Квебека высоты 5,5 м.

Для обхода порожистых участков с XIX в. сооружались обходные каналы, но полностью проблема судоходства по реке Св. Лаврентия была решена только в 1959 г., когда была реконструирована вся система старых каналов и сооружены новые каналы и семь шлюзов с учетом современных требований судоходства. Глубоководный путь реки Св. Лаврентия имеет в настоящее время гарантированную глубину 8,2 м и может пропускать суда водоизмещением до 25—30 тыс. т.

Река Св. Лаврентия является важнейшим водным путем, соединяющим внутренние части США и Канады с Атлантическим океаном. По берегам реки расположен ряд крупных городов Канады — Кингстон, Корнуолл, Сорель, Труа-Ривьер, Квебек и ее самый крупный промышленный и культурный центр — город Монреаль.

По реке Св. Лаврентия осуществляется сток воды из всей системы Великих озер в Атлантический океан. В истоке средний расход воды составляет $6700 \text{ м}^3/\text{с}$. Объема воды, вытекающей из этой системы всего за 10 мин, хватило бы для водоснабжения Нью-Йорка в течение целого дня. У реки есть несколько крупных притоков — реки Оттава, Сен-Морис, Сагеней, Ришелье и ряд других, и ее средний расход в устье возрастает и достигает величины почти $8000 \text{ м}^3/\text{с}$, что составляет за год более 250 км^3 .

Озера Ладжское и Онежское в целом очень сходны с Великими американскими озерами по характеру и типу побережий, рельефу дна и по контрасту между северной и южной частями бассейнов.

Онежское озеро — верхнее в системе великих европейских озер, второе после Ладжского по величине озеро в Европе — имеет весьма своеобразные очертания. К центральной части озера с севера примыкают обширные глубоководные заливы, из которых самыми большими являются последовательно расположенные Малое Онего, Заонежский и Повенецкий. Вытянутые в одну линию, они по общей протяженности сравнимы с основным плесом озера — Центральным Онего. На северо-западе расположена самая глубоководная часть озера — Большое Онего, к которому примыкают длинные узкие заливы фьордового типа — Уницкая, Лижемская, Кондопожская и Петрозаводская губы. Кроме крупных заливов и губ, здесь имеется множество мелких.

Глубоко вдвинутый в озеро между Большим Онего и Повенецким заливом Заонежский полуостров, понижаясь, уходит под уровень озера, образуя многочисленные шхерные острова, общее число которых на озере около полутора тысяч. По берегам Заонежского полуострова и по всему северному берегу часты выходы древних кристаллических пород (в основном гра-

нитов и гнейсов) в виде высоких скалистых обрывов. Чередование длинных и узких гряд, называемых сельгами, с такими же длинными и узкими понижениями является характерной чертой северного побережья озера. При этом все формы рельефа имеют довольно четкую ориентацию с северо-запада на юго-восток — основное направление движения ледника, прорезавшего в коренных породах длинные и узкие борозды. Рельеф побережья продолжается и на дне. Здесь такие же узкие и глубокие (до 90—100 м) впадины перемежаются узкими подводными грядовыми возвышенностями, глубина над которыми порой не превышает 1—2 м. В северной части озера находятся и наиболее крупные острова: Большой и Клименецкий, Большой Ляликовский, Суйсари, Кижы и другие. Плавание в шхерном районе требует хорошей навигационной обстановки и возможно только по фарватерам.

Южная часть озера, включающая восточный, южный и часть западного берега, расчленена слабо и по характеру рельефа побережий резко отличается от северной. Восточное побережье — в основном ровная пологая местность, местами заболоченная. Мысы и разделяющие их равнины сложены песком с валунами и галькой и покрыты сосновым лесом. Часто побережье образовано одним или несколькими рядами невысоких песчаных дюн, из-под которых местами выходят коренные породы — сглаженные ледником и водой граниты и гнейсы. С юга Онежское озеро окружает широкая низменная равнина, на которой имеется много болот и небольших остаточных озер. Местами у самого уреза воды залегают пески, образующие прекрасные ровные пляжи.

Юго-западное побережье до города Петрозаводска представляет собой обрывистый склон плоского плато, прорезанного многочисленными руслами небольших ручьев и рек, впадающих в озеро. Повсеместно встречаются выходы кристаллических пород — гранита и диабазы, — образующие скалистые и обрывистые берега. У самого уреза воды берег в основном пологий, с песчаными пляжами и прибрежными отмелями. В районе Петрозаводска местность сильно пересечена отдельными возвышенностями, сложенными крупными валунами и суглинками. Выходы коренных пород здесь отшлифованы ледником в виде „бараньих лбов“.

Отчетливо разделяется Онежское озеро на северную и южную части и по рельефу дна. Если северная часть котловины отличается большим разнообразием глубин и сложностью рельефа, то южная часть — это ровный и довольно глубокий, до 60—70 м, водоем, глубина которого равномерно уменьшается к югу. Здесь выделяется только мелководный участок у истока реки Свири с глубинами менее 10 м.

Побережье Онежского озера заселено относительно мало: несколько городов и поселков городского типа — Кондопога, Медвежьегорск, Повенец, Вознесенье — и самый крупный город бассейна озера, столица Карельской АССР — Петрозаводск.

Река Свирь, соединяющая Онежское озеро с Ладожским, берет начало в крайней юго-западной части озера у поселка Вознесенье. Общая длина реки 224 км, перепад высот около 28 м, причем почти вся высота падения приходится на порожистую часть реки (около 140 км от истока). Пороги Свири представляют собой в основном валунные нагромождения, причем русло реки порогами полностью не перегораживается. Тем не менее, свирские пороги создавали серьезное препятствие для крупнотоннажного судоходства. Только после постройки двух крупных гидроузлов — Нижне-Свирского в 1933 г. и Верхне-Свирского в 1952 г. — пороги были полностью затоплены и условия судоходства значительно улучшились. Река стала судоходной на всем протяжении, с гарантированной глубиной до 4 м. На участке от устья Свири до Нижне-Свирской ГЭС уровень реки определяется уровнем Ладожского озера, а в среднем и верхнем течении регулируется работой гидроузлов. Навигационный период около семи месяцев.

В устьевом участке Свирь сливается со своими крупными притоками — Пашой и Оятью — и образует целый лабиринт рукавов, островов и проток. Сильно заболоченное устье Свири вместе с частью Свирской губы Ладожского озера является традиционным местом гнездовий и стоянок во время перелетов птиц, обитающих на северо-западе страны, в том числе лебедей, гусей и уток. Временами на этом обширном заболоченном мелководье, заросшем тростником и камышом, скапливается несколько сотен тысяч водоплавающих птиц. В связи с этим в 1980 г. здесь была выделена территория площадью около 40 тыс. га, где образован Нижне-Свирский заповедник; значение его не ограничивается охраной только перелетных птиц: это уголок первозданной природы, которая сохранилась в этом районе Приладожья.

Берега реки хорошо освоены, здесь целый ряд крупных поселков и несколько городов — Лодейное Поле, Подпорожье, Свирстрой. В среднем течении реки у поселка Важины в настоящее время сооружается крупнейший в северо-западном речном бассейне грузовой перевалочный порт с грузооборотом около 3 млн. т.

Впадает Свирь в Ладожское озеро, которое во многом похоже на Онежское, хотя и существенно превосходит его по размерам, особенно по объему, и имеет более правильные очертания. Ладожское озеро также делится на северную глубоководную и южную относительно мелководную части с соответствующим контрастным разделением типов берегов озера, прибрежного рельефа и прилегающих частей бассейна.

Основными чертами береговой линии Ладожского озера, как и Онежского, является резко выраженная изрезанность северной и большая правильность и выравненность южной, юго-восточной и юго-западной частей побережья. Особенное сходство отмечается в северных частях побережий — обилие

узких, длинных губ или заливов, вытянутых с севера на юг или с северо-запада на юго-восток, и шхерных островов.

Разновременное образование разломов в кристаллических породах, трещин и глубоких борозд привело к формированию характерных крутых, почти вертикальных склонов берега самого озера и его островов. Этот тип рельефа наблюдается на большей части северного берега Ладожского озера и его заливов. У подножья этих каменных обрывов отмечаются большие глубины, а на дне — скопления каменных глыб. Откалывание этих глыб по трещинам продолжается и в настоящее время. Местами встречаются склоны, угол наклона которых превышает 90° , — образуется виссячая стена. На некоторых участках побережья гранитные скалы уходят под воду постепенно и полого, а на их поверхности отчетливо видны глубокие борозды, сглаженные тысячелетней работой волн почти до блеска. Коренные породы, слагающие северный берег, — это в основном граниты, гнейсы, ладожские сланцы, местами встречаются диабазы.

На северо-востоке побережья берег понижается, скалы начинают перемежаться участками, сложенными песком и глиной. От устья реки Олонки и до Свирской губы берег местами имеет характер песчаного пляжа шириной до 20—50 м, тянувшегося на много километров. На отдельных участках встречаются невысокие дюны, обычно заросшие молодым сосновым лесом.

Для западного берега озера наиболее типичны низкие песчаные берега, покрытые валунами с булыжником. Этот тип берега продолжается в северном направлении до реки Вуоксы. В устье Вуоксы лежит большой дельтовый остров, который является своеобразной границей между западной и северной береговыми зонами. Западный и южный берега этого острова сложены песком с валунами и булыжником, а северный берег состоит из гранитных скал, высоких и крутых.

Самые низкие и даже низменные берега находятся на южном побережье, от истока реки Невы до Свирской губы включительно. Для некоторых мест южного побережья характерны отдельные скопления валунов и булыжника, выходящие в озеро и образующие каменистые отмели, банки и гряды. У южного побережья и в Свирской губе находятся и основные площади, занятые высшей водной растительностью — камышом, тростником, рдестом.

На Ладожском озере много больших и разнообразных островов. Общее их количество около 660, причем почти все они расположены в северной части озера. Наиболее крупными являются острова: Риеккалансари, Мантсинсари, Лункулансари, Кильпола, Валаам, Соролансари, Путсари, Коневец и ряд других. Многочисленные острова северной части озера (шхерного района) возвышенны, каменисты, почти всегда покрыты сосновым лесом. При плавании в этом районе они появляются на горизонте, как взъерошенные ежи.

Особо можно выделить центральную группу островов — Валаамский архипелаг, в котором насчитывается более 50 островов. Самый большой остров этого архипелага — знаменитый своим древним монастырем Валаам. Остров длиной 10 и шириной 6 км состоит из оливинового диабазы, покрытого моренными отложениями. Скалистые берега круты и сильно изрезаны бухтами и заливами. В северной стороне острова находится главная бухта — Монастырская, куда ведет длинный, узкий и весьма глубокий проход между скалами. В этой бухте в 1859 г. был организован А. П. Андреевым первый водомерный пост на Ладоге. Почти вертикальные обрывистые берега острова уходят на значительную глубину — до 100—150 м. В 12 км к западу от острова находится самая глубокая впадина Ладожского озера — 230 м.

Интересен остров, расположенный на самом юге озера, в противоположность Валааму — в одном из самых мелководных районов. Это остров Сухо, небольшой (длина 90, ширина 60 м) островок искусственного происхождения. На существовавшей здесь отмели еще в XVIII в. по приказу Петра I были насыпаны камни, а на насыпи был сооружен маяк. Деревянная дамба, окружавшая остров, в 1905 г. была заменена цементной кладкой тесаных камней. В настоящее время кроме маяка на острове находится метеостанция.

Ладожское озеро, как и Онежское, отчетливо разделяется по рельефу дна на северную глубоководную и южную мелководную части. Рельеф дна в северной части Ладоги очень сложен: глубокие впадины до 150—200 м разделяются подъемами дна в виде подводных хребтов или кряжей, местами достигающими до поверхности воды, выступая из нее в виде островов.

Южная часть котловины озера имеет спокойный ровный рельеф и глубины, постепенно уменьшающиеся к югу. Особенно мелководны широкие южные губы: Волховская, Свирская, Шлиссельбургская, средние глубины здесь 5—10 м.

Интересная особенность донного рельефа состоит еще и в том, что через все озеро в направлении с северо-запада на юго-восток прослеживаются пять продольных впадин. Максимальные глубины северной части озера приурочены именно к этим бороздам. Основное направление этих впадин и ограничивающих их повышений совпадает с направлением движения по этой территории ледника, с которым они связаны генетически.

Побережье озера мало освоено, особенно северная часть бассейна. Наиболее крупные города, расположенные прямо на озерном берегу или в непосредственной близости, — Приозерск, Новая Ладога, Сортавала, Питкяранта и Лахденпохья. В истоке реки Невы расположен город-порт Петрокрепость, а в устье Свири — крупный поселок Свирица. Несмотря на относительно малую заселенность бассейна, здесь расположен ряд крупных промышленных предприятий, сточные воды которых оказывают отрицательное воздействие на ка-

чество озерной воды. Об этом будет рассказано в другой главе.

Из Ладожского озера вытекает река Нева, исток которой расположен в юго-западной, самой мелководной оконечности озера — Шлиссельбургской губе. Непосредственно исток Невы отгорожен от губы широкой песчано-каменистой отмелью, в которой для улучшения условий судоходства в начале XX в. был прорыт углубленный канал — Кошкинский фарватер, длиной около 7 км и шириной 80—90 м. Канал постоянно заносится песком и илом, и его приходится периодически углублять и расширять.

Исключительная мелководность Шлиссельбургской губы приводит к тому, что в суровые зимы на обширных прибрежных участках она промерзает почти до дна. Именно это во многом определило возможность прокладки в страшную блокадную зиму 1941/42 года ледовой автомобильной дороги. Эта трасса, ставшая легендарной под названием «Дорога жизни», связала западный берег Шлиссельбургской губы (деревня Кокорово) с южным (деревня Кобона), а штаб трассы был расположен на острове Большой Зеленец. Триста тысяч тонн продовольствия было перевезено в Ленинград по этой дороге в ту зиму, что фактически решило судьбу осажденного города.

По сравнению с другими крупными реками Нева очень коротка — ее длина всего 74 км, но зато она глубока и очень полноводна в течение всего года, поскольку расход воды в ней зависит от уровня воды в Ладожском озере, который от сезона к сезону меняется незначительно. За год Нева переносит воды столько, сколько Днепр и Дон вместе взятые. Ее средний расход составляет $2500 \text{ м}^3/\text{с}$, а средний годовой сток — около 80 км^3 .

Нева протекает по долине, называемой Приневской низменностью. У реки практически нет поймы, берега русла обычно высоки и приглубы, преобладающая глубина на стрежне 8—11 м. Как правило, ширина реки около 500 м, но есть и очень широкие места, до километра и более. Самое узкое место (210 м) — в начале Ивановских порогов, которые представляют собой размытую часть древнего водораздела между реками Тосной и Мгой, существовавшего здесь до образования Невы. В этом месте река преодолевает моренную каменистую гряду, поэтому ее русло сужается, а течение ускоряется до 4 м/с. Затем Нева разливается по широкой каменистой отмели и ее глубины и скорость течения заметно уменьшаются.

Ивановские пороги были серьезным препятствием для судоходства с давних времен и почти до сегодняшних дней. Только после того, как в 1975—1978 гг. были выполнены работы по углублению и расчистке русла реки, фарватер на этом участке стал доступен для двустороннего прохода судов всех типов.

Впадает Нева в Невскую губу Финского залива, разделяясь вблизи устья на целый ряд рукавов и проток, создающих широкую и своеобразную дельту. В отличие от дельт других крупных рек, которые создаются за счет взвешенных наносов, приносимых рекой к устью и образующих там отмели и острова, дельта Невы образована уже существующими островами, которые появились здесь при понижении уровня Древне-Балтийского моря. Размывая и углубляя ложбины между этими островами, Нева формировала свою дельту.

Берега Невы густо заселены, здесь расположен ряд крупных поселков и небольших городов — Петрокрепость, Кировск, Отрадное и др. Дельту Невы и берега Невской губы занимает второй по величине и значению город нашей страны — Ленинград. С Невы начинается крупнейший в стране и один из крупнейших в мире водно-транспортных путей — Волго-Балтийский водный путь им. В. И. Ленина.

Характер гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических процессов в крупных озерах определяется как географической зоной, в которой расположен водоем, так и специфическими чертами самого водоема. Главным образом это размеры и форма озерной котловины, а также характер водосборного бассейна. Основными зональными параметрами, существенными для развития гидробиологических процессов в озерах, являются климатические и погодные условия. На их фоне в зависимости от морфометрии озера, водности региона, геохимии окружающего ландшафта формируются термический режим озера, внутроозерные водные массы, химический состав воды и развивается озерная жизнь.

Великие американские и европейские озера расположены в умеренном поясе северного полушария, который простирается от 40 до 65° северной широты. В его пределах погодные условия меняются в довольно широком диапазоне.

Величина годовой суммарной солнечной радиации в бассейне Ладожского и Онежского озер составляет 290—420 килоджоулей/см² в год. Великие американские озера расположены южнее, и величина солнечной радиации там выше: 420—580 килоджоулей/см² в год. Однако на развитии продукционных процессов это сказывается не слишком значительно, поскольку летом, в вегетационный период, когда озерные биологические процессы идут наиболее интенсивно, суммарная радиация мало зависит от широты. Летом в северном полушарии при движении к северу длина дня увеличивается, и это как бы компенсирует меньшую высоту солнца над горизонтом. Существенно разными оказываются только суммарные годовые величины продукции фитопланктона за счет более длительного периода с благоприятными для фотосинтеза условиями освещенности в 40-х широтах. Быстро уменьшается с широтой солнечная радиация в зимний период, но в это время озерная жизнь крайне заторможена. К числу других существенных для биологических процессов факторов в первую очередь относятся погодные условия, средняя глубина, прозрачность озерной воды и ее химический состав.

Погодные условия над обеими озерными системами определяются характером атмосферных циркуляционных процессов в регионе. Для умеренного пояса наиболее важным фактором

циркуляции атмосферы является циклоническая деятельность. Циклоны возникают при встрече двух различных воздушных масс и способствуют интенсивному обмену теплых и холодных воздушных масс, а также транспортировке влаги с океанов на материк. При циклоническом характере атмосферной циркуляции между воздушными массами возникают четко выраженные теплые и холодные фронты (зоны раздела), меняются скорость и направление ветра, появляется облачность и выпадают осадки.

В озерный регион Американского материка поступают воздушные массы из Арктики, с запада континента, Мексиканского залива и Атлантического океана, приводя к большому разнообразию метеоусловий. Бассейн Великих озер, особенно восточная его часть, характеризуется исключительной интенсивностью циклонической деятельности и, следовательно, крайней неустойчивостью погодных условий. Различия между погодой одного дня и другого бывают очень резкими, особенно зимой.

Эти резкие перепады погодных условий связаны с близким (территориально) положением двух районов, резко отличающихся своим термическим режимом. С севера — это Гудзонов залив, покрытый по большей своей части льдом почти круглый год и всегда холодный, а с юга — Мексиканский залив, одно из наиболее теплых морей на земном шаре, имеющий средние температуры в своей северной части от 28°C в августе до 20°C в феврале. Близкое положение этих двух контрастных областей обуславливает исключительно высокий для зимы термический градиент — почти 2°C на градус широты. Кроме того, Мексиканский залив, приносящий теплые и влажные ветры, служит основным источником осадков в бассейне. Среднее количество осадков, выпадающих в бассейне, меняется от 500—750 мм до 1000 мм в год, возрастая от западной части водосборного бассейна озера Верхнего к восточной части озера Онтарио и реке Св. Лаврентия.

Зимний период, как уже говорилось, — время наибольших погодных контрастов в озерном регионе. Циклоническая деятельность активизируется. Приходящие циклоны вызывают интенсивное перемещение воздушных масс с севера и с юга. При приближении циклона в регион поступают теплые и влажные воздушные массы из Мексиканского залива, а в тыловой части циклона происходит вторжение арктических воздушных масс, „волн холода“, которое сопровождается резким понижением температуры до $-24 \dots -25^{\circ}\text{C}$ на юге бассейна и до $-35 \dots -39^{\circ}\text{C}$ на севере. Обычно впервые это происходит в начале декабря.

При таком резком похолодании буквально через несколько часов после вторжения ледяного воздуха порт Дулут на Верхнем озере, небольшие заливы, а также шлюзовая система реки Сент-Мери сковываются льдом. Как правило, это означает прекращение навигации на озерах. Бывали случаи, когда

при таком внезапном похолодании суда, заканчивающие свои рейсы, попадали в ледяную ловушку. В 40-х годах в начале декабря одной из зим около 100 судов были скованы льдом в шлюзах реки Сент-Мерис, а полторы сотни — при подходе к портам озера Верхнего. Образовавшийся в считанные часы лед был настолько крепок, что из Дулута к кораблям подъезжали на автомобилях, подвозя продовольствие. Через несколько дней мороз ослабел, и суда были освобождены из ледового плена, но эту историю вспоминали не один год.

После озера Верхнего покрываются льдом Гурон и Мичиган, последним сдается Эри. Хотя озера в силу особенностей термического режима не покрываются льдом полностью, прибрежные части озер, заливы, соединяющие озера проливы и реки покрываются толстым прочным льдом, прерывая навигацию на четыре месяца, обычно с середины декабря по середину апреля. В настоящее время делаются попытки с помощью мощных ледоколов и специальных устройств на реках и каналах, препятствующих сплошному льдообразованию, продлить навигационный период до конца января.

Настоящее белое безмолвие царит зимой на большей части озерного края, покрытого двух-трехметровым снежным покровом. Средняя температура воздуха в январе от -5°C на южных озерах (Эри, Онтарио, южная часть Мичигана) до $-12 \dots -14^{\circ}\text{C}$ — на северных частях озер Гурон и Верхнего.

Весна на озерах начинается с треска и грохота разрушающегося льда. Первым всегда вскрывается Эри, затем постепенно и другие озера. Весна, как правило, затяжная, особенно на верхних озерах, поскольку ее развитие сдерживается очень низкой (ниже 4°C) температурой основной водной массы озер, огромный объем которой прогревается чрезвычайно медленно. Над холодными озерами формируется устойчивая воздушная масса, своего рода термический антициклон, отесняющий траектории движения циклонов к южным побережьям озер. В центральных районах озер весной обычно держится штилевая и безоблачная погода. При этом весной постоянно возникают заморозки, даже после устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 5°C (метеорологическое начало лета). Средняя температура воздуха в апреле — от 0°C в северной части бассейна до 7°C на юге.

Весна — долгожданное начало навигации на озерах. Для жителей побережья открытие каждой навигации всегда событие. Раньше даже существовал обычай дарить красивую шляпу капитану первого судна, покинувшего порт. Самый ранний выход судов отмечен в 1942 г. — 26 марта. Окончательно навигация открывается на всей озерной системе только после полного освобождения от льда шлюзовых систем и соединительных каналов.

Весна медленно сменяется теплыми летними днями. Летом циклоническая деятельность снижает свою активность, и прояв-

ляется она в несколько иной форме, чем зимой. Возникновение фронтальных зон на стыке арктических и атлантических (из Мексиканского залива) воздушных масс приводит к частым и обильным ливневым осадкам. Обстановка на озерах летом очень переменчива. Часто солнечная безветренная погода сменяется сильным ветром, порой переходящим в настоящий шторм, не уступающий по силе морскому. Особенно быстро такие штормы разыгрываются на мелководном озере Эри. Раньше в таких штормах погибало и пропадало без вести очень много судов, порой до 80—100 за один сильный шторм. Современным грузовым и пассажирским судам такая участь не грозит, но любители парусного и водно-моторного спорта и туризма часто попадают на озерах в критические ситуации.

Средняя температура воздуха самого теплого месяца — июля — не превышает на озерах 16—18 °С, только на Эри она несколько выше 20 °С, хотя оно находится на широте Черного и Каспийского морей. В целом лето на озерах прохладное и дождливое, особенно на побережье.

Осенью на материк проникают антициклоны с Тихого океана. Когда они достигают бассейна Великих озер, здесь устанавливается сухая, тихая, ясная, хотя и несколько прохладная погода. Такие периоды, называемые „индейское лето“, длятся одну-две недели и представляют резкий контраст как с пасмурной и дождливой погодой летних месяцев, так и со снежной ветреной зимой. Осень по праву считается лучшим сезоном в регионе Великих озер. Завершается осенний период усилением циклонической деятельности и периодическими вторжениями холодного арктического воздуха.

В целом бассейн Великих озер — это область влажного климата умеренного типа с обильными осадками зимой и летом, сходного с климатом Средней Балтики.

Хотя Ладожское и Онежское озера расположены севернее американских и с западной стороны субконтинента, а не с восточной, как американские, климатические особенности их бассейнов имеют определенное сходство. Здесь также сталкиваются контрастные воздушные массы разного происхождения и возникает неустойчивый климатический фон, с частой сменой погодных условий. Воздушные массы, приходящие с Атлантического океана, зимой приносят обильные снегопады и оттепели, а летом — дождливую и ветреную погоду. Вторжение масс арктического воздуха в зимний период приводит к резким похолоданиям, до —40 °С, весной и осенью — к заморозкам, а летом — к ясной, прохладной и ветреной погоде. Поступление континентальных воздушных масс с востока и юго-востока приводит к тому, что над озерами устанавливается летом сухая и жаркая погода, а зимой — ясная и морозная.

Для обеих озерных систем характерно некоторое сглаживание экстремальных значений климатических характеристик, так что континентальные воздушные массы, проходя над озерами, приобретают ряд черт, присущих морским воздушным

массам. Сглаживающее влияние озер на температуру воздуха приводит к тому, что в озерных регионах зима относительно теплая, а лето — прохладное. Это определяется способностью большого объема озерных вод накапливать тепло в летнее время года и отдавать — в холодное. Осенью влияние озер задерживает первые заморозки и заметно удлиняет вегетационный период, но зато наступление весны задерживается, особенно на северных берегах озер. Зимой и осенью озера своим относительным теплом и влажностью, кроме того, усиливают деятельность циклонов, проходящих через озерные бассейны.

Зима на Ладожском и Онежском озерах хотя и не суровая, но долгая, обычно более 120 дней. В течение всего зимнего периода преобладает юго-западное движение воздушных масс, формируя в целом мягкий климатический фон в бассейне озер, как и на всем севере Европы. С ноября по март средние месячные температуры над озерами отрицательные, они сохраняются над северной частью озер до апреля. Часто бывают штормовые ветры северного, северо-западного и юго-западного направлений. Под влиянием сильного ветра в ледяном покрове озер образуются трещины и разводья, из взломанного льда громоздятся торосы. Навалы льда на мысах и островах достигают порой высоты нескольких метров. Снежный покров по берегам обычно не превышает одного-двух метров. На льду снега, как правило, немного.

Если американские озера полностью никогда не замерзают, то на Ладожском и Онежском озерах в холодные зимы образуется сплошной ледяной покров. Правда, над самыми глубоководными районами даже в те годы, когда озера замерзают полностью, лед устанавливается на очень короткий промежуток времени, на Онежском озере — на 3—4 недели, а на Ладожском — буквально на несколько (7—10) дней. В теплые зимы озера полностью льдом не покрываются. Разрушение ледяного покрова происходит обычно в течение мая, но в холодные весны плавающие льдины задерживаются на озерах до июня.

Весной, в апреле—мае, ледяной покров разрушается, однако озера долго еще остаются очень холодными, особенно в центральных частях. Холодный воздух над озерами создает устойчивую зону высокого давления (термический антициклон), в связи с чем траектории циклонов проходят, как правило, через южные, более прогретые в это время части озер, создавая контрастные погодные условия над акваторией. Над центральными районами и глубоководными заливами, как правило, стоит безветренная погода, тогда как в южной части обычны западные и юго-западные ветры, порой довольно сильные.

К началу лета западный перенос ослабевает, часто наблюдаются северные ветры, вызывающие штормовые ситуации. Характерно, что в летнее время шторма могут не захватывать всей акватории озер и только пологая зыбь указывает

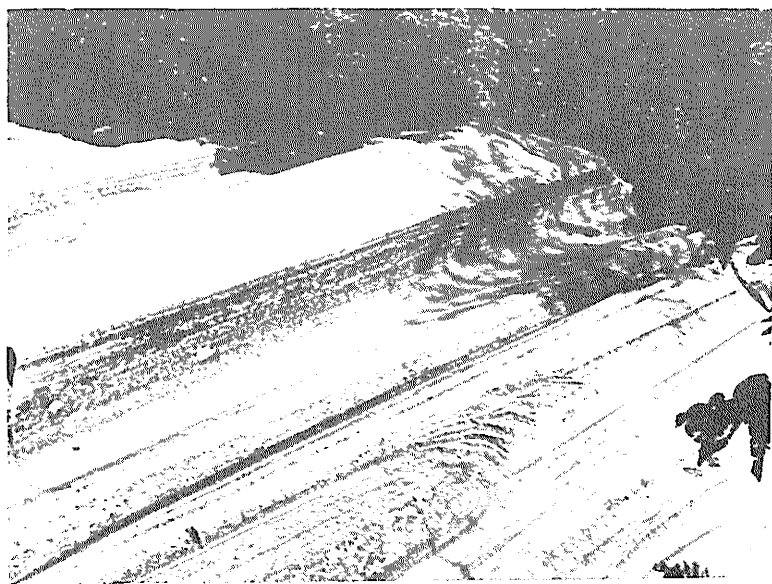
порой, что в какой-то части озера штормит. В северной части озер постоянны летние бризы, дующие с холодных озер на более теплый берег. Особенно типичны они для длинных узких заливов Онежского озера; там они проникают в глубь побережья на расстояние 10—15 км. Бризовые ветры усиливаются в дневное время и почти совсем стихают ночью. Относительно жаркая погода с тихими ясными днями устанавливается на озерах на короткий промежуток времени в конце июля — начале августа. Безоблачная погода над самими озерами в это время часто сопровождается грозами над побережьем.

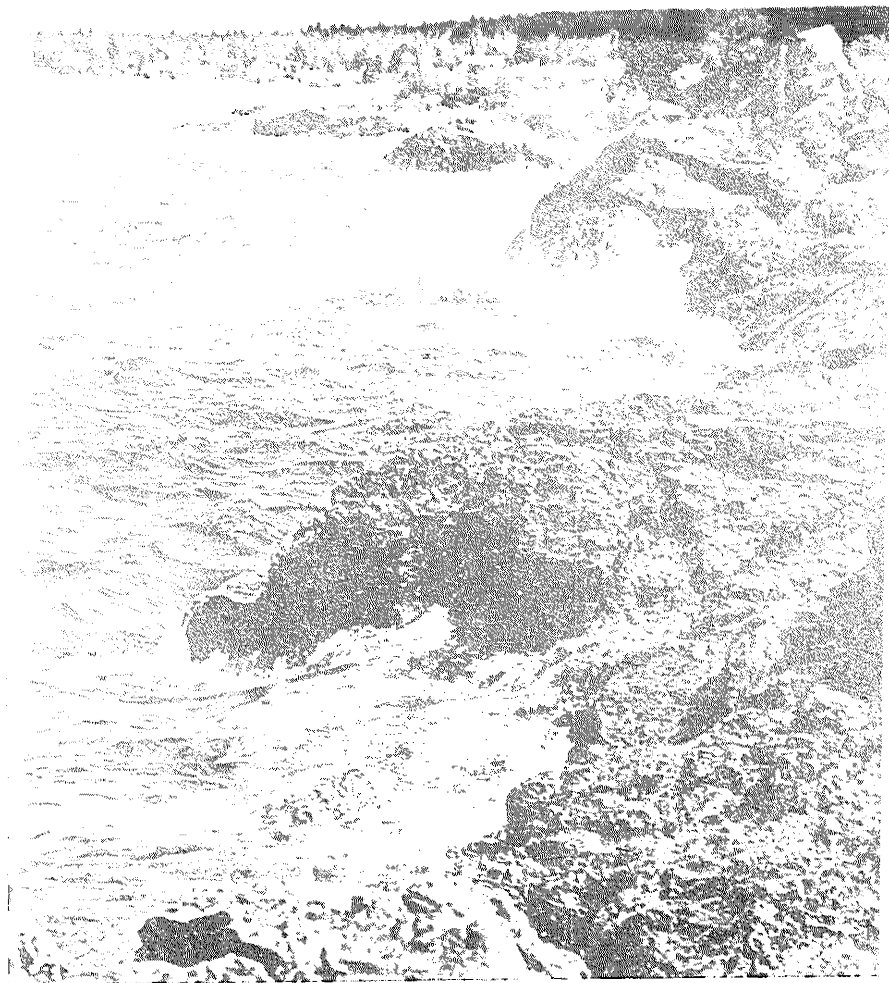
Начало длительных ветров южного направления свидетельствует о том, что лето на озерах кончилось. Осенью резко усиливается циклоническая деятельность. Серии атлантических циклонов захватывают в этот период Ладожское и Онежское озера, принося ветреную, облачную и дождливую погоду. Характерна длительная задержка циклонов над озерным регионом. Связано это с тем, что в осенний период озера остывают медленнее окружающей территории и их тепло служит дополнительным энергетическим источником для проходящих циклонов. Они задерживают свое продвижение на восток, как бы застревают над озерами на 7—10 дней, а порой и на две недели. Поэтому самая типичная ситуация над озерами в осенний период — сильные, порой штормовые ветры юго-западного, южного и юго-восточного направлений. Иногда ветер одного направления дует с неослабевающей силой 10—12 дней и более, создавая на озерах тяжелую штормовую обстановку. Сильные ветры над озерами продолжаются и в зимний период.

Вообще сильные ветры типичны для обоих озерных регионов. Проходя над акваторией озер, ветер обычно усиливается на 25—30%. При этом ветер может несколько менять свое направление, соответственно ориентации продольной оси водоема. Именно по этой оси отмечается наибольшая повторяемость направлений ветра. На наветренной стороне озер ветры могут достигать ураганной силы, создавая штормовые нагоны и сильную ветровую волну.

Весной 1973 г. население города Грин-Бей (вершина залива Грин-Бей на озере Мичиган) подверглось воздействию одного из самых сильных наводнений за всю историю. Ветер скоростью 100 км/ч обрушивал на город 3-4-метровые валы, в то время как еще более крупные волны — до 7 м — разрушали открытое побережье. Около тысячи человек покинули свои дома, а город был объявлен районом бедствия. Штормы, подобные этому, обрушивают свои волны и на другие участки побережий Великих озер. Разумеется, разрушению подвергаются не скалистые северные берега озер, где яростные волны разбиваются о гранитные скалы древнего Канадского щита, а более мягкие берега южного побережья, сложенные осадочными породами. Настоящие иловые бури возникают на озере Эри, когда вода, размывающая берега и дно мелководий, становится совершенно черной от почвенных и иловых





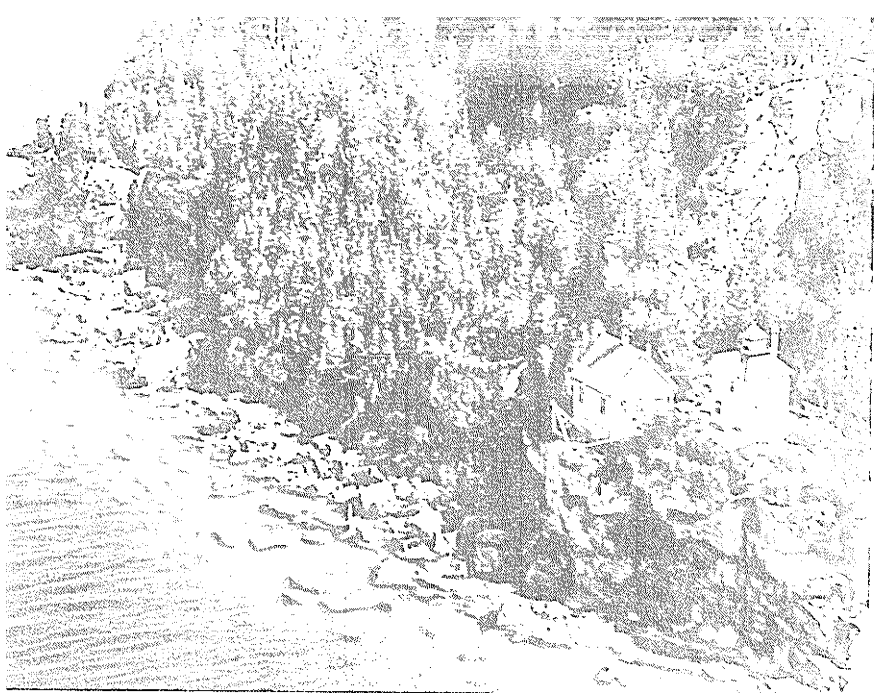


Прибой у скалистого берега озера Верхнего.

Отвесные скалы северного берега озера Верхнего.

Глубокие борозды, прорезанные в камне ледником.

Доломитовые скалы полуострова Брук (озеро Гурон).

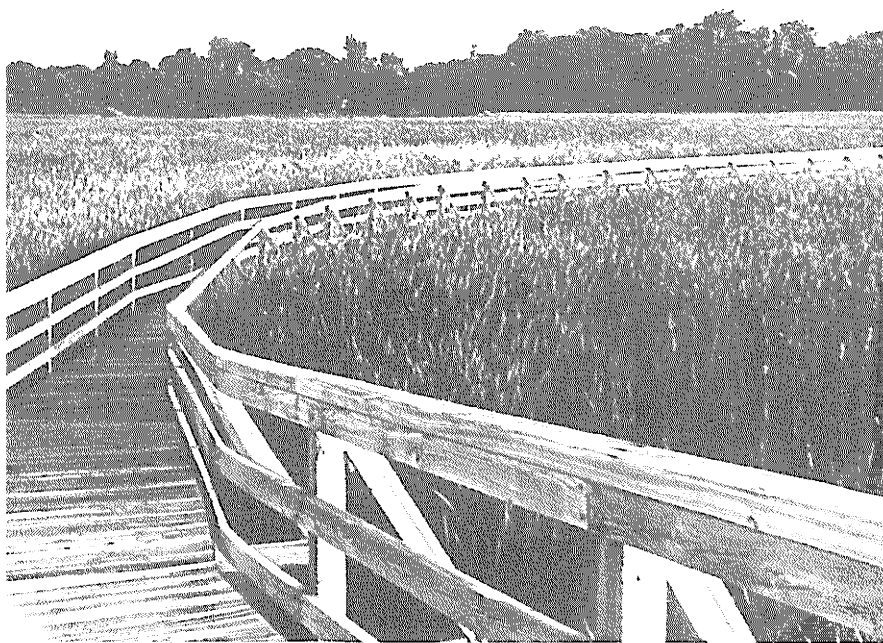




Каменистый берег залива Джорджиан-Бей (озеро Гурон).

Песчаные дюны на побережье озера Мичиган похожи на египетские пирамиды.

Мост через пролив Макино — один из длиннейших в мире.

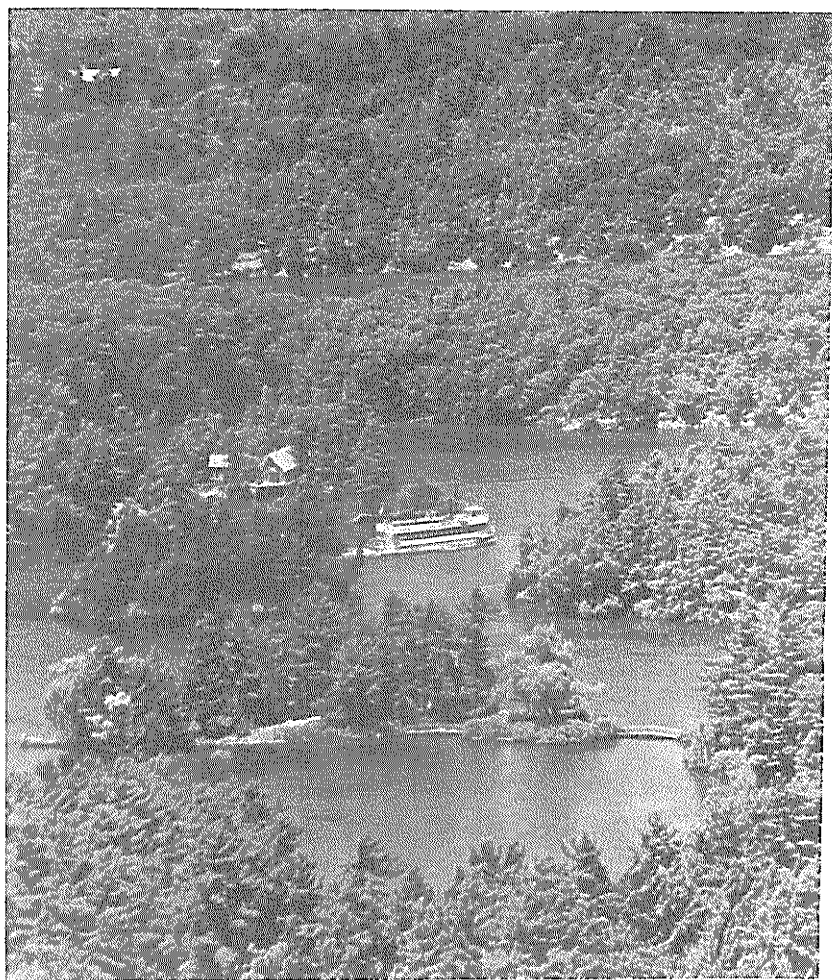




Металлургические заводы Чикаго на южном берегу озера Мичиган.

Остатки обширных прибрежных болот на озере Эри.

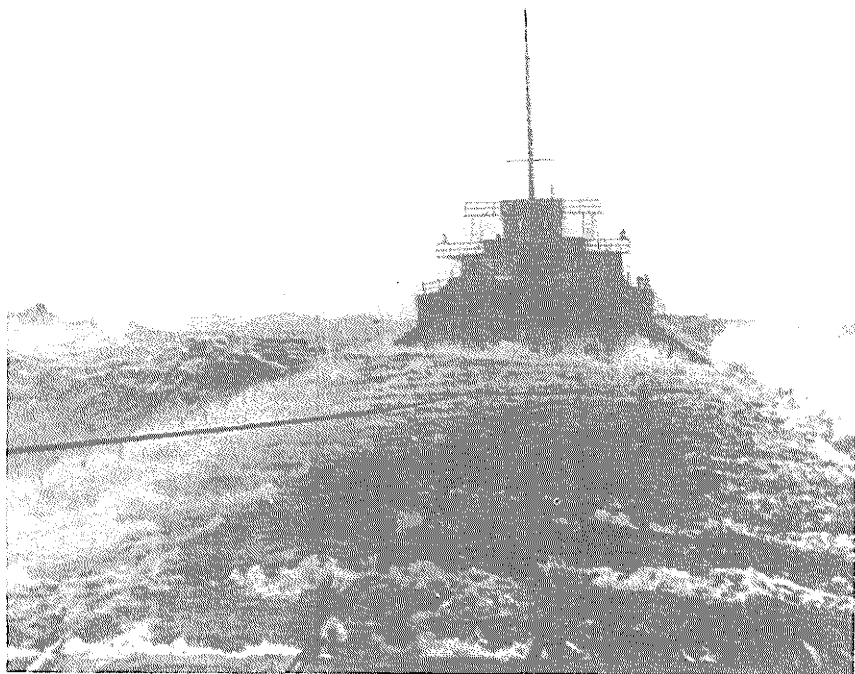
Знаменитый Ниагарский водопад (американская часть).

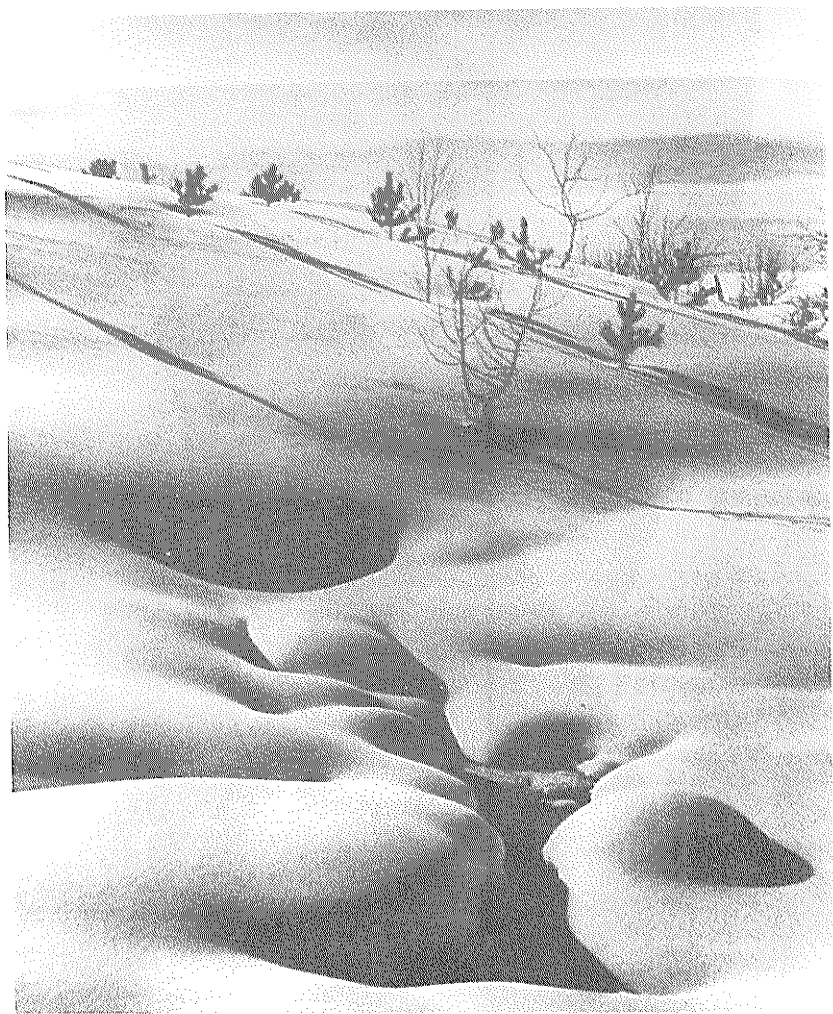


Исток реки Св. Лаврентия из озера Онтарио — участок „Тысяча остров
Скалы из песчаника похожи на стены древней крепости (озеро Онтарио)

Река Св. Лаврентия.





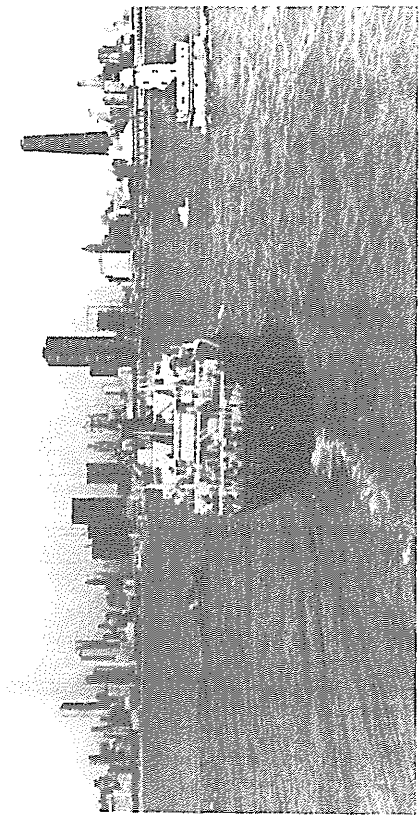


Сильный шторм на озере Эри.

Закованный льдом порт Дулут.

Глубокий снег покрывает зимой берега Великих озер.







Начало навигации на озере Верхнем.

Крупнейшие суда проходят из океана до города Чикаго.

Разрушение некоторых участков побережья озер — серьезная проблема.





Обычный вид озерных пляжей.

После весенних пикников.



Массовая гибель рыбы — нередкое явление на Великих озерах.

взвесей. Серьезному разрушению подвергаются участки южного побережья озера Верхнего, сложенные красными глинами.

Подобные волновые атаки обрушиваются и на берега Ладожского и Онежского озер, хотя и не достигают такой силы по причине меньшего размера этих озер.

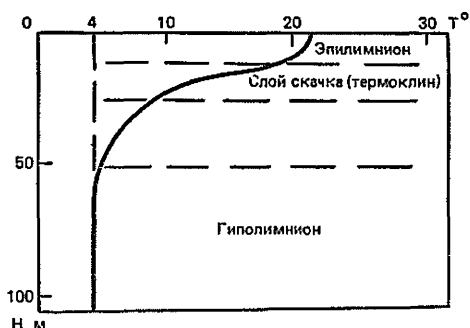
Сходное происхождение озерных котловин американских и европейских больших озер и геологические особенности водосборных территорий сказываются в общности морфометрических характеристик и формирования термического режима озер. Крутые, изрезанные глубокими заливами берега и глубокие впадины в зоне кристаллических пород сменяются меньшими глубинами с более пологими участками дна и плавной береговой линией в зоне распространения осадочных пород.

Морфометрическая неоднородность озерных котловин является причиной неоднородности режимных характеристик, связанных в первую очередь с неравномерностью прогресса водной массы.

По существующей термической классификации все озера умеренного пояса, в том числе Великие американские и Ладожское с Онежским, принадлежат к классу так называемых димиктических озер, для которых характерны два периода полного перемешивания, весной и осенью, а также летняя прямая и зимняя обратная стратификация.

Необходимо коротко пояснить, что такое стратификация и как она формируется в озерах. Само слово „стратификация“ означает расслоение, то есть вода в озерах в некоторые сезоны разделяется на верхний и нижний слои, взаимодействие между которыми ограничено. В любом водоеме более плотные, тяжелые, массы воды располагаются внизу, а менее плотные, легкие, — сверху. В морях и океанах плотность воды зависит от ее температуры и солености (концентрации растворенных в воде солей). В пресных озерах содержание растворенных солей (общая минерализация) в воде настолько мало, что им при оценке эффекта плотностной стратификации пренебрегают. Таким образом, можно считать, что в пресных озерах плотность воды полностью определяется ее температурой.

Как известно, вода — жидкость с аномальными свойствами и имеет наибольшую плотность при температуре 4°C . Выше и ниже этой температуры плотность воды уменьшается. Летом вода на поверхности озера нагревается выше 4°C , становится легче и остается сверху. Внизу вода сохраняет низкую температуру, близкую к 4°C . Такое распределение температуры в озере, когда верхние слои воды теплее нижних, называется прямой стратификацией. Перенос тепла от поверхности вниз может осуществляться только за счет ветрового перемешивания, действие которого обычно распространяется до глубины 20—25 м. Поэтому граница между верхним перемешанным слоем воды (эпилимнион) с более или менее однородной



Вертикальное распределение температуры в глубоком озере летом (прямая стратификация).

температурой и нижним слоем холодной воды (гиполимнион) очень отчетливо выражена. На этой границе возникает резкий перепад температуры, она меняется в относительно тонком слое, обычно не превышающем нескольких метров, на 10—12°. Этот слой максимальных температурных градиентов называется слоем скачка, или термоклином.

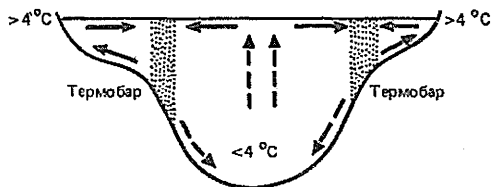
Зимой, в силу постоянного охлаждения поверхностных слоев воды, они становятся холоднее нижних. Такое вертикальное распределение температуры называется обратной стратификацией. Резко выраженного слоя скачка зимой не возникает, температура плавно повышается от поверхности ко дну, и только у самого дна отмечается более резкий рост температуры на 2—3 °C за счет тепла, накопленного донными отложениями.

Казалось бы, что зимой температура нижних слоев воды начиная с определенной глубины должна иметь температуру наибольшей плотности, то есть 4 °C. Однако в силу того, что большие озера замерзают очень поздно либо вообще не замерзают полностью, охлаждение всей массы воды в них продолжается всю зиму. В зависимости от суровости зимнего периода к моменту начала весны, то есть к началу ежегодного цикла прогрева, температура всей озерной водной массы может понизиться до 2 и даже до 1 °C.

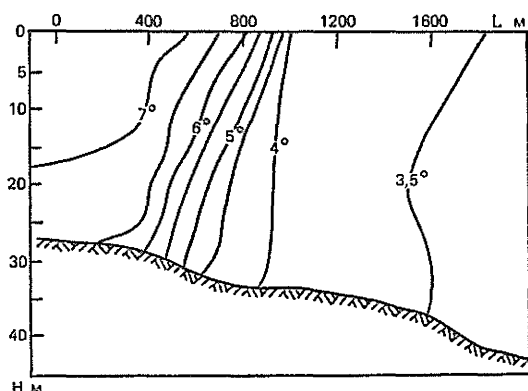
Начинающийся весенний прогрев приводит к быстрому росту температуры воды на прибрежных мелководных участках, в то время как вся глубокая часть озер остается по-зимнему холодной. В этой ситуации в больших глубоких озерах возникает характерное и очень важное в режимном отношении явление, получившее название термического бара.

Это явление было обнаружено еще в прошлом веке на Женевском озере швейцарским ученым Ф. Форелем. Затем, в силу ряда обстоятельств, оно было основательно забыто и открыто вновь в 50-е годы на Ладожском озере советским ученым-лимнологом А. И. Тихомировым. Он же исследовал и описал это явление и на Онежском озере. По результатам работ А. И. Тихомирова были проведены подобные исследования и на Великих американских озерах Г. Роджерсом.

Поперечный разрез
глубокого озера в пе-
риод существования
термического бара.



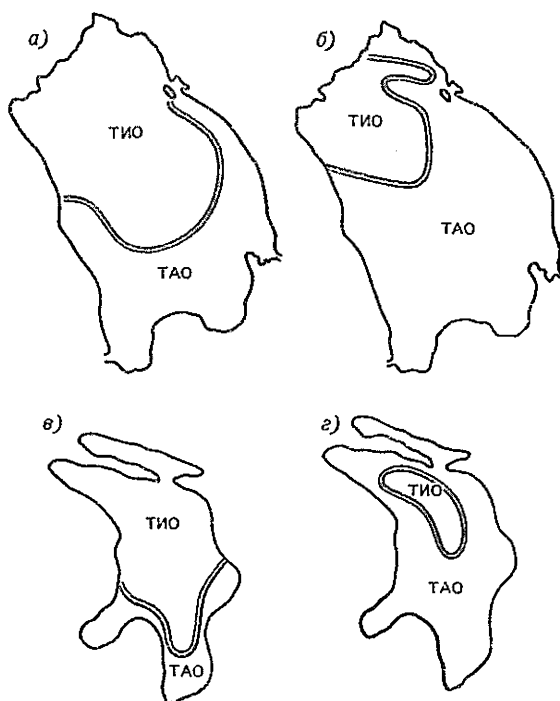
Суть явления термического бара состоит в том, что при весеннем нагревании более теплые прибрежные воды, имеющие температуру выше 4°C , и холодные воды глубоководной части с температурой ниже 4°C разделены узкой полосой воды, имеющей температуру максимальной плотности 4°C от поверхности до дна. Эта зона называется фронтом термического бара и разделяет озеро на две области: теплоактивную, мелководную, где вода нагревается быстро, и теплоинертную, глубоководную, где вода нагревается очень медленно. В теплоактивной области за счет прогрева формируется прямая температурная стратификация, а в теплоинертной происходит постепенное увеличение температуры по всей толще воды до достижения ею 4°C (конвективное перемешивание). Воды этих двух областей почти не вступают в непосредственное смешение, пока в озере сохраняется фронт термического бара. По мере прогрева теплоактивной области фронт бара продвигается в сторону больших глубин и исчезает только тогда, когда температура воды глубоководной области достигает 4°C по всей толще. После этого конвективное перемешивание прекращается и здесь тоже формируется прямая температурная стратификация. Обычно исчезновение фронта термического бара происходит в конце июня — начале июля и означает конец весеннего периода на озерах.



Вертикальное распределение температуры в зоне термического бара.

Продолжительное наличие в больших озерах фронта термического бара приводит к возникновению и развитию ряда характерных гидрофизических процессов. В зоне фронта бара как со стороны холодных, так и теплых вод возникают устойчивые вертикальные нисходящие движения. Вода как бы опускается к придонным слоям вдоль „стенки“ бара, а затем у дна начинает движение в сторону от бара, в теплоактивной области — к берегу, а в теплоинертной — в открытое озеро, в сторону больших глубин. Вместе с водой в придонные слои „закачиваются“ растворенные и взвешенные вещества с поверхности той части озера, через которую при своем движении проходит фронт термобара. Этот циркуляционный механизм оказывается очень важным при интенсивном развитии планктонных водорослей в весенний период, о чем речь пойдет в других главах.

Вдоль фронта термобара формируются плотностные течения, захватывающие своим влиянием все озеро. В теплоактивной области циркуляционное плотностное течение имеет



Положение термобара в различные сроки.
Ладожское озеро: а) 7/VI 1962 г.; б) 25/VI 1962 г.
Озеро Гурон: в) 29/IV 1964 г.; г) 8/VI 1964 г.

циклонический характер, то есть направлено против часовой стрелки, а в теплоинертной — антициклонический, по часовой стрелке. Эта система течений вдоль фронта бара поддерживает его устойчивое состояние, и он не разрушается даже при сильном ветре.

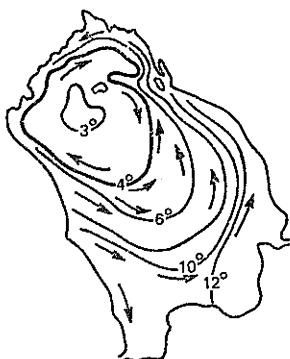
В силу существования фронта термобара речные воды в весенний период, попадая в прибрежную теплоактивную область озер, начинают перемещаться вдоль берегов в направлении против часовой стрелки. Поскольку речные воды заметно отличаются от озерных по ряду характеристик — цветность, мутность, химический состав, — разделение озера на две области очень контрастно и легко наблюдается визуально.

Различно протекают в этих двух областях и биологические процессы. В то время как в теплоинертной области озерная жизнь по-зимнему „заторможена“, в теплоактивной развитие всех форм озерной жизни — фитопланктон, зоопланктон, бактериопланктон и т. д. — происходит очень бурно.

Летом поверхностный слой воды озер постепенно нагревается, достигая температуры 16—18 °С, но толщина этого прогретого слоя невелика: в начале лета 2—3 м, к концу лета 15—20 м. Ниже, после слоя скачка, расположена холодная 4-градусная вода. Таким образом, основной объем озерной водной массы остается холодным даже в летний период. Иногда, при ветровом сгоне, глубинные холодные воды могут выходить на поверхность у самого берега, неприятно удивляя отдыхающих на побережье. За счет постоянного плотностного градиента между глубокой частью озер и мелководными прибрежными районами летом существует устойчивое циркуляционное течение циклонального направления, захватывающее все озеро.

К осени за счет ветрового перемешивания прогретый слой заглубляется до 25—30 м и более, но одновременно начинается постепенное осеннее охлаждение озер. Можно сказать, что эти огромные озера начинают охлаждаться, не успев как следует согреться.

При осеннем охлаждении возникает ситуация, подобная весенней, хотя и с обратным знаком. Прибрежные мелководные участки охлаждаются быстро и к концу осеннего периода начинают покрываться льдом. Глубокие части озер обладают значительной термической инерцией и остывают медленно. Таким образом, опять создается ситуация возникновения в озерах двух областей, одна из которых (прибрежная) имеет температуру ниже 4 °С, а другая (открытая) — выше 4 °С. В связи с этим формируется осенний фронт термического бара. Хотя осенний термобар не так ярко выражен, как весенний, по причине меньших температурных градиентов между областями, он стимулирует развитие динамических движений в озере, подобных весенним. Вновь возникают вертикальные нисходящие потоки в зоне фронта термобара и циркуляционные противоположные течения вдоль фронта.



Направление плотностных течений в Ладожском озере в период существования термобара.

Только теперь, в прибрежной части озер, формируется антициклональный перенос, а в центральных областях озер сохраняется циклональное направление переноса.

Это изменение направления плотностных течений играет существенную роль в переносе речных вод. В частности, изменение направления переноса в прибрежной части Ладожского озера приводит к поступлению вод реки Волхов непосредственно к истоку Невы. Поскольку воды Волхова подвержены сильному загрязнению, этот перенос отражается на качестве вод реки Невы, используемых для водоснабжения Ленинграда. Сформировавшийся в осенний период антициклональный перенос в прибрежной зоне озер сохраняется и зимой, хотя и заметно ослабевает к концу зимнего периода.

Эти системы плотностных циркуляционных течений, закономерно меняющиеся по сезонам, имеют очень устойчивый характер. Возникающие под действием ветра течения в поверхностном слое воды нарушают эту циркуляционную систему, но она быстро восстанавливается при прекращении действия ветра.

Таким образом, можно сказать, что для всех очень больших озер характерна пространственная неоднородность гидрофизических процессов в разные сезоны года, причем возникновение этой неоднородности и ее изменение по сезонам строго закономерны и связаны с морфометрическими особенностями озер (резкий перепад глубин между прибрежной и открытой частями озер) и разной скоростью прогрева этих частей.

Гидрохимический состав, прозрачность и цветность озерной воды в большой степени определяются характером озерных водосборов. Значительное количество осадков в озерных бассейнах, сильная промытость почв и коры выветривания определяет низкую общую минерализацию грунтовых и речных вод, формирующих озерную воду. Диапазон изменений общей минерализации текущих в великие озера вод от 50 до 500 мг/л.

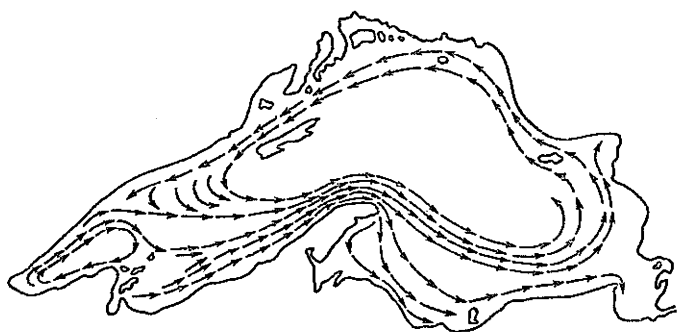
Основным процессом формирования химического состава поверхностных вод в озерных бассейнах является разложение органических веществ, при котором в воду в наибольшем количестве поступают ионы кальция и гидрокарбонатные ионы. Формируются так называемые гидрокарбонатно-кальциевые воды, которые свойственны обоим озерным системам. Общая минерализация озерной воды невелика и составляет от 36 мг/л в Онежском озере до 190 мг/л в Онтарио. Развитие хозяйственной деятельности на водосборных бассейнах может, как будет показано в дальнейшем, значительно менять химический состав озерных вод.

Водосборные бассейны Ладожского и Онежского озер расположены преимущественно в зоне тайги с преобладанием подзолистых почв, значительные территории заболочены. Это определяет желтоватую окраску озерных вод и их сравнительно низкую прозрачность. В Ладожском озере средняя прозрачность 2,5 м, в Онежском — около 4 м. Надо пояснить, что прозрачность определяют по видимости белого диска диаметром 40 см (диск Секки), который погружают в воду. Значение прозрачности, например, 3 м означает, что на глубине 3 м диск перестает быть видимым.

Северная часть бассейна Великих американских озер покрыта тайгой, основная же территория водосбора находится в зоне смешанных и широколиственных лесов с бурыми лесными почвами. Заболоченность водосбора меньше, в связи с чем озерные воды имеют не желтоватую, а зеленовато-голубоватую окраску и прозрачность их заметно выше. В озерах Верхнее и Мичиган прозрачность воды достигает 8 м, в Гуроне — 7. В Эри и Онтарио прозрачность несколько ниже, около 4 м, но это связано с тем, что на них сказывается сильное антропогенное воздействие.

От прозрачности озерной воды, ее температуры и содержания в ней питательных веществ (биогенных элементов) зависит интенсивность биологических процессов на поверхности воды, в водной толще и придонных слоях. Прозрачность озерной воды определяет глубину фотического слоя, то есть слоя проникновения солнечной радиации и, следовательно, развития продукционных процессов. Первичная продукция — органическое вещество, образующееся в процессе фотосинтеза, — в крупных озерах создается в основном микроскопическими планктонными водорослями. При ненарушенном естественном режиме в этих озерах содержание питательных веществ (азота, фосфора, кремния и др.) довольно низко, и поэтому даже при большой прозрачности развитие продукционных процессов в них сдерживается недостатком питательных веществ.

Живые организмы крупных глубоких озер, как и всех других водоемов, разделяются схематично на две основные категории: живущие в толще воды и обитающие на дне. В озерной воде обитают: фитопланктон (микроскопические водоросли), бактериопланктон, зоопланктон, рыбы и некоторые другие орга-



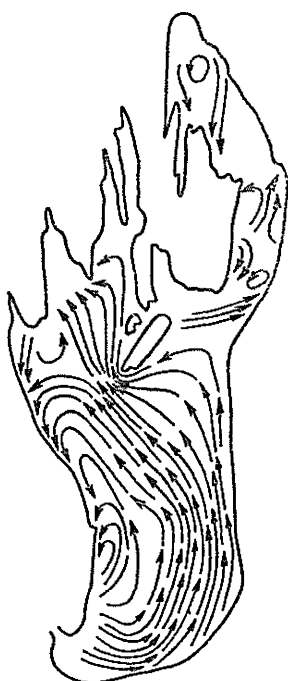
Плотностные течения в озере Верхнем в летний период.



Плотностные течения в озере Гурон в летний период.



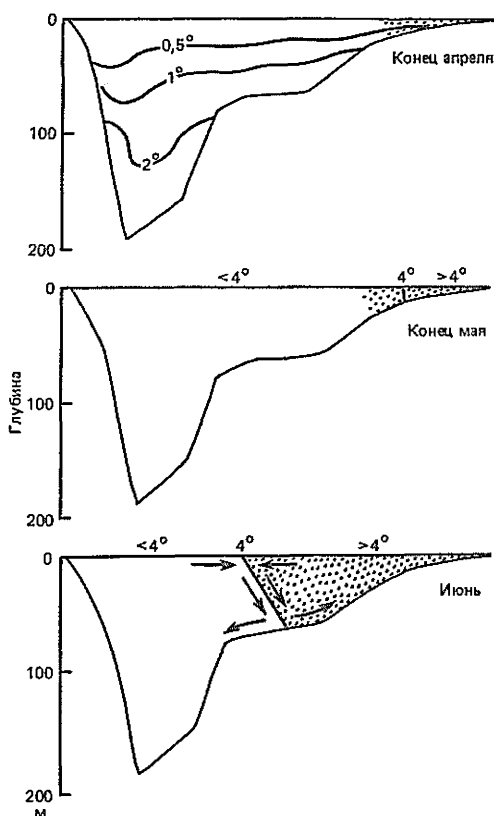
Плотностные течения в Ладожском озере в летний период.



Плотностные течения в Онежском озере в летний период.

низмы. На дне и подводных предметах — перифитон (прикрепленные водоросли) и бентос (ракообразные, моллюски, черви, личинки насекомых), бактерии и высшая водная растительность. Все эти организмы составляют единое сообщество — биоту. Каждый ее элемент, выполняя вполне конкретные функции, поддерживает жизнедеятельность всей системы в целом. Водоросли создают органическое вещество в процессе фотосинтеза, бактерии перерабатывают и минерализуют органическое вещество на дне и в толще вод, организмы зоопланктона и зообентоса, питаясь бактериями и фитопланктоном, в свою очередь служат пищей для рыб.

В великих озерах все это также имеет место, хотя основная особенность их гидрологического режима — холодноводность в течение почти всего года, — обуславливает меньшую активность всех биологических процессов, чем в мелких, хорошо прогреваемых озерах. Этому также способствует, как уже говорилось, низкая обеспеченность озер питательными веществами. Только прибрежные участки и небольшие заливы, занимающие в целом небольшую часть площади и объема этих озер, могут по интенсивности жизненных процессов приближаться к малым озерам.



Зона интенсивного развития диатомовых водорослей и положение термобара в разные фазы весеннего прогрева Ладожского озера.

Основой всей жизни в водоеме, главной пищевой базой для всего его населения являются фотосинтезирующие водные растения, в крупных глубоких озерах — фитопланктонные водоросли. В фитопланктоне озер обеих систем найдено несколько сотен видов и разновидностей водорослей, но основную их долю составляют диатомовые. Это своеобразные планктонные организмы, обладающие наружным кремниевым скелетом. Наиболее распространенные виды диатомовых в этих озерах — аулакозира, табеллярия, астерионела и ряд других. Даже в самом мелком и наиболее продуктивном из всех озер — Эри, где активно развиваются и другие группы водорослей, диатомовые составляют почти 75% всей водорослевой биомассы. В других озерах их доля еще более существенна.

Диатомовые водоросли холодолюбивы и отличаются своеобразным жизненным циклом, особенно это относится к роду аулакозира, наиболее распространенному в больших озерах. В течение зимнего периода колонии диатомовых находятся

в придонных слоях воды озер, а с началом весеннего конвективного перемешивания, которое в мелководных районах начинается еще подо льдом, всплывают к поверхности. Диатомовые водоросли интенсивно развиваются в течение весеннего периода в теплоактивной области, площадь которой увеличивается при перемещении фронта термобара в направлении глубоководных частей озера. По мере прогрева поверхностных слоев воды озер и формирования эпилимниона ранневесенние диатомовые, аулакозира, опускаются ниже в пределы гиполимниона, где еще сохраняется холодная вода. Как показывают наблюдения, значительные скопления аулакозир у дна совпадают с водной массой, имеющей температуру 4 °С. Вероятно, аулакозира принадлежит к числу так называемых тяжелых водорослей, что и обуславливает их приуроченность к водам с наибольшей плотностью. Есть также мнение, что клетки диатомовых к концу весенне-летней вегетации накапливают ионы тяжелых металлов, способствующих увеличению их удельного веса.

Так или иначе, большая часть аулакозир в летний период опускается в гиполимнион, уступая первенство в поверхностных слоях другим видам водорослей, как диатомовым, так и представителям прочих групп — зеленым, синезеленым, золотистым и т. д. В осенний период интенсивное перемешивание и охлаждение озер способствует вторичному всплыванию к поверхности клеток аулакозир, вызывая еще один пик их развития, хотя и не такой интенсивный, как весной. Осенняя вспышка повторяется не каждый год, и при постепенном охлаждении озера водоросли опускаются ко дну и там „зимуют“ до нового периода активной вегетации.

Кроме диатомовых, как уже говорилось, в фитопланктоне этих озер в заметном количестве присутствуют зеленые, синезеленые и золотистые водоросли. Представители других групп, как правило, немногочисленны, встречаются редко и единичными экземплярами. Самая характерная черта планктонной флоры — холодолюбивость, теплолюбивые формы встречаются в небольшом количестве, и то только в разгар лета. Центральные части озер в течение всего вегетационного периода бывают бедны фитопланктоном в количественном и видовом отношении, по причине низкой температуры и крайне скудной обеспеченности биогенными элементами. Более богат и разнообразен фитопланктон прибрежных частей озер. В последние годы положение с фитопланктоном на озерах заметно изменилось, но об этом пойдет особый разговор.

Зоопланктон, потребляющий в качестве основного элемента пищевого рациона фитопланктон, также довольно беден. Основу зоопланктона в этих озерах составляют копеподы (веслоногие рачки), коловратки и клadoцеры (ветвистоусые рачки). Постоянно присутствуют, хотя и занимают подчиненное положение, представители протозойного планктона. Очень существенным элементом в гиполимнионе являются крупные

реликтовые рачки, чаще всего мизиды, особенно важные в качестве корма ценных пород рыб.

Вследствие низких температур и ограниченного количества фитопланктона зоопланктон беден количественно и в видовом отношении. Он состоит из форм холодолюбивых или приспособленных к широкому диапазону температур. Приток тепла летом и некоторое увеличение количества пищи приводит к летнему максимуму развития зоопланктона, обычно приходящемуся на июль — август. Зоной наибольшей продуктивности зоопланктона являются верхние 25 м водной толщи. Некоторые крупные формы из группы каланоида, так же как и мизиды, предпочитают нижние слои воды и в период стратификации преобладают в гипolimнионе. Зоопланктеры — более активные пловцы, чем планктонные водоросли, и способны совершать довольно значительные суточные миграции, амплитуда которых тем больше, чем крупнее форма. Осенью, с охлаждением воды, начинается депрессия зоопланктона, в зимнее время зоопланктон в озерной воде практически отсутствует.

В донной фауне (зообентосе) озер преобладают черви (олигохеты) и реликтовые ракообразные (амфиподы). В глубоководных центральных частях озер почти весь состав зообентоса исчерпывается этими двумя группами. В открытой части озера Онтарио, например, 56% численности зообентоса составляют олигохеты и 36% — амфиподы. Ближе к берегам добавляется еще одна многочисленная группа — личинки насекомых. Среди реликтовых ракообразных во всех озерах преобладает один вид — пантопорейя аффинис. Эти рачки, как и многие другие реликтовые животные, имеют довольно узкий ареал распространения. Кроме Ладожского, Онежского и Великих американских озер они обнаружены еще в крупных озерах Швеции, в некоторых озерах Карело-Кольской озерной области и некоторых реках бассейна северных морей. Открытые, глубоководные части озер довольно бедны донной фауной, резкий контраст по численности и разнообразию видов представляют прибрежные мелководные части озер — литораль. В этих зонах в массе представлены еще и различные личинки насекомых, моллюски, пиявки и ряд других групп.

Распределение бентоса, как по разнообразию видов, так и по общей продукции в этих озерах, строго коррелирует с глубиной (обратная зависимость). Это может быть связано с пищевыми потребностями. Частицы органического вещества, в том числе живой и мертвый фитопланктон, оседающие из верхних слоев воды, — основная пища зообентоса. Чем дальше их путь в толще воды, тем больше минерализуется органическое вещество за счет бактериальной деструкции и тем меньше остается его на долю бентических организмов. Для многих организмов существенна также степень удаленности от берега (личинки насекомых).

Высшая водная растительность в этих озерах играет сравнительно скромную роль в первичной продукции. Однако

прибрежные мелководья, устья и эстуарии рек, заливы имеют обширные и густые заросли камыша, тростника, рогоза и некоторых видов погруженных растений. На высшей водной растительности, подводных камнях и других погруженных в воду предметах развиваются прикрепленные виды водорослей — фитоперифитон. Бактерии, населяющие озерные донные отложения, осуществляют здесь, как и в воде, процесс биохимической трансформации веществ.

Все великие озера представляли (отчасти представляют и до сих пор) большую промысловую ценность в связи с обилием в них редких и высокосортных пород рыб, для обитания которых требуются в первую очередь чистая, прозрачная холодная вода и высокое содержание растворенного в воде кислорода. В этих озерах в изобилии водились, достигая при этом огромных размеров, лосось, форель, различные виды сигов и даже осетровые рыбы. Некоторые из них сохранились и до сих пор. Кроме них, в озерах обитают другие, менее ценные породы: судак, окунь, лещ, щука и ряд других. В каждом из озер насчитывается несколько десятков различных пород рыбы. О рыбном населении этих озер можно было бы написать отдельную толстую книгу, хотя, к сожалению, в нее уже вписаны печальные страницы, связанные с огромным ущербом, нанесенным человеком рыбному запасу озер. Сказочные рыбные богатства этих озер, увы, ушли в прошлое.

Кстати, в определенной степени это касается всего гидробиологического режима. В этой главе описано то состояние озер, которое было им присуще до самого недавнего времени, пока в их режим не вмешался человек. Тысячи лет сохраняли озера свои основные качества — чистую, пресную, холодную и прозрачную воду, низкую продуктивность по основным гидробиологическим показателям, изобилие ценных и редких пород рыбы. Только в нашем столетии некоторые из этих режимных характеристик под влиянием человеческой деятельности изменились столь заметно, что сейчас на повестке дня стоит вопрос о спасении и защите водоемов. Чтобы понять, как озера „дошли до жизни такой“, небезынтересно проследить, хотя бы коротко, историю освоения озерных бассейнов.

3

ОСВОЕНИЕ БАССЕЙНА ВЕЛИКИХ АМЕРИКАНСКИХ ОЗЕР

Озера не имеют истории, кроме геологической, до тех пор, пока на их берегах не появляется человек, причем все их геологическое прошлое не имеет существенного значения для человеческой истории. Мы узнали о Великих озерах только с конца XVI — начала XVII вв., когда европейцы впервые принесли в Европу рассказы об огромных внутренних морях недавно открытого Американского материка.

Но за сотни лет до появления европейцев в этих местах жили многочисленные индейские племена, многие из которых исчезли во взаимных междоусобицах, не оставив о себе никакого следа в исторической памяти. Индейцы мигрировали в бассейне Великих озер в поисках лучших мест обитания, свободно пользуясь неисчерпаемыми природными ресурсами этих мест. На своих легких каноэ они плавали по бурным порожистым рекам и без страха пересекали озера по своим охотничьим маршрутам. На этой территории никогда не было такого общественного устройства, которое с полным правом можно было бы назвать индейской цивилизацией, хотя в районе озер Эри и Онтарио многочисленные племена ирокезов создали мощную и воинственную державу, устрашая соседей военной силой и постоянной угрозой нападения.

Открытие европейцами и последующая колонизация Северной Америки сопровождалась безжалостным и неуклонным истреблением местных индейских племен. Индейцев систематически сгоняли с лучших земель, вытесняя их в пустыни и болота. Против индейцев велись бесконечные истребительные войны, на них охотились, как на диких зверей, истребляя их всеми способами. Загнанные в резервации, они вырождались и умирали от голода и болезней, завезенных европейцами. Трагическая судьба коренного населения составляет одну из самых страшных и позорных страниц в истории колонизации европейцами Северной Америки.

Хотя есть серьезные основания полагать, что в бассейн Великих озер еще в XI в. проникали норманны, официально первым европейцем, попавшим в эти края, считается француз Жак Картье, бывший пират, перешедший на службу к королю Франции. В 1534 г. приказом французского адмирала де Шабо он был поставлен во главе маленького отряда, отправленного на поиск северного водного пути в Китай и Индию. Потомок отважных бретонских мореходов, Картье, имевший прозвище

„веселый корсар“, в начале лета 1534 г. на двух маленьких суденышках около 60 т водоизмещением, обогнув остров Нью-фаундленд, вошел в широкий залив, который он наименовал в честь Святого Лаврентия. При обследовании залива Картье достиг места, которое он принял за пролив, причем из этого пролива шло сильное течение. Это оказалось устье реки Св. Лаврентия, но сам Картье был уверен, что он открыл пролив, ведущий в восточные страны, и даже дал ему название пролив Св. Петра.

В следующем, 1535 году Картье, углубившись в „пролив“, вошел в текущую с юго-запада мощную полноводную реку, названную им рекой Святого Лаврентия. На берегах этой реки он встретился с местным населением, различными индейскими племенами. Индейцы называли свои поселки „канада“, что позднее дало наименование всей стране. Картье обследовал фактически даже не всю реку Св. Лаврентия, он поднялся только до того места, где сейчас находится крупнейший город Канады — Монреаль.

Индейцы, у которых Картье пытался выяснить, откуда течет эта река, указывая на запад, объясняли жестами, что там находится „большая вода“. Они имели в виду Великие озера, но Картье понял, что по этой реке можно выйти к Тихому океану. Более того, он полагал, что и земли, открытые им, относятся к Азии, о чем и докладывал королю Франции Франциску I по возвращении. Король официально объявил о присоединении к Франции заокеанской колонии — Новой Франции, или Канады.

Следующая экспедиция Картье, предпринятая в 1542 г., закончилась неудачно. В новой стране колонисты не нашли обещанных богатств, более того, во время зимовки многие из них заболели цингой и умерли. Эта неудача отодвинула дальнейшие попытки колонизации здешних мест почти на полстолетия.

Непосредственно Великие озера европейцы увидели только в начале XVII в. Слава первооткрывателя озер принадлежит Самюэлю Шамплону, старому солдату Генриха Наваррского. С его именем связаны крупнейшие открытия на востоке Американского материка и начало колонизации земель. Сам он стал в конце жизни генерал-губернатором Новой Франции.

Основанный Шамплонем в 1608 г. городок Квебек стал основным опорным пунктом на пути к богатствам озерного края, и в первую очередь к пушнине. В Квебеке Шамплон часто слышал рассказы индейцев о „великом море“ чистой воды, расположенном на западе. На поиск пути к Западному морю Шамплон периодически отправлял вместе с индейцами группы колонистов, среди которых выделялся своей отчаянной смелостью Этьен Брюле, попавший в эти места в шестнадцать лет. Он совершенно акклиматизировался в индейской среде, знал их языки и обычаи, жил и охотился вместе с ними. Это был один из первых так называемых лесных бродяг,

трапперов, — охотников и следопытов, бесстрашных и неутомимых разведчиков новых земель. Этьен Брюле фактически и был первым европейцем, увидевшим Великие озера. Отправленный Шампленом вместе с индейцами в очередной раз к Западному морю, Брюле в 1614 г. достиг берегов озера Гурон. Оно вначале так и называлось — Пресное море.

В 1615 г. Шамплен и Брюле обследовали залив озера Гурон Джорджиан-Бей, а затем разными путями вышли к озеру Онтарио. Они пересекли все озеро и, выйдя из него, убедились, что река Св. Лаврентия берет свое начало именно здесь. Брюле был также первым европейцем, увидевшим озеро Верхнее. В 1622 г. он видел древние индейские медные рудники на его северном берегу. Проходя по озерам в 1624 г., он наверняка видел и озеро Эри. Таким образом, Этьен Брюле был первым европейцем, который посетил все Великие озера, кроме Мичигана. Но, поскольку этот бесстрашный лесной бродяга не оставил после себя никаких записей, все, что он видел и узнал, остается тайной. О нем самом известно только то, что в 1632 г. он был убит индейцами во время пьяной ссоры.

Шамплен старался установить хорошие отношения с местными племенами индейцев, и это ему часто удавалось. Но, заключив прочный союз с гуронами, он неожиданно получил непримиримого врага в лице воинственных ирокезов, с которыми гуроны давно враждовали. В дальнейшем эта непримиримая ненависть ирокезов к французским колонистам была использована англичанами, которые в борьбе за новые земли получили в лице ирокезов чрезвычайно сильного союзника.

В 1634 г., за год до своей смерти в Квебеке, Шамплен в очередной раз посылает отряд на поиск Западного моря. Во главе отряда был Жан Николе. Дойдя по известному уже маршруту до реки Сент-Мэрис, вытекающей из Верхнего озера, он затем повернул на юг и, пройдя проливом Макино, открыл очередное „пресное море“ — озеро Мичиган. Все это время французы не теряли надежды найти водный путь в Азию. Жан Николе так был уверен в успехе своего путешествия, что взял с собой на случай приемов одежду из китайского шелка.

Последним из Великих озер было открыто Эри. Это произошло в середине XVII в. К этому времени в Новой Франции усилилось влияние иезуитов-миссионеров, прибывших сюда спасать души своих краснокожих прихожан. Параллельно со спасением душ индейцев иезуиты открыли и исследовали много новых земель. В отличие от своих предшественников, они подробно описывали маршруты всех своих путешествий. Большинство записей того времени сделано этими первыми отцами-миссионерами. Путешествовали они по-индейски — поднимались на лодках-каное по порожистым рекам и плавали по бурным озерам. Озеро Эри было открыто в 1640 г. иезуитом Жаном Бребефом. Река Ниагара и знаменитый Ниагарский водопад были обследованы несколько позже, но к 1648 г. они были уже хорошо известны.

В 1644 г. другой иезуит, Исаак Жог, составил обобщающий отчет, в котором было дано в общем верное географическое описание всех пяти Великих озер, хотя очертания трех крупнейших из них — Верхнего, Гурона и Мичигана — требовали еще существенных уточнений. Во второй половине XVII в. иезуиты полностью закончили обследование Великих озер.

Заканчивая описание периода открытия Великих озер, стоит упомянуть о последней крупной исследовательской и торговой экспедиции французов, возглавлявшейся Робером Кавелье де Ла Салем. Отважный француз, получивший прозвище „великий неудачник“ из-за множества препятствий, постоянно встававших на его пути и казавшихся непреодолимыми, прибыл в Канаду в 1666 г. Его исследования американского континента продолжались более 20 лет. Он не только обследовал Великие озера, но и открыл реку Огайо и исследовал всю реку Миссисипи до впадения ее в Мексиканский залив, полагая при этом, что она должна обязательно впадать в Тихий океан. Ла Саль построил первое парусное судно для плавания по Великим озерам водоизмещением 45 т, а затем форты на реках Ниагаре и Иллинойс. Пройдя по Миссисипи до ее устья в 1681 г., Ла Саль объявил всю страну, орошаемую рекой Миссисипи и ее притоками, владением Франции и назвал ее в честь короля Людовика XIV Луизианой. Прожив чрезвычайно бурную и полную опаснейших приключений жизнь, Ла Саль был изменнически убит своими спутниками в Техасе в 1687 г.

Великие озера с рекой Св. Лаврентия, а теперь еще и огромная территория бассейна Миссисипи были к началу XVIII в. в полном владении французов. Но английские колонисты, освоившие к тому времени Атлантическое побережье Северной Америки от реки Гудзон до Флориды, полагали, что земли Нового Света до самого Тихого океана принадлежат им. Конфликт был неизбежен. И он не замедлил возникнуть, тем более что французы уже давно враждовали с англичанами на путях торговли пушниной.

Первые серьезные столкновения французов с англичанами начались уже в 1690 г. из-за территории Акадия на полуострове Новая Шотландия, причем эта война закончилась в пользу французов. Правда, уже через несколько лет англичане вернули себе южную часть Акадии.

В 1755 г., одновременно с Семилетней войной в Европе, началась война и в Северной Америке. Англичане в этой войне явно превосходили противника и на суше, и на море. В 1760 г. под их ударами пал Монреаль, а к 1763 г. война закончилась полной победой Англии и подписанием Парижского мира, который зафиксировал, что Новой Франции больше не существует.

Во всех этих войнах вместе с войсками метрополии (Великобритании) выступали и отряды английских колонистов, прочно освоивших к тому времени Атлантическое побережье

Северной Америки. За годы войны с французами армия колонистов серьезно окрепла, а сразу после войны отношения их с метрополией резко ухудшились. В конечном итоге это вылилось в четырнадцатилетнюю Войну за независимость (1775—1789 гг.), в результате которой английские колонии, получившие с 1776 г. название Северо-Американских Соединенных Штатов, полностью отделились от Великобритании и образовали самостоятельное государство. В 1783 г. Великобритания была вынуждена признать Соединенные Штаты, в собственность которых отошла вся территория Северной Америки от Канады на севере до Миссисипи на западе и Флориды на юге.

Хотя американцы к этому времени уже захватили реки Ниагару и Детройт, англичане еще долго не пускали их на Великие озера, используя преимущества флота. В 1814 г., после целой серии сухопутных и водных сражений, была установлена окончательная граница между США и Канадой (тогда еще английской колонией), проходящая по акватории Великих озер. Между странами был оформлен договор Джея, целью которого было сведение к минимуму факта разделения озерных водоемов. По этому договору гарантировалось право прохода через озерный регион любого жителя обеих стран с правом свободной торговли. В дальнейшем этот договор совершенствовался и к 1909 г. обрел окончательный вид Пограничного Водного договора, в котором были установлены на протяжении всей 2000-мильной границы районы свободные и закрытые для плавания.

Таким образом, открытие и освоение Североамериканского материка европейцами привело, в конечном итоге, к возникновению двух самых больших по территории капиталистических государств — США и Канады. Оба эти государства развились из переселенческих европейских колоний, которые постепенно раздвинули свои границы, безжалостно тесня друг друга, а также истребляя местное население и захватывая их земли.

Заселяя и осваивая новые земли, чрезвычайно богатые природными ресурсами, европейцы существенно меняли облик этих мест. В тихих, заросших тростником устьях рек выросли крупные, оживленные порты, небольшие поселения превратились в крупные промышленные города. Там, где торговые пути из озера Верхнего затруднялись порогами реки Сент-Мэрис, сегодня проходит судоходная трасса с грузооборотом, превышающим таковой через Суэцкий и Панамский каналы вместе взятые. Штаты (США) и провинции (Канада) бассейна Великих озер представляют собой в настоящее время величайший в мире индустриальный комплекс. По их берегам проживает более 60% населения Канады и почти 20% населения США. Кроме того, здесь сосредоточено 25% американской национальной промышленности, а к 2000 г. промышленный потенциал региона возрастет почти вчетверо.

Первым ценным ресурсом, привлечшим европейцев на Великие озера, была пушнина. Шкуры куниц, ондатр, выдр и лисиц шли на отделку модной одежды того времени. Однако в центре внимания были бобры. Эти усердные строители речных плотин и запруд были распространены на всем протяжении Канады и севера США, и их запасы казались неисчислимыми. Ценилась не только их шкура, мясо бобров тоже употребляли в пищу. В конце концов, при нарастающем темпе промысла, их почти полностью истребили в регионе Великих озер. Промысел и торговлю пушниной начали французы, но настоящего размаха она достигла у англичан. Первая крупная пушная компания была основана англичанами в 1670 г., причем они в это время проникали к Верхнему озеру с севера, из Гудзонова залива. На западном берегу озера Верхнего между английскими торговцами и французскими, прибывшими из Монреаля, проводились взаимовыгодные обмены.

В 1784 г. была основана еще одна крупная английская компания, которая позже слилась с компанией Гудзонова залива. Англичане стали бы полновластными хозяевами пушной добычи и торговли, если бы не вмешались предприимчивые американцы. Будущий миллионер Джон Астор организовал в 1808 г. американскую Пушную компанию и убедил Конгресс запретить на американской территории всю иностранную торговлю. Этим было положено начало быстрому развитию американского мирового рынка. Астор был чрезвычайно опытным и ловким дельцом. В 1833 г. он продал свою компанию, а в 1848-м она обанкротилась. Торговля резко упала, поскольку заметно снизилась численность бобров, а кроме того, изменилась и мода. Однако в плане освоения природных ресурсов бассейна это было едва замечено, поскольку в центре внимания было уже новое богатство — медь.

Первые шахты появились на полуострове Кивиноу, на южном берегу озера Верхнего, там, где сотни лет добывали медь индейцы. Слухи о медных самородках, рассыпанных прямо на земле, ходили еще во времена Шамплена. Медь искали французы, потом англичане, но безуспешно. Только после 1837 г. на южном побережье озера была открыта настоящая медная страна. Известный геолог Д. Хаугтон, проводивший обследование этих земель в 1841 г., в своем отчете подтвердил наличие богатых запасов меди, однако предупредил, что масса людей потеряет последнюю рубашку, пока их найдет. Но никто не слушал его предостережений. Начался настоящий медный бум, сотни фермеров и горожан превратились в изыскателей. В надежде на быстрое обогащение они перерыли весь полуостров Кивиноу. Повезло только единицам, а основная масса отчаявшихся шахтеров отправилась по домам, потеряв все, что имела. Мрачные пророчества Хаугтона полностью оправдались.

Тем не менее, в 1845 г. была организована шахтная компания. Усиленный поиск позволил открыть новые рудные жилы,

и компания процветала. Уже за первые 35 лет после основания ею было добыто около 20 тыс. т меди. В течение многих лет эти медные разработки оставались основными в мировой добыче, но позднее запасы истощились, а кроме того, были обнаружены мощные и более богатые рудные жилы в штате Монтана. Сегодня большинство этих первых шахт опустело.

Следующей мощной разработкой были железные руды. О том, что земли у Верхнего озера богаты железом, было известно давно, но медное безумие на некоторое время совершенно затмило его поиски. Участки с железорудными жилами вполне определенно были установлены в 1844 г., а три года спустя первая крупная компания начала их разработку, что послужило началом развития одной из богатейших индустрий в истории промышленного освоения земных недр.

На всем протяжении второй половины XIX в. в районе верхних озер системы находили все новые и новые железорудные месторождения. Миллиарды тонн высококачественной руды, гематита, ждали своего часа. Шахтные компании буквально вгрызались в землю, добывая металл с рекордной скоростью. С 1940 г., в связи с вступлением США во вторую мировую войну, потребность в металле возросла, но к тому времени запасы высококачественной руды начали истощаться. К середине 50-х годов в железорудном бассейне Верхнего озера наступила глубокая экономическая депрессия. Шахты закрывались одна за другой, тысячи шахтеров потеряли работу.

Выход из этого положения был найден достаточно быстро. Дело в том, что истощившиеся месторождения богатых руд были окружены практически неисчерпаемыми залежами таконита (железистого кварцита), руды с низким содержанием железа (от 25 до 30%, против 50—60-процентного содержания железа в гематите). Ранее таконитами пренебрегали, но теперь они привлекли внимание. Был найден промышленный способ использования таконита даже с большей эффективностью, чем гематита. Железорудные шахты были спасены, но возникла проблема „таконитовых хвостов“ (отходов обработки таконитовых руд): сегодня они распространяются в западной части озера Верхнего на сотни квадратных километров от района горнопромышленных разработок.

Одним из самых выразительных периодов истории освоения бассейна Великих озер был лесозаготовительный бум. Густые лесные чащи страдали уже от первых поселенцев. Они рубили лес на дрова и на свои бараки, сжигали, чтобы освободить участок под поселения. С ростом городов и началом интенсивного судостроения лес стал, кроме того, статьей дохода.

Лесозаготовительный период начался в 40-х годах XIX в. Лесопилки наполнили своим визжанием окрестности Сагино-Бей. Отсюда лесорубы двинулись на север, к озеру Верхнему, и на запад, к Мичигану, вырубая на своем пути высокий

густой лес. В устье каждого большого ручья, впадающего в озеро, сооружались лесопилки. Из лагерей лесорубов лес сплавлялся на лесопилкам водой, а оттуда перевозился на деревянных судах-лесовозах в Чикаго, Детройт, Милуоки и другие процветающие порты.

Все стали лесорубами. Фермеры, горожане, эмигранты из Европы вступали в лесорубные команды. Лесорубы ютились в до отказа набитых палатках и землянках, здесь же теснились и конные повозки. Грузчики накладывали бревна в два яруса на сани и тащили их к берегу реки. Количество смертельных случаев среди лесорубов было огромно. При валке деревьев каждый лесоруб молился, чтобы другой не свалил дерево прямо на него.

Эра лесозаготовок кончилась так же внезапно, как и началась. После 1900 г. число вырубок резко сократилось, а после 1920 г. они прекратились вовсе. Этому было две основных причины: лучший лес был уже сведен и начались лесные пожары. Когда лесорубы двигались через лес, они оставляли после себя горы веток и сучьев из вершущек деревьев. В жаркие сезоны от этого сушняка начинались фантастические пожары. С 1870 г. огромные лесные пожары охватили штаты Висконсин и Мичиган. Сотни небольших пожаров сливались вместе, захватывая обширные пространства. Временами затихая и вспыхивая вновь, они губили лес, людей, поселки и части городов. Поскольку в те времена не существовало эффективных методов тушения лесных пожаров, они продолжались обычно до тех пор, пока их не заливали сильные дожди или не выгорало все, что могло гореть. Когда это огненное уничтожение подошло к концу, на месте могучих вековых сосен остались бесплодные земли и обугленные головешки. Под действием поверхностного склонового стока началась обширная эрозия почвы.

Только тогда человек начал исправлять свои ошибки. Лесная служба США разработала программу восстановления израненного края. С 1930 г. появились эффективные средства борьбы с лесными пожарами. Гражданская служба охраны природы отправила отряды для посадки новых деревьев. Для сохранения лесного массива озерного края были организованы национальные заповедники. Сейчас размеры посадок приблизились к тому уровню, который был до начала рубок. В новых, посаженных человеком лесах вновь проводятся рубки, но строго следуя принципу — количество вырубленного леса не должно превышать количество вновь выросшего.

Добыча полезных ископаемых, лесозаготовки, сельское хозяйство развиваясь настоятельно требовали и развития транспорта, в первую очередь водного. Мощным стимулом к развитию судоходства на Великих озерах послужило открытие и освоение северо-запада Америки (штаты Иллинойс, Индиана, Мичиган, Огайо и Висконсин). Долгое время основным водным транспортом оставались каноэ, поскольку строительство бо-

лее крупных судов сдерживали труднопроходимые речные участки между озерами. Для серьезного развития водного транспорта необходимо было соорудить плотины, каналы и шлюзы.

„Эра каналов“ началась с постройки в 1825 г. Эри-канала, который соединил реку Гудзон с озером Эри (у города Буффало). Канал имеет в длину 584 км, поднимаясь при этом посредством 35 шлюзов на 172 м. Позднее от этого канала было сделано ответвление к озеру Онтарио. Вдоль канала и на берегах озер, примыкающих к нему, быстро выросли города: Олбени, Rochester, Буффало, Кливленд и другие.

В 1829 г. открывается Уелленд-канал на Ниагаре, построенный в обход Ниагарского водопада, а несколько позже, в 1854 г., сооружена шлюзованная система Су-Сент-Мери в обход водопадов и порогов на реке Сент-Мэрис, связывающей озера Верхнее и Гурон. В 1850 г. построен канал между озером Онтарио и городом Монреаль, и почти в это же время (1848 г.) сооружен Иллинойс-канал, начинающийся в южной части озера Мичиган у города Чикаго и связавший всю озерную систему с рекой Миссисипи. После сооружения этих каналов озерный грузооборот резко возрос, достигнув к 1860 г. 2 млн. т, что только в 2,5 раза ниже современного уровня.

Первым пароходом, появившимся на озерах (в 1816 г.), было канадское судно „Фронтенак“. Оно, как и все первые парходы, в дополнение к большим гребным колесам имело паруса. Судно „Вандалия“, спущенное на воду в 1841 г., было первым озерным пароходом с гребным винтом.

С начала 1850 г. уже около тысячи парходов и шхун курсировало по озерам. Эмигранты из Европы, прибыв в Нью-Йорк, по Эри-каналу добирались до Буффало, а затем отправлялись дальше, чтобы поселиться на верхних северных озерах или на дальнем Западе. Около семи с половиной месяцев в году по Великим озерам курсировали грузовые суда, перевозившие железную руду, зерно, лес, строительный камень, уголь и нефть. Для каждого типа перевозок строился свой тип судов. Но все это были относительно небольшие суда, в 1887 г., например, среднее водоизмещение судов, проходивших через систему Су-Сент-Мери, составляло 600 т.

Дальнейшее развитие судоходства требовало расширения, а главное — углубления каналов: по ним могли проходить лишь суда с осадкой, не превышающей 3 м. В первой половине XX в. их гарантированная глубина была доведена до 4,2 м, но скоро и этого стало недостаточно, а кроме того, оставались труднопроходимые участки на реке Св. Лаврентия.

В 1954—1959 гг. совместными усилиями США и Канады была проведена полная реконструкция всех гидротехнических сооружений на озерах, а главное, был открыт водный путь по всей реке Св. Лаврентия. В настоящее время общая длина глубоководных каналов на всем водно-транспортном пути по Великим озерам составляет 270 км, а гарантированная глу-

бина — 8,2 м, благодаря чему сюда имеют доступ суда любого водоизмещения, как морские, так и океанские. Общая длина водного пути от порта Дулут на западном берегу озера Верхнего до устья реки Св. Лаврентия около 3000 км, по озерам постоянно курсирует более 500 крупных судов, перевозя ежегодно почти 20 млн. т. зерна и 25—30 млн. т железной руды. Среди грузовых судов, проходящих по озерам, есть настоящие гиганты, водоизмещением 60 тыс. т и более. В начале 1973 г. в порты Великих озер прибыло первое судно из СССР.

Интенсивное грузовое и пассажирское судоходство вносит значительный вклад в загрязнение озер нефтепродуктами, несмотря на ряд существующих запретов.

Из всех отраслей деятельности человека на Великих озерах, вероятно, самые большие злоупотребления с удручающими последствиями были допущены в рыбном промысле. После многих лет неограниченного лова ценнейших пород рыбы — лососевых, сиговых, озерного осетра, судака и др. — рыбный промысел в настоящее время переживает тяжелые времена. Этому есть несколько причин.

Когда первые поселенцы освоили бассейн Великих озер, они рассматривали его природные ресурсы в первую очередь как источник быстрой наживы. Наряду с использованием других природных богатств, о чем было рассказано выше, на озерах очень быстро установился процветающий рыбный промысел.

Каждый город на побережье был одновременно и рыбным портом. В середине XIX в. рыбаки, оснащенные самыми разнообразными средствами промысла, вылавливали тоннами озерную форель, осетров, лосося, сига, окуней, судака, озерную сельдь, голавлей, налимов, щук. Рыбпромысловая индустрия достигла своего пика в 1899 г., когда уловы США и Канады превысили 60 тыс. т. Чрезмерный вылов подорвал численность рыбного стада, особенно ценных и более уязвимых пород, и к настоящему времени уловы уменьшились в сотни раз. При этом снизился не только объем вылавливаемой рыбы, но и ее промысловая ценность. К примеру, в 1967 г. 95 % коммерческих уловов в озере Мичиган составили мелкая озерная сельдь, корюшка, желтый окунь и карп. В сотни раз снизились уловы лососевых, сиговых, а озерный осетр в настоящее время находится вообще на грани исчезновения.

Кроме чрезмерных выловов, была еще одна катастрофическая причина, резко снизившая поголовье ценных пород рыбы в Великих озерах. Настоящее опустошение в озерах произвели морские миноги, проникшие туда после постройки соединительных каналов, и в первую очередь Уелленд-канала, сделанного в обход Ниагарского водопада. До того морские миноги обитали в прибрежных водах Атлантики, в реке Св. Лаврентия и в нижнем озере системы — Онтарио. Их распростра-

нение в другие озера сдерживалось Ниагарским водопадом. После постройки Уелленд-канала они постепенно продвинулись в озеро Эри, затем появились в озере Гурон, после чего чрезвычайно быстро распространились и в остальных озерах, достигнув к 1950 г. западной части озера Верхнего.

Похожая на угря морская минога имеет рот, подобный круглой присоске. Она присасывается к первой попавшейся крупной рыбе и не оставляет ее, пока не насытится кровью. После нападения миноги на теле рыбы остаются большие кровоточащие раны и если она и не погибает сразу, то гибнет позднее от вторичного поражения бактериями и паразитами.

Хищническая деятельность миног очень быстро подорвала форелевый и сиговый промысел на озерах. В течение 20 лет (с 1940 по 1960) фактически все поголовье сига и озерной форели исчезло из озер Эри, Гурон и Мичиган. Затем этой же участи подверглось и озеро Верхнее. В 1961 г. общий улов озерной форели на озерах составил 150 т по сравнению с 5 тыс. т в 1940 г. Рыбный промысел был подорван, брошенные сети гнили по берегам. Большая часть рыбаков отправилась на поиски другой работы.

Все эти годы велся интенсивный поиск способов борьбы с морской миногой, испытывались всевозможные средства, вплоть до электроизгородей. Было испытано более 6000 химических препаратов, но все эти меры давали лишь частичный успех. В конце концов Американской службе охраны природы удалось синтезировать избирательный яд, известный под названием „доу-лап”. Уничтожая практически всех мальков миноги, этот яд не оказывает никакого вредного действия на другие породы рыб. Кроме того, он оказался безвреден и для личинок многих водных насекомых, служащих кормом для рыбы. С 1959 г. доу-лап применили на всех впадающих в озеро Верхнее реках и ручьях, где нерестились миноги. Поголовье миноги снизилось на 85 % всего за два года. Эта программа была сразу распространена и на другие озера. Начиная с 1962 г. в озера выпускаются миллионы экземпляров молоди лососевых и сиговых рыб, и хотя их численность еще далеко не достигла прежнего уровня, рыбный промысел начинает медленно восстанавливаться.

Сельское хозяйство развивалось в бассейне Великих озер неравномерно, как в территориальном отношении, так и во времени. В период начальной колонизации региона французы практически не уделяли внимания развитию земледелия, ограничиваясь добычей и торговлей пушниной. Более того, первые колонисты, вступая в бескрайние неосвоенные дебри озерного края, думали преимущественно о том, чтобы выжить в этой странной, дикой и полной опасностей стране.

Только после 1783 г., когда в эти колониальные земли, бывшие до того во владении французов, стали прибывать англичане, в озерном регионе, в его канадской части, стало

развиваться земледельческое хозяйство. Колонисты начали строительство больших поселений. Быстрое развитие этих поселений на низменных, плодородных участках бассейна повлекло за собой большие вырубki леса. Освоение обширных сельскохозяйственных территорий, подчиненное стремлению к максимальной и быстрой отдаче, приводило к эрозии почвы.

Пшеница была первым сельскохозяйственным продуктом, имеющим важное экономическое значение для региона. Однако с 1900 г. в сельскохозяйственной экономике существенное место занимает животноводство. К настоящему времени доход от продуктов животноводства составляет более 70 % от общего дохода фермерского хозяйства.

До 1941 г. площади земельных угодий в озерном бассейне продолжали расти. Однако уже в скором времени обозначилась тенденция к некоторому уменьшению площади обрабатываемых земель, при этом произошел ряд существенных изменений в характере их использования. Одновременно с проведением широкого комплекса противозерозионных мероприятий увеличивается интенсивность использования обрабатываемой земли, что достигается применением более совершенных методов обработки почвы и внесением оптимальных доз необходимых удобрений. В целом в бассейне сельское хозяйство играет незначительную роль. Развитыми в сельскохозяйственном отношении являются только бассейн озера Онтарио, долина реки Св. Лаврентия и частично бассейн Эри. Причем в хозяйственном развитии региона прослеживается явная тенденция роста обрабатывающей промышленности и в связи с этим доли городского населения.

В 1851 г. только 14 % населения канадской провинции Онтарио (самой развитой в сельскохозяйственном отношении) могло считаться городским. В 70-х годах нашего столетия уже 80% населения провинции жило в городах, в настоящее время доля городского населения еще выше. Только за сто с небольшим лет населенные пункты в озерном бассейне превратились из мелких разрозненных поселков в города-гиганты, среди которых можно выделить: Чикаго (7,8 млн. жителей), Детройт (4,5 млн.), Торонто (2,7 млн.), Монреаль (2,6 млн.), Кливленд (2,1 млн.), Буффало (1,4 млн.), Милуоки (1,4 млн.), Rochester (1 млн.). Общая численность населения в бассейне в 1971 г. составляла 35 млн. жителей, а по демографическому прогнозу к 2020 г. увеличится до 60 миллионов.

Побережье Великих озер всегда было привлекательным местом отдыха, но особенно возрос приток туристов в связи с резким ростом автотранспорта и появлением автострад в 30-х годах. После второй мировой войны рекреационная активность возросла еще в несколько раз. В настоящее время число отдыхающих здесь увеличивается на 10—12% в год.

Эта рекреационная активность приносит фирмам и частным владельцам участков побережья огромный доход, но за нее уже приходится расплачиваться. Налицо переполненность ту-

ристских лагерей, автостоянок, пляжей. Общее число прогулочных и спортивных лодок на озерах перевалило за 10 миллионов. Плата за сервис в разгар сезона достигает астрономической величины. Частное ведение дел, конечно, несколько ограничивает доступ желающим комфортабельно провести отпуск на побережье, однако обычно при этом не соблюдаются водоохранные требования в зонах рекреации, что ухудшает качество озерной воды в этих же зонах. Это приводит к периодическому закрытию пляжей санитарной службой из-за высокого бактериального загрязнения.

Рекреационный бум поставил в настоящее время перед властями штатов ряд серьезных проблем, многие из которых пока представляются неразрешимыми, тем более что в ближайшие 10—15 лет ожидается рост рекреационной активности примерно вдвое по отношению к современному уровню.

Интенсивное развитие хозяйства в бассейне Великих озер, рост населения, особенно городского, и рекреационный бум оказали и продолжают оказывать существенное влияние на качество озерной воды и состояние озерных экосистем, о чем будет рассказано в последующих главах.

4

ОСВОЕНИЕ БАСЕЙНА ЛАДОЖСКОГО И ОНЕЖСКОГО ОЗЕР

По своим природным богатствам озера Ладожское и Онежское и территории их водосборных бассейнов ненамного уступают американским. Однако в силу ряда причин темп их освоения был не таким стремительным, как на Североамериканском материке, и интенсивность эксплуатации природных ресурсов, доступных для использования, долгое время оставалась невысокой.

Природные ресурсы бассейна Ладожского и Онежского озер в историческое время осваивались постепенно и, в отличие от района Великих озер, подвергшегося насильственной колонизации,— теми же людьми, что искони заселяли побережье озер или жили в непосредственной близости от этих мест.

Первые достоверные исторические сведения о заселении края и использовании его земель относятся к IX в. н. э. Однако есть свидетельства того, что самые ранние поселения на берегах Онежского и Ладожского озер появились еще в доисторическое время. На южном берегу Ладожского озера и в истоке реки Невы обнаружены следы неолитических стоянок человека, относящиеся к III тысячелетию до н. э. На восточном берегу Онежского озера, на мысу Бесов Нос сохранилось множество наскальных рисунков доисторического человека, принесших этому мысу всемирную известность. Древнейшие поселения, обнаруженные на северных берегах Повенецкого залива, датируются археологами VIII—VII тысячелетиями до н. э. Основным занятием наших древних предшественников были охота и рыбная ловля, и фактически окружающая среда и природные ресурсы оставались почти не затронутыми. Древние обитатели этого края не знали земледелия, скотоводства, не создавали крупных поселений. Хотя на побережье Онежского озера были обнаружены следы первобытной металлургии (выплавка бронзы, а потом железа), но это уже относится к последнему тысячелетию до н. э.

Достоверных сведений о жизни населения озерного края в первые несколько столетий нашей эры не сохранилось, но хорошо известно, что к концу первого тысячелетия эти земли уже находятся в сфере интересов формирующегося древнерусского государства. Уже в первых русских летописях IX—

XI вв. упоминаются русские и карельские поселения на побережье Ладоги.

В 1042 г. сын киевского князя Ярослава Мудрого Владимир установил границу русских владений по реке Кюменне в 100 км западнее Выборгского залива. Карельские земли, расположенные к северу от крупнейшего торгового пути Древней Руси — „из варяг в греки“, — начали заселяться русскими людьми.

Этот процесс не являлся колонизацией, он скорее носил характер ненасильственной ассимиляции малых народов с более крупной этнической общностью. Местное население к этому времени стояло на более низкой ступени социального развития, здесь еще сохранился первобытно-общинный строй. В этническом отношении угро-финские племена, населявшие эти земли, распределялись приблизительно так: к западу и северу от Ладожского озера обитали карелы, территория между Ладожским и Онежским озерами была заселена вепсами, а среднюю часть Карелии и северное побережье Онежского озера занимали саамы (лопари). Территория верхнего течения Невы была заселена угро-финским племенем ижора. На востоке бассейна обитали племена, называвшиеся в русских летописях заволоцкой чудью. С юга к этим землям примыкала территория, издавна обжитая славянами.

После распада Киевской Руси на ряд феодальных удельных княжеств, примерно с начала XII в., территория озерного бассейна находится под влиянием культурного, политического и экономического центра северо-западной Руси — Новгорода. „Господин Великий Новгород“, как называли летописцы Новгородскую феодальную республику, имел громадные владения. Западная их граница проходила по реке Нарве, а на крайнем северо-востоке новгородские отряды уже в XI в. дошли до бассейна полярной Печоры. Проникновение предприимчивых новгородцев на север в поисках мест богатого промысла и новых торговых путей повлекло за собой включение с XII в. территории сегодняшней Карелии и побережья Ладоги и Онеги в состав Новгородской республики.

Земли северо-западной Руси в силу своего географического положения не были захвачены татаро-монголами и на протяжении нескольких столетий служили важным форпостом, боевым щитом русских земель, отражавшим набеги иноземных завоевателей — Ливонского ордена с запада и шведов с севера. С целью освоения и защиты земель, примыкавших к важному торговому пути, новгородцами создавались опорные населенные пункты на побережьях озер. На Ладожском озере это, в первую очередь, Старая Ладога — один из древнейших русских городов.

В истории Русского государства этот город занимает особое место, с ним связано летописное повествование о призвании на Русь (862 г.) варяжских князей — Рюрика, Синеуса и Трувора. Кстати, Ладожское озеро в древности называли

озеро Невы. Ладогой оно стало называться довольно поздно, едва ли не в XVIII в., по имени этого древнерусского города. По одному из преданий, здесь в 922 г. скончался и был похоронен легендарный князь Олег. Один из курганов на окраине Старой Ладогой до сих пор называют Олеговой могилой.

С XII в. на побережье Ладожского озера существует Олонец, с XIII — Корела (позднее Кексгольм, ныне Приозерск) и Сермакса, торговый пункт в устьевой части Свири. Важную роль в освоении края играют монастыри. Монастырь на острове Валаам появляется уже в X в., несколько позже основывается монастырь на острове Поневец, с XII в. существует Сердобольский погост, на месте будущего города Сортавала. В начале XIV в. (1323 г.) в истоке Невы новгородцами заложена крепость Орешек. Стены ее были деревянные, с одной каменной башней. Именно эта башня уцелела в 1348 г. во время осады Орешка шведами, когда деревянная крепость погибла в пожаре. В 1352 г. новгородцы заложили на этом острове каменную крепость. На побережье Онежского озера, которое находилось в стороне от периодических военных схваток, возникает ряд перевалочных торговых пунктов („рядки“) — Шуйский, Повенецкий, Вытегорский, Андомский, Шальский, Водлозерский и другие.

Историческая судьба края в XII—XVII вв. определялась длительной и временами очень тяжелой борьбой между русским государством и шведами за его обладание. В 1240 г. шведы потерпели крупное поражение на Неве от новгородских дружин Александра Невского. Однако затем ряд военных побед одерживают шведы. В конце XIII в. они закрепляют свои военные успехи основанием города-крепости Выборга. Следующий период военных действий закончился в 1323 г. подписанием мира в только что построенной новгородцами крепости Орешек в истоке Невы. По условиям мирного договора была установлена граница со шведами по рекам Сестре и Вуоксе. Город-крепость Корела оказался пограничным и часто подвергался нападениям. Боевые столкновения между шведами и русскими продолжались, в течение XIV—XVI вв. серьезные военные инциденты возникали более сорока раз.

С начала XVI в., после потери Новгородом самостоятельности, территория Карелии и побережья озер входит в сферу владений Московского государства, что на некоторое время обеспечивало безопасность этих земель от нападений. В конце XVI в., воспользовавшись неудачами русских в Ливонской войне, шведы захватили западное побережье Ладоги и с начала XVII в. закрепились здесь почти на 100 лет. По условиям Столбовского мирного договора в 1617 г. шведы получили в свое владение берега Невы, Финского залива и большую часть западного и северо-западного побережья Ладожского озера. Орешек стал называться Нотебургом, а Корела — Кексгольмом. Территории Прионежья условия Столбовского мира не коснулись, она сохранилась в составе Московского госу-

дарства, но военные действия захватывали частично и ее, причиняя местному населению тяжелый ущерб. Шведы несколько раз пытались захватить Олонец и даже вынашивали планы выхода к Архангельску.

Только в начале XVIII в. решительные действия Петра I против шведов (Северная война) существенно изменили положение в Приладожье, а тем самым и во всем озерном бассейне. В 1702 г. был освобожден Орешек (переименованный Петром в Шлиссельбург), а уже через год в устье Невы был основан Санкт-Петербург. К 1710 г. русские войска освободили Кексгольм и заняли Выборг. Тем самым практически было освобождено от шведов все западное Приладожье.

По условиям Ништадского мирного договора (1721 г.) государственная граница России со Швецией была установлена по северному рубежу старинных новгородских владений, близко к положению современной границы с Финляндией. По указу Петра I территория Карелии стала вновь быстро заселяться русскими.

Прионежье во время Северной войны практически не было затронуто военными действиями, хотя часто они проходили совсем рядом. Для успешного ведения войны со шведами требовался флот, а ближайшие боевые корабли находились на Белом море. Казавшаяся невыполнимой задача была осуществлена волей царя и усилиями десятков тысяч русских людей. В 1702 г. два военных фрегата были переташены почти посуху от деревни Нюхчи на Белом море до Повенца на Онежском озере. С кораблями была переброшена артиллерия и четыре тысячи солдат. Эта операция сыграла решающую роль в захвате русскими Орешка. Трасса этого беспримерного „волока“, получившая название „осударевой дороги“, почти точно совпадает с трассой созданного здесь в наше время Беломорско-Балтийского канала.

В этом же году на левом берегу Свири была заложена судостроительная верфь, названная Олонецкой. Создание отечественного флота стало насущнейшей задачей, и уже в 1703 г. весной здесь закладывается, а в августе спускается на воду первое судно — фрегат „Штандарт“. В годы Северной войны Олонецкая верфь служила главной базой русского военного флота. Местное население называло верфь Лодейной Пристанью, а прилегающую слободу — Лодейным Полем. Впоследствии центр отечественного судостроения переместился в петербургское Адмиралтейство, а Олонецкая верфь в XIX в. почти совершенно опустела, от слободы осталось одно название. Новая жизнь Лодейного Поля началась только в наши дни.

При Петре I впервые началось серьезное освоение природных ресурсов самих озер и их бассейна. Запасы железных и медных руд в Прионежье способствовали развитию местных металлургических заводов. При этом очень важным мероприя-

тием для освоения полезных ископаемых озерного бассейна явилось создание Олонецкого горного округа и организованный поиск железных, медных и прочих руд.

Следует заметить, что железоделательный и связанный с ним кузнечный промыслы имели в Прионежье глубокие традиции. Уже в X—XI вв. местные кузнецы знали способы изготовления трех видов железа: чугуна, ковкого железа и стали. В 1666 г. в Заонежье был основан первый государственный медеплавильный завод, который позже перешел к выплавке железа. В 90-х гг. XVII в. были построены еще два железоделательных завода — Лижемский и Кедрозерский, которые в 1703 г. переходят в казну.

В 1702 г. была организована экспедиция для поиска медных и железных руд, а также выбора места для строительства новых государственных заводов. В 1703—1707 гг. были построены четыре казенных завода: Петровский, Повенецкий, Алексеевский — пушечно-литейные и Кончезерский — железоделательный. Крупнейшим из этих заводов был Петровский, расположенный в устье реки Лососинки. Поселение около этого завода — Петровская слобода — дало начало городу Петрозаводску, крупнейшему городу края, столице сегодняшней Карельской АССР.

После окончания Северной войны производство на заводах постепенно свертывается, а опытные работники переводятся ближе к Петербургу на новый Сестрорецкий оружейный завод. Правда, в конце XVIII в. на месте старого Петровского завода сооружается одно из крупнейших предприятий страны — Александровский металлургический и пушечный завод, тем не менее, со второй четверти XVIII в. Карелия во многом утрачивает свое экономическое и торговое значение.

Быстрый рост Петербурга резко повысил спрос на строительные материалы. Начинаются широкие разработки гранита, мрамора, известняка, булыжного камня, песка, резко возрастает вырубка леса. Именно на лесном богатстве озерного края в первую очередь сказалось развитие хозяйственной деятельности.

Городское строительство и кораблестроение в Петербурге, местное строительство — все требовало огромного количества древесины, которая заготавливалась на побережье озер и по берегам впадающих рек, а затем сплавлялась в Петербург. В первую очередь оказались вырубленными и стали вторично проходиться вырубками леса южного Приладожья. С тех пор они представлены вторичными березняками, осинниками и смешанными древостоями, состав и качество которых ухудшались с каждым новым этапом рубки. На значительной части территории леса уступили место сельскохозяйственным угодьям и населенным пунктам. В Прионежье интенсивное использование лесных ресурсов было связано с возникновением и развитием металлургической промышленности. Древесина шла не только на углежжение, но и на распиловку

в специальных цехах металлургических заводов. Это были первые в Карелии лесопилки, которые называли здесь „пильными мельницами“. Значительная часть лесных ресурсов, так называемые корабельные рощи, выделялась в это время для нужд флота.

Процесс сокращения площади лесов особенно быстро происходил в начале XIX в., когда строились обходные каналы вдоль всего южного берега Ладоги, а затем и Онеги. Вблизи этого важнейшего водного пути (Мариинская водная система) леса были почти сплошь вырублены. Расширение связи с петербургским рынком и разрешение с 1830 г. экспорта пиломатериалов вызвало резкий рост лесозаготовок во всем озерном бассейне.

После революции последние крупные массивы леса в советской части Приладожья были освоены в годы первой пятилетки (1929—1933 гг.), когда резко возросли лесозаготовки в Ленинградской области и Карельской республике. Леса северного Приладожья к моменту его вхождения в состав СССР (в 1940 г.) также оказались сильно истощены. Все лесные массивы озерного бассейна очень сильно пострадали и во время Великой Отечественной войны.

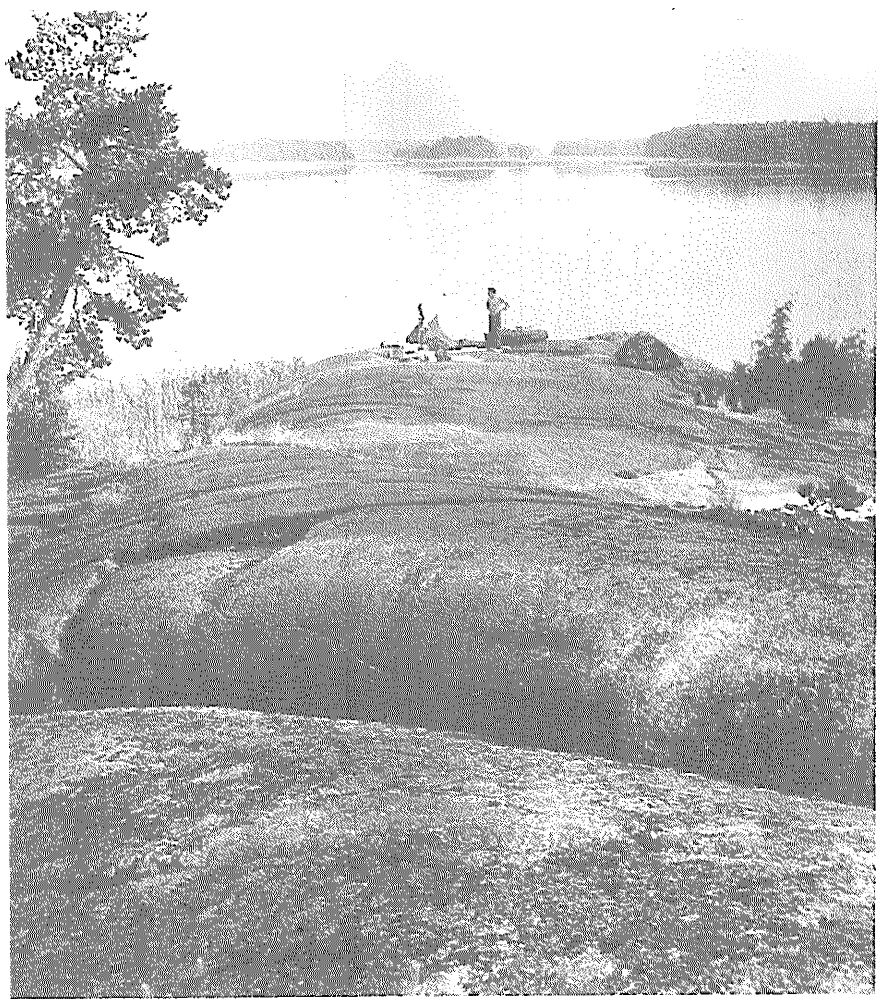
Таким образом, в результате хозяйственной деятельности человека состояние растительного покрова в озерном бассейне серьезно изменилось. Выборочная и сплошная рубка привела не только к смене хвойных пород мелколиственными (осина, береза, черная ольха), но и к ухудшению качества древостоя. Кроме того, лесозаготовительные работы часто сопровождались пожарами, наносившими порой очень серьезный ущерб лесным ресурсам края.

В настоящее время за исключением небольших массивов ельников и сосняков леса собственного бассейна Ладожского озера являются вторичными. Даже в северной части бассейна, где положение более благополучное, ельники и сосняки занимают не более 60% площади леса. Большинство предприятий целлюлозно-бумажной промышленности Ладожского побережья уже сейчас ориентированы на привозное сырье. В бассейне Онежского озера положение несколько лучше, лесозаготовки, особенно на восточном берегу озера, еще сохраняют промышленное значение, хотя лесные ресурсы истощаются и здесь.

Среди других разработок природных ресурсов края большинство сохраняет свое промышленное значение до сегодняшнего дня. Только единичные, как, например, рудник акционерного общества „Питкяранта“, где добывали медь и олово до начала XX в., полностью выработаны. Большая часть полезных ископаемых бассейна — это каменные строительные материалы, прежде всего граниты; месторождения их расположены в северных частях побережий озер и являются продолжением гранитных массивов юго-восточной Финляндии. Значительную роль в разработках играют многочисленные



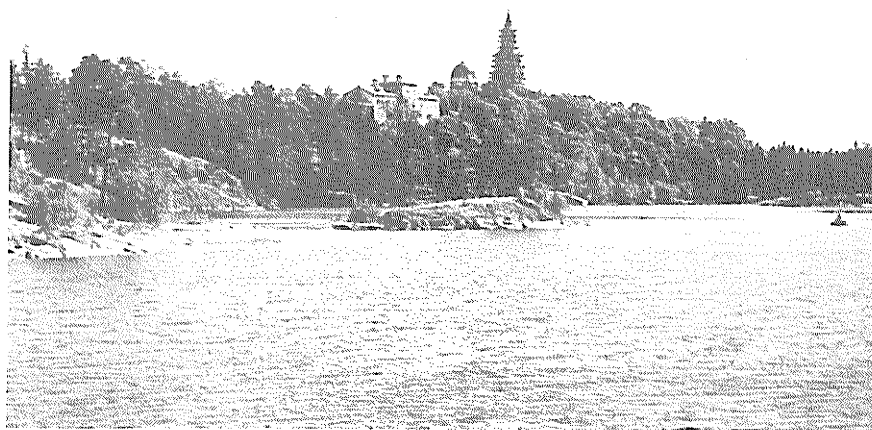
Ладожские шхерные острова.

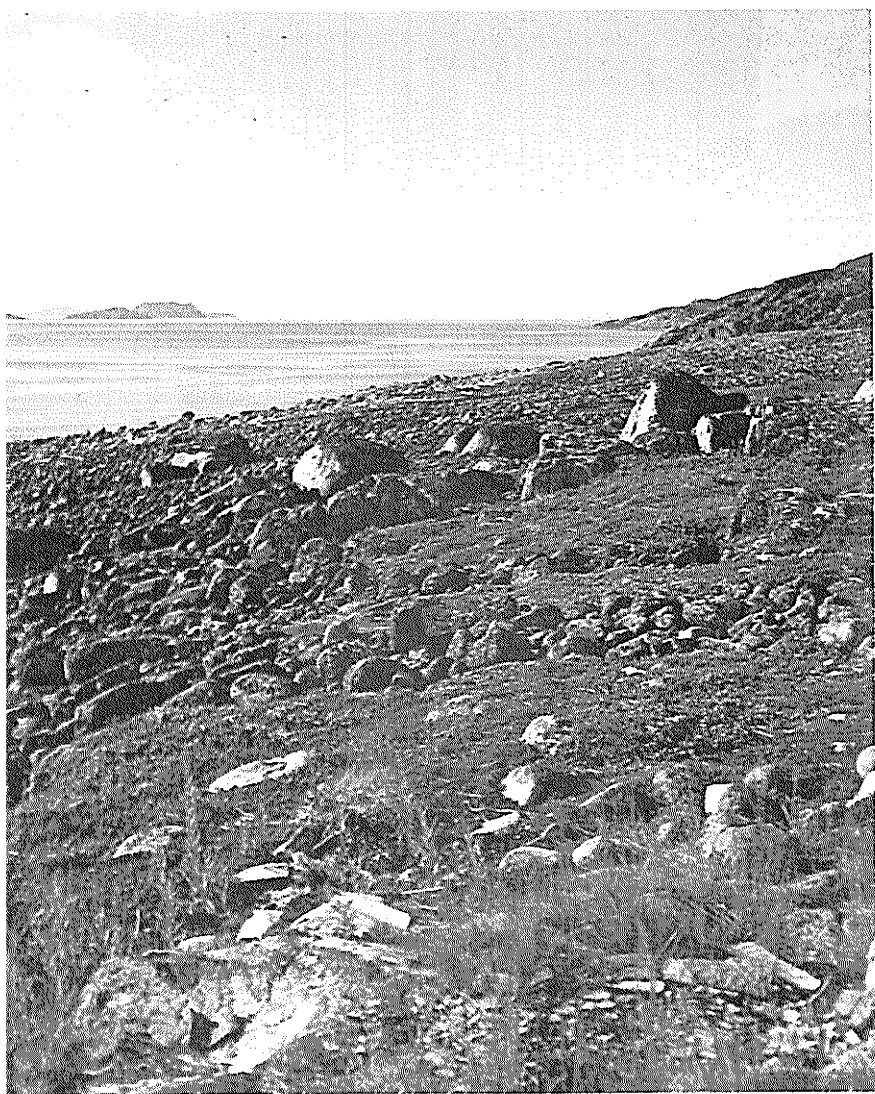


Северная Ладога. Выходы коренных пород на выходе из шхер.

Вход в Монастырскую бухту острова Валаам.

Шлиссельбургская крепость в истоке реки Невы.

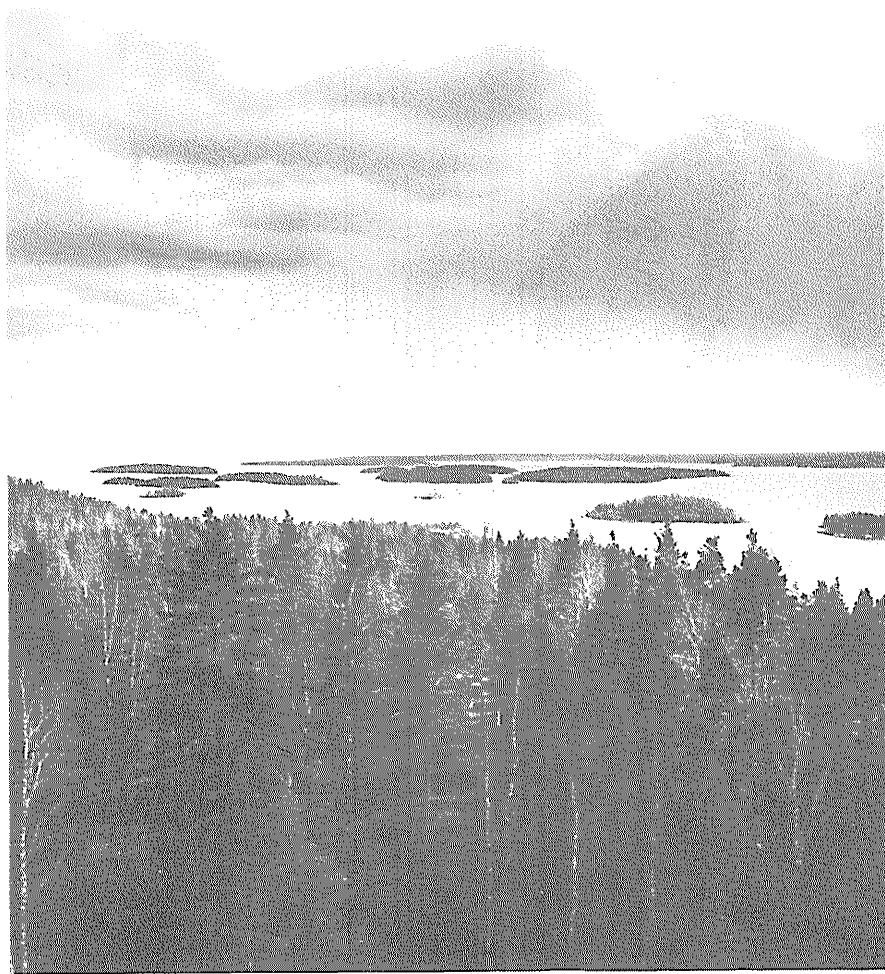




Выход из шхерного залива на простор Ладоги.

Северо-западное побережье Ладоги изрезано длинными узкими заливами с гранитными берегами.

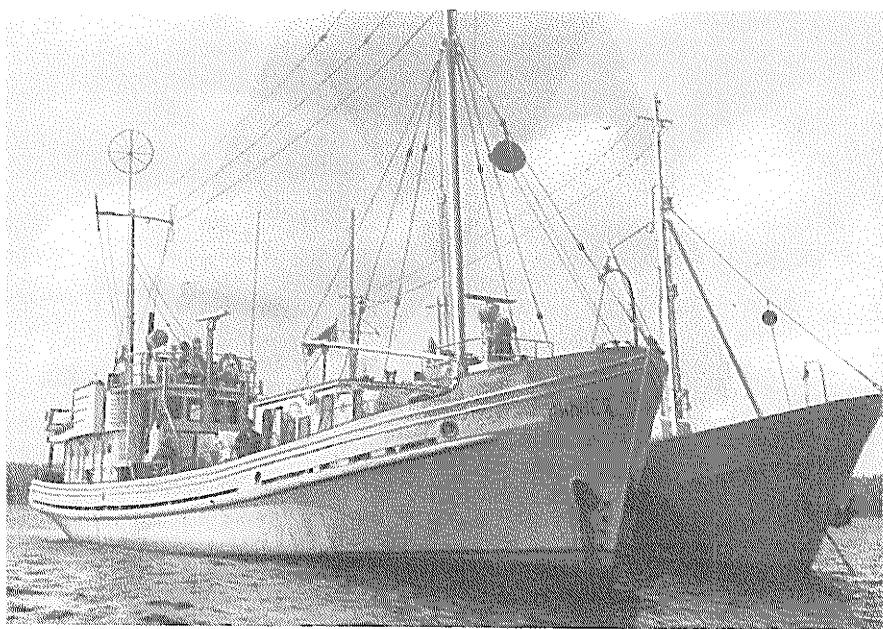




Северо-западная Ладога. Шхеры.

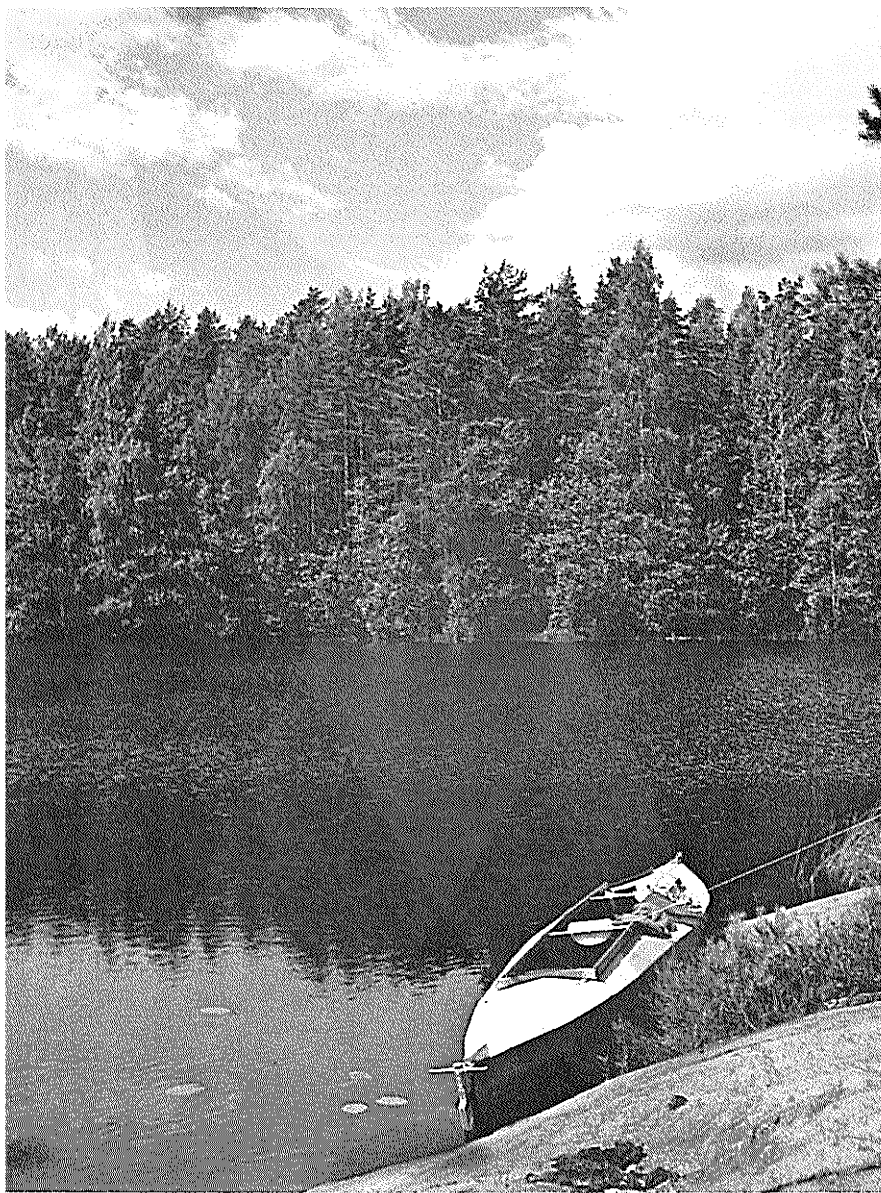
На Волхове.

Суда Института озероведения АН СССР.

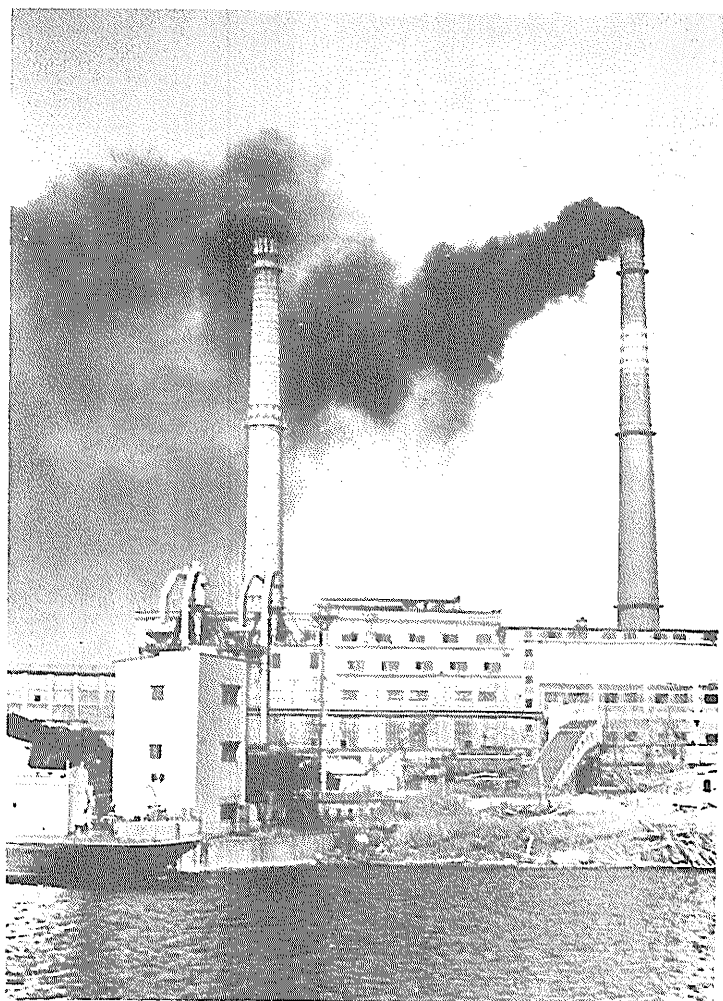




Низкий заболоченный берег южной Ладоги.



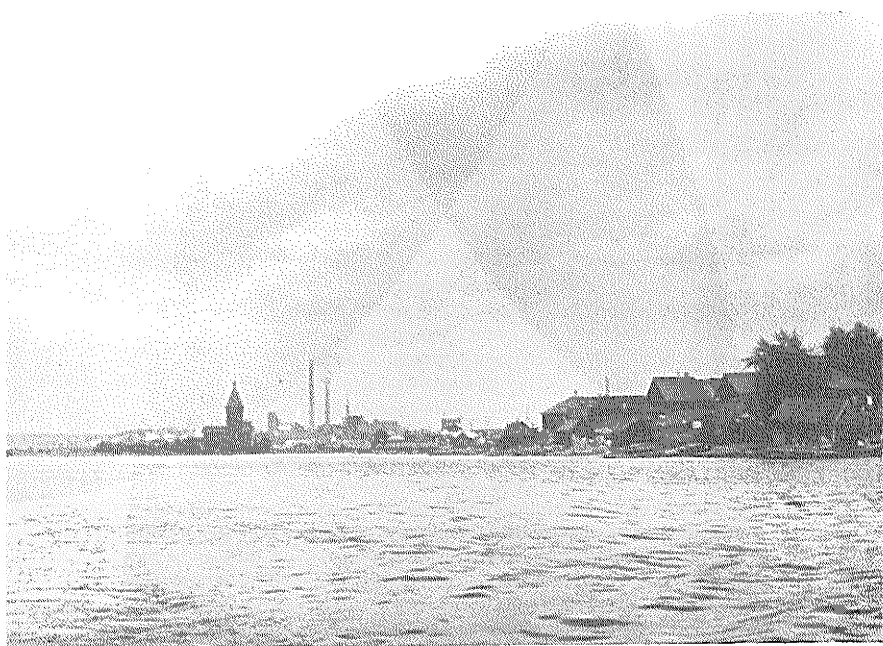
Закрытые бухты в шхерах — излюбленные места туризма.

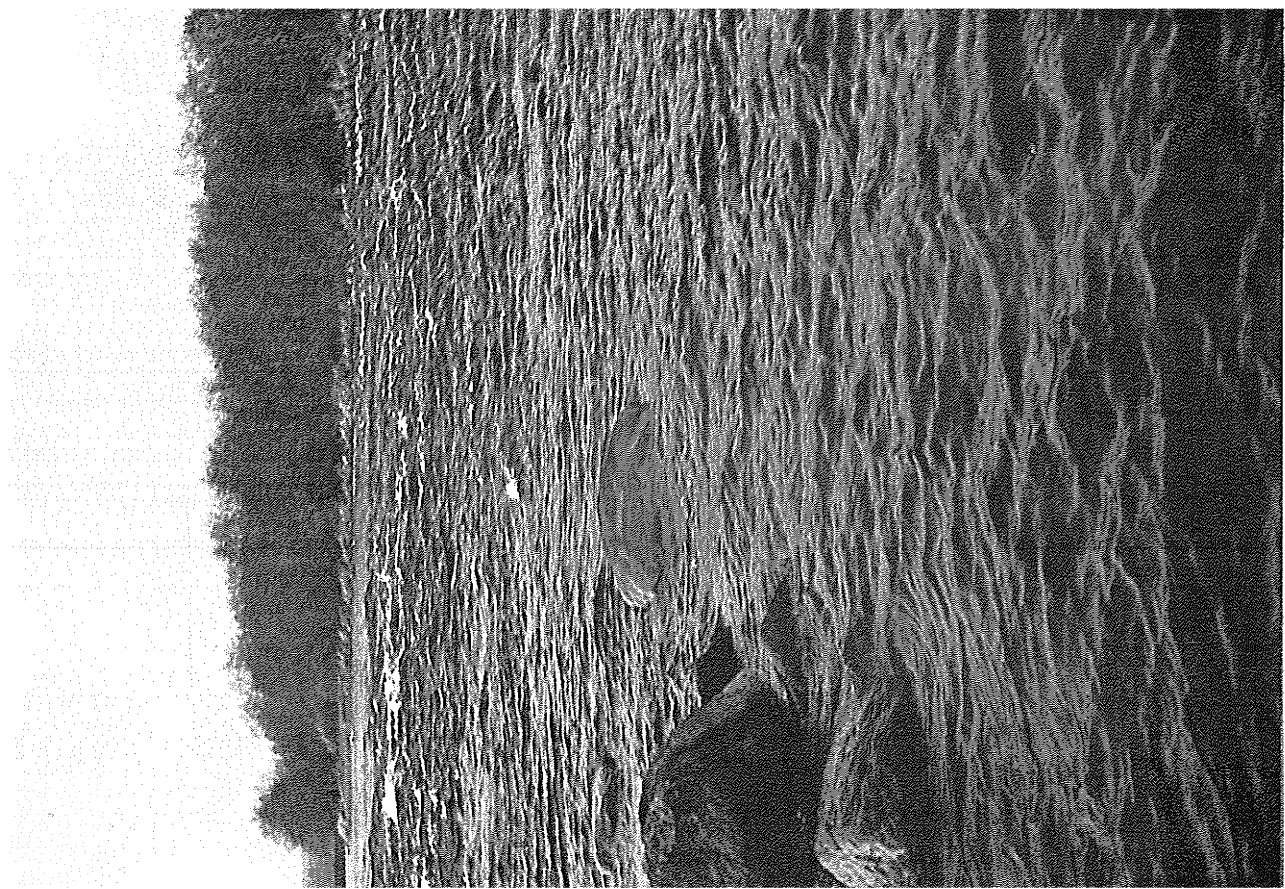


Приозерский целлюлозный завод до перепрофилирования.

Водопад Кивач на реке Суне.

Онего. В вершине Кондопожского залива видны трубы целлюлозно-бумажного комбината.

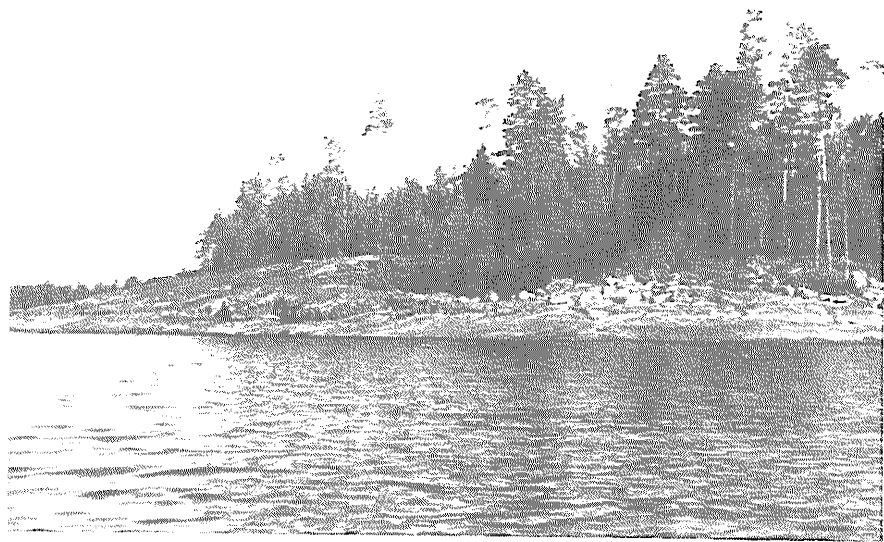






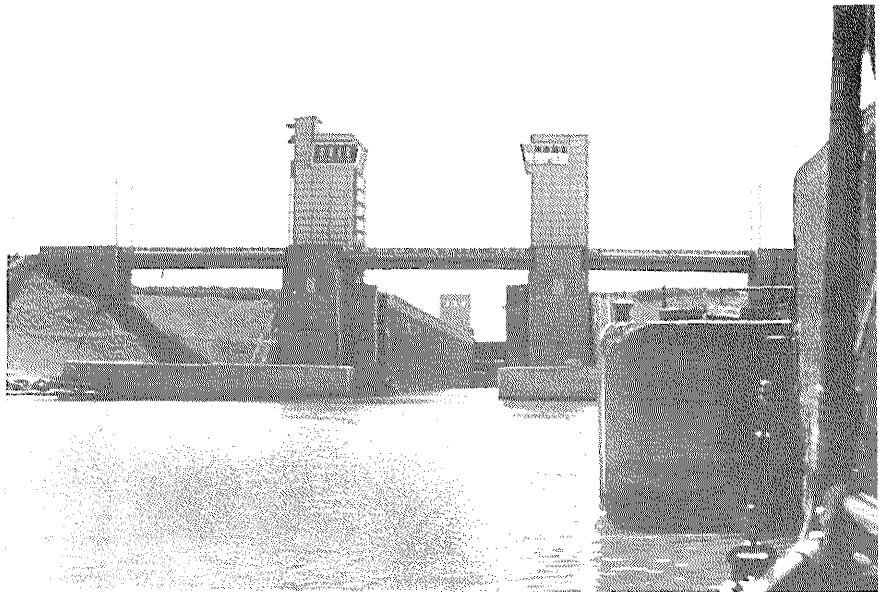
Река Бурная недалеко от впадения в Ладогу.

Юго-западная Ладога. Местами пляжи завалены грудями мусора.



Онего. Северный берег.

Онего. Штормовой нагон на острове Василисин.



Один из шлюзов Волго-Балта на реке Свири.

Энего. На горизонте — остров Киж.



Южная Ладога. Низкие песчаные берега.

месторождения строительных и стекольных песков, гравия, известняков, полевого шпата. На северном побережье Ладоги в районе города Питкяранта находятся крупнейшие в стране запасы полевого шпата (пегматита). Здесь добывается около половины всего добываемого в СССР полевошпатового сырья. Рыхлые строительные материалы, такие, как валуны, галька, гравий, песок, глина, повсеместно распространены на прилегающих к озерам территориях.

В бассейне Онежского озера ведутся разработки кварцитов и кварцито-песчаников, запасы которых в Карелии практически неисчерпаемы. Это прекрасное сырье для огнеупоров, точильных камней, а также для получения химически чистого кремния. Из рудных ископаемых следует отметить Пудожское месторождение титано-магнетитовых руд на восточном побережье озера в районе села Римское. Ценность этих руд заключается в содержании в них двуокиси титана и пятиокиси ванадия. К важнейшим отраслям хозяйства в Онежском бассейне относится и добыча специфически карельского полезного ископаемого — шунгита. Этот минерал, по внешнему виду и основным свойствам похожий на антрацит, уже сейчас широко используется в агрохимии, в химической промышленности, металлургии. В будущем круг его применения безусловно значительно расширится. Имеет определенное значение добыча драгоценных и полудрагоценных камней — аметиста, халцедона, агата и других.

Кроме традиционных для бассейна озер разработок полезных ископаемых, в советское время здесь развились совершенно новые отрасли промышленности. В первую очередь это относится к предприятиям целлюлозно-бумажной промышленности. Такая специализация сложилась на основе богатых лесных и водных ресурсов бассейна. Производство целлюлозы водоемкое, требующее очень чистой маломинерализованной воды. Поэтому на побережье именно Ладожского и Онежского озер и их притоках создается ряд крупных целлюлозно-бумажных предприятий.

На Ладожском озере это: Сясьский целлюлозно-бумажный комбинат (ЦБК) на южном берегу озера и Светогорский на реке Вуоксе, два крупных целлюлозных завода (ЦЗ) в городах Приозерск и Питкяранта, целлюлозно-бумажный завод (ЦБЗ) в поселке Ляскеля и бумажная фабрика в Каменногорске. На Онежском озере в вершине Кондопожского залива расположен один из старейших в стране ЦБК, выпускающий около 30% всей газетной бумаги в стране. Целлюлозно-бумажная промышленность является крупнейшим потребителем воды в бассейне озер, в то же время она дает и основной объем загрязненных сточных вод. О проблемах, возникающих в связи с загрязнением озерных вод промышленными стоками, пойдет речь в специальной главе.

Получила развитие в регионе, в большей степени в Ладожском бассейне, химическая, металлургическая, нефтепе-

перерабатывающая промышленность. Быстрыми темпами развивается машиностроение.

На Волховском алюминиевом заводе сосредоточена выплавка алюминия и производство побочной продукции, в частности суперфосфата. Энергетической базой производства является относительно дешевая энергия Волховской ГЭС. До начала 60-х годов алюминий здесь выплавляли из бокситов, затем перешли на апатито-нефелиновые руды, около 50% которых составляют соединения фосфора. До самого последнего времени значительная часть фосфора терялась в процессе производства и уходила со сточными водами в Волхов и затем в Ладогу. Эти сбросы соединений фосфора привели к возникновению в Ладожском озере серьезных экологических проблем.

Не останавливаясь подробно на характере развития отдельных отраслей хозяйства в регионе, следует упомянуть судостроительную и судоремонтную промышленность, предприятия, обслуживающие озерное и речное судоходство, а также рыбообработывающую промышленность.

Сельское хозяйство края носит пригородный характер — развитое животноводство мясо-молочного направления, овощеводство, картофелеводство. В последние годы в бассейне создан ряд крупных животноводческих комплексов и птицефабрик, которые, с одной стороны, во многом решают продовольственные проблемы, с другой — представляют определенную опасность для озерной экосистемы и качества воды озер из-за периодического сброса в воду отходов животноводческих комплексов.

В целом хозяйство озерного региона уже в настоящее время достигло высокого уровня развития и имеет хорошие перспективы на будущее.

В регионе довольно высокая численность городского населения, в первую очередь это относится к собственному бассейну Ладожского озера, водосбор которого освоен в гораздо большей степени, чем Онежского. В настоящее время в бассейне Ладожского озера городское население составляет около 70%, здесь расположено 20 городов и 25 поселков городского типа. Превысило 200 тысяч человек население Новгорода, свыше 50 тысяч человек проживает в городах Волхове, Тихвине, Киришах, Подпорожье, Лодейном Поле.

Крупнейшим городом на побережье Онежского озера является Петрозаводск, где сосредоточена основная часть промышленных предприятий, научных и культурных учреждений Карелии. Численность населения города в настоящее время уже превысила 300 тысяч человек. На побережье Онеги есть еще несколько городов и поселков городского типа, среди которых наиболее крупные — Кондопога, Медвежьегорск, Повенец.

Кроме ресурсов территорий водосборных бассейнов человек с давних пор использовал и сами озера, и в первую очередь —

их рыбные запасы, одно из основных богатств озер. Освоение любого водоема начинается, как правило, с рыбного промысла. Интенсивность промысла имеет тенденцию к постоянному росту, но на каком-то этапе его развития уловы могут стать чрезмерными и подорвать тем самым естественное воспроизводство рыбного поголовья. Разумеется, это в первую очередь относится к водоемам, представляющим промысловую ценность.

Относительная рыбопромысловая продуктивность (отношение выловленной рыбы в килограммах к площади водной поверхности в гектарах) Ладожского и Онежского озер невелика — 2—3 кг/га, это гораздо ниже, чем в других рыбопромысловых озерах Северо-Запада СССР (Ильмене, Чудско-Псковском, Белом), где относительная рыбопродуктивность достигает 6—20 кг/га. Тем не менее суммарные уловы рыбы (в целом по озерам) в отдельные периоды были весьма значительны — до 2—4 тыс. т, а в последние годы на Ладожском озере — и до 6 тыс. т.

Сравнительно низкая относительная рыбопродуктивность озер связана с рядом естественных причин, из которых основные — большие глубины, холодноводность, довольно ограниченные кормовые ресурсы. Кроме того, рыбопромысловая значимость Ладожского и Онежского озер с давних пор определялась не столько общим объемом выловленной рыбы, хотя и это имело значение, сколько обитанием в них редких и ценных пород рыб: лососевых, сиговых и даже осетровых. Серьезное снижение численности и промысла этих рыб связано с последствиями деятельности человека, о чем речь пойдет несколько ниже.

Всего в этих озерах водится около 50 пород рыбы, из которых промысловое значение имеют: ряпушка, корюшка, сиг, налим, судак, плотва, ерш, окунь, лещ, щука, язь, елец, укляя и ряд других. Наиболее ценными рыбами являются лососевые — лосось, форель, паляя. Осетровые (балтийский осетр, стерлядь) попадают в единичных экземплярах и промыслового значения не имеют. Попытки вселения в озера ряда ценных пород рыб, таких, как осетр, сазан, пелядь, байкальский омуль, пока промыслового успеха не имели.

Рыбный промысел на Ладожском и Онежском озерах возник давно, но практически до начала 30-х годов нашего века он по техническому уровню был крайне отсталым. Лов рыбы производился примитивными орудиями в узкой прибрежной полосе с небольших судов и требовал больших трудовых затрат. Практически в рыбном промысле участвовало почти все население побережья озер.

В советское время рыбный промысел постепенно перестраивался в направлении большей концентрации и совершенствования технического оснащения. Самый существенный сдвиг в технике добывающего промысла произошел в середине 30-х годов, когда на озерах появился моторный флот. К этому

же времени относится и внедрение в рыболовную практику тралового лова. Дальнейший технический прогресс в рыбном промысле на озерах был приостановлен Великой Отечественной войной.

В послевоенный период рыболовство на озерах восстанавливалось в основном за счет тралового лова, который постепенно значительно потеснил другие орудия лова. Использование траловых судов позволило в начале 50-х годов добиться максимальных уловов — около 4 тыс. т на Ладожском озере и 2,5 тыс. т на Онежском.

Однако сразу же обнаружились и существенные недостатки тралового лова. Промысел превысил оптимальный уровень, то есть воспроизводство рыбных запасов начало заметно отставать от вылова. Уловы резко снизились, главным образом сегов и судаков. Поэтому траловый лов, несмотря на его кажущуюся экономическую эффективность, в 1955—1957 гг. был запрещен.

Промысловая база на озерах подверглась серьезной перестройке, отныне основными орудиями промысла на озерах стали невода (тягловые, закидные, ставные), сети, мережи и некоторые другие. Постепенно совершенствуется и рыболовный флот.

Тем не менее на протяжении последних десятилетий в изменении состава рыбных запасов озер четко выявляется определенная тенденция: снижение численности, а следовательно и доли в уловах, ценных пород рыбы — лососевых и сеговых. Основная причина этого — хозяйственная деятельность человека.

Самым ранним серьезным воздействием на условия обитания и воспроизводства лососевых и сеговых рыб можно считать устройство плотин на реках. Они создавали непреодолимое препятствие для прохода рыбы к традиционным местам нереста и тем самым нарушали условия нормального воспроизводства. Первая такая плотина была построена еще в 1703 г. на реке Лососинке при сооружении Петровского завода. Затем подобные плотины были построены и на ряде других рек. Ущерб, наносимый плотинами стадам лососевых и сеговых рыб, усугублялся последствиями молевого лесосплава, а также хищническим ловом нерестовой рыбы в устьевых участках рек.

К настоящему времени из 15 лососевых рек бассейна Онежского озера нерестовое значение сохранили только Шуя, Пяльма и отчасти Водла. В некоторые реки лосось перестал заходить совершенно. После Лососинки потеряла свое нерестовое значение река Вытегра в связи со строительством в начале XIX в. Мариинской водной системы. В 30-е годы нашего века, когда широко развернулось гидростроительство и усилился лесосплав, потеряла свое промысловое значение река Суна. Одновременно с лососем резко сократились запасы сунского сига, и как объект промысла он больше практически не су-

ществует. Заметно сократились запасы сига в Водле, лосося — в реках Лижме, Немине и ряде малых рек. Озерные виды сегов, составляющие основную часть общего улова сеговых в Онежском озере, также сократили свою численность после периода усиленного тралового лова.

Еще в большей степени сократилась численность лососевых и сеговых в Ладожском озере. До войны в южной части озера ежегодно отлавливали до 150 т лосося и кумжи, а всего по озеру уловы достигали 300 т. Сейчас уловы лосося составляют несколько десятков центнеров. Годовые уловы сига достигали 800 т, причем около 300 т в этих уловах составлял волховский сиг, в настоящее же время он из-за своей малочисленности занесен в Красную книгу РСФСР.

Молевой сплав древесины по лососевым рекам — Ояти, Паше, Капше и другим — привел к серьезному засорению нерестилищ лосося и форели. По существу, эти реки утратили свое нерестовое значение, и для их восстановления понадобятся большие рыбо-мелиоративные работы. Построенная в 1933 г. на реке Свирь плотина ГЭС преградила лососю и кумже проход на нерестилища. Стаду лосося, нерестившегося ранее в Свири, был нанесен непоправимый ущерб. Лососевый рыбо-разводный завод, сооруженный у плотины, способен только поддерживать небольшое стадо лосося, которое требуется для проведения рыбоводных работ.

Естественное воспроизводство не в состоянии в настоящее время обеспечить устойчивый вылов лососевых, и для сохранения лосося с 1960 г. его отлов в Ладожском озере был запрещен; в последнее время он вновь разрешен, но в строго ограниченных пределах. Практически потеряли свое значение проходные озерно-речные сего — волховский, свирский, вуоксинский. Кроме указанных причин, снижение численности ценных пород рыбы связано с загрязнением озерной воды промышленными сточными водами и с начавшимся в последние два десятилетия процессом антропогенного эвтрофирования, о чем будет идти речь в дальнейшем.

Все же и сегодня оба озера, несмотря на отмеченную неблагоприятную тенденцию к снижению численности ценных пород рыбы, имеют серьезное рыбопромысловое значение. Они дают около 80% всей рыбы, добываемой на внутренних водоемах Ленинградской области и Карелии. Восстановление запасов лососевых и сеговых рыб возможно в случае развития хорошей базы искусственного воспроизводства. Специалистами-ихтиологами разработан ряд конкретных рекомендаций по рациональному ведению рыбного хозяйства на озерах; если они будут приняты к сведению, уловы рыбы можно будет довести до 7 тыс. т на Ладожском озере и до 3 тыс. т — на Онежском.

С давних пор служили озера людям водными дорогами. Территория, на которой с IX в. создавалось Русское государ-

ство, чрезвычайно богата водными системами. Неудивительно, что основными торговыми и транспортными путями на Руси издревле были водные. Около воды русские всегда выбирали места для укрепленных поселений, по течению рек шло их расселение.

Древний Новгород был важнейшим центром водных магистралей, которые не ограничивались только озерно-речными системами, а имели выход на просторы морей Черного, Каспийского, Балтийского и Белого. Практически все водные пути новгородцев в той или иной степени проходили по Ладожскому и Онежскому озерам. Позднее, с перемещением центра Русского государства в Москву, многие из новгородских водных путей с водораздельными волоками утратили былое значение.

Основание Санкт-Петербурга на берегах Невы настоятельно потребовало надежной и постоянной коммуникационной связи между новой столицей и другими районами империи. Особенное значение, как известно, Петр I придавал водным путям сообщения, как морским, так и внутренним (речным и озерным). При проектировании водных связующих путей инженеры, естественно, обращались к исторически сложившимся торговым трассам — волокам древних славян. По традиционному новгородскому пути Ладожское озеро — река Волхов — озеро Ильмень — река Мста — река Цна — река Тверца — река Волга была сооружена при жизни Петра I Вышневолоцкая водная система. Другой новгородский путь в Волгу: Ладожское озеро — река Сясь — река Тихвинка — река Соминка — река Чагодоша — река Молога послужил основой для сооружения Тихвинской водной системы. И наконец, самый северный из путей, соединяющих Ладожское и Онежское озера с Волгой, указал будущую трассу Мариинской водной системы.

Вышневолоцкая система, строительство которой было закончено в 1722 г., несмотря на ряд недостатков, на протяжении всего XVIII в. оставалась единственным водным путем, связывавшим Петербург с Волгой. В этот период проводились работы по созданию двух других водных систем — Тихвинской и Мариинской.

Проект Тихвинской линии, намеченный еще Петром, был утвержден в 1762 г., а ее сооружение завершено в 1811 г. Почти одновременно с постройкой Тихвинской системы, в 1799 г. начинается сооружение Мариинской системы. Торжественное открытие этой системы состоялось 21 июля 1810 г. В состав этого пути входили: река Нева — Ладожское озеро — река Свирь — Онежское озеро — река Вытегра — река Ковжа — Белое озеро — река Шексна.

Ладожское и Онежское озера, являвшиеся составной частью этой водной системы, по условиям плавания представляли серьезную опасность для небольших мелкосидящих судов и грузовых барж. Сотни и тысячи их погибли здесь во время штормов. В связи с этим в обход озер сооружались обводные судоходные каналы. Строительство первого канала

началось еще при жизни Петра I (1719 г.). Он проходил вдоль южного берега Ладожского озера от устья Волхова до истока Невы. Строительство его было закончено к 1730 г. Затем последовательно сооружаются каналы: устье Волхова — устье Сяси (1802 г.), устье Сяси — устье Свири (1810 г.), и наконец, в период с 1818 по 1852 г. сооружается в две очереди Онежский обводной канал от истока Свири до устья Вытегры. Впоследствии при реконструкции системы каналы расширялись, углублялись и прорывались совсем новые, отвечающие требованиям судоходства. Нынешняя обновленная линия обводных каналов — третья по счету.

В первые же годы эксплуатации Мариинская система могла пропускать суда грузоподъемностью до 160 т, что значительно превышало возможности Вышневолоцкого и Тихвинского путей. В середине XIX в. Мариинская система становится основной водно-транспортной магистралью России, к 1870 г. на систему приходилось около 70% всех водных перевозок по европейской части Российской империи. Наибольший грузооборот на Мариинской системе был достигнут в период первой мировой войны: в 1915—1917 гг. она пропускала до 2,4 млн. т груза, что было даже больше ее расчетных возможностей.

Годы гражданской войны и общей разрухи серьезно ухудшили состояние системы. Хотя к 1924 г. она была восстановлена и ее грузооборот достиг довоенного уровня, стали очевидны существенные недостатки системы, главным образом то, что она не вполне отвечала требованиям грузового судоходства того времени. В 30-е годы принимается правительственное решение о комплексном использовании вод Волги для нужд транспорта, энергетики и мелиорации, куда входит и проект коренной перестройки Мариинской водной системы.

Во время подготовки и обсуждения этого проекта сооружается Беломорско-Балтийский канал и устанавливается прямая связь Онежского озера с Белым морем, на Свири строится гидроэлектростанция, ведутся работы по созданию канала Москва — Волга. Однако осуществить полную перестройку бывшей Мариинской водной системы и завершить тем самым создание единого глубоководного пути европейской части СССР в те годы не удалось. Работы в самом разгаре прервала Великая Отечественная война.

С окончанием войны вновь встал на повестку дня вопрос о перестройке Волго-Балта (так теперь стала называться бывшая Мариинская система). Проведенная коренная реконструкция водных путей европейской части страны привела к тому, что уже к 1950 г. гарантированные глубины на Волге составили 2,6 м, а на Свири, после сооружения в 1953 г. Верхне-Свирской ГЭС, — 2,8 м. Речные участки старой Мариинской системы сдерживали развитие внутреннего грузового судоходства. В 1955 г. начались строительные работы на трассе будущего Волго-Балтийского водного пути, и в 1964 г. новая водная дорога полностью заменила старую систему.

Созданная водная магистраль получила название Волго-Балтийский водный путь имени В. И. Ленина. Он включает в себя Неву, Ладожское озеро, Свирь с двумя гидроузлами, Онежское озеро, Вытегру с четырьмя шлюзами, Ковжу, Белое озеро и часть Шексны. Плотина, расположенная в средней части Шексны, создает подпор на всем участке от Шексинского гидроузла до Пахомовского, расположенного на Вытегре.

Ладожское и Онежское озера, входя важнейшими звеньями в систему Волго-Балта, обеспечивают связь районов Севера, Северо-Запада и Прибалтики с Центром и Югом страны, районами с высокоразвитыми сельским хозяйством и промышленностью. Через озера осуществляются не только внутри-союзные грузотранспортные перевозки, но и международные торговые связи с Финляндией, Швецией и другими странами Западной Европы.

На Ладоге основной поток грузов идет по трассе Волго-Балта, пролегающей в южной части озера от истока Невы до устья Свири. Северная и средняя части озера охвачены судоходством в гораздо меньшей степени, там проходят трассы местных грузовых перевозок (строительные материалы, лес и пр.), а также трассы пассажирских судов, в основном туристические рейсы на остров Валаам.

Более значительно и разнообразно транспортное использование Онежского озера, которое является звеном не только Волго-Балтийского водного пути, но и Беломорско-Балтийской магистрали. Значительным, по сравнению с Ладогой, является и поток местных перевозок сырьевых ресурсов, в первую очередь лесных. Более развита на Онежском озере и сеть пассажирских линий. Интенсивные пассажироперевозки осуществляются по линии Петрозаводск — Кижы, к музею русского деревянного зодчества, широко известному как у нас в стране, так и за ее пределами. Относительная насыщенность Онежского озера транспортными линиями выше, чем на любом крупном пресном водоеме СССР.

В будущем транспортное использование озер возрастет, в основном за счет увеличения транзитных перевозок по Волго-Балтийскому и Беломорско-Балтийскому направлениям, но уже и сейчас в навигационный период в южных частях озер крупнотоннажные суда типа Волго-Балт, Волгонепть, Волго-Дон идут почти непрерывным потоком в двух противоположных направлениях.

Водный транспорт сам по себе практически не затрагивает непосредственно интересов рыбного хозяйства или водоснабжения, но может явиться источником значительного загрязнения нефтепродуктами отдельных участков озера, в первую очередь районов судоходных трасс.

И наконец, следует указать еще на один важнейший вид использования озер — питьевое и хозяйственное водоснабжение. Ладожское и Онежское озера, обладающие огромным объемом чистой маломинерализованной воды, являются

практически неисчерпаемым источником водоснабжения населения, промышленных и сельскохозяйственных объектов, расположенных на побережье озер и по течению рек Невы и Свири.

Основными потребителями ладожской воды являются предприятия целлюлозно-бумажной промышленности, забирающие из озера около 250 млн. м³ воды в год. Они же сбрасывают в озеро и основной объем сточных вод, ухудшающих качество озерной воды и наносящих озеру серьезный экологический ущерб.

Онежская вода обеспечивает нужды не только промышленных предприятий, но и коммунального хозяйства городов Петрозаводска, Медвежьегорска, Повенца. Хотя сточные воды поступают в Онежское озеро в меньшем объеме, чем в Ладожское, их отрицательное влияние в местах сброса — Петрозаводская, Кондопожская губа, северная часть Повенецкого залива, — очень существенно.

Сток воды из всей озерной системы осуществляется по реке Неве, которая питает водой крупнейший промышленный и культурный центр Северо-Запада страны город Ленинград. Ухудшение качества воды в озерах, главным образом в Ладожском, в конечном счете отражается на качестве невиской воды и требует введения дополнительных средств очистки воды, забираемой городским водопроводом.

Таким образом, при интенсивном развитии отдельных отраслей хозяйства в бассейнах озер природные ресурсы бассейнов и самих озер серьезно уменьшаются или даже истощаются. Хозяйственная деятельность человека в первую очередь сказывается на состоянии природных ресурсов бассейнов, включающих лес и полезные ископаемые. В озерах уменьшаются рыбные запасы, причем наибольший ущерб наносится тем видам, которые составляют основную промысловую ценность. Характерно, что серьезный ущерб рыбному поголовью наносится еще до начала заметного отрицательного воздействия на озера промышленных сточных вод.

Дальнейшее развитие хозяйственной деятельности на территориях водосборных бассейнов и на самих озерах приводит к нарастающему поступлению в озерную воду загрязняющих веществ разного рода. На этом этапе человек начинает оказывать отрицательное воздействие на основное богатство больших озер — высококачественную пресную воду и через нее на всех обитателей озер.

В современную эпоху в условиях научно-технической революции воздействие человека на окружающую среду достигло небывалой интенсивности и размеров, сохраняя тенденцию к дальнейшему росту. Энергичное, порой ничем не ограниченное вторжение человека в природные системы приводит к нарушению сбалансированных комплексов. К настоящему времени наибольшему воздействию подверглись животный и растительный мир суши. Уничтожены многие виды животных, вырубаются леса, распаиваются степи. Сельскохозяйственная обработка земель привела во многих странах к усилению эрозии и разрушению почвенного покрова. В результате строительства гидротехнических сооружений меняется сток не только малых, но и большинства крупных рек мира.

Стремительно растет численность городского населения, в среднем на 5—10% ежегодно, растет и количество городов-гигантов. В 1985 г. число городов с населением более 1 млн. жителей достигло 270, а городов с населением более 10 млн.—17. Водоснабжение городов и связанных с ними промышленных и сельскохозяйственных предприятий (животноводческих комплексов и птицефабрик) растет с каждым годом, соответственно растут и безвозвратные потери воды. Возрастает, несмотря на существующие запреты, загрязнение атмосферы, вод, суши, морей и океанов.

Сегодня население нашей планеты вполне осознает необходимость борьбы с загрязнением окружающей среды, поскольку оно начинает представлять опасность для жизни самого человека. Обозреватель одной из американских газет по вопросам охраны природы Дж. Кимбол заметил: «... люди сейчас включили в свой словарный запас совершенно новые слова, такие, как экология, наука об окружающей среде, и, что важнее всего,— обучение основам охраны природы. Деятельность человека способствовала истреблению сотен видов животных, и это мало его беспокоило. Сейчас это его беспокоит, потому что он внезапно понял, что... он может оказаться следующим на очереди».

Тем не менее, загрязнение окружающей среды, в том числе и водных ресурсов, продолжается. В водоемы и водотоки попадают сточные воды промышленных предприятий, канализационных систем крупных городов, отходы животноводческих комплексов и птицефабрик, нефтесодержащие сливы

грузовых, транспортных и нефтеналивных судов. Напомним еще об атмосферных аэрозолях, смыве органических удобрений с обрабатываемых земель, ливневом смыве с дорог, авто-страд, эстакад, строительных площадок и карьеров. Короче говоря, практически нет такой отрасли хозяйства на водосборном бассейне озера, которая не являлась бы, в той или иной мере, источником загрязнения его вод.

На открытом симпозиуме, созванном в сентябре 1970 г. по инициативе Береговой охраны США, были указаны в качестве опасных загрязнителей воды многие химические, биологические и фармацевтические вещества, всего около 700; из них 300 было признано особо опасными.

Нарастающее загрязнение окружающей среды со всей остротой поставило проблему нехватки водных ресурсов. Нехватка воды на планете, три четверти которой покрыто водой, — это ли не парадокс? Да, но ведь речь идет не просто о воде, а о воде пресной и, мало того, доступной для использования. Количество пресной воды на Земле ничтожно по сравнению с морской. Вода, доступная для использования, в основном реки и озера, составляет всего около 0,02% общего запаса воды на планете.

Мировые водные ресурсы [Львович и др., 1973]

Часть гидросферы	Объем воды	
	тыс. км ³	% от общего объема
Океан	1 370 000	94,2
Подземные воды	60 000	4,12
Ледники	24 000	1,65
Озера	230	0,016
Почвенная влага	75	0,005
Пары атмосферы	14	0,001
Реки	1,2	0,0001
Вся гидросфера	1 454 300	100

Около 20 озер мира с максимальными глубинами до 200 м и более все вместе содержат почти весь запас пресной воды, которую человек в настоящее время может использовать. Озеро Байкал, глубочайшее озеро в мире (максимальная глубина 1620 м), содержит около 10% всей пресной воды на Земле — его объем 23 тыс. км³. Такой же объем воды заключен в пяти Великих американских озерах. Озера Ладожское и Онежское имеют общий объем 1,2 тыс. км³. Относительно малое количество воды, которое заключено в крупных пресных озерах, только подчеркивает огромную важность их для поддержания жизни на Земле. Ресурсы пресной воды ограничены, и их количество можно увеличить только ценой огромных энергетических затрат — это должен понять и запомнить каждый житель нашей планеты.

Вполне понятно, что вся вода озер не может быть израсходована на нужды водоснабжения, в противном случае озера просто прекратят свое существование. В первую очередь это относится к большим глубоким озерам с замедленным водообменом, для заполнения котловины которых требуются десятилетия, а порой и сотни лет. Даже частичное использование векового запаса воды таких озер может привести к неблагоприятным и зачастую необратимым последствиям, как это произошло, например, с озером Севан. Тем более, что крупные озера используются не только для целей водоснабжения, но и для рыбного промысла, водного транспорта и рекреации.

Таким образом, на хозяйственные нужды может изыматься только та часть воды рек и озер, которая ежегодно возобновляется в процессе планетарного круговорота воды. На поверхность Земли в среднем каждый год выпадает около 105 тыс. км³ осадков — это основной источник возобновления запаса пресной воды. Примерно $\frac{2}{3}$ этого количества возвращается в атмосферу в процессе испарения, и только $\frac{1}{3}$ стекает с поверхностным стоком в водоемы и водотоки. Это означает, что потенциально можно использовать только около 37 тыс. км³ воды ежегодно, или 6 тыс. м³ в год на каждого человека из 6 миллиардов, населяющих планету.

Арифметически этой воды более чем достаточно, поскольку бытовая норма водопотребления даже в крупных городах развитых стран составляет 250 л в день на душу населения, или 90 м³ в год. Формально воды хватает, даже если добавить сюда индустриальные потребности в промышленности развитых странах, составляющие 1500 л в день на душу населения, и сельскохозяйственные потребности в странах с жарким засушливым климатом, составляющие 5000 л в день на душу населения.

Однако фактически ограниченность запаса пресной воды является серьезной проблемой во многих частях планеты. Можно указать несколько основных причин глобального характера. Плотность населения не соответствует распределению водных ресурсов, многие малонаселенные регионы имеют большой избыток пресной воды и наоборот. Количество осадков, выпадающих на поверхность суши, также крайне неравномерно, и часто там, где количество осадков скудно, использование воды непропорционально высоко. Крупные города и промышленные центры сконцентрированы в определенных районах, и здесь потребности в воде по меньшей мере в 4—5 раз выше, чем в других районах.

Указанные причины недостатка пресных вод при современных технических возможностях могут быть в той или иной степени устранены, но остается еще одна, которую устранить сложнее, — нарастающее загрязнение вод суши. Вода загрязняется разнообразными веществами, многие из которых серьезно ухудшают ее качество и оказывают губительное действие на обитателей водоемов. В ряде стран мира, высоко-

развитых в промышленном отношении, значительная часть водных ресурсов загрязнены настолько, что фактически совершенно не пригодны для использования, а иногда и представляют опасность для здоровья населения.

В связи с быстрым и бурным развитием капитализма в США раньше, чем в других странах, стало очевидным отрицательное воздействие человека на окружающую среду, в том числе и на водные ресурсы. Беспорядочная, ничем не ограниченная, порой даже хищническая эксплуатация природных богатств зачастую приводила и приводит до сих пор к катастрофическим последствиям. Мощному антропогенному (связанному с деятельностью человека) воздействию подверглись и Великие американские озера.

Когда первые европейцы пересекали огромные пространства Великих озер в своем упорном стремлении на запад, они были разочарованы тем, что эти огромные материковые моря не соленые. Предприимчивых первопроходцев манили сказочные богатства легендарных стран Востока, и вряд ли кто-либо из них был способен понять, какое сокровище находится буквально у них под ногами. Более того, этого не смогли понять и в течение последующих трехсот с лишним лет. Только в середине XX в., когда человек вплотную стал перед угрозой нехватки пресной воды, началась борьба за сохранение или даже спасение Великих озер, хотя первые признаки загрязнения их вод были отмечены уже в начале века.

Ряд социально-политических причин привел к тому, что канадская и американская части водосборного бассейна осваивались по-разному: с американской стороны интенсивно развивались промышленные комплексы и крупные города, в то время как на канадской долгое время определенное преобладание имело сельское хозяйство. В связи с этим первыми серьезному загрязнению подверглись те части озер и соединяющие озера реки, которые примыкали к американской территории.

Граница между странами разделяла и сами озера, кроме Мичигана, которое целиком расположено в США. Чтобы свести к минимуму момент разделения акватории озер, обе страны оформили в 1794 г. (как уже указывалось) Договор Джея, который гарантировал право прохода через озерный регион всех жителей с правом свободной торговли. Хотя этот договор в основном касался порядка и условий плавания по озерам, в нем содержался один весьма существенный пункт: „Воды, определенные как пограничные, а также воды, пересекающие границу, не должны загрязняться какими-либо веществами, причиняющими вред здоровью человека или обладающими какими-нибудь другими опасными свойствами”.

Опираясь на этот пункт, в 1912 г. правительства США и Канады создали специальную двустороннюю комиссию, которая обследовала состояние Великих озер и соединяющих

рек. В заключительном отчете комиссии указывалось, что воды Великих озер, за исключением небольших прибрежных участков, прилегающих к крупным городам, а также судоходных трасс, сохраняют свою природную чистоту и высокое качество. Реки Детройт и Ниагара были охарактеризованы как загрязненные водоемы, а вода реки Сент-Клер — как непригодная для питья. Основным источником загрязнения этих рек были признаны судоходный транспорт и сточные воды городов, расположенных по их берегам, как промышленные, так и коммунальные. Комиссия определила, что именно загрязнение вод было основной причиной распространения в этом регионе брюшного тифа. Основным выводом комиссии было требование обязательной очистки сточных вод от содержащихся в них загрязнений.

Повторное обследование состояния Великих озер было проведено этой комиссией в 40-е годы, причем основное внимание она уделила проверке рек и каналов, соединяющих озера. В 1946 г. комиссия представила правительствам США и Канады заключительный доклад, содержащий следующие выводы:

- несмотря на улучшение систем очистки сточных вод, бактериальное загрязнение вод соединительных рек в 3—4 раза выше, чем было в 1912 г.;

- промышленное загрязнение является основной причиной снижения в воде рек и частично озер растворенного кислорода и появления в них токсических веществ;

- загрязнение вод от судоходного транспорта, которое было одним из основных в 1912 г., все еще остается значительным по своему вкладу в общее ухудшение качества озерных и речных вод.

Загрязнение Великих озер промышленными, коммунально-бытовыми сточными водами и сбросами с водного транспорта продолжало оставаться серьезной проблемой и после 40—50-х годов. Темпы развития хозяйственной деятельности превосходили возможности предотвращения загрязнения озерных вод регулирующими службами, а технология индустриального производства по своему уровню намного превосходила технологию и техническое оснащение очистных сооружений. Население побережья озер ощутило серьезную опасность нарастающего загрязнения озер. Многочисленные американские города, такие, как Чикаго, Rochester, Буффало, Кливленд, Милуоки и ряд других, лишились своих озерных пляжей из-за высокого бактериального загрязнения прибрежных вод. Нефтяные пятна и пленки стали обычным явлением на озерных берегах. С открытием в 1959 г. Глубоководного пути реки Св. Лаврентия резко возросло загрязнение вод нефтью и хозяйственными стоками судов крупнотоннажного флота.

Современная концентрация промышленности по берегам озер оказывает на них такую нагрузку, которую озера уже не выдерживают. В промышленных сточных водах обычно

содержатся токсические вещества, как, например, мышьяк, цианиды, соли тяжелых металлов (цинка, меди, ртути, свинца, кадмия, никеля и других). В частности, в озерной воде и организмах водоплавающих птиц неоднократно было обнаружено двойное превышение допустимой нормы соединений ртути. Поскольку многие токсические вещества имеют тенденцию накапливаться в водных организмах и донных отложениях озер, оценить весь вред, причиняемый озерам токсинами, очень трудно. Последствия этого воздействия могут проявиться через десятки и сотни лет.

Большую опасность для озерной воды и водных организмов представляют пестициды и другие ядохимикаты, применяемые в сельском хозяйстве при борьбе с насекомыми-вредителями. Промышленность органических пестицидов расцвела с фантастической скоростью после второй мировой войны. В дополнение к пестицидам и инсектицидам появились и другие средства борьбы с вредными насекомыми, такие, как гербициды, дефолианты, фунгициды и акарициды. Многие из этих веществ, например хлорированные углеводороды, не поддаются биологическому разложению и сохраняют токсическую эффективность в воде в течение многих лет. Производство пестицидов в США выросло с 15 тыс. т в 1953 г. до 60 тыс. т к 1970 г. и, несмотря на ряд ограничений, все еще продолжает расти.

Исследователи Управления природных ресурсов штата Висконсин в 1965—1967 гг. обследовали несколько тысяч рыб (относящихся к 35 видам), выловленных в ряде водоемов штата, в том числе в озерах Верхнее и Мичиган. В каждой из проб были обнаружены ДДТ или аналогичные ему ядохимикаты. Хлорированными углеводородами было загрязнено около 70% всех выловленных рыб. В 1966 г. в Великие озера было выпущено около 800 тысяч штук молоди кижучей, лососевых рыб, а уже в 1969 г. комиссия по качеству продуктов питания штата Висконсин установила, что в организмах кижучей промыслового лова, отправлявшихся на рынок, среднее содержание ДДТ составляет 16 мг/кг. В теле кижучей, выловленных в озере Мичиган, содержание ДДТ достигало 100 мг/кг, в то время как предельно допустимое содержание ДДТ в рыбе, установленное в США, составляет 5 мг/кг. Фирмы, ориентированные на добычу кижучей, понесли большие убытки, но следует заметить, что это событие ускорило запрещение в некоторых штатах продажи и применения ДДТ.

Суда всех типов также вносят свой вклад в загрязнение озер сбросом хозяйственно-бытовых и нефтесодержащих вод. Необходимость промывки танков и другие судовые операции — обычный путь загрязнения нефтепродуктами открытых частей озер, хотя и существуют правила, запрещающие такую промывку и сброс нефтесодержащих вод и требующие, чтобы все суда имели технические средства для задержания и сбора загрязненных вод. Практически это означает, что почти все

нефтесодержащие стоки от судов поступают в воду в обход существующего законодательства. Правда, определенная доля ответственности за эти загрязняющие сбросы лежит и на тех портах, которые не имеют современного оборудования для их приемки.

Нефть и нефтепродукты относятся к числу наиболее распространённых и опасных загрязняющих водные объекты веществ. Повторяющийся периодически приток нефтепродуктов даже в небольших количествах может привести к сокращению числа видов водных организмов, а в некоторых случаях — и к полному уничтожению жизни. В эстуариях, полуизолированных заливах, шлюзованных реках и каналах аккумуляция нефтепродуктов резко снижает содержание растворенного в воде кислорода, вызывая массовую гибель водных организмов не только в водной толще, но и в донных отложениях. Некоторые нефтяные продукты канцерогенны, и их накопление в трофической цепи может представлять опасность для человека. Загрязнение озерных вод нефтепродуктами губительно действует на водную растительность и плавающую птицу. Рыба под влиянием нефтепродуктов приобретает характерный неприятный запах и привкус. Кроме того, нефтяные пленки на поверхности водоемов нарушают обмен энергией, теплом, влагой и газами между водой и атмосферой. Попавшая на поверхность воды нефть растекается на большие площади с расходом примерно 150—1000 л/км². Вода приобретает запах керосина при содержании нефти 0,2—0,4 мг/л, причем этот запах не устраняется даже при хлорировании и фильтровании воды. Фенольные соединения, поступающие в воду при производстве нефтепродуктов, также придают питьевой воде неприятный запах и привкус.

При интенсивном судоходстве на Великих озерах нефтяное загрязнение чрезвычайно велико, особенно на некоторых участках судоходных трасс. Так, в 1969 г. нефтяная пленка на реке Куяхоги при впадении ее в озеро Эри у города Кливленд была столь значительна, что там вспыхнул пожар. Сгорели два моста, прежде чем огонь был потушен. Сейчас на этой реке введена патрульная служба, которая следит за пожарной безопасностью плавания.

Есть еще один источник загрязнения озерной воды, связанный с судоходством. Это работы по поддержанию необходимого состояния портов, фарватеров, заградительных дамб, судоходных каналов. Уход за этими сооружениями регулярно требует больших объемов грунтовых работ. Служба охраны природы США запрещает выброс грунта от земснарядов в открытой части любого из Великих озер. Однако это все-таки делается, и постоянно существует опасность переноса токсических веществ с загрязненных участков, а предпортовые территории, как правило, сильно загрязнены, в другие районы озера. Такой процесс получил название вторичного загрязнения, которое бывает в отдельных случаях очень серьезным.

К примеру, анализы, взятые в тех районах озера Эри, где проводились дноуглубительные работы, показали значительные концентрации соединений тяжелых металлов (кадмия, хрома, свинца, никеля и других).

Еще одна опасность для Великих озер связана с промышленным загрязнением атмосферы. Многие из того, что находится в атмосфере, в конце концов оказывается в озерной воде. Выпадающие твердые и жидкие осадки, таким образом, зачастую представляют серьезную опасность для водоемов. Они приносят на землю и поверхность озер азотную и серную кислоты, которые образуются при взаимодействии атмосферной влаги с продуктами неполного сгорания горючих ископаемых, используемых на тепловых электростанциях, промышленных предприятиях и в двигателях автомобилей. Такие дожди получили название „кислотных“ и стали опасной проблемой для природной среды регионов, развитых в промышленном отношении. Под действием этих дождей разрушается поверхность зданий, наносится большой ущерб лесной растительности и сельскохозяйственным культурам. В озерах страдает высшая водная растительность, которая служит местом нагула многих видов рыбы, а также ряд других обитателей водоемов.

Некоторые части бассейна Великих озер в сильной степени подвержены воздействию кислотных дождей. В частности, малые озера вокруг залива Джорджиан-Бей уже подверглись подобному загрязнению. Многие из них представляют собой совершенно безжизненные водоемы. Определенную опасность представляют такие дожди и для здоровья человека. Перенос промышленных загрязнений в атмосфере на большие расстояния является конфликтной проблемой в отношениях между США и Канадой.

И, наконец, следует указать на еще один вид промышленного загрязнения, имеющего прямое отношение к Великим озерам, — тепловое загрязнение. Для охлаждения рабочих систем промышленных предприятий, чаще всего тепловых электростанций, из водоемов забираются огромные объемы воды, а затем нагретая вода снова сбрасывается в водоем. В озерах в месте сброса температура воды может увеличиться на 15—20 °C. В зависимости от объема и скорости перекачки это потепление может охватить площадь акватории в десятки квадратных километров. Эти теплые потоки оказывают вредное, а порой и губительное воздействие на прибрежную водную растительность и рыбу, чувствительную к резким изменениям температуры воды. При повышении температуры повышается также чувствительность всех водных форм жизни к токсическим (ядовитым) веществам. В слишком теплой воде не развивается икра форели, а лосось вообще не нерестится.

Загрязняющее влияние человека на озера включает и бытовые отбросы, как правило, скапливающиеся в рекреационных зонах. Пивные банки, пластиковые коробки, рваная упаковка —

самое обычное „украшение“ пляжей Великих озер. Каждый день американцы выбрасывают около 74 миллиардов бутылок и банок. Большинство загрязнений этого рода биологически неразложимы, так что можно утверждать, что сегодняшняя грязь будет сопровождать человека еще столетия.

По оценкам экспертов США, для решения в масштабе страны всех существующих проблем загрязнения окружающей среды на должном уровне потребуется огромная сумма: по меньшей мере 33 миллиарда долларов, а возможно даже и до 65 миллиардов. При этом неизбежны многие дополнительные затраты, в том числе на модернизацию существующих построек и очистных сооружений, улучшение сельскохозяйственных и мелиоративных систем и другие работы. Стоимость всех этих работ пока не могут оценить даже эксперты. Большая часть проблем, требующих безотлагательного решения, связана с загрязнением Великих озер и их водосборного бассейна.

В Верхнем озере опасность загрязнения возникает главным образом от горнодобывающей промышленности и эрозии красных глин южного побережья. Разрушение и смыв в воду красных глин на большом протяжении береговой линии штатов Мичиган и Висконсин является особенностью озера Верхнего. Этот эрозионный процесс создает высокую мутность воды у побережья, затрудняя использование воды в целях водоснабжения и оказывая неблагоприятное воздействие на развитие озерной биоты. Хотя этот процесс считается естественным, однако в последние десятилетия он усугубляется человеческой деятельностью, а именно сведением лесов, защищающих почвы на склонах холмов от размыва, устройством многочисленных пастбищ, приводящих к разрушению растительного покрова почвы, строительством дорог, автострад и других структур туристского сервиса в опасной близости от береговой линии. Гидротехнические сооружения типа молов и волнорезов препятствуют естественному переносу песка вдольбереговыми течениями. Постепенное разрушение песчаных пляжей неизбежно влечет за собой размыв красных глин побережья. Поскольку в последние 15—20 лет этот процесс заметно усилился, его уже нельзя считать естественным, а, напротив, нужно рассматривать как еще один источник загрязняющего воздействия человека на водоем. Мероприятия по ослаблению действия эрозии не могут быть эффективными без полного учета антропогенного фактора.

Горнопромышленные предприятия в западном конце озера, в 50 милях к северу от Дулута, сбрасывают ежедневно около 70 тыс. т. отходов. Эти сбросы, так называемые таконитовые хвосты, распространяются на сотни квадратных километров, а наиболее мелкие частицы их переносятся еще дальше, в открытую часть озера. Как и красные глины, эти отходы существенно снижают прозрачность озерной воды, препятствуя нормальному развитию обитателей водоема.

Несмотря на относительно небольшую площадь сельскохозяйственных угодий на территории водосборного бассейна озера Верхнего, в воде часто отмечается присутствие пестицидов. Это связано с опылением с самолетов лесных массивов при борьбе с вредителями леса. Распыляемые пестициды легко смываются со скалистых берегов или глинистых почв побережья и поступают в озеро с водой впадающих рек и ручьев. Часть пестицидов может попадать в озеро непосредственно при ветровом переносе.

Эксперты полагают, что озеро Верхнее пока еще находится в самом удовлетворительном состоянии из всех пяти озер, но при недостаточном внимании к проведению природоохранных мероприятий качество воды в нем может ухудшиться, а от состояния этого озера в большой степени зависит и состояние других озер системы. Озеро Верхнее имеет огромный объем воды, которая поступает со стоком из озера последовательно в остальные озера системы, за исключением, пожалуй, Мичигана. Поэтому серьезное ухудшение качества его воды усугубит проблемы, возникающие в других озерах. Второй серьезный аспект загрязнения озера Верхнего связан с его чрезвычайно низким водообменом. Для того чтобы воды всех впадающих в него рек полностью заполнили объем его котловины, требуется около 200 лет. Следовательно, если ухудшится состояние озерной воды во всем объеме озера Верхнего, то потребуются по меньшей мере 200 лет, чтобы качество его воды восстановилось.

Интенсивная урбанизация и развитие промышленности в южной части озера Мичиган привели к чрезвычайно сильному загрязнению его вод. Возрастающая загрязненность прибрежных вод распространяется от города Милуоки к Чикаго и захватывает всю южную часть озера. Маслянистая пена, кремовидные хлопья, сбивающиеся в вязкие сгустки, стали обычным явлением для вод этой части Мичигана. Ряд фирм Чикаго был обвинен в незаконном сбросе в озеро и впадающие в него реки огромных количеств таких опасных загрязнителей, как цианиды, фенолы, органические растворители, смазочные материалы, газолин, нефтепродукты, молотый известняк и ряд других. Интенсивное судоходство по озеру, рекам и соединительным каналам вносит свою существенную долю в нефтяное загрязнение. Бактериальное загрязнение прибрежных вод так велико, что Служба санитарной охраны постоянно закрывает многочисленные пляжи в густо населенных районах, таких, как окрестности Чикаго и Милуоки. Пляжи, расположенные неподалеку от портов Индиана, Гэри, Хэммонд, закрыты без перерыва уже более 20 лет. Постоянно закрыты и пляжи южной части залива Грин-Бей.

По контрасту с сильно загрязненной южной частью центральная и северная части Мичигана пока остаются относительно чистыми, однако даже здесь ощущается влияние некоторых загрязняющих веществ, в частности пестицидов, смы-

ваемых с обширных сельскохозяйственных угодий водосборной территории. После того как в 1975 году в озерной рыбе было обнаружено содержание ДДТ существенно выше допустимого, промысловая рыба исключена из торговых операций между штатами.

Ситуация с загрязнением Мичигана усугубляется тем, что у него, как и у озера Верхнего, чрезвычайно медленный водообмен — более 100 лет. Кроме того, его тупиковое положение и наличие подводного барьера в месте соединения с озером Гурон сильно затрудняет полный обмен его вод. В связи с этим любое ухудшение качества воды озера становится долговременным, если не вообще необратимым.

Воды открытой части озера Гурон в настоящее время довольно чистые, почти такие же, как у озера Верхнего. Это связано с относительно малой освоенностью побережья Гурона. Хотя это озеро европейцы увидели первым из пяти, степень освоенности его бассейна остается до сих пор самой низкой. Здесь нет крупных промышленных центров, не ведутся крупномасштабные разработки полезных ископаемых, большинство грузовых судов идут через озеро транзитом, минуя небольшие местные порты, не имеющие современного оборудования и больших причалов.

Тем не менее, и на озере Гурон в самое последнее время возник ряд серьезных проблем, связанных с качеством воды. Интенсивное развитие различных видов рекреации — водно-парусный и водно-моторный спорт, купание, спортивная рыбная ловля, туризм и другие, — приводят к энергичному освоению озерного побережья и зоны многочисленных островов в заливе Джорджиан-Бей. Сплошная рекреационная зона вдоль южного, юго-западного и восточного берегов озера, изредка прерываемая небольшими участками-заповедниками, требует проведения и улучшения дорог, автострад, создания многочисленных кемпингов, стоянок для автомобилей и заправочных станций. Травяной покров почвы сменяется асфальтом, сотни тысяч людей в коттеджах, временных домиках и палатках в течение пяти-шести месяцев живут в непосредственной близости от озера. В большинстве случаев эти поселения не имеют серьезных канализационных систем, позволяющих проводить централизованную очистку бытовых и хозяйственных сточных вод от загрязнений. Это бурное и в целом стихийное развитие озерной рекреации приводит к загрязнению прибрежных вод, особенно в районе залива Сагино, куда дополнительно поступают промышленные и коммунальные сточные воды от городов Сагино и Бей-Сити. Быстрое ухудшение качества прибрежных вод ставит под сомнение дальнейшее развитие водной рекреации, поскольку самым притягательным моментом для нее является именно высокое качество прибрежных вод. Мутная вода с неприятным запахом и привкусом резко понижает количество желающих не только купаться и плавать в такой воде, но и просто находиться рядом с ней.

Отсутствие крупных промышленных центров непосредственно на побережье Гурона еще не гарантирует его от воздействия промышленных загрязнений. На некоторых участках бассейна, особенно в районе залива Джорджиян-Бей, прибрежная растительность подвергается заметному воздействию кислотных дождей, в результате чего существенно снижается привлекательность береговых пейзажей.

Водообмен Гурона около 20 лет, поэтому ликвидация загрязняющего влияния в принципе возможна в течение двух-трех десятков лет, но в некоторых полуизолированных заливах и губах загрязнение может достигнуть высокого уровня, а слабый водообмен с открытой частью озера затруднит ликвидацию последствий этого загрязнения.

Озеро Эри, самое мелководное озеро системы, получило в наше время всемирно печальную известность. Проблемы резкого ухудшения качества его воды стали почти легендарны, и его часто приводят как пример огромного ущерба, наносимого природе человеком.

Из всех пяти Великих озер Эри испытало самую мощную антропогенную нагрузку. Крупные промышленные города-порты на побережье, такие, как Кливленд, Толидо, Лорейн, Эри, сбрасывают большие объемы сточных вод в само озеро и впадающие в него реки. Особенно мощное загрязняющее воздействие на озеро оказывает Детройт, столица „империи Форда“, центр американского автомобилестроения, расположенный на реке Детройт, впадающей в западный конец озера.

Первые серьезные ухудшения состояния озера произошли еще в прошлом веке, и связаны они были не столько с развитием промышленности, сколько с сельскохозяйственным освоением земельных территорий водосборного бассейна. Озеро Эри, как уже отмечалось, самое мелководное среди пяти озер-гигантов, его средняя глубина около 20 м. Берега озера подвергаются мощному воздействию штормовых волн, которые на прибрежном мелководье достигают поистине разрушительной силы. Когда-то берега озера были ограждены широкой полосой прибрежной растительности (камыш, тростник и др.), которая представляла собой как бы второй, подвижный, живой берег, защищающий коренной от разрушительного волнового воздействия.

Следует отметить, что эти берега были вдвойне живыми, поскольку буквально кишели водоплавающей птицей и рыбой. По своим рыбным запасам озеро Эри не имело себе равных в мире. Первые европейские поселенцы этих мест ловили рыбу буквально руками, хотя и не всегда могли удержать ее в руках. Огромные 10—15-килограммовые осетры запутывались в сетях, иногда разрывая их в клочья. Излишки рыбы, которой при жадном и беспорядочном лове скапливалось огромное количество, сваливались по берегам в большие кучи и сжигались. О размерах уловов и размерах отдельных рыб ходили самые невероятные легенды.

Именно это изобилие рыбных запасов сослужило озеру плохую службу. Приток поселенцев в прибрежную зону был огромен, особенно со стороны американского побережья. Кроме рыбного изобилия, поселенцев, естественно, привлекли и плодородные, удобные в обработке земли водосборной территории. Почти полное сведение лесов нарушило водное равновесие на водосборе, обработанный слой почвы начал смываться в озеро, что резко ухудшило условия существования прибрежной растительности. Кроме того, этот зеленый барьер уничтожался при начавшемся строительстве портов, причалов и дамб в разных участках побережья. Шторма начали интенсивно размывать берега, усиливая вынос в озерную воду почвы и иловых отложений прибрежных участков.

Поступление в озерную воду взвешенных почвенных и иловых материалов было так огромно, что прибрежные воды фактически стали представлять из себя жидкую грязь, где уже не могло существовать ничего живого. Только центральные районы озера, находящиеся вдали от „иловых бурь“, все еще могли служить местом жизни рыб и других обитателей озера.

Все это происходило еще в XIX в., а в XX начало давать себя знать промышленное загрязнение. В озеро стали поступать сточные воды стремительно растущих городов, зачастую содержащие ядовитые, токсические вещества. Озерной жизни был нанесен еще один мощный удар. Уловы рыбы снизились в сотни и тысячи раз, а многие виды рыбы вообще исчезли из уловов. Озерную воду нельзя было использовать для водоснабжения без тщательной и дорогостоящей очистки.

Следующий этап деградации озерной экосистемы связан с развитием в 40—50-е годы нашего столетия так называемого процесса антропогенного эвтрофирования, рассказу о котором будет посвящена следующая глава.

В настоящее время обеими странами (США и Канадой) предпринимаются серьезные усилия и затрачиваются огромные суммы денег для восстановления нормального режима озера. К этому есть определенные предпосылки, поскольку полный водообмен озера происходит всего за 2,5 года и в случае прекращения поступления в воду нежелательных загрязняющих веществ их концентрация в озерной воде снизится довольно быстро — в течение 3—5 лет. Тем не менее, пока удается сделать относительно немного, поскольку интересы многих крупных фирм и корпораций зачастую препятствуют проведению необходимых водоохранительных мероприятий. Хотя ситуация в озере в самое последнее время несколько улучшилась, есть все основания предполагать, что многие неблагоприятные изменения в экосистеме Эри уже необратимы.

Озеро Онтарио, последнее в системе, около 90% воды через Ниагару получает из Эри, а вместе с ней и ряд проблем этого озера, связанных с качеством воды. К влиянию Эри добавляется воздействие разного рода загрязняющих веществ, поступающих с собственного водосбора Онтарио — с сельхоз-

угодий, от промышленности и коммунального хозяйства городов. Основные проблемы качества озерной воды на сегодняшний день связаны с процессом антропогенного эвтрофирования.

В последние два десятилетия озеро Онтарио энергично и глубоко исследуется широким кругом ученых США и Канады. Выполнены несколько очень серьезных комплексных научных программ по изучению отрицательных последствий воздействия человека на состояние озер и разработке общей стратегии борьбы с этим воздействием и ликвидации его отрицательных последствий. Результаты этих американо-канадских исследований оказались чрезвычайно полезны для понимания ряда проблем, возникших в последнее время на наших озерах, в первую очередь на Ладожском.

Многие из проблем сохранения окружающей среды вполне могли бы быть разрешены на основе современных достижений науки и техники, но реализация этих возможностей на практике очень трудно осуществима. В капиталистических странах, не имеющих необходимой системы централизованного планирования, в большинстве случаев отсутствуют возможности изыскать финансовые средства, требуемые для сохранения или восстановления природной среды в целом. Это приводит к усилению локальных процессов ухудшения окружающей среды и придает этому ухудшению черты региональных экологических кризисов. Однако многие отрицательные последствия усиливающегося воздействия на окружающую среду, связанные с научно-технической революцией, имеют место и в нашей стране. Растет потребление природных ресурсов, увеличивается количество промышленных отходов, растет численность городского населения, загрязняется вода и воздух в индустриальных регионах.

В целом состояние водных ресурсов в СССР находится в гораздо лучшем положении, чем за рубежом, особенно в сравнении с такими странами, как США или ФРГ. Но не следует забывать о том, что это связано и с размещением промышленности на значительно большей территории, с заметно меньшей плотностью городского населения и более низким развитием сети автострад с интенсивным автомобильным движением. Однако бурный рост промышленности и крупных городов за последние 10—15 лет и грандиозные перспективы на ближайшие 15—20 лет требуют повышенного внимания к проблемам загрязнения и ухудшения качества воды водоемов. Охрана природных вод становится одной из важнейших государственных задач, хотя этому вопросу и раньше уделялось много внимания.

В 1960 г. Верховным Советом РСФСР был принят закон „Об охране природы в РСФСР“, аналогичные законы были приняты и в других союзных республиках. Затем утверждаются соответствующие законы по всем основным природным ресурсам — земля, вода, воздух, недра, животный мир. В 1970 г.

принимаются „Основы водного законодательства СССР и союзных республик“, а в 1972 — постановление Верховного Совета СССР „О мерах по дальнейшему улучшению охраны природы и рациональному использованию природных ресурсов“; позднее (1976 г.) к нему добавляется постановление „О порядке разработки и утверждения схем комплексного использования и охраны вод“. Эти законы и постановления являются в настоящее время основополагающими документами по защите водной среды.

В нашей стране впервые в мире были установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в питьевой воде. Список вредных веществ, для которых установлены ПДК, превышает 500 наименований. В 1974 г. разрабатываются усовершенствованные „Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами“, которыми руководствуются органы государственного водного, санитарного и рыбного надзора.

Достаточно четко распределены функции контроля за выполнением водного законодательства. На Государственный комитет СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды (Госкомгидромет) возложена ответственность за организацию и деятельность государственной системы наблюдения и контроля за состоянием природной среды, регулированием и использованием воздушного бассейна городов и контролем за источниками его загрязнения, разработкой и соблюдением норм предельных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и водные объекты. Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР через бассейновые управления и инспекции осуществляет контроль за охраной и рациональным использованием водных ресурсов, за работой очистных сооружений, сбросом сточным вод. Главное санитарно-эпидемиологическое управление Министерства здравоохранения СССР через свои подразделения осуществляет контроль санитарного состояния природной среды, занимается вопросами предупреждения и ликвидации загрязнения водоемов, почвы, воздуха и т. д. Инспекция рыбоохраны Главрыбвода Министерства рыбного хозяйства СССР обеспечивает охрану рыбных ресурсов. Кроме государственных, существует ряд общественных организаций, занимающихся вопросами охраны природы.

Можно предполагать, что, при неукоснительном соблюдении природоохранного законодательства и строгом контроле, серьезных проблем загрязнения природной среды, и в частности водных ресурсов, не возникало бы вообще или они были бы минимальны. К сожалению, многие положения нормативных актов не выполняются рядом предприятий, хозяйств и организаций. Контролирующими органами часто фиксируются нарушения технологии очистки сточных вод, залповые сбросы загрязняющих веществ, неполная утилизация отходов сельскохозяйственного производства и т. д. Порой сами контроли-

рующие органы, по тем или иным причинам, проходят мимо серьезных нарушений природоохранного законодательства. Ведомственная разобщенность, приоритет производственного плана над вопросами охраны природы и, наконец, личное пренебрежение руководителями предприятий правовой стороной охраны природы, к сожалению, до сих пор имеет место. В связи с этим в дополнение к „Основам водного законодательства“ принимается ряд региональных правительственных постановлений, направленных на усиление ответственности министерств и ведомств за нанесение ущерба окружающей среде и проведение необходимых природоохранных мероприятий. Все это имеет прямое отношение к Ладожскому и Онежскому озерам и их водосборным бассейнам.

Особенно велика антропогенная нагрузка на Ладожское озеро, которое находится в центре индустриально развитого Северо-Западного региона страны. Оно является важной транспортной магистралью, на побережье озера и в пределах его водосборного бассейна расположен ряд промышленных предприятий, технологические процессы которых предусматривают использование больших объемов озерной воды. Сточные воды этих предприятий, часто недостаточно очищенные, поступают в Ладожское озеро, загрязняя его.

Значительную роль в загрязнении Ладожского озера играют предприятия целлюлозно-бумажной промышленности, расположенные непосредственно на побережье озера: Приозерский и Питкярантский ЦЗ, Ляскельский ЦБЗ и Сясьский ЦБК. Определенное влияние на озеро оказывают целлюлозно-бумажные и деревообрабатывающие предприятия, расположенные на Вуоксе. Очистные комплексы ЦБП имеют недостаточные мощности, технология очистки во многих случаях не соблюдается, не выполняется план введения в строй новых сооружений очистки.

Наибольшую тревогу до самого последнего времени вызывал Приозерский целлюлозный завод. Это старое предприятие с оборудованием, давно требующим модернизации, с устаревшей технологией производства вообще не имело очистных сооружений. Чтобы как-то снизить вредное влияние сточных вод на Ладожское озеро, небольшое озеро Дроздово было превращено в первичный водоем-отстойник. Это озеро предполагалось использовать временно, до тех пор пока не будут построены очистные сооружения. Однако в данном случае еще раз подтвердилась поговорка, что нет ничего более постоянного, чем временное. С 1964 г. до самого последнего времени озеро Дроздово оставалось единственным очистным сооружением на заводе. Поскольку с тех пор очистка этого озера не производилась ни разу, оно уже давно заполнилось полурасложившимися остатками целлюлозного производства. В таком состоянии, естественно, озеро Дроздово перестало выполнять свои функции водоема-отстойника и, более того, превратилось в постоянный источник вторичного загрязнения.

Неочищаемые сточные воды завода начали поступать в небольшой залив Щучий и затем непосредственно в Ладожское озеро. Влияние этих сточных вод в открытой Ладоге прослеживалось на расстоянии нескольких километров от места их выхода в озеро, а в отдельных случаях вдольбереговым течением загрязненные воды переносились в южном направлении на десятки километров. В глубоководных впадинах, примыкающих к этому району, в зимнее время накапливалось большое количество трудноразложимых органических соединений, отрицательно влияющих на донную фауну и снижающих содержание растворенного кислорода у дна. Влияние сточных вод завода постоянно сказывалось на качестве воды в водозаборах г. Приозерска.

Вопрос об очистке сточных вод Приозерского целлюлозного завода неоднократно обсуждался на самых различных уровнях, но до последнего времени ситуация в лучшую сторону не менялась. Более того, завод, не предпринимая никаких природоохранных мер, продолжал наращивать свои производственные мощности с благословения Министерства лесной, целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности (Минлесбумпром). После неоднократных обращений санитарных и контролирующих служб в соответствующие инстанции в конце 1986 г. было принято беспрецедентное решение о прекращении производственной деятельности Приозерского целлюлозного завода. Правительственная комиссия, работавшая в Приозерске, пришла к выводу о необходимости перепрофилирования завода, с тем чтобы полностью прекратить сброс сточных вод в Ладожское озеро. Хотя теперь Минлесбумпром запоздало настаивает на срочном строительстве и введении в строй современных очистных сооружений, решение правительственной комиссии, видимо, будет окончательным.

Неблагополучная ситуация складывается и на целлюлозном заводе в г. Питкяранта. Строительство очистных сооружений для сточных вод завода должно было завершиться в 1980 г., однако отпущенные средства осваивались крайне медленно и окончание строительства очистных сооружений было перенесено на 1984 год. Затем сроки окончания строительства были передвинуты на конец 1986 г., но эти работы не завершены и поныне. Со сточными водами завода в Ладожское озеро поступает большое количество взвешенных веществ, трудноокисляемых органических веществ, фенолов и других соединений.

Сясьский ЦБК расположен в поселке Сясьстрой в месте слияния двух рек — Сяси и Валгомы. Производственные сточные воды поступают на станцию биологической очистки, однако до сих пор не достигнуты проектные показатели по содержанию ряда загрязняющих веществ, в частности взвешенных. Вдоль берега Ладожского озера в месте выпуска сточных вод комбината образовались косы и бары из неразложившейся цел-

люлозы. В штормовую погоду они размываются, замутняя и загрязняя озерную воду на большом участке побережья. Поток самих сточных вод прослеживается на расстоянии нескольких километров от места выпуска, а затем постепенно разбавляется, смешиваясь с озерными водами.

В настоящее время на комбинате запланирован ряд мероприятий по улучшению качества очистки сточных вод. В XII пятилетке предполагается ввести систему внутрицеховой очистки стоков, что должно значительно снизить нагрузку, лежащую ныне на основные очистные сооружения.

Ляскельский ЦБЗ, расположенный на реке Янис-йоки, сбрасывает неочищенные сточные воды в нижнее течение реки. По наблюдениям контролирующих организаций, отмечается серьезное загрязнение реки и прилегающего к ней участка озера. Дно реки покрыто слоем неразложившейся целлюлозы, понижено содержание в воде растворенного кислорода, концентрация фенолов превышает допустимую норму.

Значительную долю в загрязнение Ладоги вносят промышленные предприятия, расположенные в бассейне реки Волхов: Новгородский химический комбинат „Азот“, Киришский нефтеперерабатывающий и биохимический заводы, Киришская ГРЭС, Волховский алюминиевый завод и ряд других. Большое количество нефтепродуктов поступает в Волхов, а затем в Ладогу с территорий строительных баз, автотранспортных предприятий, Волховстроевского отделения Октябрьской железной дороги. По поводу загрязнения волховских вод руководители этих предприятий неоднократно подвергались штрафным санкциям, критиковались в печати, заслушивались на комиссиях исполкома и комитета народного контроля. Однако положение практически не улучшается, и Волхов, река первой категории, а вместе с нею — и Волховская губа Ладожского озера продолжают загрязняться.

Значительным источником загрязнения Ладожского озера нефтепродуктами является водный транспорт. Особенно высокие концентрации растворенных в воде нефтепродуктов отмечаются на трассе Волго-Балта. Результаты аэрофотосъемок, проводимых Госкомгидрометом, постоянно показывают наличие нефтяной пленки на поверхности озера. Значительное количество нефтепродуктов до недавнего времени поступало и от многочисленных катеров и моторных лодок, в основном в южную часть озера, где расположено много рыбных нерестилищ. По инициативе органов рыбоохраны и при поддержке ряда научных учреждений Леноблисполкомом в апреле 1985 г. было принято решение „О запрете выхода маломерных моторных судов в Ладожское озеро в период всей навигации“.

Серьезное отрицательное воздействие на рыбное поголовье до сих пор оказывают поступающие в озеро и его притоки отходы животноводческих комплексов и птицефабрик. На этих предприятиях, как правило, не обеспечивается полная утилизация навозной жижи или куриного помета, которые в боль-

ших объемах поступают в нерестовые реки, принося невосполнимые утраты рыбному хозяйству Ладожского озера.

До самого последнего времени продолжался молевой сплав леса по притокам Свири — рекам Паше и Ояти, где нерестятся лососевые рыбы. Сплав и переработка древесины приходится на весенне-летний период, когда как раз и происходит заход и нерест ладожского лосося и форели. Молевой сплав леса по рекам высшей категории рыбохозяйственного значения наносит серьезный ущерб воспроизводству ладожских лососевых рыб.

Воды Онежского озера и его притоков также загрязняются древесными отходами и сточными водами деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности. В наибольшей степени загрязнены воды Кондопожской и Петрозаводской губ, куда, вдобавок к промышленным, поступают и коммунальные стоки. На Кондопожском ЦБК, одном из старейших в стране, в 1984 г. были введены в строй очистные сооружения, что позволяет надеяться на улучшение состояния залива и примыкающей части озера. Ощутимо загрязнение в вершине Повенецкого залива у Медвежьегорска, в Челмужской губе и Оров-губе. Притоки Онежского озера, используемые для лесосплава, имеют повышенное содержание растворенных и взвешенных органических веществ, на дне накапливаются топляки. Хотя в настоящее время лесосплав на некоторых реках прекращен, отрицательные последствия прежней засоренности рек будут сказываться длительное время, если не будет произведена очистка дна от топляков, коры и щепы.

Загрязняется Онежское озеро и нефтепродуктами, основной источник которых — водный транспорт. В воду попадают мазут, соляр, бензин. Максимальные концентрации нефтепродуктов обнаружены в Большой губе и Повенецком заливе (участок трассы Беломорско-Балтийского канала). Обычно содержание нефтепродуктов в воде повышается летом, но на отдельных участках максимальные концентрации отмечаются весной, что связано с вымыванием нефтепродуктов, накопившихся в донных отложениях за предшествующий навигационный период.

Перечисленные виды хозяйственной деятельности, являющиеся отраслями специализации Ленинградского экономического района и Карельской АССР, снижают общий природный потенциал озер, вызывая дополнительные затраты на улучшение качества воды, используемой для водоснабжения. В первую очередь это относится к Ладожскому озеру. Например, для очистки воды, поступающей через ладожский водовод в город Всеволожск и близлежащие поселки, строятся современные очистные сооружения, так как ладожская вода в настоящее время уже не может быть использована для питьевого водоснабжения без предварительной очистки. На строительство затрачено 5 млн. руб., а эксплуатация сооружений будет стоить 1,3 млн. руб. ежегодно.

Серьезность положения с качеством воды в Ладожском и Онежском озерах была обозначена выходом в 1976 г. постановления Совета Министров СССР „О мерах по усилению охраны от загрязнения бассейна Балтийского моря“, в котором был запланирован ряд конкретных мероприятий по усилению охраны водных ресурсов озер. По выполнению этого постановления предприятиями, коммунальными хозяйствами и сельхозобъектами Ленинградской области в X и XI пятилетках была проделана определенная работа. В частности, введено в эксплуатацию более десяти локальных очистных сооружений и систем оборотного водоснабжения. Ряд сооружений подобного рода находится в завершающей стадии строительства.

Однако в целом состояние реализации мероприятий, направленных на охрану водоемов бассейна Балтийского моря, нельзя считать удовлетворительным. В связи с этим по материалам научных исследований ряда организаций (Институт озераведения АН СССР, Северо-Западное управление Госкомгидромета, Северо-Западное бассейновое территориальное управление Минводхоза СССР, Ленинградская областная санэпидемстанция Минздрава СССР и др.) при поддержке партийных и государственных органов Ленинграда и Ленинградской области, а также Президиума АН СССР была обоснована необходимость принятия нового постановления Совета Министров СССР, которое бы узаконило охрану уникальных водных объектов, какими являются Ладожское и Онежское озера. Записка с научным обоснованием комплекса необходимых мероприятий была подана в директивные органы в 1983 г., а в 1984 г. было опубликовано Постановление Совета Министров СССР о дополнительных мерах по обеспечению охраны и рационального использования водных и других природных ресурсов бассейна озер Ладожского, Онежского и Ильмень.

Важнейшими задачами сохранения природных ресурсов озер являются разработка и осуществление природных мероприятий, таких, как: полное прекращение сброса неочищенных сточных вод в водные объекты и предотвращение загрязнения и засорения водосборных территорий производственными и другими отходами путем внедрения прогрессивных технологических процессов производства, комплексной переработки сырья, утилизации отходов, строительства систем оборотного водоснабжения и эффективных очистных сооружений, а также регламентирование хранения и применения минеральных удобрений и ядохимикатов, прекращение сбросов в озерную воду нефтепродуктов и хозяйственных сточных вод с судов, прекращение молевого сплава на лососевых реках и ряд других.

Одновременно с этими мероприятиями научным учреждениям и организациям необходимо продолжить исследования состояния озер и их водосборных бассейнов, а соответствующие министерства, очевидно, должны усилить контроль за выполнением предприятиями, организациями и учреждениями

мероприятий по охране и рациональному использованию природных ресурсов в бассейне Ладожского озера.

Конечно, никакой директивный документ сам по себе не гарантирует его точного и добросовестного выполнения. Проведение научных исследований, которые, видимо, теперь на этих озерах станут обязательными и постоянными, позволит проследить за улучшением состояния водных объектов, если такое произойдет, или же, наоборот, выявить новые причины и источники ухудшения состояния экосистем озер и качества их вод.

По всей вероятности, загрязнение водоемов может быть в конечном счете устранено, однако не следует думать, что это простая задача, которая требует только наших энергичных усилий. Предотвращение загрязнения водоемов представляет собой сложную научно-техническую и социально-экономическую проблему, причем некоторые ее аспекты не только не решены, а даже не до конца поняты.

Например, казалось бы, достаточно ясный вопрос очистки сточных вод. В настоящее время взгляд на очистку просто как на удаление из отводимых сточных вод каким-либо способом нежелательных веществ не отражает всех сложностей этого процесса. Во-первых, даже при сегодняшних технических возможностях при очистке удаляются далеко не все нежелательные вещества. Даже самая совершенная из применяемых ныне очистка не позволяет удалять из сточных вод от 5 до 20% наиболее стойких и зачастую наиболее вредных загрязнителей. Поэтому при сбросе очищенных сточных вод в водоемы предполагается как бы их дополнительная доочистка путем разбавления чистыми речными или озерными водами. Снижение содержания загрязняющего вещества до требуемого уровня достигается, но при этом происходит постепенное ухудшение качества воды принимающих сточные воды водоемов.

Во-вторых, если мы удаляем из сточных вод какие-либо вещества, то у нас сразу возникает проблема дальнейшего их захоронения, использования или переработки, а это далеко не простая задача, к тому же требующая обычно больших энергетических затрат. Кроме того, в процессе дальнейшей переработки отходов очистных сооружений возникают новые потери загрязняющих веществ, которые в свою очередь требуют очистки. На практике обычно осуществляется только часть этого сложного многоступенчатого процесса и дальнейшая судьба отходов уже не контролируется. И в этом случае в конечном итоге ухудшается состояние водных ресурсов.

В-третьих, современные очистные сооружения сами по себе представляют целое производство с многочисленными объектами, сложной технологией и большим числом обслуживающего персонала. К очистным сооружениям и надо бы относиться как к производственным предприятиям, где сырьем служит загрязненная вода, а выпускаемым продуктом является

вода чистая, то есть соответствующая контрольным нормативам. При кажущейся парадоксальности такой взгляд на вещи является единственно правильным, и, возможно, когда дефицит чистой пресной воды станет суровой реальностью для большей части населения планеты, производство чистой воды окажется не менее важным, чем выпуск автомобилей или обуви. Но пока очистные сооружения являются непроизводительной обузой для предприятий или городских хозяйств, и затраты на них стараются сократить до минимума.

Большой объем сбрасываемых сточных вод до сих пор считается неизбежным результатом крупного промышленного производства, и обычно решается задача очистки этих загрязненных вод. Однако это уже отсталая позиция, современный взгляд на глобальные проблемы охраны окружающей среды смещает центр этого вопроса в область технологии производства. Водоохраные принципы должны в качестве обязательных технологических требований вводиться в сам производственный процесс. Иначе говоря, ставится под сомнение обязательность в промышленном производстве высокого уровня водопотребления и водоотведения. Основной задачей становится не очистка сточных вод, а существенное уменьшение их объема вплоть до полной ликвидации. Если все-таки определенного объема сточных вод избежать нельзя, то безотходной должна стать утилизация или переработка отходов очистки. Таким образом прогрессивной тенденцией в дальнейшем развитии современной цивилизации должно стать не совершенствование технологии очистки, а переход в промышленном производстве на малоотходные или безотходные технологии. Критерием прогресса, по мнению советского ученого М. И. Львовича, должно стать резкое снижение расхода воды на единицу промышленной или сельскохозяйственной продукции.

Стимулом для сокращения объема потребляемой и сбрасываемой воды должно послужить введение тарифов и цен на воду. Такие тарифы у нас сейчас установлены Минводхозом на потребляемую воду, однако тарифов на сбрасываемую воду пока нет. Простой расчет показывает, что для разбавления сбрасываемых сточных вод требуется во много раз больше чистой воды, чем для производственного процесса. Следовательно, и цены на сбрасываемые сточные воды должны быть намного выше, чем на забираемые чистые.

Можно надеяться, что современные технические возможности, серьезное и ответственное отношение к природным мероприятиям, а также постоянный контроль за их выполнением позволят к началу следующего столетия снять проблему беспорядочного и опасного загрязнения природных вод, хотя это и не означает, что водоемы смогут вернуться к естественному первозданному режиму.

Озера являются частью окружающего их природного ландшафта, и его изменения, связанные с хозяйственным освоением, неизбежно сказываются на состоянии озер, даже если

в них не сбрасываются опасные загрязнители. Как оказалось, избыточное поступление полезных питательных веществ может иметь не менее серьезные отрицательные последствия для озерных экосистем и качества воды. Опасность этого явления, получившего название „антропогенное эвтрофирование водоемов“, стала понятна только в середине нашего столетия.

6

АНТРОПОГЕННОЕ ЭВТРОФИРОВАНИЕ КРУПНЫХ ОЗЕР

В то время как над загрязняющими веществами, вредными и опасными для обитателей водоема и качества его воды, устанавливался контроль, возникла новая проблема — эвтрофирование пресных вод. Это явление связано с накоплением в озерах веществ, которые не являются опасными, более того, они необходимы для развития и жизнедеятельности водных организмов. Это всем известные соединения фосфора, азота и ряда других химических элементов, которые являются питательными веществами для флоры и фауны не только водной, а и наземной. В связи с этим они получили название „биогенные элементы” (образующие жизнь). Когда содержание биогенных элементов в воде превышает определенный уровень, ускоряются все жизненные процессы водных организмов, а в первую очередь начинается бурное развитие планктонных водорослей, известное под названием „цветение воды”. Это внешнее проявление процесса известно многим, поскольку хорошо наблюдается визуально, но мало кто знает, что с этим явлением связана серьезная перестройка всей озерной экосистемы. Здесь следует сделать небольшое отступление и коротко рассказать о том, как эволюционирует озерная экосистема в естественных условиях и что такое увеличение трофического уровня водоема.

Озера, как и все элементы ландшафта, участвуя в общем процессе эволюции географической оболочки Земли, в ходе своего развития постепенно видоизменяются, проходя через ряд характерных стадий, и превращаются в конечном счете в новую ландшафтную структуру — заболоченная река, низинное болото и т. д. Озера являются накапливающим элементом ландшафта, все, что сносится с водосборного бассейна ручьями и реками, попадает в озеро и, в силу резкого снижения скорости переноса, постепенно оседает на дно, заполняя озерную котловину и формируя озерные донные отложения. Продолжительность жизни озера, таким образом, составляет промежуток от образования озерной котловины до ее заполнения донными отложениями. Но озерное накопление — это не просто перенос вещества с водосбора в донные отложения озера. Все поступающее в озеро вовлекается в сложный комплекс озерных процессов — гидрологических, гидрохимических и гидробиологических, что приводит к изменению, транс-

формации и перераспределению материала, поступающего с водосбора и образующегося в самом озере.

В озере накапливаются как минеральные вещества, так и органические. Наиболее важным и одновременно особенно сложным является процесс накопления органических веществ. Большая часть их — результат жизнедеятельности населяющих водоем автотрофных организмов, то есть тех, которые производят (продуцируют) органическое вещество в процессе фотосинтеза. Это в основном водоросли фитопланктона, обрастаний и высшая водная растительность (камыш, тростник, хвощ, рдест и др.). Скорость их роста, а следовательно и количество новообразованного органического вещества, зависит от ряда факторов, из которых основными являются обеспеченность питательными веществами (биогенными элементами) и температура воды. Необходимо подчеркнуть, что из биогенных элементов основную роль в продукционных процессах играют соединения фосфора.

Первичным источником энергии для автотрофных организмов служит солнечный свет, посредством которого и производится органическое вещество в процессе фотосинтеза. При этом в живых клетках идут процессы, требующие поглощения и освобождения энергии. Посредником этих двух типов процессов, которые в целом называются энергетическим обменом, служит особое вещество — аденозинтрифосфорная кислота (АТФ). Образование (синтез) АТФ играет роль универсального накопителя энергии в клетке, а расщепление АТФ — универсального поставщика энергии. Даже при столь схематичном изложении становится ясна особая роль фосфора для живых организмов — он не только входит в состав органического вещества (белков, жиров и углеводов), но и непосредственно участвует в энергетическом клеточном обмене в составе АТФ. Решающая роль фосфора в развитии озерной биоты была установлена многочисленными наблюдениями за его поступлением в озера и уровнем продуктивности озерных экосистем. Таким образом, можно сказать, что количество новообразованного органического вещества в озере на первом этапе его исторического существования зависит от начальной обеспеченности фосфором, хотя помимо этого оно контролируется и другими факторами, влияющими на интенсивность фотосинтеза, — условиями освещенности и термическим режимом. При низких температурах все биологические процессы в водоемах чрезвычайно замедлены. Создаваемое водными растениями органическое вещество затем используется другими (гетеротрофными) формами жизни, к которым относятся все виды животных, бактерии, грибы.

В естественном, то есть не освоенном человеком, ландшафте развитие озерной экосистемы происходит следующим образом. Сформировавшаяся в пределах какого-либо региона озерная котловина заполняется поверхностными водами с химическим составом, свойственным ландшафту водосборного

бассейна. Гидрохимическая характеристика воды образовавшегося водоема, в частности, содержание биогенных элементов, определяет уровень первичной продукции, то есть количество образующегося в озере органического вещества. Содержание фосфора в озерной воде, придя в равновесие с количеством поступлений, остается приблизительно постоянным. Существенное изменение этого содержания может наступить только в случае значительных ландшафтных изменений.

Образующееся в водоеме органическое вещество затем подвергается биохимическому разложению, или деструкции, с потреблением растворенного в воде кислорода. Два противоположных процесса (продукции органического вещества и его деструкции) идут в сбалансированной озерной экосистеме с более или менее постоянной скоростью, что сопровождается в итоге невысоким и равномерным темпом накопления остаточного органического вещества в озерных донных отложениях. При этом в донных отложениях накапливаются и соединения фосфора, который тем самым выводится из озерной воды, уравнивая поступления с водосбора.

Термический режим водоема зависит от количества входящей солнечной радиации, а также от его глубины и площади зеркала. По мере накопления донных отложений озерная ванна становится все мельче, что способствует большему прогреву водной толщи в теплый период года, то есть именно в период максимального развития озерной жизни. Увеличение средней температуры озерной воды вызывает соответствующий отклик озерных организмов — интенсификацию как продукционных, так и деструкционных процессов с возрастающим темпом осадконакопления. С какого-то момента динамические процессы в озере (ветровое волнение) начинают прямо воздействовать на донные отложения, способствуя вымыванию некоторой части фосфора из поверхностного слоя донных отложений в воду. Тем самым озерная экосистема получает некоторое ускорение своего развития, причем необратимое, так как глубина озера продолжает уменьшаться. Рост деструкции приводит к увеличению потребления кислорода на минерализацию органического вещества. Одновременно, при уменьшении объема водной толщи, уменьшается и общий запас кислорода в воде. Рано или поздно уровень первичной продукции достигнет таких размеров, что на окисление новообразованного органического вещества будет потребляться значительная часть растворенного в озерной воде кислорода.

В период открытой воды в верхних слоях озера (эпилимнионе) содержание кислорода легко восстанавливается за счет газообмена с атмосферой, зимой же, в период ледостава, и летом в придонных слоях озерной воды (гиполимнионе) возможно полное потребление кислорода. Это не только приводит к заморным явлениям, при которых гибнет рыба, а также донные организмы, являющиеся кормовой базой многих видов

рыб, но и к замене в придонных слоях воды окислительных процессов восстановительными, при которых поступление фосфора в воду из донных отложений резко увеличивается. Внутриозерное поступление фосфора стимулирует дальнейший рост продуктивности озера уже независимо от величины поступления фосфора с водосбора. Эволюция экосистемы озера получает последнее необратимое ускорение, и оно начинает неуклонно идти к концу своего существования. В естественных условиях это означает окончательное заполнение озерной котловины осадками, обмеление и зарастание водоема.

Этим этапам естественного развития озерных экосистем соответствуют типологические категории так называемой трофической классификации озер, предложенной в начале нашего века известными учеными-лимнологами А. Тинеманном и Э. Науманном. Трофическая классификация („трофе“ означает питание) подразделяет озера на олиготрофные (малопродуктивные), мезотрофные (среднепродуктивные) и эвтрофные (высокопродуктивные). Критериями этого подразделения служат форма озерной котловины, концентрация биогенных элементов в воде, величина продукции и деструкции, а также содержание кислорода в придонных слоях воды.

Очевидно, что первый этап развития озера при неизменной и небольшой концентрации фосфора и сравнительно стабильных продукции и деструкции органического вещества представляет собой стадию олиготрофии, которая сохраняется тем дольше, чем больше начальная глубина озера. Мезотрофной стадии, которая характеризуется нарушением стабильности экосистемы, соответствует период роста продуктивности за счет перестройки термического режима водоема. Возникновение же восстановительных условий у дна и включение в круговорот фосфора, поступающего из донных отложений, знаменует собой переход к эвтрофному состоянию. Неотвратимо нарастающее ускорение процессов эвтрофирования озера на этом этапе является качественным его отличием.

Так происходит процесс эвтрофирования озер в естественных условиях, без человеческого воздействия. Поскольку изменение термического режима, способное придать первоначальное ускорение интенсивности продуцирования органического вещества, возникает только при заполнении донными отложениями значительной части озерной котловины, а осадко-накопление на олиготрофной стадии идет медленно, естественное эвтрофирование озер — чрезвычайно медленный процесс. Он длится тысячелетиями даже в небольших озерах, а в таких огромных и глубоких водоемах, как Великие американские озера или Ладожское с Онежским, может продолжаться миллионы лет. Вмешательство человека меняет ход естественной эволюции озер, поэтому ход перестройки озерных экосистем в этом случае называется антропогенным эвтрофированием водоемов.

Антропогенное эвтрофирование связано с резким увеличением поступления биогенных элементов с водосборных бассейнов за счет развития хозяйственной деятельности человека, в то время как размеры, форма и, следовательно, термический режим и другие гидрофизические характеристики водоема остаются прежними. То есть озеро как бы перемещается в другой ландшафт, с другим уровнем поступления биогенных элементов, что приводит к быстрому росту их концентрации в озерной воде. Увеличивающееся содержание биогенных элементов, в первую очередь фосфора, стимулирует развитие водных организмов. Изменение озерной экосистемы происходит с неизмеримо большей скоростью, чем при естественном эвтрофировании, поскольку новая высокая концентрация фосфора в озерной воде достигается очень быстро, приблизительно за время одного периода водообмена, то есть за год-два для небольших озер, десять — пятнадцать лет для крупных и десятки лет для очень больших.

Процесс антропогенного эвтрофирования, вызывая быстрые и подчас необратимые нарушения функциональных связей экосистемы, приводит к ухудшению качества воды, подрыву полезной продуктивности, а иногда и к полной утрате природных ресурсов озера. Основные отрицательные последствия этого процесса — массовое развитие планктонных водорослей, появление неприятного запаха и вкуса воды, увеличение содержания органического вещества (растворенного и взвешенного), снижение прозрачности и увеличение цветности воды. Перенасыщение воды органическим веществом стимулирует развитие сапрофитных бактерий, в том числе болезнетворных, а также водных грибов. В результате жизнедеятельности некоторых видов водорослей, особенно синезеленых, возникают токсические эффекты, приводящие к заболеваниям животных, а в отдельных случаях и человека („гаффская” и „сарландская” болезни).

Визуально эвтрофирование водоема проявляется в виде устойчивого „цветения” воды, зарастания прибрежных мелководий, массового развития нитчатых водорослей, появления неприятного затхлого привкуса воды. Масса гниющих водорослей, скапливающихся у уреза берега, распространяет неприятный тяжелый запах.

На окисление огромного количества новообразованного органического вещества расходуется значительная часть содержащегося в озерной воде растворенного кислорода, что зачастую приводит к „заморным” явлениям. В результате ценные в промысловом отношении породы рыб (лососевые, сиговые), требовательные к высокому качеству воды, вытесняются низкосортными видами, менее в этом отношении чувствительными.

Возникновение кислородного дефицита и восстановительных условий у дна при антропогенном эвтрофировании, так же как и при естественном, является конечной фазой процесса.

Резко увеличивается поступление фосфора из донных отложений в воду, и развитие биоты практически перестает зависеть от величины поступлений фосфора с водосбора. В данном случае уменьшение этих поступлений может оказаться уже неэффективным. Однако, в отличие от естественного, антропогенное эвтрофирование может быть остановлено, если внешняя фосфорная нагрузка снижается своевременно, до перехода озера в последнюю стадию развития процесса. В этом и состоит основное отличие антропогенного эвтрофирования от естественного, особенно ярко выраженное в крупных озерах. Поскольку крупный глубокий водоем при увеличении трофического уровня сохраняет все морфометрические признаки олиготрофного озера: холодноводность, большой объем гипolimниона и достаточный запас кислорода в воде, то своевременным снижением поступления фосфора с водосбора можно восстановить его первоначальное состояние. При естественном эвтрофировании сделать это невозможно.

Для Великих американских и наших Ладожского и Онежского озер этот факт имеет очень важное значение, поскольку утрата водных ресурсов этих уникальных водоемов была бы невозможна. Снижение выноса фосфора с водосбора требует точной оценки критического и допустимого пределов этого выноса в водоем, что при высоком уровне хозяйственного освоения водосбора достаточно сложное дело, поскольку источники поступления биогенных веществ многочисленны и разнообразны. Среди источников поступления фосфора в озера можно выделить основные: городское население и все формы урбанизации, сельское хозяйство, промышленность, рекреационные зоны и, отчасти, атмосферные осадки. Подробный анализ этих источников в рамках данной книги невозможен, поэтому ограничимся только краткой характеристикой.

Рост городов и быстрое развитие городской канализации создали первые предпосылки для развития процесса антропогенного эвтрофирования в озерах, и до сих пор во многих районах этот источник поступления фосфора остается основным. В частности, даже в озере Эри около половины поступающих соединений фосфора приходится на коммунальные стоки. С продуктами обмена от одного жителя в воду поступает в среднем 1,4—1,5 г фосфора в сутки, в условиях большого города за счет коммунального обслуживания эта величина достигает 2,8—3,3 г, что составляет 1—1,2 кг в год. Таким образом, от населения крупного города с численностью жителей 200 тысяч со стоками канализации в воду поступит более 200 т фосфора за один год.

Особенно возросла концентрация фосфора в коммунальных стоках после распространения синтетических моющих средств (детергентов), содержащих большое количество фосфатов. В коммунальных сточных водах от крупных городов больше половины содержащегося в них фосфора обязано своим происхождением детергентам. В декабре 1969 г. Г. Ройсс,

представитель штата Висконсин, сообщил подкомиссии по охране окружающей среды и природных ресурсов, что производство моющих средств было основным виновником ускоренного эвтрофирования водоемов в США. В связи с этим в США осуществляется финансируемая государством исследовательская программа, занимающаяся вопросом замены фосфатов в детергентах.

При сильных ливневых осадках с городских территорий смывается значительное число загрязнений и засорений, таких, как мазут, масла и т.п. от транспорта, остатки строительных материалов и мусора, стоки с удобряемых садов и парков, выделения животных, оседающая пыль и др. В ливневых городских стоках содержится большое количество загрязнений, но эвтрофирующих веществ в них, как правило, меньше, чем в канализационных стоках. Тем не менее, поступление биогенных веществ с городских территорий в 5—10 раз выше соответствующих показателей для лесных и неосвоенных частей водосбора.

В последние два-три десятилетия во всем мире отмечается все увеличивающееся расширение зон отдыха. Курорты, санатории, туристские базы и просто неорганизованные стоянки часто расположены по берегам озер и впадающих в них рек. Скопление людей на сравнительно небольших территориях неизбежно приводит к поступлению в водоемы большого количества различных загрязняющих и засоряющих веществ, в том числе и биогенных элементов. Благоустроенные рекреационные комплексы обеспечены, как правило, канализационными устройствами городского типа, в то время как при отдыхе неорганизованном отходы остаются по берегам, смываясь в воду в течение определенного промежутка времени, порой длительного. Следует заметить, что с точки зрения санитарно-гигиенической первый вариант рекреации предпочтительнее, но при централизованной канализации в водоемы попадает гораздо больше эвтрофирующих веществ, чем при неорганизованном отдыхе. В то же время централизованная канализация при устройстве необходимых систем очистки сточных вод позволяет почти полностью устранить попадание в водоем биогенных элементов. В любом случае величину поступлений этих веществ из рекреационных зон с учетом пребывания в них отдыхающих можно приравнять к уровню крупного города.

Поступления фосфора и других биогенных элементов с промышленными стоками в большой степени зависят от характера производства, и, если не считать специфических предприятий, содержание азота и фосфора в промышленных сточных водах не превышает таковое в коммунальных стоках. Исключение составляют предприятия, производящие минеральные (азотные и фосфорные) удобрения, и некоторые предприятия цветной металлургии, например, те, которые производят алюминий из апатито-нефелиновых руд. Количество фосфора в

отходах таких предприятий может быть чрезвычайно большим и приближаться по уровню сброса к двух-трехмиллионному городу. Одно такое предприятие при налаженной очистке (как это произошло на Ладожском озере) может намного превзойти все остальные антропогенные источники.

Наиболее сложная и даже парадоксальная ситуация с выносом фосфора возникла в сельском хозяйстве. С одной стороны, рост производства и применения минеральных удобрений хорошо согласуется с ростом поступления биогенных веществ в водоемы, и эта связь кажется прямой и безусловной. С другой стороны, тщательный анализ выноса фосфора с удобряемых сельскохозяйственных территорий показал, что в среднем величина выноса фосфора в водоемы невелика, примерно 1—5% от фосфора, вносимого на поля с удобрениями*.

Таким образом получается, что в водоемы фосфора поступает очень много, но доля выноса его с удобряемых территорий относительно невелика. Парадокс, кстати, малопонятный даже людям близко знакомым с этим вопросом.

А дело в том, что производство и применение минеральных удобрений в сельском хозяйстве, а также стремительный рост крупных городов существенно изменили сложившийся веками круговорот биогенных элементов (особенно фосфора), который был близок к естественному. Прежде небольшие размеры преобладающего большинства хозяйств способствовали формированию внутри каждого из них локального круговорота фосфора: фосфор, снятый с урожаем, потреблялся людьми и домашними животными, затем с продуктами обмена попадал опять в почву, удобряя ее и усваиваясь в дальнейшем новым урожаем. Вынос в водоемы и водотоки был минимален, туда попадало только то, что профильтровывалось через почву, а фосфор, поскольку он относится к числу малоподвижных элементов, почти весь оставался в почве. Наличие небольших городов этого круговорота принципиально не меняло.

Развитие крупных городов, в настоящее время даже городов-гигантов, привело, во-первых, к тому, что большая часть урожая стала потребляться городским населением, а отходы с канализационными стоками уходить не на поля, а в водоемы. То есть мы начали удобрять реки, озера и моря. Во-вторых, растущие потребности городов потребовали интенсификации сельского хозяйства, которое пошло по пути широкого применения минеральных удобрений и централизации сельскохозяйственных животных в специальных комплексах. Очевидная эффективность применения минеральных удобрений в сельском хозяйстве стимулировала быстрый рост их производства

* Этот вопрос подробно освещен в книге „Роль минеральных удобрений в эвтрофировании вод суши“ (Л., Наука, 1985), написанной сотрудниками Института озераведения АН СССР И. С. Коплан-Диксом, Г. В. Назаровым и В. К. Кузнецовым.

во всем мире. Если в 1905 г. на поля вносилось с минеральными удобрениями 0,24 млн. т фосфора, то к 1960 г. эта величина достигла уже почти 3,5 млн. т. Дальнейшее нарастание производства минеральных удобрений шло еще стремительнее, достигнув в 1978 г. 33,5 млн. т с содержанием фосфора 10,7 млн. т.

С промышленным производством минеральных удобрений связано увеличение потерь фосфора со сточными водами этих производств, потерь при транспортировке и хранении удобрений. Кроме того, использование минеральных удобрений обесценило традиционные органические удобрения (отходы сельскохозяйственных животных, то есть навоз). Создание животноводческих комплексов при снижении интереса к использованию их отходов создало ситуацию неполной утилизации этих отходов, и они тоже потекли в реки и озера.

Таким образом, сформировался новый круговорот фосфора, который в отличие от старого оказался незамкнутым в явном виде. То есть, конечно, его можно замкнуть, если употреблять в пищу синезеленые водоросли, в огромных количествах образующиеся в эвтрофирующихся водоемах, но пока дело до этого не дошло. Путь миграции фосфора в хозяйстве (только сельским его теперь назвать уже нельзя) выглядит таким образом. Большое количество фосфора добывается из рудных месторождений при производстве минеральных удобрений, которые поступают на поля и усваиваются сельскохозяйственными растениями. Фосфор, поступающий с урожаем в основном в города, выносится затем с канализационными стоками в водоемы. В водоемы, а не на поля поступает теперь и значительный поток не утилизируемых отходов животноводства. Велики и потери фосфора при транспортировке минеральных удобрений с производства на пашню и при их хранении. Новый круговорот фосфора привел фактически к интенсивному удобрению водоемов за счет разработки фосфоросодержащих руд.

Из ежегодной мировой добычи фосфора в количестве 16—17 млн. т 60—70% в конечном итоге попадает в водоемы. При этом около 10% поступающего фосфора аккумулируется в воде и почти 60% — в донных отложениях водоемов.

Таким образом, человек затрачивает серьезные усилия для разработки ценного минерального сырья, использует его в сельском хозяйстве, но нерациональные потери при этом так велики, что выгода от применения этого ресурса в сельском хозяйстве становится сомнительной. Более того, при этом серьезно ухудшается состояние окружающей среды.

Вот к такому парадоксальному выводу привел тщательный анализ мировых потоков фосфора. В целом, заканчивая обзор современных источников поступления фосфора в пресноводные водоемы, можно с уверенностью сказать, что основной причиной антропогенного эвтрофирования озер явились определяющие тенденции развития современной цивилизации. А именно, стремительный рост городов с высоким уровнем благо-

устройства и бытового обслуживания, увеличение городского населения за счет сельского и, наконец, обратное возвращение городского жителя „на природу“, но уже в виде отдыхающего туриста. Неудивительно, в связи с этим, что антропогенное эвтрофирование водоемов стало мировой проблемой нашего века.

Раньше других признаки антропогенного эвтрофирования были отмечены в крупных альпийских озерах Центральной Европы. Разумеется, что и до этого в различных освоенных районах небольшие мелкие озера „зацветали“, но этому не придавали особого значения, пока не стало ухудшаться качество воды озер, служивших источником водоснабжения для целых регионов. Как известно, в условиях Альп озера являются главным водным ресурсом, поэтому территории озерных водосборов наиболее освоены и заселены. Большие объемы коммунальных сточных вод и послужили основной причиной эвтрофирования озер этого региона.

Первым крупным озером, в котором эвтрофирование стало заметным еще в конце XIX в., следует считать Цюрихское. К 20-м годам нашего века начали интенсивно зарастать озерные мелководья, в массе развились нитчатые водоросли, значительно уменьшилась прозрачность воды, изменились ее вкусовые качества, нарушился кислородный режим, практически исчезли из уловов ценные породы рыб (форель). Основная причина была быстро и достоверно определена — большое поступление фосфора с коммунальными сточными водами Цюриха и других поселений вокруг озера. Сооружение двухступенчатых очистных устройств не остановило развитие процесса, и только введение третьей ступени очистки (осаждение фосфора хлоридом железа) дало ощутимый эффект — эвтрофирование озера стало ослабевать. Полученные результаты позволили сделать два важных вывода: во-первых, была подтверждена решающая роль фосфора в развитии процесса эвтрофирования, а во-вторых, своевременно принятые меры показали возможность восстановления нормального состояния озерной экосистемы.

В 20-е годы нашего века явные признаки эвтрофирования появились в крупном и до того времени олиготрофном озере Боденском. До 50-х годов эвтрофирование развивалось сравнительно медленно, но затем резко ускорилось. Территория водосборного бассейна озера представляет собой густонаселенный район, и обогащение озерной воды фосфором происходило опять-таки в основном за счет коммунальных сточных вод (70—80% общего поступления). Несмотря на то что улов рыбы временно даже вырос, негативные последствия оказались более значительными: ухудшение качества воды, требующее дорогостоящей очистки, „цветение“ водоема, смена ценных пород рыб (сиг, форель) менее ценными, возникновение дефицита кислорода в придонном слое. По соглашению стран, расположенных в бассейне озера Боденского (Швейцарии, Австрии и Германии), была начата постройка сооружений для

очистки коммунальных сточных вод, позволивших прекратить к 1980 г. увеличение концентрации фосфора в озерной воде. Дальнейшее снижение содержания фосфора в озере, по мнению экспертов, возможно только в том случае, если будет принят закон об исключении этого элемента из состава детергентов.

До 50—60-х годов нашего века все еще сохраняли олиготрофное состояние другие крупные швейцарские и итальянские альпийские озера — Люцернское, Женевское, Лаго-Маджоре, но затем быстрый рост концентрации фосфора в воде привел к стремительному развитию процесса эвтрофирования со всеми вытекающими последствиями. В настоящее время на озерах проводятся мероприятия по изъятию фосфора из сточных вод на очистных сооружениях, но пока положительные результаты минимальны.

Среди больших озер Скандинавского полуострова симптомы антропогенного эвтрофирования отмечены в озерах Меларен, Мьёса и ряде более мелких. Эвтрофируются озера и других европейских стран.

Фактически на сегодня можно сказать, что почти все европейские озера в той или иной степени захвачены процессом антропогенного эвтрофирования. Это вызывает большую озабоченность ученых и широкой общественности и требует проведения целого комплекса необходимых мероприятий на водосборных бассейнах озер. Для решения этих вопросов разрабатываются международные научные программы и проводятся совместные исследования на озерах.

Антропогенное эвтрофирование озер Северной Америки привлекло внимание специалистов и общественности только с 40-х годов нашего столетия, хотя на многочисленные факты ухудшения режима озер под действием этого процесса указывалось намного раньше. Поскольку систематического исследования озер не проводилось, а к проверке их состояния приступали только после того, как эвтрофирование достигало заметного развития, то выяснить главные причины этого явления на озерах было затруднительно. Опирались, как правило, на общие соображения и опросные данные.

Первым из достаточно крупных озер США, подвергшимся антропогенному эвтрофированию, можно считать озеро Монана, куда сбрасывались большие объемы коммунальных стоков города Мадисон. Первые признаки эвтрофирования появились еще в прошлом веке, затем процесс охватил все озеро. Возникло сильное „цветение“ воды, от которой начал исходить неприятный гнилостный запах. Проводившиеся в течение длительного времени различные мероприятия (внесение в озеро сернокислой меди и других веществ, тормозящих „цветение“) не дали удовлетворительных результатов. Улучшение состояния озера было достигнуто только после отведения городских стоков в реку Яхару, за пределы озерного водосбора.

Аналогичная ситуация возникла и с озером Вашингтон, куда с начала нашего столетия сбрасывались в большом объеме коммунальные сточные воды города Сиэтл и других более мелких населенных пунктов, расположенных в бассейне. К 30-м годам озеро сильно эвтрофировалось, и было принято решение отвести сброс коммунальных стоков в залив Пьюджет-Саунд. Это привело к положительным результатам, и состояние озера несколько улучшилось. В 40-х годах в связи с быстрым ростом городского населения были построены очистные сооружения с двухступенчатой системой очистки и сброс сточных вод в озеро возобновился. Поскольку при таком способе очистки минеральные соединения фосфора и азота из стоков не удаляются, то в озере вновь усилился процесс эвтрофирования. Опять возникло „цветение“, кислородный дефицит у дна, уменьшилась прозрачность. Это удалось преодолеть только после повторного отвода всех сточных вод в залив Пьюджет-Саунд.

Все эти события казались просто неприятными эпизодами, которые при желании и соответствующих усилиях можно устранить. Настоящая тревога возникла, когда процесс антропогенного эвтрофирования затронул Великие американские озера, водоемы, которые казались совершенно неуязвимыми из-за своих устрашающих размеров и холодной воды.

Первой жертвой антропогенного эвтрофирования стало многострадальное Эри. Надо заметить, что к этому были определенные предпосылки в характере самого озера. Эри наиболее мелководно из всех Великих озер. Относительно малая глубина при огромной площади зеркала приводит к быстрому прогреву всей водной толщи в летнее время, при этом уменьшается толщина гипolimниона и, следовательно, сокращается запас растворенного кислорода в придонных слоях воды. То есть даже в естественных условиях в Эри всегда создавались предпосылки для возникновения некоторого дефицита кислорода у дна. Это обстоятельство и сыграло впоследствии роковую роль в судьбе озерной экосистемы.

Еще в 20-е годы нашего века в Эри несколько раз отмечалась массовая гибель рыб, но это связывали с другими причинами, в частности с загрязнением отравляющими веществами. Только в 50—60-е годы, когда изменения в экосистеме озера под воздействием антропогенного эвтрофирования стали настолько очевидны, что привлекли внимание и вызвали тревогу широкой общественности, озеро Эри и его водосборный бассейн были объявлены „проблемной территорией“. В этот период развитие и внешние проявления процесса эвтрофирования в первом из Великих озер были изучены достаточно подробно.

По оценке американских и канадских исследователей, в 1966—1967 гг. в озеро с водосбора поступало более 27 тыс. т фосфора ежегодно, причем более половины составлял фосфор коммунальных сточных вод и детергентов. Резкое увели-

чение концентрации фосфора в озерной воде привело к быстрому росту численности планктонных водорослей. Если в 20—30-е годы численность водорослей только два раза достигала 4 млн. клеток в литре, то уже с начала 50-х годов она превышала эту величину постоянно. Абсолютный максимум за эти годы составил 11 млн. клеток в литре воды. Особенно интенсивным развитие водорослей становится летом, в июле — августе.

Бурное развитие планктонных водорослей привело к накоплению в озере огромного количества органического вещества, на разложение которого расходовалась большая часть растворенного в воде кислорода, особенно в придонных слоях. Впервые дефицит кислорода (снижение до 1 мг/л и ниже) в Эри был отмечен в 1929 г., а с 1961 г. он повторяется ежегодно. В 1970 г. в результате мощного „цветения“ воды на дне озера образовался слой отмирающих планктонных водорослей толщиной 2—3 см, на окисление которых расходовался практически весь кислород придонных слоев воды. Дефицит кислорода в июле возник на площади 4200 км², а к концу сентября кислород был полностью потреблен во всем гипolimнионе на площади 12 700 км². Было определено, что для возникновения кислородного дефицита в придонных слоях воды Эри достаточно пяти дней штилевой погоды при температуре на поверхности 18 °С и выше.

С возникновением бескислородной зоны резко возросла скорость диффузии (выделения) фосфора из донных отложений, в среднем в 11 раз. Это обогащение придонной воды фосфором приводит к тому, что при осеннем перемешивании концентрация фосфора в поверхностных слоях также значительно возрастает, а за этим следует новая вспышка синезеленых водорослей.

За последние десятилетия отмечены и другие серьезные сдвиги в экосистеме. В частности, озерный зообентос (донные беспозвоночные, основная кормовая база рыб) ранее был богат и разнообразен. Важный компонент корма лососевых рыб составляли личинки поденки гексагении и различные виды крупных реликтовых ракообразных. После первого катастрофического замора в 1953 г. состав зообентоса стал быстро меняться. В основном теперь это были олигохеты (кольчатые малощетинковые черви), старые же формы составляли менее 1 % от общей численности бентических организмов. По численности олигохет в Эри выделены две зоны: „тяжелого“ загрязнения (более 5 тыс. экземпляров на 1 м² площади дна) — западная часть озера и „среднего“ загрязнения (1—5 тыс. экземпляров на 1 м²) — средняя часть озера. Зона „тяжелого“ загрязнения продолжает расширяться, по данным 1970 г. центральная часть озера уже лишь немногим менее эвтрофирована, чем западная.

Для подавляющего большинства рыб ухудшение кислородного режима имеет решающее значение. Возникновение

кислородного дефицита в гипolimнионе ведет к резкому сокращению, а часто и к полному исчезновению чувствительных к недостатку кислорода холодолюбивых видов лососевых и сиговых рыб. На состояние рыбных запасов в Эри, кроме того, как уже указывалось, воздействовали загрязнение, „иловые бури“, высокий уровень промысла, засорение и загрязнение нерестилищ и еще ряд факторов. Все это привело к тому, что рыбные запасы Эри, богатейшего в этом отношении из всех Великих озер, практически иссякли. Потеряли промысловое значение все ценные виды рыб. Низкосортные виды рыб, малочувствительных к ухудшению условий обитания, населяющие в настоящее время водоем, не могут даже в малой степени восполнить бывшее рыбное изобилие Эри.

В последнее десятилетие совместными усилиями США и Канады удалось добиться снижения поступления фосфора в Эри на 85%, введя на большинстве промышленных и коммунальных источников третью ступень доочистки. Состояние озера несколько улучшилось, но пока незначительно. Видимо, изменения в озерной экосистеме столь велики, что этих мер в настоящее время уже недостаточно.

Об антропогенном эвтрофировании других Великих озер стало известно только в конце 60-х годов. В связи с серьезным ухудшением состояния озера Эри в 1963—1968 гг. были проведены первые широкие исследования процесса антропогенного эвтрофирования Великих озер. Кроме Эри, серьезные изменения были обнаружены в Онтарио, заливе Сагино (озеро Гурон) и прибрежных районах Мичигана. Озеро Верхнее и открытые глубоководные части озер Гурон и Мичиган пока не проявляют явных признаков роста концентрации фосфора и уровня первичной продукции. Не отмечено и тенденции к снижению содержания растворенного кислорода в придонных слоях воды.

Однако самые последние исследования показали, что относительно благополучное состояние озер Верхнее и Мичиган связано с огромным временем их водообмена. То есть если уровень современной фосфорной нагрузки на эти озера сохранится или увеличится, то через 100—150 лет они также подойдут к критическому состоянию. Понимание этого факта чрезвычайно важно, поскольку увеличение концентрации фосфора в воде двух самых больших озер системы сделает процесс эвтрофирования практически необратимым во всех Великих озерах: в этих двух огромных водоемах содержится 18 тыс. км³ воды из 22 тыс. км³ общего объема.

Самым существенным для этой озерной системы является сравнительно медленное развитие и распространение в ее пределах процесса эвтрофирования. Это связано с огромным объемом всей водной массы озер, чрезвычайной холодопроводностью и относительно небольшой площадью водосборных бассейнов. Другой особенностью, не менее важной, является большая неравномерность развития этого процесса

в пределах каждого из озер и во всей системе в целом. Кроме морфометрических различий (глубина, площадь поверхности, форма котловины), это связано с резко различным уровнем освоения отдельных частей бассейна, то есть неравномерным размещением в его пределах крупных промышленных центров, городов и сельскохозяйственных структур.

Наблюдения за состоянием фитопланктона Великих озер показали, что в озерах Верхнее, Гурон и Мичиган (открытые части озер) все еще преобладают диатомовые водоросли, характерные для олиготрофного состояния озер. В открытой части Онтарио диатомовые водоросли также еще сохраняют свое доминирующее значение, но в заливах, приустьевых частях и на большей части прибрежных вод летом в основном развиваются зеленые и синезеленые водоросли.

Кроме того, в Онтарио отмечено усиленное развитие зеленых нитчатых водорослей. Эти водоросли обрастания образуют большие скопления на любом субстрате (камнях, столбах, сваях, высшей водной растительности) и являются определенным признаком повышенного поступления в озеро биогенных элементов, то есть указывают на наличие процесса эвтрофирования, хотя и в начальных фазах развития.

Массовые обширные скопления нитчатых водорослей характерны в настоящее время и для озер Гурон и Мичиган, где признаки антропогенного эвтрофирования не так резко выражены, как в Онтарио, и приурочены лишь к заливам и прибрежным участкам у густонаселенных районов.

Даже территориально ограниченное, но интенсивное развитие планктонных водорослей создает серьезные трудности при использовании озерной воды для водоснабжения и других целей. В частности, массовое развитие синезеленых водорослей в южной части Мичигана сильно затрудняет фильтрацию воды на водозаборах города Чикаго, вплоть до остановки фильтровальных устройств. Кроме того, отфильтрованная вода требует дополнительной обработки для устранения неприятного затхлого привкуса. Иногда плотный толстый слой плавающих водорослей создает большие трудности для озерного рыбного промысла.

Очень сильно ухудшаются условия рекреации на побережье озер. Прозрачная вода и чистый берег являются обязательными условиями водного отдыха. Зеленая, мутная вода, грязные, липкие остатки разлагающихся и дурнопахнущих водорослей на берегах практически исключают такие виды рекреации, как плавание или спортивная рыбная ловля.

На многих участках побережья Онтарио желающим искупаться приходится проплывать через зеленую „кашу“ планктонных водорослей, которую здесь называют „гороховым супом“. В настоящее время многие пляжные участки на озерах Эри, Онтарио и в южной части Мичигана либо потеряли свою былую привлекательность, либо официально

закрыты из-за высокого уровня бактериального загрязнения. Пока удовлетворяют всем требованиям водного отдыха (плавание, гребля, водно-парусный спорт, спортивная рыбная ловля) только озера Гурон и Верхнее, но на последнем относительно мало оборудованных пляжных участков.

Таким образом, в современный период в пяти Великих американских озерах имеется весь комплекс трофических условий — от олиготрофных в озере Верхнем до высокоэвтрофных в Эри и заливах Сагино (Гурон) и Грин-Бей (Мичиган). При этом процесс антропогенного эвтрофирования всей озерной системы постепенно усиливается, что несомненно представляет сейчас наиболее серьезную угрозу сохранению качества огромного объема пресной воды, содержащейся в системе. Борьба с этим явлением встречает исключительные трудности, создаваемые как размерами водной системы, так и сложным и противоречивым переплетением разнообразных интересов и форм использования природных ресурсов озер и их водосборных бассейнов.

Наши великие озера — Ладожское и Онежское — в смысле антропогенного эвтрофирования до какого-то времени казались совершенно вне опасности. Даже Ладожское озеро, водосборный бассейн которого освоен в значительной степени, особенно в пределах Ленинградской области, долго не проявляло заметных признаков эвтрофирования. Основной проблемой для озера считалось загрязнение его вод, с которым велась борьба, и хотя полностью ликвидировать все источники загрязнения не удалось, за последние десятилетия был проведен ряд необходимых водоохраных мероприятий. Соединения фосфора не входят в число опасных загрязнителей, поэтому его поступления от промышленных предприятий и населенных пунктов не ограничивались и не контролировались.

До 70-х годов проблема эвтрофирования по отношению к Ладожскому озеру всерьез не обсуждалась. К началу 60-х годов учеными Института озераведения АН СССР (в те годы еще Лаборатории озераведения) были завершены большие комплексные исследования Ладожского озера. По материалам проведенных наблюдений был сделан вывод, что в целом состояние Ладоги осталось почти таким же, каким оно было в начале века, когда на озере проводились первые гидро-биологические наблюдения, связанные со строительством Петербургского водопровода.

Впервые вспышка синезеленых водорослей, заметно превосходящая прежнюю интенсивность их развития, была отмечена летом 1970 г., к удивлению гидробиологов, выполнявших наблюдения. Целенаправленные исследования Ладожского озера, проведенные в ближайшие годы Институтом озераведения, принесли неожиданные и тревожные результаты. Содержание биогенных веществ, особенно фосфора, в озерной воде оказалось в несколько раз выше, чем в 60-е годы.

Были отмечены летние вспышки синезеленых водорослей даже в центральной части озера. Все это свидетельствовало о начале процесса антропогенного эвтрофирования Ладоги, причем внезапном.

Необходимо было в кратчайшие сроки выяснить главные причины, определить возможные последствия и скорость развития этого процесса. Поскольку в то время антропогенное эвтрофирование крупных, глубоких, холодноводных озер было мало изучено, перед нами возникли сложные проблемы. Мы застали только начало процесса, и было необходимо еще доказать, что этот процесс действительно имеет место в Ладожском озере.

Для того чтобы объяснить быстрый рост концентрации фосфора в озерной воде, нужно было выяснить источники его поступления. Предварительные расчеты показали, что в Ладогу теперь поступает ежегодно не менее 7 тыс. т фосфора, в то время как в 60-е годы его поступление оценивалось в 2,5 тыс. т. За счет роста численности городского населения и развития сельского хозяйства увеличилось содержание фосфора во всех основных притоках озера (реках Бурной, Свири, Сяси, Паше, Олонке), но особенно возросло оно в реке Волхове. После тщательного обследования всей реки, от истока (озеро Ильмень) до устья, был выявлен источник чрезвычайно высокого поступления фосфора в волховские воды, а затем и в озеро. Им оказался Волховский алюминиевый завод.

До начала 60-х годов алюминий на заводе получали из бокситов, а затем перешли на апатито-нефелиновые руды, в которых соединения фосфора составляли более 40%. На этом сырье завод кроме алюминия организовал производство фосфорных минеральных удобрений, крупнейшее в регионе. В процессе производства не весь фосфор утилизировался, и большая его часть терялась с отходами и попадала со сточными водами в Волхов, а затем в Ладожское озеро. Поскольку концентрация фосфора в стоках не ограничивалась контролирующими службами, этому факту не придавали особого значения. Справедливости ради стоит заметить, что даже сейчас, когда о фосфоре как причине антропогенного эвтрофирования водоемов известно почти все, предельно допустимые концентрации (ПДК) фосфора для водоемов до сих пор официально не установлены.

Потери фосфора с отходами алюминиевого завода были очень велики. Временами в Волхов уходило до 10 т фосфора в сутки, а в среднем за год — около 2 тыс. т. Таким образом, со стоками этого завода в озеро стало поступать почти столько же фосфора, сколько поступало до 60-х годов со всего водосборного бассейна.

Свою долю в общую сумму поступлений фосфора вносили и другие предприятия волховского бассейна, а также быстро растущие города — Новгород, Кириши, Волховстрой

и другие. Суммарно к началу 70-х годов с волховскими водами в Ладогу вносилось более 4 тыс. т фосфора ежегодно. В целом оценка всех значимых источников поступления фосфора в озеро совпадала с предварительным расчетом и составила на период с 1975 по 1979 г. от 6,8 до 7,2 тыс. т в год.

Существующая в Ладожском озере интенсивная циркуляция вод, охватывающая весь водоем, способствует быстрому распространению обогащенных фосфором вод по всей акватории озера, а во время осеннего перемешивания — и во всей толще озера. В этом отношении Ладожское озеро существенно отличается от некоторых других крупных водоемов (Гурон, Онежское озеро, Мичиган), где обогащение фосфором долгое время затрагивает только отдельные участки (заливы, губы, прибрежные воды), а основная водная масса может сохранять при этом невысокое содержание биогенных элементов. В Ладожском озере все поступления биогенных элементов с водосбора перемешиваются во всем объеме озера практически в течение одного года. Поэтому процесс эвтрофирования в Ладожском озере не развивается изолированно, а сразу захватывает обширные области акватории и его сдерживает только штормовая деятельность и исключительная холодноводность некоторых районов озера.

Быстрый рост концентрации фосфора в озерной воде привел к массовому развитию планктонных водорослей, увеличению роли синезеленых, их ежегодному „цветению“ в конце июля — августе. Численность и биомасса фитопланктона возросли в 4—5 раз при сравнении средних показателей, а по максимальным — в 20—30 раз. Величина первичной продукции летнего планктона Ладожского озера в последние годы стала сопоставима с продукцией озера Онтарио и даже временами Эри. Интенсивному развитию фитопланктона способствовали, по-видимому, благоприятные метеорологические условия в период 70-х годов.

В связи с отмеченными в Ладожском озере признаками антропогенного эвтрофирования с 1975 г. на нем проводятся широкие комплексные исследования, в основном силами Института озераведения АН СССР. Эти исследования позволили решить ряд задач, как конкретного практического, так и теоретического характера. Были изучены происходящие изменения гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических характеристик в этом величайшем озере Европы, влекущие за собой ухудшение качества озерной воды. Понимание хода процесса антропогенного эвтрофирования в большом глубоком озере послужило основой для достоверного предвидения дальнейшей эволюции экосистемы водоема, а также для выяснения степени антропогенного воздействия, не вызывающей в озере необратимых и опасных изменений. Не имея возможности осветить в популярной книге весь комплекс научных проблем, возникших при

исследовании антропогенного эвтрофирования Ладожского озера, остановимся только на основных вопросах, имеющих отношение к системе накопления и разложения органического вещества.

Общая схема годового цикла развития фитопланктона в глубоких холодноводных озерах на олиготрофной стадии хорошо известна. Вегетационный период начинается со вспышки диатомовых водорослей, приходящейся на весенний период, практически сразу после освобождения озера ото льда. Затем следует депрессия, связанная с потреблением имеющегося в воде небольшого запаса биогенных веществ весенним комплексом водорослей. Постепенная регенерация биогенных веществ из отмершего весеннего планктона приводит к летнему пику развития более теплолюбивых водорослей, уступающему, правда, по своей интенсивности весеннему. В некоторых случаях наблюдается еще и третий слабый пик, осенний, вызываемый чаще всего развитием тех же видов диатомовых, которые преобладали в весеннем планктоне.

При антропогенном эвтрофировании происходит, во-первых, резкое увеличение продуктивности водорослей во все сезоны. Во-вторых, наблюдается некоторая перестройка фитопланктонных комплексов, проявляющаяся главным образом в расширении круга массовых форм. В связи с этим при постоянно высокой обеспеченности биогенными элементами спадов в продуктивности фитопланктона практически нет, и продуцирование органического вещества в поверхностных слоях озера идет очень интенсивно в течение всего вегетационного периода.

К доминантным (преобладающим) формам олиготрофных озер добавляется ряд видов массовых, обычных для естественно эвтрофных водоемов, мелководных и хорошо прогреваемых. Это в основном синезеленые и зеленые водоросли. В большом глубоком озере, таком, как, например, Ладожское, при достаточной обеспеченности биогенными элементами эти формы находят благоприятные для развития термические условия только летом, в поверхностном слое воды или в прибрежных районах, заливах, губах и т. п. В глубоководных районах, где прогрев воды идет медленно, сохраняются прежние формы фитопланктона.

Для первого этапа антропогенного эвтрофирования озера особенно характерна вспышка развития массовых видов синезеленых в летнее время. Затем, по мере стабилизации экосистемы на новом уровне биогенной обеспеченности становится все большей роль прежних холодноводных видов различных групп водорослей даже в летний период.

Что же касается весеннего планктона, развивающегося при температурах ниже 6—8° С, он по-прежнему остается диатомовым. Однако высокая обеспеченность фосфором позволяет и диатомовым водорослям продуцировать за ве-

сенние месяцы не меньше органического вещества, чем дают синезеленые летом. В некоторые годы, когда температура и ветровая ситуация летом неблагоприятны для развития синезеленых водорослей, на весенний планктон Ладожского озера может приходиться до 80% годовой первичной продукции.

Таким образом, при достаточном развитии процесса антропогенного эвтрофирования, который происходит сейчас в Ладожском озере, высокая величина годовой продукции органического вещества определяется примерно в равной степени интенсивным развитием весеннего комплекса водорослей — диатомовых и летнего — зеленых и синезеленых. Роль этих комплексов в последующих процессах в озерной экосистеме существенно различна.

Весенний планктон достигает максимума развития в озере сразу после разрушения ледяного покрова, причем некоторое количество диатомового планктона начинает развиваться еще подо льдом. Максимальная численность весенних водорослей отмечается в теплоактивной области и в непосредственной близости от фронта термобара. Накопившееся в этой области органическое вещество увлекается в придонные слои воды нисходящими вертикальными течениями, которые возникают в зоне фронта термобара. Они как бы нагнетают органическое вещество из поверхностных слоев в придонные по мере продвижения фронта термобара из прибрежной части к центру озера. Основное количество новообразованного весной органического вещества скапливается в придонных слоях воды (в гипolimнии), в диапазоне глубин от 20 до 60 м. На более мелководных участках происходит постоянное перемешивание воды до дна и изолированный гипolimнион не формируется, а к моменту выхода на большие глубины фронт термобара разрушается и закачка органического вещества в гипolimнион прекращается.

Таким образом, чем больше планктонных водорослей развивается в весенний период в теплоактивной области озера, тем больше органического вещества окажется в гипolimнионе к началу летнего периода. В зоне от 20 до 60 м объемом гипolimниона не очень велик, а следовательно, не очень значителен и запас в нем растворенного кислорода. В то же время именно здесь скапливается большая часть годового поступления органического вещества, как образующегося в озере, так и приносимого в него с водами притоков. В этом районе в первую очередь должно происходить снижение содержания кислорода, запас которого расходуется на окисление органики. Исследования последних лет позволили выявить довольно обширную зону в Ладожском озере в диапазоне глубин от 15 до 50 м, где содержание растворенного кислорода в летний период устойчиво понижается на 10—15% от уровня насыщения. Это снижение еще не опасно для обитателей озерного дна и рыбы, но по

мере развития процесса эвтрофирования кислородный дефицит будет увеличиваться.

Совершенно иначе трансформируется органическое вещество, образованное летним планктоном. В силу термической стратификации, изолирующей придонные слои воды от поверхностных, все новообразованное органическое вещество сосредоточено в эпилимнионе. Здесь органическое вещество летнего планктона подвергается бактериальной деструкции, потребляется зоопланктоном и, самое главное, резко снижает качественные показатели воды. Именно с летним планктоном связано снижение прозрачности озерной воды, появление обширных полей „цветения“, ухудшения вкуса, цвета, появление неприятных запахов, а также токсических эффектов.

Скорость продуцирования фитопланктона в эвтрофирующихся водоемах гораздо выше, чем скорость потребления его зоопланктоном и бактериального разложения. Поэтому количество непотребленного органического вещества в поверхностном слое воды возрастает и создает предпосылки для развития других форм водной жизни, связанной с потреблением органики. В больших озерах такими организмами оказались водные грибы, массовое развитие которых можно считать верным признаком антропогенного эвтрофирования озера. В последние годы появление водных грибов отмечено в альпийских и в американских озерах. В Ладожском озере водные грибы в массе впервые были замечены в 1975 г. в Волховской губе сразу после окончания весеннего пика диатомовых. В настоящее время в озере обнаружено уже 32 вида водных грибов, скопления которых приурочены к наиболее богатым органическим веществам участкам озера. Последствия развития в озерах водных грибов пока трудно предвидеть, но известно, что некоторые их виды могут проявлять токсические свойства.

Таким образом, развитие процесса антропогенного эвтрофирования постепенно приводит к перестройке звеньев экосистемы озера, причем некоторые направления ее эволюции трудно заранее предвидеть. Если процесс зайдет далеко, то некоторые из этих изменений в экосистеме могут стать необратимыми.

В Онежском озере концентрация фосфора в озерной воде еще не достигла критического уровня, и поэтому явных признаков эвтрофирования, за исключением отдельных участков губ и заливов, здесь не отмечается. Однако при дальнейшем росте поступлений фосфора в Онежское озеро, а этого следует ожидать, поскольку озерный водосбор в настоящее время интенсивно осваивается, процесс антропогенного эвтрофирования этого озера может пойти с гораздо большей скоростью, чем Ладожского. Следовательно, быстрее могут наступить все неблагоприятные последствия этого процесса. Связано это с тем, что средняя глубина Онежского

озера меньше, чем Ладожского, оно лучше прогревается, имеет меньший объем гипolimниона и лучшие условия для развития планктонных водорослей. Ведь именно с мелководностью связано стремительное развитие антропогенного эвтрофирования в озере Эри. Пока еще Онежскому озеру до этого далеко, но не следует забывать, что исправить кризисную экологическую ситуацию всегда многократно сложнее, чем не допустить до нее. Хотя на практике, к сожалению, чаще бывает наоборот. Вначале мы оказываемся в критической ситуации, а только потом спешно начинаем искать способы ее преодоления, терпя при этом значительный материальный и моральный ущерб.

Поэтому, пока еще есть время, надо приложить максимум усилий, чтобы остановить развитие процесса антропогенного эвтрофирования в Ладожском озере и не допустить его возникновения в Онежском. Определенный опыт борьбы с антропогенным эвтрофированием водоемов в настоящее время накоплен в мировой практике и его нужно по возможности использовать.

В целом меры по борьбе с эвтрофированием водоемов, разработанные в последние два-три десятилетия, можно разделить на две группы: 1) активное вмешательство в озерные экосистемы и 2) уменьшение внешней биогенной нагрузки. Практически все мероприятия первой группы, типа аэрации придонных слоев воды, механического удаления биомассы плавающих водорослей или донных отложений, применимы только для небольших водоемов. Проведение подобных мероприятий на больших озерах, не говоря уже об озерах-гигантах, технически и энергетически невыполнимо. Борьбу с антропогенным эвтрофированием больших озер можно вести только за пределами самого водоема, то есть на его водосборном бассейне. Принципиально основной целью мероприятий второй группы является снижение поступлений биогенных элементов в водоем, главным образом соединений фосфора. Добиться этого можно разными способами.

Один из применяемых методов — отвод сточных вод с высоким содержанием биогенных элементов за пределы озерного водосбора. Практически это означает полное прекращение поступлений фосфора в водоем из фиксированных точечных источников. Определенная часть фосфора в водоем попадать, разумеется, будет, поскольку остается ряд рассредоточенных источников — поверхностный смыл, вынос с речными водами, атмосферные осадки, размыв берегов и т. п., но весь объем сточных вод различного происхождения отводится ниже стока из озера, обычно в вытекающую из него реку. Метод этот очень эффективен и быстро приводит к снижению концентрации фосфора в озерной воде и постепенному улучшению состояния озера.

Этот метод, как уже упоминалось, с успехом был применен

на озере Вашингтон (США), где сточные воды города Сиэтл были отведены в морской залив. На озере Аннеси (Франция) был сооружен единый коллектор, куда поступали все сточные воды населенных пунктов, а из него отводились в вытекавшую из озера реку. В высокогорном американском озере Тахо сточные воды в настоящее время отводятся по специальному трубопроводу за пределы водосбора. Это позволило буквально спасти уникальное ультраолиготрофное озеро от начавшегося процесса антропогенного эвтрофирования.

Подобный отвод сточных вод применялся и в других странах и, как правило, давал положительный эффект. Однако использование этого метода имеет несколько существенных недостатков, которые порой совершенно исключают возможность его применения. Так, в случае территориально больших и высокоосвоенных водосборов централизованный отвод всего объема сточных вод технически неосуществим. Кроме того, отведенные сточные воды с водосбора одного озера поступают в другой, где, в свою очередь, возникают аналогичные проблемы.

Так, при отводе сточных вод города Мадисон (США) от озера Монон, как уже говорилось, состояние его улучшилось, но начало эвтрофироваться следующее по течению вытекающей реки озеро Уобеза. Затем сброс сточных вод последовательно переносился в третье, четвертое по течению озеро, но последствия всегда были одинаковы. Этот процесс можно прекратить только отводом сточных вод в открытое море, но с глобальной позиции это тоже не выход из положения. Таким образом, при всей своей эффективности отвод сточных вод за пределы водосбора является полумерой и в настоящее время используется редко.

Более перспективным подходом следует считать не отвод сточных вод, а удаление из них фосфора введением дополнительной (третьей) ступени очистки. Обычно сточные воды после механической, а затем биологической очистки освобождаются от большого числа загрязняющих веществ, но не от биогенных элементов. Более того, биологическая система очистки с активным илом требует обязательного присутствия в сточной воде биогенных элементов в довольно высокой концентрации, которая определяется количеством органических загрязнителей, требующих удаления. Если биогенных элементов недостаточно для нормальной жизнедеятельности активного ила, то их добавление в очистные резервуары. В результате содержание биогенных элементов в сточных водах, прошедших биологическую очистку, может быть выше, чем в неочищенных. Третья ступень очистки создается с одной конкретной целью — освобождение уже очищенных сточных вод от биогенных элементов. Обычно эта процедура применяется только к соединениям фосфора.

Наиболее распространенный метод — осаждение фосфора в специальных отстойниках солями алюминия или железа.

Кроме того, для этой цели используют известь, активированный уголь, ионообменные смолы, шламы некоторых производств и еще ряд веществ. Разработка методов доочистки сточных вод с целью освобождения их от фосфора ведется во всех развитых странах.

Удаление фосфора из сточных вод используется и в мероприятиях, проводимых на Великих американских озерах. На озере Эри за последние годы удалось постепенно снизить общее поступление фосфора с 27 тыс. т в год до 10 тыс. т, а затем даже до 6. В перспективе запланировано снижение до 2 тыс. т, но вероятность его достижения невелика. По мнению экспертов, такого снижения поступления фосфора можно добиться только путем исключения фосфоросодержащих компонентов из детергентов. В озеро Онтарио поступления снизились к 1972 г. с 16 тыс. т в год до 6 тыс. т, а к 1977 г. — до 3 тыс. Столь существенного снижения удалось добиться после введения жесткого ограничительного уровня на содержание фосфора в сбрасываемых в озера водах. Для любого источника сброса, чей суточный объем сточных вод превышает 3,8 тыс. м³, установлен предел концентрации фосфора 1 мг/л. Для выполнения таких требований было истрачено в целом Канадой и США около 5 млрд. долл., но правительства обеих стран считали, что спасение Великих озер стоит этих затрат.

Аналогичные мероприятия начали проводить и в бассейне Ладожского озера. В частности, к настоящему времени практически устранен самый крупный источник поступлений фосфора в Ладожское озеро — потери и отходы фосфора со сточными водами Волховского алюминиевого завода. В результате ряда целенаправленных мероприятий (оборотное водоснабжение, изменение технологии производства фосфорных удобрений и т. п.) количество сбрасываемого в реку Волхов фосфора снизилось к 1983 г. от 2 тыс. т в год до 200 т и продолжает снижаться. К 1990 г. запланировано полное прекращение сброса фосфора со стоками этого завода. Результаты этих действий отразились на состоянии Ладожского озера — концентрация фосфора в озерной воде начала медленно снижаться.

Безусловно, удаление фосфора из сточных вод — наиболее реальный в настоящее время подход к устранению причин антропогенного эвтрофирования в крупных озерах, но и он не решает всех проблем. В частности, возникает достаточно сложная задача утилизации образующегося на очистных сооружениях осадка, обогащенного биогенными веществами. Кроме того, фосфор поступает в водоемы из ряда рассредоточенных источников, связанных со стоком с сельскохозяйственных территорий (пашня, пастбище, удобряемый луг и т. п.). Сюда же можно отнести и различные отрасли сельскохозяйственного животноводства, которые в зависимости от характера использования отходов могут являться как точечными (сточные воды

животноводческих комплексов и ферм), так и рассредоточенными (внесение навоза с органическими удобрениями в почву) источниками.

Часто ситуация складывается таким образом: в то время как ликвидируются промышленные и коммунальные источники сброса фосфора, его поступление от различных отраслей сельского хозяйства серьезно возрастает.

Перевод животноводства на промышленную основу, создание животноводческих комплексов и птицефабрик при неполной утилизации отходов создает дополнительный источник поступления фосфора в озеро. По предварительным расчетам, в самое ближайшее время, при сохранении сегодняшней ситуации с использованием отходов животноводства, в Ладожское озеро будет поступать дополнительно 1,5—2 тыс. т фосфора ежегодно. Таким образом, этот источник фактически сводит на нет тот успех, которого удалось добиться, проводя серьезные водоохранные мероприятия на Волховском алюминиевом заводе.

Отсюда следует важный вывод: предотвращение или ликвидация антропогенного эвтрофирования больших озер не может быть достигнуто проведением отдельных мероприятий, хотя и они могут дать определенный эффект на какое-то время. Настоящий успех возможен только при разработке и последовательном выполнении социально-экономической и экологической стратегии освоения водосборных бассейнов больших озер, хотя, разумеется, это требует гораздо больших затрат, чем проведение отдельных мероприятий.

Для того чтобы проводить целенаправленный комплекс мероприятий по снижению сбросов фосфора в крупные озера, нужно достаточно точно знать тот предел его поступлений, превышение которого приводит к нежелательным последствиям. Разработанные в последние годы зарубежными и отечественными учеными методики таких оценок позволяют достаточно точно установить допустимый уровень поступлений фосфора, при котором большое озеро сохраняет свое естественное олиготрофное состояние, и критический, при котором в озере начинает развиваться процесс антропогенного эвтрофирования. В частности, основная задача мероприятий, направленных на прекращение начавшегося в Ладожском озере процесса антропогенного эвтрофирования, определяется совершенно конкретно: снизить общий уровень поступлений фосфора на 3 тыс. т в год. Проблема состоит в том, как этого добиться.

Главное направление общей стратегии, по нашему мнению, должно быть нацелено на восстановление традиционного круговорота фосфора в системе природа — хозяйственная деятельность человека, разумеется, в той степени, какая возможна в современных условиях. Фосфор, который мы получаем с полей с урожаем сельскохозяйственных культур, должен возвращаться обратно в почву. Туда же должен возвращаться

весь фосфор, содержащийся в отходах сельскохозяйственных животных, которые также потребляют его с урожаем. Это сократило бы до минимума потребность сельского хозяйства в минеральных удобрениях, что в десятки раз сократило бы поступление фосфора в водоемы, а, кроме того, улучшилось бы состояние почвенного покрова. Разумеется, окончательные оценки в данном случае будут делать специалисты сельского хозяйства и агрохимии, но с точки зрения сохранения водных ресурсов крупнейших озер мира разработка именно такой стратегии хозяйства настоятельно необходима.

Естественно, что эффективность этой стратегии может быть достигнута только в том случае, если другие источники поступлений фосфора будут также устранены. Это прежде всего относится к промышленным сточным водам и ливневому смыву с городских территорий, очистка которых в обязательном порядке должна сопровождаться удалением биогенных элементов (фосфора) в процессе доочистки.

Таким образом, если мы хотим сохранить наши прекрасные и столь необходимые для жизни озера, нам нужно внимательно проанализировать, как мы живем и хозяйствуем, решительно внести все те изменения, которые потребуются с позиции сохранения природных ресурсов озер. Только в случае серьезных и последовательных действий, при осознании общей стратегии освоения озерных водосборов, нам удастся решить проблему охраны и рационального использования водных и других природных ресурсов бассейнов Ладожского и Онежского озер.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Охрана окружающей среды при активном использовании природных ресурсов — проблема, в той или иной степени знакомая в настоящее время каждому грамотному человеку. Тем не менее, знакомство с проблемой еще не означает ее решения. Американский ученый-эколог Дж. М. Стайкос утверждает, что все важнейшие социальные перемены, в том числе и действия по охране окружающей среды, не могут быть осуществлены до конца, пока не пройдут следующие четыре фазы:

ни разговоров — ни действия
разговоры — никакого действия
разговоры — действия
конец разговоров — действия.

Как считает Стайкос, по части охраны природы Америка находится сейчас на переходе от второй стадии к третьей; время для третьей и четвертой фаз очень ограничено, предупреждает он.

Для перехода от общих разговоров к конкретным действиям необходимы отчетливое понимание широкой общественностью проблем, связанных с сохранением окружающей среды, и активная решимость к их устранению.

Разработка мероприятий по охране и оздоровлению больших озер также требует ясного представления о связи качества воды озер с уровнем хозяйственного развития водосборных бассейнов и улучшением условий жизни населения. Информация, получаемая учеными, нуждается в переводе на язык практических рекомендаций и социально-экономических оценок. Будущие восстановительные и защитные действия могут быть выполнены только в том случае, если факты о состоянии озерных экосистем, понятные только ученым, станут достоянием широкой общественности. Сохранение таких уникальных водных объектов, как американские или наши великие озера, касается всего населения, проживающего в озерных регионах, а может быть, даже населения обоих материков. Поэтому обсуждение всех проблем, связанных с этими озерами, должно быть максимально широким, открытым, подробным и квалифицированным. Эти проблемы должны решать мы все вместе, и ждать больше нельзя.

Авторы надеются, что эта книга хотя бы отчасти послужит важному делу охраны и оздоровления ценнейших озерных систем.

СПИСОК ОСНОВНОЙ ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

1. Анри Боли. Северная Америка (Paris, 1935).— М., ОГИЗ, 1948.
2. Антипова А. В. Канада. Природа и естественные ресурсы.— М.: Мысль, 1965.
3. Антропогенное эвтрофирование Ладожского озера.— Л.: Наука, 1982.
4. Бискэ Г. С., Григорьев С. В., Малинина Т. И., Смирнова А. Ф., Эпштейн Е. М. Онежское озеро.— Петрозаводск: Карелия, 1975.
5. Богословский Б. Б., Георгиевский Ю. М. Онего.— Л.: Гидрометеиздат, 1969.
6. Григорьев С. В., Люллин А. Г. Ладожское озеро как объект хозяйственного использования.— Л.: Наука, 1970.
7. Калесник С. В. Ладожское озеро.— Л.: Наука, 1970.
8. Ладога. Писательские раздумья. Страницы истории. Взгляд в будущее.— Л.: Советский писатель, 1985.
9. Магидович И. П. История открытия и исследования Северной Америки.— М.: Географгиз, 1962.
10. Молчанов И. В. Ладожское озеро.— Л.—М.: Гидрометеиздат, 1945.
11. Молчанов И. В. Онежское озеро.— Л.: Гидрометеиздат, 1946.
12. Нежиховский Р. А. Река Нева и Невская губа.— Л.: Гидрометеиздат, 1981.
13. Онежское озеро как объект хозяйственного использования.— Л.: Наука, 1970.
14. Природные ресурсы больших озер СССР и вероятные их изменения.— Л.: Наука, 1984.
15. Тихомиров А. И. Термика крупных озер.— Л.: Наука, 1982.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. СИСТЕМЫ ВЕЛИКИХ ОЗЕР. ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ	4
ГЛАВА 2. ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ РЕЖИМА ВЕЛИКИХ ОЗЕР	27
ГЛАВА 3. ОСВОЕНИЕ БАССЕЙНА ВЕЛИКИХ АМЕРИКАНСКИХ ОЗЕР	46
ГЛАВА 4. ОСВОЕНИЕ БАССЕЙНА ЛАДОЖСКОГО И ОНЕЖСКОГО ОЗЕР	59
ГЛАВА 5. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОЗЕР	74
ГЛАВА 6. АНТРОПОГЕННОЕ ЭВТРОФИРОВАНИЕ КРУПНЫХ ОЗЕР	97
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	123
СПИСОК ОСНОВНОЙ ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ	124

Г96 Гусаков Б. Л., Петрова Н. А. Перед лицом великих озер.
Л., Гидрометеиздат, 1987, 128 с., с илл.

Книга посвящена крупнейшим озерным системам, в которых сосредоточен основной запас пресной воды, доступной для использования. В ней рассказано об основных природных особенностях систем великих озер и истории их освоения, описан процесс антропогенного эвтрофирования, представляющий наибольшую опасность для экологических систем этих озер на современном этапе, указаны основные пути и способы предотвращения эвтрофирования великих озер.

Книга предназначена для широкого круга читателей, занимающихся или интересующихся проблемами охраны окружающей среды.

Г 1903030200—126 58-87
069[02]-87

26.222.6