

Глава 4. СИСТЕМЫ ВЕЛИКИХ ОЗЕР

Крупные озера нередко образуют единые водные системы. Их образование, как правило, связано с покровным оледенением территории и с климатическими условиями ледниковой эпохи. В результате ледникового выпахивания создавались глубокие котловины, в которых возникали и продолжают непрерывно развиваться до настоящего времени озера. Разное высотное расположение озер привело к образованию между ними рек и протоков. Системы крупных озер имеют выход в моря и океаны.

Наиболее крупными водными системами являются Великие Американские Озера, Великие европейские озера и системы, которые образуют североканадские озера и озера Швеции. Все эти системы играют огромное социально-экономическое значение для собственных стран, и в то же время все они уникальны. В эти системы входят, как правило, 4-5 озер и не только великие, но и озера меньшие по площади, которые вместе с крупными создают единую водную систему и несут свою эколого-географическую нагрузку, поэтому не рассматривать их было бы ошибкой.

В этот же раздел было включено Псковско-Чудское озеро, которое долгое время считалось единым озером. Однако, его можно рассматривать как систему трех озер Псковского, Теплового и Чудского (Пейпси), соединенных довольно широкими протоками и различающихся как по морфометрическим показателям, так и по качеству воды. Хотя озера взаимосвязаны, каждое из них обладает характерными лимническими особенностями.

ВЕЛИКИЕ АМЕРИКАНСКИЕ ОЗЕРА (ВЕЛИКИЕ ОЗЕРА СВ. ЛАВРЕНТИЯ)

Система Великих Американских Озер, расположенная в Северной Америке на территориях США и Канады, обладает огромными запасами пресной воды и является величайшей в мире системой пресноводных озер. По объему пресной воды (22,7 тыс. км³) система лишь немногим уступает Байкалу (23 тыс. км³). Вместе с Байкалом водные ресурсы системы Великих американских озер составляют почти 40% всех мировых запасов пресной воды. Площадь системы - 245,2 тыс. км². К собственно Великим озерам относятся пять круп-

нейших озер: по мере уменьшения площади водного зеркала они распределяются следующим образом Верхнее, Гурон, Мичиган, Эри и Онтарио, по объему водной массы – Верхнее, Мичиган, Гурон, Онтарио, Эри, а по средней глубине – Верхнее, Онтарио, Мичиган, Гурон, Эри (табл. 4.1). Озеро Мичиган находится целиком в США, по остальным озерам и соединяющим их коротким рекам проходит граница между США и Канадой (рис. 4.1). Все эти озера играют огромную роль в национальной экономике США и Канады и являются важнейшим источником водоснабжения. Водой пользуются более 250 городов, в которых проживает почти 25 млн. человек. С юга и юго-востока к озерам примыкают плотно заселенные индустриальные районы США и Канады, с севера и запада – аграрно-сырьевые. Почти 40% тяжелой индустрии США находится в районе Великих озер. Долгое время на территории Канады преобладало сельское хозяйство, поэтому серьезному промышленному загрязнению подвергались территории, принадлежащие США.

На Великих американских озерах расположены крупнейшие города США: Чикаго и Милуоки на озере Мичиган, Буффало и Кливленд на оз. Эри, центр автомобильной промышленности Детройт на одноименной реке вблизи ее впадения в оз. Эри. На озере Онтарио находится второй по величине город Канады – Торонто.

Побережье озер богато минеральными ресурсами, здесь находятся большие запасы железа, никеля, меди, кобальта, серебра, золота, платины, урана. Количество добываемого на этой территории железа и никеля составляет, соответственно, 20% и 56% от мировой добычи. Кроме того, здесь ведется разработка высококачественного известняка, песка, гипса, соли, а также нефти и газа (Beeton, Chandler, 1963, Chandler, 1964).

Трудно представить, что такая развитая в промышленном и сельскохозяйственном отношении территория Великих американских озер в пределах США и Канады начала осваиваться лишь с XVII-XVIII веков. Открытие Великих озер европейскими колонизаторами, исследователями и миссионерами было связано с поисками прохода из Атлантики в Тихий океан, когда были предприняты первые попытки пройти по р. Св. Лаврентия на запад. В 1603-1610 гг французский подданный Шамплен,

Таблица 4.1. Морфометрические показатели Великих американских озер по данным Chandler, 1964.

Показатели	Верхнее	Мичиган	Гурон	Эри	Онтарио
Длина, км	560	490	330	385	309
Ширина, км	256	188	292	91	85
Длина береговой линии, км	4768	2656	5088	1369	1161
Площадь озер, км ² (общая)	82367	58016	59570	25666	19684
в пределах США	53618	58016	23569	12898	9324
в пределах Канады	28749	-	36001	12768	10360
Площадь водосборов, км ² (общая)	124838	117845	128458	58844	79460
в пределах США	43253	117845	41958	46620	39370
в пределах Канады	81585	-	86500	12224	31080
Максимальная глубина, м	406	281	228	60	244
Средняя глубина, м	148	84	53	17	86
Объем водной массы, км ³	12221	4871	3535	458	1636
Высота над уровнем моря, м	182.99	176.42	176.42	173.86	74.61
Длина вытекающих из озер рек, км					
Сент-Мэрис	112				
Сент-Клер			43		
Ниагара				59	
Св.Лаврентия					808

с чьим именем связано много открытий в центре североамериканского материка, не раз поднимался вверх по р. Св. Лаврентия, на которой в 1608 г. был основан город Квебек – основной опорный пункт освоения всей территории. Основанные им новые экспедиции в 1614 г. достигли оз. Гурон, в 1615 г. - оз. Онтарио и Верхнее. Только в 1634 г. было открыто оз. Мичиган, а в 1640 г. - оз. Эри. Все это сопровождалось истреблением местного индейского населения и захватом их земель. Заселяя и осваивая новые богатые природными ресурсами земли, европейцы существенно меняли облик этих мест (Магидович, 1962). Система озер преобразовывалась для целей судоходства и энергетики. Великие американские озера имеют различную высоту над уровнем моря: высота над уровнем моря водной поверхности оз. Верхнего -183 м, оз. Мичиган и Гурон – 177 м, оз. Эри -174 м, оз. Онтарио – 75 м. Озера соединены между собой

относительно короткими, порожистыми и многоводными реками (табл. 4.1). Самый большой перепад высот находится между озерами Эри и Онтарио, в среднем течении соединяющей их реки Ниагара находится всемирно известный Ниагарский водопад (высота около 50 м). Остров Козий разделяет водопад на два потока: левый – канадский, шириной около 800 м, через который проходит 95% всего объема стока реки и правый – американский, шириной около 300м. Многоводность реки Ниагары используется и США, и Канадой, здесь построены четыре крупные гидроэлектростанции.

Сток из всей системы происходит по реке Св. Лаврентия в Атлантический океан, средний расход воды реки составляет около 250 км³ в год (для сравнения годовой сток Волги - 240 км³). Это обеспечивает глубоководный внутренний судоходный путь длиной 1873 км (от порта Дулут на озере Верхнем до истока р.

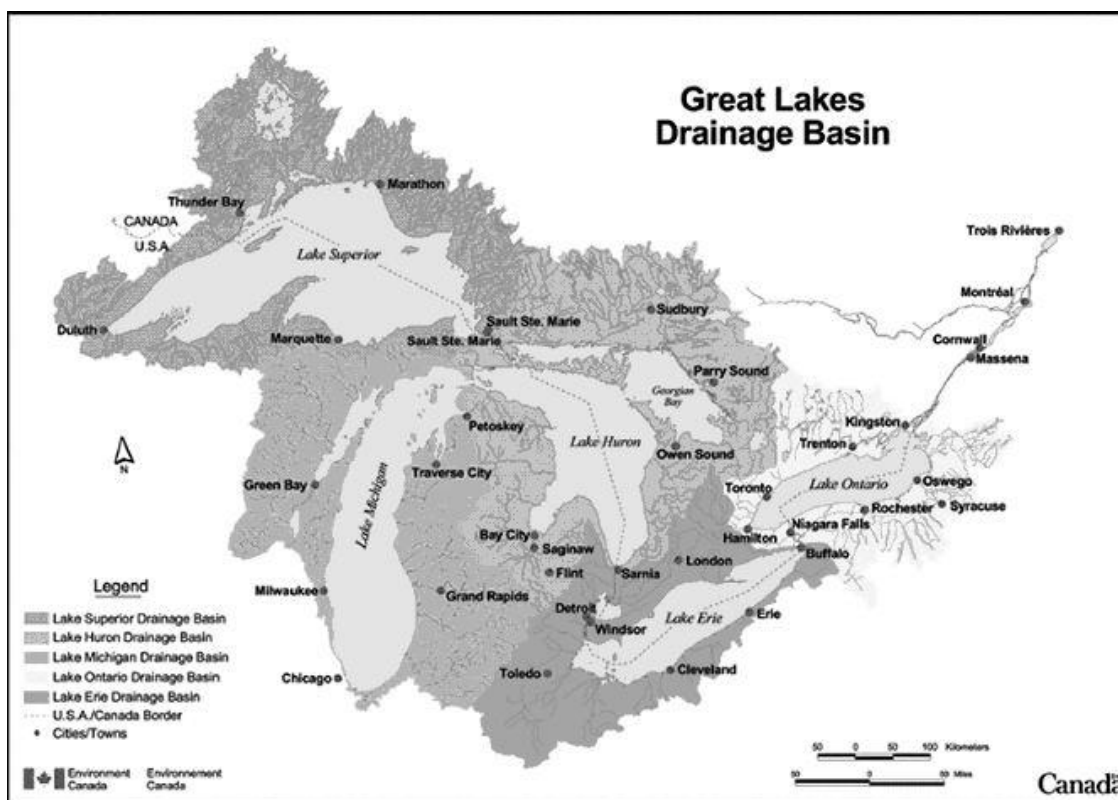


Рис. 4.1. Бассейн Великих Озер. Источник: The Great Lakes Drainage Basin

Св. Лаврентия). Это стало возможным после строительства шлюзованных каналов в обход порогов на реках Сент-Мэрис, Ниагара и Св. Лаврентия. На р. Ниагара уже в 1829 г. был открыт первый канал Уелленд-канал в обход Ниагарского водопада, а в 1932 г. - более широкий и глубокий второй Уеллегнд-канал, что позволило проходить по нему любому современному судну. Проблема судоходства по р. Св. Лаврентия была решена только в 1959 г., когда была реконструирована вся система старых каналов, сооружены новые каналы и семь шлюзов с учетом современных требований судоходства. В настоящее время общая протяженность глубоководных каналов на всем пути Великих озер составляет 270 км, гарантированная глубина – 8.2 м. По озерам постоянно курсирует более 500 крупных судов, перевоза ежегодно почти 20 млн. т зерна, 25-30 млн. т железной руды (Гусаков, Петрова, 1987).

Происхождение озер

Система Великих Американских озер сформировалась на стыке Канадского щита и Северо-американской платформы. Северная часть озер Верхнее и Гурон сложена докембрийскими породами, которые пред-

ставлены базальтовыми лавами и их вулканогенно-обломочными производными. Эти породы являются древнейшими по сравнению с другими породами (возраст более 2 млрд. лет). Особым типом пород здесь являются железистые формации, являющиеся источником высокосортной железной руды в Северной Америке. Эти образования представляют собой обогащенные железом кремнистые породы или кремнистые сланцы, содержащие 10-30% железа. Южная часть озер Верхнее и Гурон и котловины других озер Мичиган, Эри и Онтарио находятся в пределах Северо-американской платформы (Внутренние низменности), где докембрийское основание перекрыто более молодыми породами (известняки, доломиты, песчаники) (Кинг, 1961).

Котловины Великих озер образовались в результате тектонических движений, доледниковой речной и ледниковой эрозии. Последнее оледенение четвертичного периода, максимум развития которого был приблизительно 25-10 тыс. лет назад, было наиболее важным фактором в формировании бассейнов и котловин озерной системы. Первыми освободились от ледника бассейны Мичигана

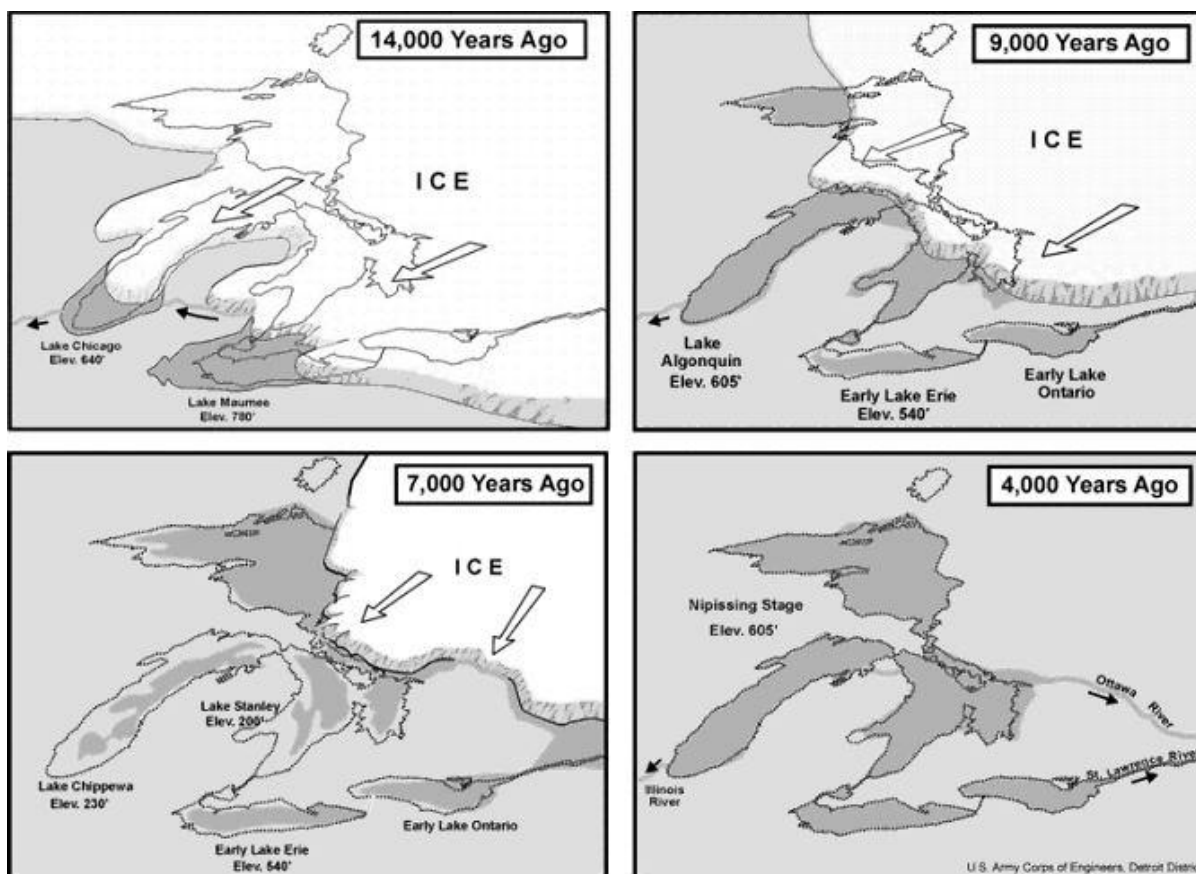


Рис. 4.2. История образования Великих озер. Источник: http://en.wikipedia.org/wiki/Great_Lakes

и Эри (рис. 4.2). 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 и далее в оз. Онтарио, преодолевая Ниагарский уступ. В момент наибольшего распространения оз. Альгонгин имело площадь около 250 тыс. км². При освобождении от ледника вся эта территория испытывала устойчивое поднятие, море отступало, сток из озер усиливался по мере таяния ледника в верхних озерах системы, озера стали принимать современные очертания. Весь этот процесс завершился всего около 5 тыс. лет назад (Wetzel, 1975).

Физико-географическая характеристика.

Система Великих американских озер расположена между 48° 10' и 50° 30' с.ш. и между 74° 30' и 93° 20' з.д. Бассейн озер лежит в области влажного, умеренного климата с обильными осадками зимой и летом. Над этой территорией происходит чрезвычайно быстрая смена погодных условий, что обусловлено поступлением сюда контрастных полярных и

тропических воздушных масс с близко расположенных районов Гудзонова залива на севере и Мексиканского залива на юге. Преобладающие здесь ветры - западные, достаточно сильные, которые вызывают значительное волнение на озерах, причем высота волн может достигать 5 метров. Среднегодовая температура воздуха уменьшается с юга на север от 8.8-9.8° С (район озер Эри и Онтарио) до 5.9-5.3° С (район озер Гурон и Верхнее). В таком же направлении уменьшаются максимальные температуры воздуха за месяц - от 21.8-21.9° С до 18.8-19.0° С, а также суммарная годовая солнечная радиация - от 156.6 (оз.Онтарио) до 145.9 Вт/м² (оз. Верхнее).

Термический режим самих озер довольно близок, хотя их глубина и широта расположения вносят некоторые поправки. Одна из особенностей всех озер - они полностью не замерзают в зимний период, лед формируется только в заливах и вдоль берегов, его толщина изменяется в пределах от нескольких сантиметров до 1 метра. Начало ледостава - декабрь, основной период вскрытия - март. В отдельные редкие годы только оз. Эри

полностью замерзало. Все озера принадлежат к классу димиктических озер. Максимальная температура на поверхности воды отмечается в июле, и ее среднемесячные значения колеблются в близких пределах $-18.8-21.9^{\circ}\text{C}$.

Среднее количество осадков изменяется в пределах 750-1000 мм в год. Достаточно обычным явлением в этом районе является значительная облачность. Подсчитано, что один день в году бывает солнечным только 3-4 часа. Колебания уровня воды в озерах невелики – в среднем от 30 см в год в озерах Гурон, Мичиган, Великое до 60 см – в оз. Онтарио.

Площадь водосбора озер составляет всего 502693 км², что всего в два раза превышает площадь самих озер (рис. 4.1). Это является уникальной особенностью Великих американских озер, поскольку для других больших озер мира площадь водосборного бассейна превышает площадь озер в 6-20 и более раз (Chandler, 1964, Drabkova et al., 1996). Озера резко различаются по времени водообмена: от 191 года в оз. Верхнее до 2.6 лет в оз. Эри.

Эвтрофирование и загрязнение озер

Водосбор Великих американских озер в настоящее время представляет собой крупнейший в мире индустриальный комплекс с развитой транспортной системой, и в первую очередь водной, с разработками полезных ископаемых. Поскольку в хозяйственном развитии региона преобладал рост обрабатывающей промышленности, здесь возрастает доля городского населения. Сельское хозяйство, хотя и достигло высокого уровня развития, в бассейне озер играет важную, но не основную роль.

Интенсивное хозяйственное развитие в бассейне озер, рост населения, рекреационная активность оказывают существенное влияние на качество воды и состояние озерных экосистем. Степень антропогенного воздействия на озера резко различается, что объясняется в первую очередь степенью хозяйственного освоения их водосборов. На территории водосборного бассейна оз. Верхнего расположено лишь небольшое число промышленных предприятий, а интенсивное сельское хозяйство практически не ведется. Почти 90% площади водосбора занимают леса, 4.4% приходится на сельскохозяйственные угодья и только 2.6% занято урбанизированными территориями. Всего на этой территории проживает около 535 тыс. жителей с плотностью

населения всего 4.3 чел. на км². Следствием такой структуры водосборной территории является слабое загрязнение озера Верхнего. Остальные озера подвергаются значительно большему антропогенному воздействию. На водосборе оз. Гурон леса занимают 48%, сельскохозяйственные угодья – 26%, урбанизированные территории – 4%. Здесь проживает 1 млн. 240 тыс. человек с плотностью населения 9.6 чел. на км². Для водосбора оз. Онтарио приведенные данные, характеризующие структуру водосбора, соответственно составляют 52%, 33%, 6.4%, количество проживающих здесь людей составляет 7 млн. 135 тыс. с плотностью населения 94.8 чел. на км². (The Great Lakes. An Environmental Atlas..., 1987, Data Book..., 1988).

Наиболее напряженная обстановка складывается на водосборах озер Мичиган и Эри. В бассейне оз. Мичиган проживает 13.5 млн. человек с плотностью населения 114 чел. на км². Здесь же находится крупнейший промышленный центр Чикаго с населением свыше 3 млн. Леса здесь составляют почти 50%, а сельскохозяйственные угодья – 23%. В бассейне оз. Эри проживает 13.8 млн. человек с плотностью населения 175.8 чел. на км². Из крупных городов здесь нужно отметить город Детройт с населением 1.3 млн. человек. Лес на водосборе занимает 22%, сельскохозяйственные угодья – 63%, урбанизированные территории – 8%. Озеро Эри по сравнению с другими озерами системы более мелководное, что объясняет наиболее существенное изменение его экосистемы под влиянием антропогенной нагрузки.

С началом промышленной революции в США и Канаде в озерах заметно изменились многие химические показатели, прежде всего, изменилось содержание главных ионов, исключение составило лишь оз. Верхнее, где эти показатели оставались практически постоянными. Наиболее заметные изменения произошли в озерах Эри, Онтарио и Мичиган за период 1900-1960 гг. Так, в оз. Эри общее количество растворенных солей увеличилось на 50 мг/л, из них хлориды на 16 и сульфаты на 11 мг/л. В оз. Онтарио соответствующее увеличение составило - 50, 16 и 13 мг/л. В оз. Мичиган заметно увеличилась лишь концентрация сульфатов - на 12 мг/л. Содержание растворенных солей было наименьшим в оз. Верхнее – всего 60 мг/л, в озерах Гурон и Мичиган – 110-150, а в озерах Онтарио и Эри – 180-185 мг/л (Beeton, 1965).

В озера стали поступать со сточными водами токсические вещества, такие как соли тяжелых металлов, хлорорганические соединения, которые в значительном количестве накапливались в донных отложениях и водных организмах. Так, содержание свинца в осадках оз. Мичиган возросло с 40 в 1900 г. до 160 мг/кг сухого веса в 1975 г. (Edgington, Robbins, 1976). В биоте (главным образом рыбе) начали накапливаться хлорорганические соединения. В фореле из оз. Мичиган суммарное содержание ДДТ достигло 1600 мкг/кг сырого веса, полихлорбифенилов - 3000 мкг/кг, в оз. Верхнее эти величины были значительно ниже - соответственно 50 и 200 мкг/кг (цит. по Грачеву, 2002). Таким образом, даже в оз. Верхнее поступали токсические вещества, что прежде всего было связано с атмосферными переносами промышленных загрязнений.

Заметно возросла биогенная нагрузка на озера и особенно фосфорная, что не могло ни вызвать изменения трофического статуса озер. В 1976 г. (Data Book..., 1988) фосфорная нагрузка на озера составляла:

оз. Эри – 17 474 т P/год,

оз. Онтарио - 11 755 т P/год,

оз. Мичиган – 6 350 т P/год,

оз. Гурон – 4 860 т P/год,

оз. Верхнее – 4205 т P/год.

Эти данные четко выделяют озера Эри и Онтарио как наиболее подверженные антропогенному эвтрофированию. Уже в 60-х годах прошлого столетия озера Верхнее, Мичиган и Гурон были отнесены к олиготрофным водоемам, а оз. Эри к эвтрофному. Озеро Онтарио, имеющее большую площадь и значительную глубину, несмотря на существенную фосфорную нагрузку, было отнесено к мезотрофному типу. Увеличение биогенной нагрузки на озера Онтарио и особенно Эри привело к ухудшению их экологического состояния. Так, в озерах Верхнее, Гурон и Мичиган вся толща воды была насыщена кислородом круглый год, в оз. Онтарио в зимний период только 50-60% глубоководных водных масс содержали значительное количество кислорода, а в центральной части оз. Эри гипоплимнион был насыщен кислородом менее чем на 10%. Прозрачность воды в системе озер также различалась – в озерах Верхнем и Гурон она в среднем составляла 9.5-10 м по диску Секки, в озерах Мичиган и Онтарио –

5.5-6 м, а в оз. Эри – 4.5 (Beeton, 1965).

Нельзя не отметить серьезный урон, нанесенный озерам и, прежде всего, их рыбному населению биологическим загрязнением. В 1950-х годах во всей системе озер появился вселенец - морской миноги, занесенной океанскими судами. Хищническая деятельность миног быстро подорвала форелевый и сиговый промысел на озерах. Только к 1960-му году удалось с помощью специальных ядов значительно уменьшить численность миног. В настоящее время насчитывают до 140 других видов-вселенцев, которые также наносят значительных экологический и экономический ущерб озерам.

Увеличение уровня загрязнения и эвтрофирования озер привело к ухудшению качества их воды. Это потребовало принятия срочных мер по улучшению экологического состояния озер. Уже в 1909 г. была создана Международная Объединенная Комиссия для изучения загрязнения в пограничных районах Канады и США. В рамках этой комиссии были проведены исследования течения, химического режима и санитарного состояния озер Эри и Онтарио (Chandler, 1964). В 1972 году правительство США и Канады подписали первое Соглашение по Качеству воды Великих американских озер. В Соглашении были представлены меры по уменьшению фосфорной нагрузки на озера Эри и Онтарио за счет запретов на его содержание в сточных водах. В 1978 г. это соглашение было дополнено Международным Совместным Соглашением, а в 1983 г. Национальной программой по Великим озерам Агентства защиты окружающей среды США. В этих программах предусматривалось проведение постоянного мониторинга экосистем Великих озер (Barbiero, Tuchman, 2001). Стратегическими направлениями природоохранной политики стали сокращение фосфорной нагрузки, загрязнений, поступающих из воздуха и с суши, а также решение проблем, связанных с загрязнением донных отложений и подземных вод. С конца 1980-х годов, благодаря правовому регулированию, удалось достичь сокращения на 82% количества токсических хлорсодержащих веществ, сбрасываемых целлюлозно-бумажными комбинатами. Было отмечено общее снижение на 70% объемов производства, использования и сброса со сточными водами ряда основных токсических соединений (ЕС 1999b, ЕС 2000, ЕС 2001c). Однако уже в 1990-е годы была выявлена тенденция увеличения пестицидов в

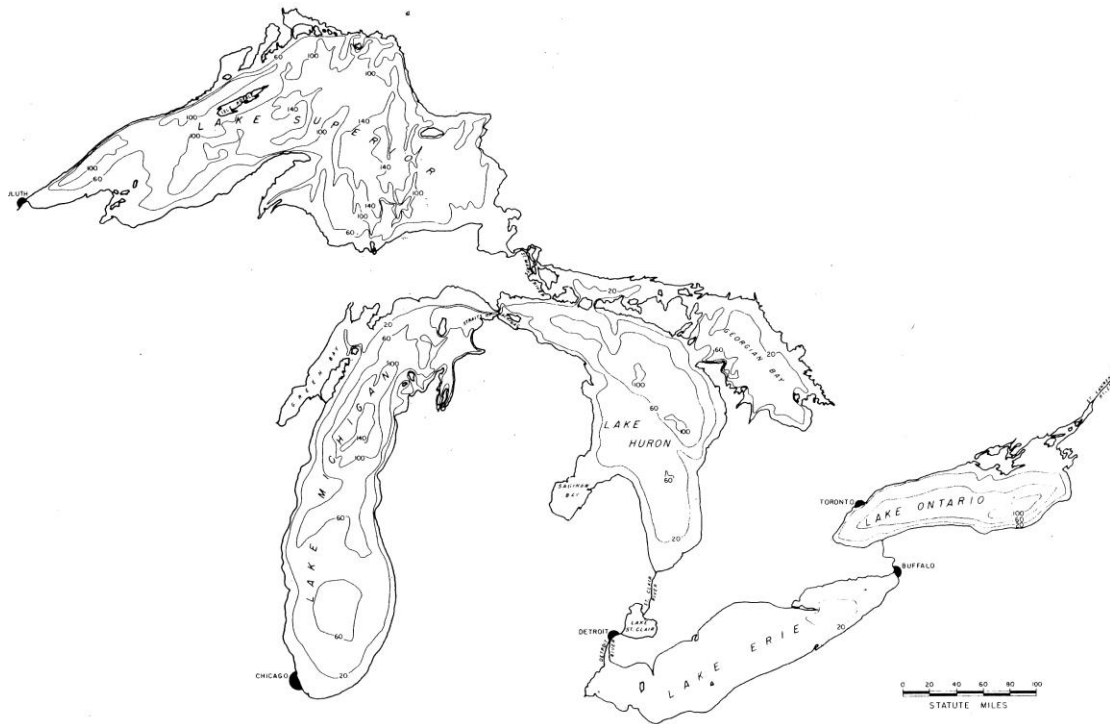


Рис. 4.3. Великие Озера, карта глубин. Источник: Beeton, Chandler, 1963

воде озер, а также содержание некоторых загрязняющих веществ в тканях рыб, появились данные об увеличении фосфорной нагрузки. В настоящее время продолжается финансирование многочисленных совместных программ в рамках подписанных соглашений по охране и восстановлению Великих американских озер.

Более подробная экологическая характеристика каждого озера будет дана отдельно с учетом результатов применяемых восстановительных методов.

4.1. ОЗЕРО ВЕРХНЕЕ

По площади оз. Верхнее (82367 км²) является вторым в мире после Каспийского моря и самым крупным среди пресноводных озер, а по объему водной массы четвертым после Каспийского моря, Байкала и Танганьики. Оно находится на территории США (Штаты Мичиган, Висконсин, Миннесота) и Канады (Провинция Онтарио). Координаты озера – 46° 25' - 48° 40' с.ш., 84° 30' - 92° 05' з.д.. В системе Великих американских озер это самое большое, самое глубокое и холодноводное озеро и выделяется необыкновенно живописными берегами. Северное побережье представляет собой обрывистые скалы, иногда сглаженные каменными

уступами, покрытые лишайниками и сосновыми лесами. Местами видны длинные и глубокие параллельные борозды, сделанные движущимся ледником. В западной и частично южной части озера берег понижается, хотя иногда встречаются крутые обрывы. На большом протяжении вдоль южной береговой линии озерное побережье и дно мелководий сложены мягкими красными глинами, которые подвергаются волновой эрозии, что вызывает высокую мутность у побережья. В настоящее время на американском и канадском побережье создан ряд национальных парков и заповедников, которые позволяют сохранить красоту ландшафтов. Самый большой остров озера Ройал стал Национальным парком США, также как и Апостольские острова, где сохраняются особенности геологической структуры территории (Data Book...1988). Сравнительно небольшая площадь водосбора, которая превышает площадь озера всего в 1.6 раза, и создание здесь национальных парков поддерживают экологическую безопасность озера (табл. 4.1).

Глубина всей котловина оз. Верхнего практически превышает 100м, причем на многих участках побережья стометровые глубины подходят к самому берегу. Несколько обширных впадин имеют глубины более 200 м. В западной части озера, ближе к северному берегу, они

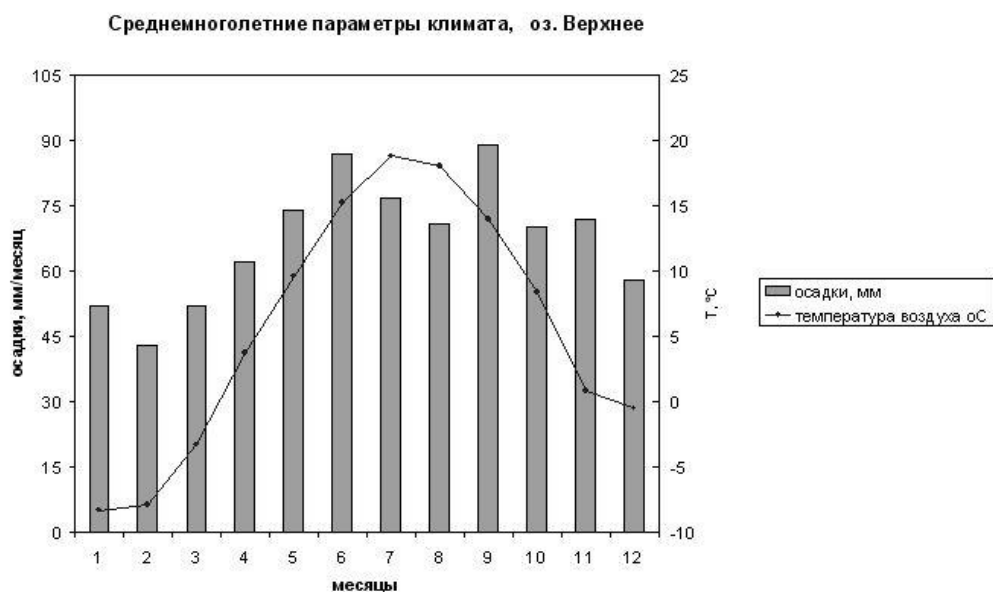


Рис. 4.4. Среднегодовое параметры температуры воздуха и осадков, ст. Marquette.

достигают максимальных глубин 250-260 м и ориентированы с северо-востока на юго-запад. Максимальная глубина озера 405 м расположена в его восточной части, ближе к южному берегу в длинном узком желобе (рис. 4.3).

На канадском побережье практически нет крупных городов. В западной части озера находится двойной порт Дулут-Супериор, от которого начинается судоходный путь вниз по озерам. Путь в 1873 км от Дулут (Миннесота) до Кингстона (Онтарио) является самым длинным в мире внутриконтинентальным водным транспортным сообщением. Сток из озера Верхнее осуществляется по короткой (112 км) порожистой реке Сент-Мерис, в настоящее время полностью шлюзованной, в оз. Гурон.

Озеро Верхнее является самым холодным из всех Великих американских озер, что явилось следствием климатических особенностей района (рис. 4.4) и огромных водных масс озера. Температура воды в середине лета не поднимается выше 6-7° С и только у самых берегов она может достигать 16-17° С. В середине сентября в открытой части озера температура воды на поверхности бывает максимальной – 10 – 16 °С. Зимой озеро полностью не замерзает, а прибрежная зона покрыта льдом с начала декабря до конца апреля. Озеро является димиктическим, как и другие озера системы.

Прозрачность воды озера высокая и даже в прибрежной зоне она достигает 15 м по диску

Секки, хотя в отдельных немногочисленных районах побережья она составляет всего 0.5 м, что связано со взмучиванием донных отложений при сильном волнении и поступлением бытовых и промышленных стоков (средняя прозрачность озера 8.5 м). Высокая прозрачность связана со слабой мутностью воды, взвешенные частицы обнаружены лишь в районе портов.

Высокое качество воды определяется многими показателями. Почти вся водная толща насыщена кислородом, даже в придонных водах наиболее глубоких зон насыщение воды кислородом составляло 99-105 %. Величины рН поверхностных вод близки к нейтральным и равномерно распределяются по всей акватории озера – 7.5-7.8. Общая минерализация воды составляет 60 мг/л, а щелочность – 40 мг/л (Beeton, 1965). Для озера характерны низкие концентрации биогенных элементов. Так, концентрация общего фосфора по акватории озера на протяжении многих лет остается на уровне 3-5 мкг/л, она не подвержена существенному сезонному изменению (Chandler, 1964, Matheson, Munawar, 1978, Data Book..., 1988). Только в районе портов на западе озера концентрация фосфора возрастает до 7-10 мкг/л. В западной части озера в 1973 г. исследовалось вертикальное распределение концентрации общего фосфора: на поверхности она составляла 7.1 мкг/л, а на глубине 25 м – 7.8 мкг/л, то-есть разница была незначительной (Watson et al., 1975).

Гидрохимические и гидробиологические показатели характеризуют озеро как ультраолиготрофное. Это озеро можно рассматривать как эталон чистой воды, особенно в сравнении с другими озера рассматриваемой системы, более подверженными антропогенному воздействию. Трофический уровень озера в первую очередь определяется состоянием фитопланктона, его видовым разнообразием, количественными показателями и пространственным распределением. Численность видов фитопланктона различается у разных авторов от 285 (Munawar, Munawar, 1986) до 160 (Barbiero, Tuchman, 2001a), что, скорее всего, связано с использованием разных методов определения. Последние данные показали, что диатомовые водоросли и весной, и летом составляют 38% видового состава, причем в последние годы в летний период по биомассе доминируют виды *Cyclotella* (*C. compta*, *C. comensis*, *C. delicatula*). Летом наряду с диатомовыми высоким видовым составом (38 %) обладают хризофитовые, а весной криптофитовые (25%), среди которых по численности доминируют нанопланктонные и пикопланктонные виды. Содоминантами диатомовых по численности являются некоторые виды *Dinobryon* и *Cryptomonas*. Отмечалось, что за последние двадцать лет доминирующие виды водорослей практически не изменились, что нельзя сказать о количественных показателях фитопланктона. Так, общая биомасса фитопланктона в 1973 г весной и летом соответственно составляла 145 и 233 мг/м³, а через десять лет эти величины были равны 145 и 319 мг/м³ (Munawar et al., 1987). По данным 1998 г. общая биомасса фитопланктона весной и летом составила 70 и 180 мг/м³ (Barbiero, Tuchman, 2001a).

Содержание хлорофилла «а» в воде озера также соответствовало уровню олиготрофных водоемов. По данным 1970-1971 гг. содержание хлорофилла составляло 1-2.5 мг/м³ и довольно равномерно распределялось по акватории озера. Изучение вертикального распределения хлорофилла «а» в 1973 г. выявило характерную особенность озера – практически на всех станциях максимальное содержание хлорофилла наблюдалось на некоторой глубине. Так, на поверхности озера эти величины составляли 0.7-1.4 мг/м³, максимальные же величины отмечались на глубине 25-30 м в зависимости от станций и составляли 3.2 мг/м³. Практически также распределялись значения продукции фитопланктона: на поверхности 2.1-2.6 мг С/м³

час, а на глубине 22-25 м -3.3-4.4 мг С/м³ час (Watson et al., 1975). Аналогичные результаты получены при более поздних работах (Barbiero, Tuchman, 2001 b).

Сообщество зоопланктона озера по видовому составу и численности заметно различалось весной и летом. По данным 1998 г., весной оно характеризовалось низким видовым составом и численностью: из взрослых форм доминировали в основном копеподы (*Limnodiaptomus sicilis*, *Limnocalanus macrurus*) и циклопы (*Diacyclops thomasi*) при общем количестве видов 9, численность зоопланктона не превышала 642 экз./м³. В летний период эти показатели значительно возрастали. Общее количество видов составило 16, из которых доминировали, кроме указанных копепод и циклопов, кладоцеры (*Daphnia galeata mendotae*, *Holopedium gibberum*). Численность летнего зоопланктона (в среднем в столбе воды) составляла 3.5 тыс. экз./м³ (Barbiero et al., 2001). Как правило, зоопланктон неравномерно распределялся по акватории озера и в значительной степени повторял термическую структуру озера, как видно на примере распределения *D. thomasi* (Рис. 4.5). Среднелетняя биомасса зоопланктона в слое 0-50 м составляла 0.17 мг/л, а численность – 10 экз./л. (Patalas, 1990).

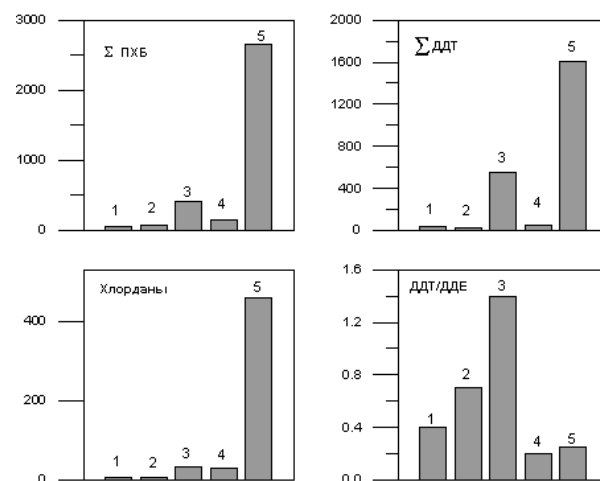


Рис. 4.5. Хлорорганические соединения в рыбах Байкала и Великих озер Северной Америки. Концентрации в микрограммах на килограмм сырого веса. 1 - байкальский омуль. 2 - малая голомянка, Байкал. 3 - большая голомянка, Байкал. 4 - форель из озера Верхнее, 1994. 5 - форель из озера Мичиган, 1990. Источник: Kucklick et al. 1996.

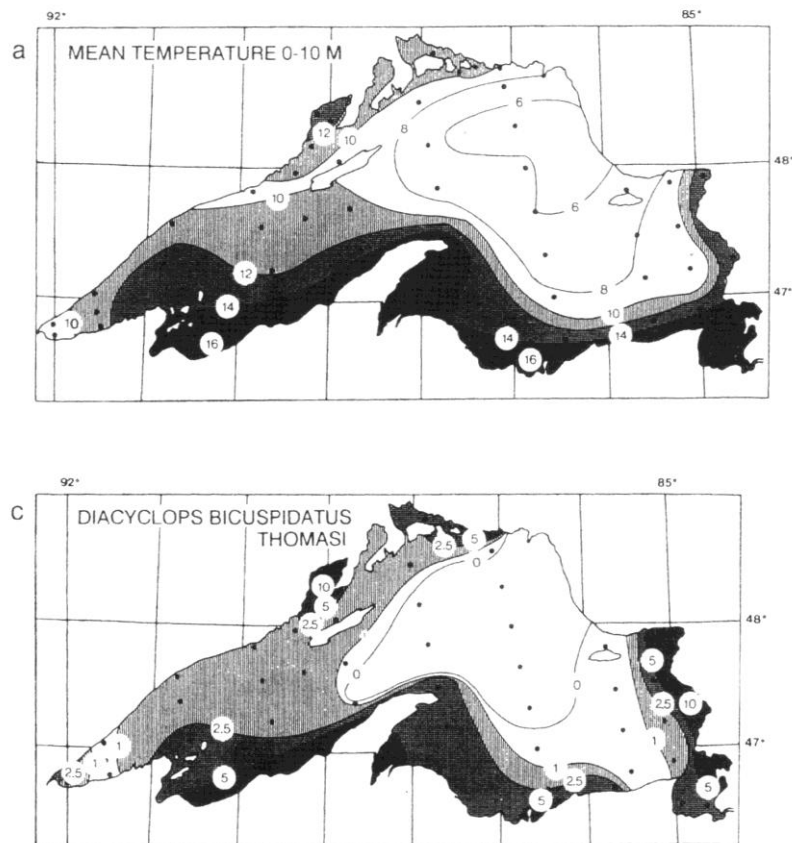


Рис. 4.6. Распределение температуры (А) и *Diacyclops bicuspidatus thomasi* (В) в оз. Верхнее в августе 1968 г. Источник: Patalas, 1990.

Что касается сообщества донных организмов, то оно также представлено видами, характерными для олиготрофных, глубоководных и холодных озер. Это, прежде всего, реликтовые бокоплавывы *Monoporeia (Pontoporeia) affinis* и *Mysis relicta*, причем понтопорейя может достигать 65-80 % всего бентосного сообщества (Chandler, 1964). Кроме того, здесь широко представлены олигохеты и в первую очередь *Limnodrilus sp.*, а также *Tubifex sp.* и *Stylodrilus sp.* Из моллюсков здесь в основном представлен *Pisidium sp.*

Озеро Верхнее всегда было лососевым озером. Начиная с 1867 г. был отмечен рекордный вылов таких видов как лосось, форель, паляя, сиг, ряпушка, судак. Чрезмерный вылов подорвал численность рыбного стада, особенно ценных и наиболее уязвимых пород. При этом снизился не только объем вылавливаемой рыбы, но и ее промысловая ценность, возросла доля таких видов как окунь, корюшка, карп, озерная сельдь. Несомненно, озеро по составу рыбного населения раньше отличалось от других озер системы, однако проведенный ряд мероприятий

по выращивание рыб, их интродукции, а также миграция самих рыб несколько уменьшили различие среди Великих американских озер. Большой ущерб рыбному населению нанес вселенец – морская минога, которая подорвала сиговый и форелевый промысел, но успешная борьба с ней улучшила ситуацию. Начиная с 1962 г., были выпущены в озеро миллионы мальков лососевых и сиговых рыб, и рыбный промысел начал медленно восстанавливаться. В оз. Верхнем начал вновь вылавливаться лосось *Oncorhynchus gorbuscha* (Beeton, Chandler, 1963). В 1977 г. коммерческий вылов рыбы в озере составил 4.2 тыс. тонны.

Эксперты полагают, что озеро Верхнее находится в самом удовлетворительном состоянии из всех пяти Великих американских озер. Это в первую очередь касается уровня эвтрофирования озера. Что же касается загрязнения озера, то здесь не все так однозначно. Исследования таких устойчивых токсических веществ как ДДТ, полихлорбифенилы, ртуть и др. показали, что они поступают в озерную экосистему

в результате атмосферного переноса, с муниципальными сточными водами, со сбросами водного транспорта, от горнодобывающей промышленности, с рассеянных источников на водосборе. Наибольшее их количество, до 20 – 25 %, поступает с атмосферными осадками. Токсические вещества практически не обнаруживаются в водной толще, но они аккумулируются в тканях рыб и донных отложениях. Особенно критическая ситуация складывалась в 1970-х годах, когда в мышцах форели обнаружили до 7 - 25 мг/кг полихлорбифенилов, до 6 - 16 мг/кг ДДТ и 9 мг/кг ртути. По стандартам США эти величины не должны превышать соответственно 2, 5 и 1 мг/кг. К 1980-м годам эти концентрации уже не превышали стандарты за счет принятых мер по снижению содержания токсических веществ как в выбросах, так и в сточных водах (Data Dook...1988). В настоящее время, как видно на рис. 4.6, концентрация хлорорганических соединений в рыбе оз. Верхнее находится приблизительно на том же уровне, что и в рыбах практически чистого озера Байкал (цит. по Грачев, 2002). Однако накопление токсических веществ выявляется в донных отложениях некоторых районов озера.

Водообмен озера очень низкий и составляет 191 год, что всегда учитывается при рассмотрении проектов охраны этого озера. При таком низком водообмене аккумуляция загрязняющих веществ, даже при небольших количествах их поступления, может достигать значительного уровня, а восстановление озера растягиваться на длительное время.

4.2. ОЗЕРО ГУРОН

По площади оз. Гурон занимает четвертое место в мире после Каспийского моря, озера Верхнее и Виктория, а по объему водной массы - восьмое после Каспийского моря, озера Байкал, Танганьика, Верхнее, Ньяса, Восток, Мичиган. Оно расположено на территории США (штат Мичиган) и Канады (провинция Онтарио) (рис. 4.1, 4.7). Координаты – 43° 00' – 46° 21' с.ш., 79° 50' – 84° 45' з.д.

Северная часть оз. Гурон образует обширный залив Джорджиан-Бей, который отделен от основной акватории озера островом Манитулин. Этот остров является самым большим островом в мире, расположенном в пресноводном водоеме. Его длина достигает 160 км,

ширина – 80 км. Северный берег залива Джорджиан-Бей сложен, как и берег оз. Верхнего, гранитными породами древнего кристаллического щита и представлен нагромождением скал, каменистых откосов, обрывов, которые чередуются с небольшими озерами и речками. В северной части озера общее количество островов, включая отдельно стоящие скалы, приближается к 50 тысячам. Южнее залива берег озера представляет собой сплошные песчаные пляжи, местами пересеченные дюнами.

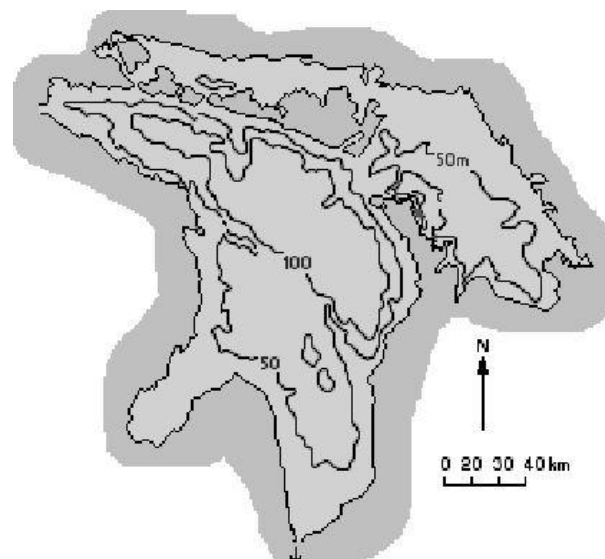


Рис. 4.7. Озеро Гурон. Источник ИЛЕС, 1988.

Оз. Гурон соединяется с оз. Мичиган коротким и широким проливом Мэкинак. Поскольку оба озера находятся на одной высоте над уровнем моря, нередко их рассматривают как единое озеро, хотя это не совсем верно из-за значительных различий по физико-химическим и экологическим характеристикам. Сток из озера осуществляется через реку Ст. Клэр, оз. Ст. Клэр и реку Детройт в оз.Эри (Beeton, Chandler, 1963).

Глубины в озере распределены неравномерно. Южная часть имеет пологое дно, плавно понижающееся к северу от глубин 20-25 до 70-80 м. Глубоководная впадина захватывает почти всю северную часть озера, примыкающую к острову Манитулин. Глубины здесь более 100 м, есть несколько впадин с глубинами до 200 м, в одной из которых расположена максимальная глубина 228 м. В заливе Джорджиан-Бей глубины колеблются в пределах 30-70 м (рис.4.7).

Климат бассейна оз. Гурон (рис. 4.8) несколько

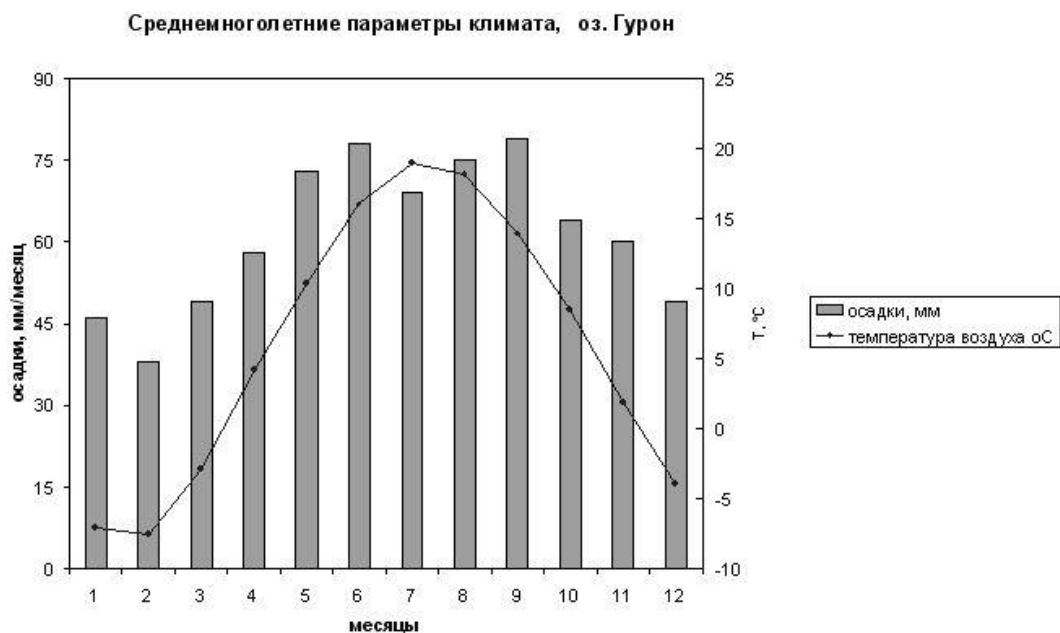


Рис. 4.8. Среднегодовое параметры температуры воздуха и осадков, ст. Alpena.

мягче, чем оз. Верхнего. В летний период температура воды озера значительно выше, чем в оз. Верхнем. Так, в июле температура на поверхности воды колеблется от 11.9°С в центре озера до 22° в прибрежных районах (средняя 18.8°С). Глубина термоклина изменяется от 13 м в южной части озера до 5 м в глубоководной. Зимой, как и в большинстве других озер рассматриваемой системы, озеро полностью не замерзает, хотя в отдельные годы это случается. Несмотря на частичное замерзание, продолжительность ледостава значительная. Так, в 1976-1977 гг. было отмечено полное замерзание озера, но оно продержалось недолго, тем не менее в течение 145 дней водоем был покрыт льдом на 75 % (Moll et al...1985).

Водосбор озера, который превышает площадь озера в 2.1 раза, довольно слабо заселен, здесь нет крупных промышленных центров, не ведутся разработки полезных ископаемых. Однако в последние годы здесь интенсивно развивается рекреация: в летний период здесь скапливается большое количество яхт, лодок, прогулочных кораблей.

По гидрохимическим и гидробиологическим показателям озеро до сих пор остается на уровне олиготрофного озера с хорошим качеством воды. По многим компонентам озеро на протяжении многих лет сохраняет сравнительную стабильность. Его общая минерализация практически не изменилась с момента на-

чала исследований в 1910 г. и остается на уровне 100-110 мг/л, при этом надо отметить, что за период 1956-1980 гг увеличилась концентрация сульфатов с 12.7 до 15.1 мг/л, но за тот же период уменьшилась концентрация хлоридов с 6.5-7.8 до 5.1 мг/л. Прозрачность воды в озере оставалась высокой и в летний период составляла в центре до 17.6 м, а в прибрежных районах до 1.5-2.5 м по диску Секки (среднее 9.1 м) (Moll et al., 1985). Озерные водные массы были хорошо насыщены кислородом, в придонной воде насыщение составляло 95-100 % (11.9 – 13.2 мг/л). Величины рН в эпилимнионе озера составляли 7.99-8.33, в гиполимнионе -7.87 – 8.2, то есть отражали щелочной характер воды озера.

Содержание биогенных элементов в оз. Гурон выше, чем в оз. Верхнее, но остается на уровне олиготрофного озера. В среднем за вегетационных период концентрация фосфора изменялась от максимальных величин в 1972-1973 гг 9.6 мкг/л до 5.2 мкг/л в 1980 г. По акватории озера биогенные элементы распределяются сравнительно равномерно: общий фосфор – от 4 до 6 мкг/л , а общий азот – от 150 до 250 мкг/л . С глубиной фосфор почти не изменяется, и летом его концентрация в гиполимнионе составляет 4.2-7.4 мкг/л (среднее 5.8 мкг/л) (Moll et al.,1985).

Биологические показатели также характеризуют олиготрофный характер озера, это в пер-

вую очередь касается фитопланктона. По данным 1998 г. весной в оз. Гурон, как и в оз. Верхнее, идентифицировано почти 160 видов водорослей, из них около 80 видов диатомовых и 40 – хризофитовых. По биомассе доминировала диатомовая *Aulacoseira islandica* (0.15 г/м³), которая значительно опережала своих содоминантов из диатомовых *A.subarctica*, *Tabellaria flocculosa*, из криптофитовых *Rhodomonas minuta* и из синезеленых *Oscillatoria tenuis*, биомасса этих видов составляла 0.02-0.035 г/м³. Летом число видов было немногим более 120, при этом диатомовые составляли лишь 40%, а хризофитовые - почти 50% видового состава. По биомассе доминировали хризофитовые *Chryso-sphaerella longispina* (0.07г/м³). Содоминантами были из диатомовых *Cyclotella comta*, *Fragilaria crotonensis*, из хризофитовых *Dinobryon bavaricum*, *Haptophyceae* spp, из криптофитовых *Cryptomonas erosa*, их биомасса не превышала 0.006-0.015 г/м³. Общая биомасса фитопланктона весной составляла 0.35 г/м³, а летом - 0.20 г/м³ (Barbiero, Tuchman, 2001). Другими авторами в 1970-х годах отмечались более высокие показатели биомассы фитопланктона: в северной части она была менее 1.0 г/м³, но на южном мелководье она достигала 1.6-8.2 г/м³ и выше (Pollinger,1990). Средняя за вегетационный период биомасса фитопланктона в 1980-х годах составляла около 0.6 г/м³ (Munawar et al., 1987).

Величины хлорофилла «а» в значительной степени повторяют показатели биомассы фитопланктона в течение последних тридцати лет XX века: в 1970-х годах хлорофилл в летний период изменялся в пределах 0.1-16.3 мг/м³, в 1980 г. - весной он составлял 1.5-3.5, а летом - 0.5-2.5мг/м³, а в 1998 г. эти величины были еще ниже, весной около 0.5, а летом 0.3 мг/м³. Таким образом, к началу XXI века количественные показатели фитопланктона уменьшились (Moll et al., 1985, Barbiero, Tuchman, 2001).

Как и в других Великих американских озерах, видовое разнообразие и численность зоопланктона были выше в летний период по сравнению с весной. Так, число видов составляло, соответственно, 17 и 11, а общая численность (в среднем в столбе воды) – 12 и 4 тыс. экз./м³. Хотя численность зоопланктона в оз. Гурон была выше, чем в оз. Верхнем, видовой состав в этих озерах совпадал. Из взрослых особей весной доминировали копеподы как по чис-

ленности, так и по биомассе *Leptodiptomus ashlandi*, *L. sicilis*, *L. minutus* и циклопы *Diacyclops thomasi*. Летом, кроме копепод и циклопов, доминировали кладоцеры *Daphnia galeata mendotae*, *Bosmina longirostris* (Barbiero et al., 2001). Общая биомасса зоопланктона летом в слое 0-50 м составляла 0.68 мг/л, а численность – 48 экз./л (Patalas, 1990).

Донные организмы в глубоководной части озера практически были те же, что и в оз. Верхнее. Преобладали реликтовые бокоплавы *Monoporeia (Pontoporeia) affinis* и *Mysis relict*, кроме того здесь были широко представлены олигохеты и в первую очередь *Limnodrilus* sp., а также *Tubifex* sp., *Stylodrilus* sp. и из моллюсков *Pisidium* sp. В мелководных районах присутствовали и другие виды, в основном личинки насекомых групп Trichoptera, Ephemeroptera, Diptera. Количество бентосных организмов на глубоководных станциях превышало 10 тыс. на 1 м² и, как правило, было выше, чем на мелководных (Chandler, 1964).

Как и оз. Верхнее, оз. Гурон всегда было лососевым. Однако за последние десятилетия здесь произошли значительные изменения. После внедрения миноги в Великие американские озера резко уменьшилась численность озерных рыбных популяций, особенно форели. Это в свою очередь создало благоприятные условия для развития особой мелкой американской сельди *Alosa pseudoharengus*, которая сократила популяции окуня, сига и озерной сельди. Интродукция лососевых в озеро в 1964 г., которые использовали *A. pseudoharengus* в качестве источника питания, привела к постепенному восстановлению истинно озерного рыбного хозяйства. В 1977 г. коммерческий годовой вылов рыбы составил почти 3 тыс тонн.

Озеро Гурон остается олиготрофным, и практически по всем химическим и биологическим параметрам здесь не наблюдается сколь угодно значимых процессов эвтрофирования. Загрязнение озера хлороорганическими веществами и тяжелыми металлами изучалось в 1979-1983 гг. Практически они отсутствовали в водной толще, но были обнаружены в тканях рыб и донных отложениях. В тканях форели концентрация ДДТ колебалась в пределах 0.2-1.1 мг/кг сырого веса, а полихлорбифенилов – в пределах 0.4 – 2.3 мкг/г сырого веса, и эти концентрации не превышали принятые в США стандарты. Международная Объединенная ко-

миссия выделила в озере отдельные локальные районы загрязнения, где в настоящее время ведутся работы по их восстановлению (Data Book..., 1988).

4.3. ОЗЕРО МИЧИГАН

Озеро Мичиган является третьим по величине в системе Великих американских озер и единственным полностью расположенным в США (штаты Мичиган, Индиана, Иллинойс и Висконсин) (рис. 4.1, 4.9). Координаты – 41° 40' – 46° 08' с.ш., 84° 44' – 87° 44' з.д. С середины прошлого века началась интенсивная индустриализация южного побережья озера, резко возросла численность населения. В настоящее время эта территория является наиболее промышленно развитым районом США. Здесь расположен ряд промышленных и транспортных центров. Среди них третий по численности город США Чикаго (население около 3 млн. чел.), крупнейший промышленный и финансовый центр страны. На берегу оз. Мичиган расположен крупный порт Милуоки (население 560 тыс. чел.).

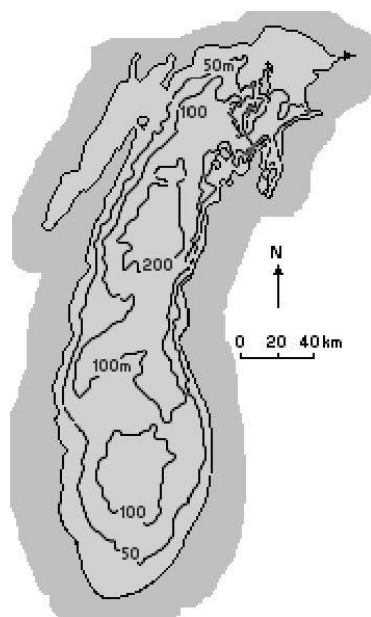


Рис. 4.9. Озеро Мичиган. Источник ИЛЕС, 1988.

Водосбор озера превышает площадь озера в 2 раза, что является особенностью всех Великих американских озер. Такой же особенностью являются высокие значения рН воды: на поверхности - до 8.7 и выше, в придонных слоях - около 8.1.

Прибрежная территория озера является частью 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 гряды песчаных дюн, расположенные параллельно береговой линии. Исключением является полуостров До, отделяющий от основной акватории озера залив Грин-Бей. Скалистые обрывистые берега полуострова напоминают северные берега оз. Верхнее. Полуостров До сложен твердыми доломитами, одними из древнейших на Земле. Ледник при своем движении выпал долины озера Мичиган и залива Грин-Бей, но доломитовый участок устоял перед его напором. Когда-то уровень озера был выше и сток из него осуществлялся на юг, в бассейн реки Миссисипи, сейчас между ними существует невысокий водораздел. Современный сток из озер Гурон-Мичиган идет в оз. Эри (табл. 4.1).

Дно озера представляет собой чередование пологих поднятий и углублений. В южной части глубины около 50-60 м, затем дно довольно быстро понижается, достигая в центральной части максимальной глубины 280 м (рис. 4.9).

Климатические показатели района озера более благоприятны, чем оз. Гурон: среднегодовая температура воздуха за период 1943-1980 гг составляла в оз. Мичиган 8.3°C (рис. 4.10) против 5.9°C в оз. Гурон за тот же период. Среднемесячная максимальная температура воды оз Мичиган в июле-августе достигала 16-21° С. Также как в других озерах рассматриваемой системы, полного ледового покрова на озере не образуется. Озеро димиктическое, летняя стратификация температуры начинается довольно рано, в начале июня, и термоклин формируется на глубине 4-6 м.

В отличие от озер Верхнее и Гурон, в оз. Мичиган за последние десятилетия заметно изменились некоторые характеристики качества воды, что связано со значительным антропогенным воздействием. С начала прошлого века минерализация воды возросла со 130 до 150 мг/л к 1960 г., при этом почти в три раза увеличилась концентрация сульфатов (Beeton, 1965). Распределение показателей гидрохимического и гидробиологического режима по акватории озера существенно различается, при этом четко выделяются южный и северный

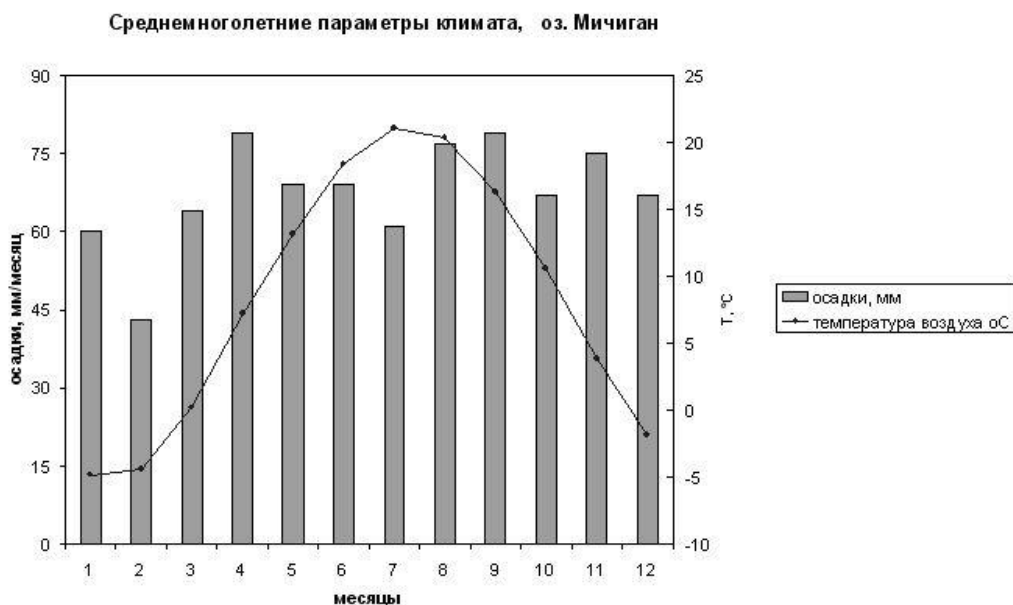


Рис. 4.10. Среднегодовое параметры температуры воздуха и осадков, ст. Muskegon.

районы, а также центральная и прибрежные зоны. В северном районе прозрачность воды в течение вегетационного периода колебалась в пределах 6 – 11.5 м по диску Секки, а в южном – 2-7.5 м. Исследования 1970-1971 гг содержания общего фосфора по профилю от г. Милуоки до западного побережья озера показали, что оно в районе города в отдельные месяцы (июнь, ноябрь) достигало 20 – 38 мкг/л, на западном побережье – не превышало 15 мкг/л, а в центральной части составляло 2-10 мкг/л. Аналогично распределялась концентрация кремния: около г. Милуоки она достигала 1.5-1.7 мг/л, в центральной части - 0.25-0.6 мг/л. (Holland, Beeton, 1972). Концентрация фосфора в центральной части озера соответствует уровню олиготрофного водоема, такой характер озера подтверждает довольно высокое насыщение кислородом водных масс, включая придонные слои, где насыщение редко бывает менее 70% (8-10 мг/л). Однако прибрежные районы, особенно на южных районах озера, и заливы уже меняют свой трофический статус на эвтрофный и мезотрофный. В заливе Грин-Бей по профилю с юга на север концентрация общего фосфора меняется от 190 мкг/л до 27 мкг/л (Richman et al., 1984).

Серьезные изменения произошли в озере в сообществе фитопланктона, который изучался довольно полно на протяжении длительного времени. Еще в начале 1960-х годов диатомовые доминировали по всему озеру, составляя

до 80 % общей биомассы, и были представлены *Synedra*, *Fragilaria*, *Tabellaria*, *Asterionella*, а содоминантом были хризифитовые *Dinobryon*. В 1970-х годах, когда возросла концентрация биогенных элементов и в первую очередь фосфора, заметно уменьшилось содержание кремния в водной толще. Это было вызвано массовым развитием диатомовых водорослей за счет увеличения биогенной нагрузки и интенсивным потреблением кремния, который вместе со створками диатомей аккумулировался в донных отложениях. Вслед за уменьшением содержания кремния, снизилась значимость диатомовых водорослей в озере, доминирующими видами стали синезеленые, зеленые и криптофитовые, которые в равных количествах составили почти 75% общей биомассы. Основной вклад в биомассу внесли синезеленые *Anacystis iuncerta* и *Gomphosphaeria aponina*. В 1981 г. синезеленых было в два раза больше, чем в 1974 г. (Chang, Rossmann, 1988). В июле-августе 1985 г. синезеленые составляли 15%, а фитофлагелаты – 76% общей биомассы фитопланктона (Fahnenstiel, Scavia, 1987). В настоящее время концентрация кремния несколько повысилась в среднем по основной оси озера до 0.7 весной и 0.25 мг/л летом (Barbiero, Tuchman, 2001). Исследованиями 1998 г. было выявлено около 120 видов, причем весной и летом общее количество видов не менялось. В летний период доминантами оставались фитофлагелаты: из криптофитовых *Cryptomonas erosa*,

Rhodomonas minuta, из хризофитовых *Dinobryon divergens*, *Chryso-sphaerella* spp. Весной диатомовые водоросли занимают доминирующее положение в общей биомассе фитопланктона и представлены *Aulacoseira islandica*, *A. subarctica*, *Stephanodiscus alpinus*, *S. subtransylvanicus* (Barbiero, Tuchman, 2001).

Количественные показатели фитопланктона различаются у разных авторов и трудно оценить их межгодовую изменчивость. Численности клеток водорослей определялась с 1920-1940 гг в районах городов Чикаго и Милуоки. Было показано, что уже в начале исследований численность клеток водорослей в районе Чикаго почти в два раза превышала их концентрацию около г. Милуоки, соответственно составляя 1000 и 500 клеток в мл, в период максимального развития фитопланктона в 1960-х годах эти величины соответственно составляли 3500 и 1000 клеток в 1 мл, а в 1970-х годах вернулись к первоначальным величинам – 1000 и 400 (Brooks et al., 1984). Биомасса фитопланктона в 1971 г. как и в оз. Гурон, в среднем составляла весной 1.4 г/м^3 , а летом – 0.4 г/м^3 . в 1998 г. эти величины соответственно составляли 0.3 и 0.18 г/м^3 (Barbiero, Tuchman, 2001).

Концентрация хлорофилла «а» также характеризует центральную часть озера как низкопродуктивную, в 1980 г весной и летом она составляла в центральной части озера 3 мг/м^3 , а в прибрежных районах – $5-7 \text{ мг/м}^3$ (Data Book, 1988). В заливе Грин-Бей, подверженном значительному антропогенному воздействию, в этот период на юге содержание хлорофилла достигало 49.7 мг/м^3 , а далее к северу оно уменьшалось от 8.4 до 2.1 мг/м^3 (Richman et al., 1984). В середине 1980-х годов исследовалось вертикальное распределение хлорофилла «а» в открытой части озера: на поверхности его содержание составляло $0.1 - 1.0 \text{ мг/м}^3$, а на глубине 20-40 м – до $6-7 \text{ мг/м}^3$ (Fahnenstiel, Scavia, 1987). В более поздних работах приводятся довольно низкие данные по хлорофиллу на поверхности центрального района - $0.4-0.6 \text{ мг/м}^3$ (Barbiero, Tuchman, 2001).

В настоящее время сообщество зоопланктона оз. Мичиган, как по видовому составу, так и по численности, аналогично зоопланктону оз. Гурон. Летом количество видов выше, чем весной – соответственно 16 и 8 (в оз. Гурон 17 и 11). Весной доминируют копеподы *Leptodiantomus ashlandi*, *L. sicilis*, *L. minutus* и их

молодь составляет основную численность зоопланктона. Из общей численности зоопланктона, составляющей около 3 тыс экз. в 1 м^3 , указанные виды и их молодь составляют 93 %. Летом существенные изменения произошли в видовом составе озера в связи с массовым развитием кладоцер - *Daphnia galeata mendotae*, *Bosmina longirostris*, хотя копеподы продолжают доминировать. Из циклопов в массовом количестве развивается *Diacyclops thomasi*, а также молодь циклопоидов. До 1982 г., когда в озере было достаточно планктоноядной американской сельди, в озере доминировали копеподы *L. ashlandi* и *L. minutus*, а также небольшая по размерам кладоцера *D. retrocurva* и их молодь. После 1982 г., когда серьезно пострадало рыбное население и в том числе американская сельдь, изменился видовой состав зоопланктона. Появилась очень крупная *Daphnia pulicaria*, а также доминировали *D. galeata mendotae* и *D. retrocurva*. Только после вселения в озеро хищной кладоцеры *Bythotrephes* видовой состав восстановился и продолжает оставаться стабильным до настоящего времени. Общая численность ракообразных летом составляет $6.8 \text{ тыс. экз./м}^3$, что в два раза больше, чем в оз. Верхнее, и в два раза меньше, чем в оз. Гурон (Barbiero et al., 2001).

Поскольку появление новых видов-вселенцев вызывает повышенный интерес из-за нарушения ими сформировавшейся в озере структуры трофических связей, нельзя не остановиться на обнаруженной в 1999 г. хищной кладоцере *Cercopagis pengoi*, которая имеет понто-каспийское происхождение. Первоначально она была обнаружена в оз. Онтарио, но в сентябре 1999 г при температуре 16°C в оз. Мичиган ее количество достигало 75 экз./м^3 , причем ее можно было обнаружить почти во всех пробах. Хотя *C. pengoi* была обнаружена в желудках рыб, все еще остается не доказанной ее роль как источника питания рыб и ее влияние на другие организмы трофической сети озера (Charlebois et al., 2001).

Донные организмы озера были практически те же, что и в озерах Верхнее и Гурон. Преобладали реликтовые бокоплавы *Monoporeia (Pontoporeia) affinis* и *Mysis relicta*, из олигохет *Limnodrilus* sp., *Tubifex* sp., *Stylodrilus* sp, из моллюсков *Pisidium* sp. Донные организмы, образуя довольно стабильные сообщества, являются хорошим показателем окружающей среды. Оз. Мичиган подвержено зна-

чительному антропогенному воздействию, поэтому изменению численности донных организмов в озере уделялось значительное внимание. Было проведено сравнение численности наиболее распространенных видов монопоarei и олигохет за период от 1960-1964 гг до 1980-1981гг (табл. 4.2) (Nalepa, 1987).

Таблица 4.2. Численность донных организмов (тыс. экз./м²) и стандартное отклонение (в скобках) в 1960-х и 1980-х годах (по Nalepa, 1987)

Глубина, м	Монопоarei		Олигохеты	
	1960, 1964	1980-1981	1960, 1964	1980-1981
18	1.1 (0.2)	2.9 (0.4)	0.1 (<0.1)	2.0 (0.2)
37	7.7 (0.6)	8.6 (0.5)	4.9 (0.2)	5.0 (0.4)
46	0.6 (0.1)	3.0 (0.4)	1.5 (0.2)	4.2 (0.3)
46	5.3 (0.4)	6.9 (0.7)	3.0 (0.2)	4.5 (0.2)
73	0.7 (0.1)	1.6 (0.2)	0.7 (0.1)	1.4 (0.1)
108	0.3 (0.1)	2.5 (0.5)	0.2 (<0.1)	0.6 (0.1)
129	0.2 (0.1)	1.3 (0.2)	0.1 (<0.1)	0.5 (0.1)

В 1980-х годах численность наиболее распространенных видов макрозообентоса возросла более чем в два раза по сравнению с 1960-ми годами. Скорее всего, это связано с увеличением поступления органического вещества в донные отложения озера. В 1970-х годах отмечалось резкое увеличение численности озерного фитопланктона, особенно весной, когда началось регулярное весеннее цветение воды, произошла смена видового состава водорослей – диатомовые уступили доминирование сине-зелеными. Хотя уже к концу 1970-х годов численность водорослей уменьшалась, донные организмы только через значительное время отреагировали на произошедшие изменения.

В 1999 г. было отмечено широкое распространение моллюска-вселенца *Dreissena polymorpha* по всей акватории озера. Впервые его створки были обнаружены в 1988 г. около порта Гару. В настоящее время его наибольшее количество отмечается на глубинах 9 – 82 м и биомасса достигает 0.6-15 кг на гектар. Дрейссена становится настоящим бичом

многих больших озер мира. Она влияет не только на структуру донных сообществ, но и на всю трофическую сеть. Кроме того, она доставляет много трудностей при придонном траловом вылове рыбы (Fleischer et al., 2001).

Рыбное население в оз. Мичиган претерпело практически те же изменения, что и в озерах Верхнее и Гурон. Если в XIX столетии основными промысловыми рыбами были форель, лосось, сиги, судак, озерная сельдь, то в 1967 г. 95 % коммерческого улова в оз. Мичиган составили корюшка, мелкая американская сельдь, окунь, карп. Много причин повлияло на изменение рыбного хозяйства: интенсивный вылов, массовое развитие нового вселенца - миноги, подорвавшей форелевый и сиговый промысел, антропогенное воздействие. Успешная борьба с миногой, внесение в озеро мальков лососевых и сиговых рыб способствовало постепенному восстановлению рыбного хозяйства озера. В 1980 г. коммерческий годовой вылов рыбы составил 11.4 тыс. тонн.

Высокий уровень промышленного и сельскохозяйственного развития сказался на загрязнении озера хлорорганическими веществами и тяжелыми металлами. В 1969-1973 в тканях форели аккумулировалось до 20 мг/кг сырого веса ДДТ, полихлорбифенилов – до 23 мг/кг, ртути – до 5.5 мг/кг. Все эти величины в десятки раз превышали стандарты, принятые в США (соответственно 5, 2 и 0.5 мг/кг сырого веса). В 1977 - 1985 гг. концентрация токсических веществ в тканях рыб уменьшилась до 1-2, 1-6 и 1-3 мг/кг, соответственно, тем не менее потребление рыбы по некоторым показателям оставалось опасным для человека (Data Book..., 1988). По данным 1990 г., содержание хлорорганических соединений в форели оз. Мичиган не выходило за пределы принятых стандартов, но тем не менее оно было значительно выше, чем в рыбе оз. Байкал и оз. Верхнее (рис. 4.6). Снижение поступления концентрации токсических веществ в озеро явилось серьезной экологической проблемой, которую решали на протяжении многих лет. В итоге были снижены нагрузки токсических и биогенных веществ от промышленных и муниципальных источников загрязнения. Значительное загрязнение озера при воздушном переносе токсикантов решается труднее.

4.4. ОЗЕРО ЭРИ

Озеро Эри является четвертым по площади и самым мелководным из пяти Великих американских озер (табл. 4.1). Оно расположено на территории США (штаты Мичиган, Огайо, Пенсильвания, Нью-Йорк) и Канады (провинция Онтарио). Координаты: $41^{\circ} 21' - 42^{\circ} 07'$ с.ш., $78^{\circ} 48' - 83^{\circ} 28'$ з.д.. Водосбор превышает площадь озера всего в 2.3 раза. Побережье озера представляет собой отложения древних приледниковых озер. Следы этих озер обнаруживаются в виде эрозионных береговых уступов, древних дельт и соединительных каналов. Повсеместно встречаются известковые илы, песчаные пляжи, а также вытянутые береговые песчаные косы. Лиственный лес побережий в своем первоначальном виде сохранился только на территории национальных парков и заповедников. Низкий западный берег озера местами сильно заболочен. На территории водосбора большинство болот было осушено при строительстве городов и устройстве крупных ферм. Национальный парк-заповедник Пойнт-Пеле расположен на северо-западном участке побережья и является одним из последних мест, где сохранились нетронутыми обширные болота.

Южный американский берег плотно заселен, и здесь расположены крупные промышленные комплексы, прежде всего это города Кливленд (478 тыс. жителей, а с пригородами 2.2 млн. чел.) и Буффало (290 тыс. жителей). При впадении р. Детройт в оз. Эри находится крупнейший центр автомобильной промышленности и транспортный узел город Детройт с населением 900 тыс. человек (с учетом пригородов 4.4 млн.). В настоящее время население города заметно сокращается. Северный канадский берег заселен меньше, но здесь интенсивно развито сельское хозяйство.

По морфометрии озеро четко делится на три части – западную, центральную и восточную. Западная часть мелководна с глубинами менее 15 м, в центральной части дно довольно ровное, с глубинами 25-30 м. Восточная часть – самая глубокая, дно равномерно понижается от берегов и в центре достигает максимальной глубины 64 м (рис. 4.3, 4.11). Сток из озера осуществляется по р. Ниагара в последнее из системы оз. Онтарио.

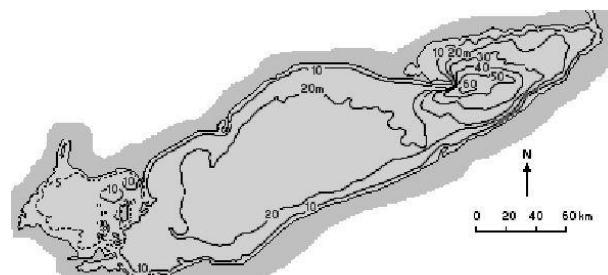


Рис. 4.11. Озеро Эри. Источник ИЛЕС, 1988.

Озеро Эри расположено южнее остальных озер, поэтому климатические показатели здесь более благоприятные (рис. 4.12), чем в районе озер Гурон, Мичиган и тем более озера Верхнее. Среднегодовое годовая температура воздуха в районе оз. Эри составляет 9.8°C (в районе оз. Мичиган 8.3°C). Среднемесячная температура воды в июле-августе достигает $21-22^{\circ}\text{C}$ по всей акватории озера. Летняя стратификация температуры отмечается только в центральной и восточной частях озера с начала июня до начала сентября. Ледостав продолжается 80 дней. В отличие от других озер системы оз. Эри часто покрывается льдом на 95-100%.

Изменения гидрохимического и гидробиологического режима озера стали наблюдаться с 30-40-х годов прошлого века в связи с усилением антропогенного воздействия, а уже в 1960-1970-х годах озеро стали называть «мертвой зоной». Общая минерализация воды возросла от 140 мг/л в 1900-1910-х гг до почти 200 мг/л в 1960 г., при этом резко возросла концентрация сульфатов, хлоридов, кальция соответственно на 11, 16 и 8 мг/л (Beeton, 1965). В придонных слоях центральной части озера снизилось содержание кислорода, и летом 1959-1960 гг оно было ниже 3 мг/л в 70% гипolimниона. В 1970 г. к концу сентября кислород был полностью потреблен во всем гипolimнионе на площади 12200 км². В отдельных работах этого периода приводятся высокие средние концентрации общего фосфора в воде озера – до 50 - 61 мкг/л (Chandler, 1964, Schelske, Roth, 1973).

Гидробиологический режим озера в этот период также изменился, причем эти изменения коснулись как планктонных, так и донных биологических сообществ. В начале 1950-х годов круглый год доминировали диатомовые водо-

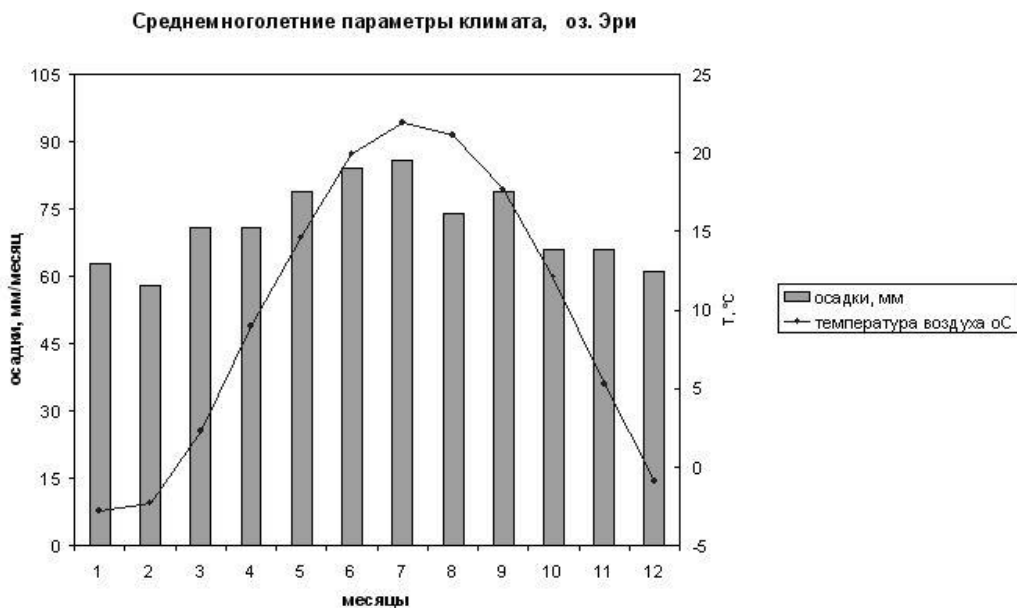


Рис. 4.12. Среднегодовые параметры температуры воздуха и осадков, ст. Cleveland.

росли, хотя летом часто важным компонентом был *Dinobryon*. К 1960 году увеличилась роль зеленых и синезеленых, в западной части озера нередко отмечалось «цветение» воды за счет массового развития синезеленых. Доминирование синезеленых и зеленых в летний период продолжалось на протяжении всех 1970-х гг. Диатомовые весной в основном были представлены эвтрофными индикаторными видами *Stephanodiscus tenuis*, *S. hantzschii*, *S. binderanus* и *S. niagarae*. Для этого периода были характерны высокие показатели биомассы фитопланктона, причем они различались по районам озера, а также в прибрежной зоне. В 1970 г. в наиболее загрязняемой западной части общая биомасса была максимальной весной 13 г/м^3 , а в августе — 8 г/м^3 . В центральной части озера максимальная биомасса фитопланктона достигала 6, а в восточной — 4 г/м^3 . В прибрежных районах максимальная биомасса составляла $10\text{-}12 \text{ г/м}^3$ (Munawar, Munawar, 1986). Летняя концентрация хлорофилла «а» в 1970-х годах в центральной части озера составляла $3\text{-}5 \text{ мкг/л}$ и только к 1980-му году опустилась до 1 мкг/л (Data Book..., 1988). В 1978 г. западная и юго-западная части озера оставались эвтрофными, здесь концентрация хлорофилла «а» летом достигала $6\text{-}11.9 \text{ мкг/л}$ (Wallen, Votek, 1984).

Значительное эвтрофирование озера вызвало также существенные изменения в составе зоопланктона. Появились теплолюбивые эв-

трофные виды *Chydorus sphaericus*, *Leptodiatomus siciloides*, *L. minutus*, *Skistodiatomus oregonensis* и сократилось количество копепод, обитающих, как правило, на глубине — *L. sicilis* и *L. macrurus*. Количество копепод уменьшилось по сравнению с суммарным количеством циклопов и кладоцер (Barbiero et al., 2001). Общее количество зоопланктона в начале 1970-х годов составляло в этот период в западной, центральной и восточной частях соответственно 1218, 184 и 154 экз./л, а биомасса 2.8, 3.8 и 2.9 мг/л (Patalas, 1999). Изменился состав донных организмов. Так, личинки поденок *Hexagenia* ранее были важным компонентом зоопланктона в западной и центральной частях озера с численностью до 500 экз. на м^2 , но в период 1950-1960 годов, когда резко уменьшилось содержание кислорода в придонной воде, они почти полностью исчезли. Однако увеличилось количество олигохет (*Tubifex* spp.) в западной части озера, которое не опускалось ниже $5\text{-}20$ тыс. экз. на м^2 (Beeton, 1965). Озеро Эри всегда отличалось самыми высокими рыбными запасами по сравнению с другими озерами системы. Из-за загрязнения, ухудшения кислородного режима и кормовой базы озера изменился состав и запасы коммерческих видов рыбного населения. Надо отметить, что морская минога не оказала такого негативного действия, как в других Великих американских озерах. Тем не менее после 1925 году резко сократился вылов сига до 2.6 млн кг против

22.1 млн в начале века, а в 1930 году он составил 1 млн. кг. После 1948 г. вылов сига оставался очень низким и в 1962 г составил всего 6 тыс. кг. Снижился вылов судака и после 1953 г. составил 450-1500 кг, хотя десятилетие назад его вылавливали до 500 тыс. кг. В 1970-х судака был запрещен к употреблению из-за высокой концентрации ртути в их теле. Замо́ры рыбы стали довольно обычными в озере в 1960-х годах (Beeton, 1965, Data Book..., 1988).

С конца 1970-х гг. США и Канада предприняли серьезные усилия и затратили огромные суммы денег для восстановления нормального режима озера. Предпосылками хорошего результата служила небольшая скорость водообмена озера, составляющая всего 2.5 года, в случае прекращения поступления в воду загрязняющих веществ их концентрация в озерной воде должна быстро снижаться. За 1970-80 гг. благодаря вводу на большинстве промышленных и коммунальных предприятиях современных методов очистки стоков, удалось добиться снижения поступления фосфора в оз. Эри на 85%. Содержание общего фосфора в конце 1980-х годов в центральной части озера уменьшилось до 13-15 мкг/л (Data Book..., 1988). В дальнейшем сохранялось различие трофического статуса в различных частях озера – от мезо-эвтрофного в западной части до олиготрофного в восточной. В 1990-е гг. содержание общего фосфора изменялось в них от 25.4 до 7.1 мкг/л (Phytoplankton..., 2000).

Улучшение состояния озера подтверждают изменения гидробиологического режима. Проведение подробных исследований фитопланктона в озере в 1998 г. показали, что весной доминирующей группой фитопланктона являлись диатомовые как по видовому составу (74 вида диатомовых из 140), так и по биомассе (почти 80% общей биомассы). По биомассе доминировала диатомовая *Aulacoseira islandica*, менее распространенными были эвтрофные виды диатомовых *Stephanodiscus binderanus*, *S. hantzschii f. tenuis*, *S. niagarae*. Крeптофитовые водоросли присутствовали в основном в центральной и восточной частях озера, среди которых наиболее часто встречался *Rhodomonas minuta*. Весной биомасса фитопланктона, в отличие от других озер, значительно различалась по акватории озера, уменьшаясь от западной части к восточной от 6 г/м³ до 0.25 г/м³. Средняя по озеру биомасса составляла 0.52 г/м³. Летом состав фитопланктона возрос до 200 видов. В озере

сменились доминанты. Зеленые *Pediastrum simplex* и *Pediastrum* spp. составляли значительную долю общей биомассы в западной и центральной частях озера. Незначительно увеличился вклад в биомассу криптофитовых (*Rhodomonas minuta*) и синезеленых (*Microcystis* spp.) водорослей. Общая биомасса фитопланктона летом уменьшилась по сравнению с весной и изменялась от западного района к восточному от 2.5 до 0.1 г/м³ (средняя по озеру 0.4 г/м³). Концентрация хлорофилла весной составляла 0.5-3.5 мкг/л, летом – 1-1.5 мкг/л. Сравнение этих количественных данных с данными, полученными в 1970-х, указывает на улучшение экологического состояния озера, несмотря на присутствие видов – индикаторов эвтрофного состояния озера (Barbiero, Tuchman, 2001).

Сообщество зоопланктона также отреагировало на уменьшение уровня эвтрофирования озера. Прежде всего увеличилось количество копепоид по сравнению с суммарным количеством кладоцер и циклопов: в период 1983-1987 гг их соотношение в западной, центральной и восточной частях озера соответственно составляло 0.27, 0.58 и 0.69, а в 1998 г. это соотношение было выше – соответственно 0.35, 0.86 и 0.63. Из состава зоопланктона выпала некоторые эвтрофные виды. Так, почти полностью исчезли виды кладоцера *Chydorus sphaericus*, которая является хорошим индикатором эвтрофных процессов и в период 1950-1960 гг. широко присутствовала, особенно в западной части озера. Другой вид, типичный для продуктивных озер *Limnodiaptomus siciloides* и широко распространенный по всей акватории озера в середине прошлого века, к началу 2000-х гг. стал встречаться только в западной части озера. Реликтовый каланоид *Limnocalanus macrurus*, бывший до 1920-х годов одним из наиболее обильных представителей ракообразных, продолжал отсутствовать в озере был. Весной 1998 г. численность ракообразных (кладоцеры, копепоиды и циклопы) в западной, центральной и восточной частях составляла, соответственно, 2.5, 1.5 и 0.1 тыс. экз./м³, а летом – 21.8, 16.4 и 8.8 тыс. экз./м³ (Barbiero et al., 2001).

Некоторые изменения произошли и в сообществе донных организмов. Прежде всего восстановилась в западной части озера популяция личинок поденок (Hexahenia), которые являются хорошим кормом для рыб. Кроме того, в западной части озера распространены

олигохеты (*Limnodrilus* spp.), *Chironomus plumosus*, моллюски (*Pisidium*, *Sphaerium*), в восточной части - олигохеты (*Tubifex* spp.), хирономиды (*Chironomus plumosus*, *Procladius denticulatus*) и появился реликтовый бокоплав *Monoporeia affinis*. В 1988 г. в Великих американских озерах появился новый вселенец *Dreissena polymorpha*, и он очень скоро распространился в мелководной западной части оз. Эри. Высокая фильтрационная активность дрейссен привела к уменьшению концентрации взвешенных веществ и увеличению прозрачности воды в этом районе. Появление другого глубоководного вида дрейссены *Dreissena bugensis* способствовало более широкому их распространению, что негативно повлияло на развитие остального бентоса (Howell et al., 1996).

Озеро Эри продолжает оставаться наиболее рыбным озером среди американских озер и в последние годы коммерческий вылов рыбы составил почти 23 млн кг, однако это произошло за счет увеличения вылова таких рыб как корюшка, карп, окунь, рыба-барabanчик (*Aplodinotus grunniens*), подкаменщик, нотропис. Вселение молоди лососевых и сиговых рыб способствовало появлению в уловах ценных пород. Содержание хлорорганических веществ в судаке и корюшке уже в 1980-х годах не превышало принятые в США стандарты (Data Book..., 1988). На примере подкаменщика (*Ameiurus nebulosus*) было показано, что количество заболеваний, связанных с появлением опухолей на коже рыбы уменьшилось с 61% в 1992 г. до 19% в 1999 г., а появление опухолей на печени в 1992 г. составляло 22%, а в 1999 г. они обнаружены не были (Rygon et al., 2001).

С начала 1960-х гг. озеро Эри потеряло свою рекреационную привлекательность. Почти полное сведение лесов нарушило водное равновесие на водосборе, обработанный слой почвы начал смываться в озеро, что резко ухудшило условия существования прибрежной растительности. Шторма интенсивно размывали берега, усиливая вынос в озерную воду почвы и иловые отложения прибрежных участков, которые превратились в «жидкую грязь». Многие пляжные участки либо потеряли свою былую привлекательность, либо были официально закрыты из-за высокого уровня бактериального загрязнения. Природные ландшафты сохранились лишь в национальных заповедниках и заказниках. Хотя ситуация в

озере в последнее время улучшилась, на побережье озера выделено достаточно много участков, где экологические условия вызывают значительную тревогу. Тем не менее, оз. Эри может быть хорошим примером превращения его из «мертвой зоны» в озеро с достаточно благоприятными условиями, но требуются еще дополнительные меры по его восстановлению.

4.5. ОЗЕРО ОНТАРИО

Озеро Онтарио по площади занимает последнее место среди Великих американских озер, но по глубине и объему водной массы оно заметно превосходит оз. Эри (табл. 4.1). Координаты озера 43° 12' – 44° 13' с.ш., 76° 15' – 79° 49' з.д. Озеро расположено на территории Канады (провинция Онтарио) и США (штат Нью-Йорк) (рис. 4.1, 4.13). Водосбор озера превышает его площадь в 3.4 раза.

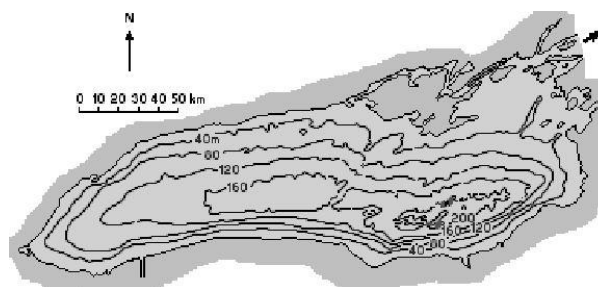


Рис. 4.13. Озеро Онтарио. Источник ИЕС, 1988.

Берега озера невысокие, пологие, местами покрыты густым лиственным лесом. Много песчаных пляжей. Основной тип рельефа побережий – озерные равнины, представляющие собой окраинные морены ледника, покрытые отложениями древних ледниковых озер. В юго-восточной части побережья встречаются высокие остроконечные скалы, в северо-восточной части – высокие дюны. Большая часть южного и юго-западного побережья занята обширными фруктовыми плантациями. Земли побережья озера плодородны и удобны для сельскохозяйственного использования, поэтому водосбор оз. Онтарио считается самым освоенным для сельскохозяйственных нужд из всех Великих американских озер.

На северном (канадском) побережье расположено много промышленных центров, прежде всего один из самых крупных городов в Канаде – Торонто с населением 2.5 млн. человек. Торонто является центром так называемой

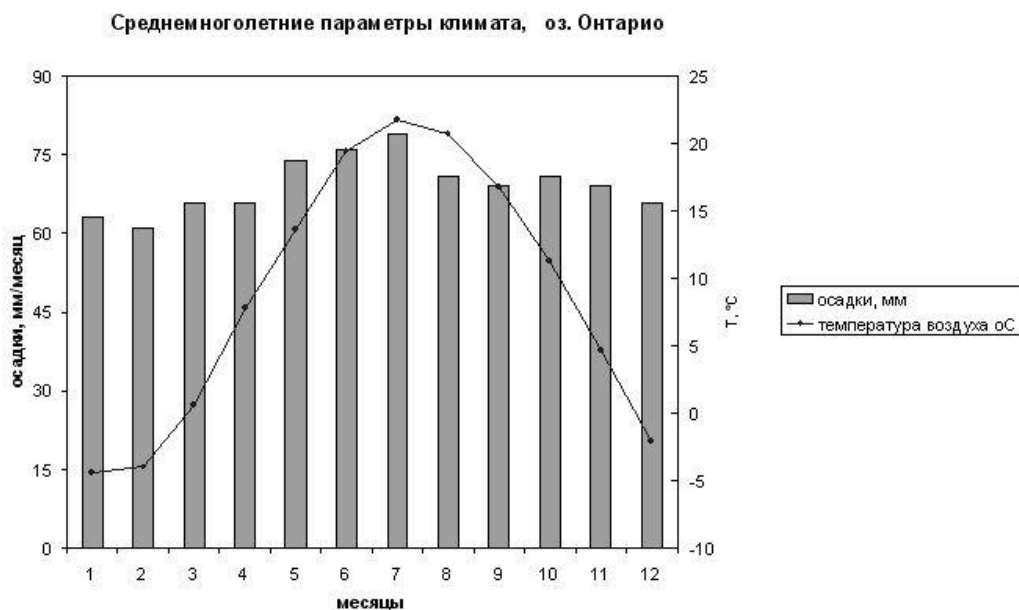


Рис. 4.14. Среднегодовое параметры температуры воздуха и осадков, ст. Rochester.

«золотой подковы», которая охватывает западное побережье озера, и где проживает около 7 млн. человек. На западе при впадении реки Ниагара расположен порт Гамильтон (с населением 0.5 млн. человек), а на северо-востоке на истоке р. Св. Лаврентия – порт Кингстон (с населением 1.1 млн. человек). Для сохранения естественных ландшафтов побережий озера на территориях США и Канады создан ряд национальных парков-заповедников.

Дно оз. 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 (рис. 4.13). К истоку реки Св. Лаврентия глубины уменьшаются до 20-25 м. Имея значительные глубины по всей котловине и меньшую по сравнению с другими озерами системы площадь, оз. Онтарио достаточно устойчиво к ветру, и сильные шторма наблюдаются главным образом при северных ветрах.

Температура воздуха в бассейне оз. Онтарио в июле-августе поднимается до 20-22°C, однако среднегодовая температура воздуха ниже, чем в районе оз. Эри – соответственно 8.8 и 9.8° C (рис. 4.14). Температура воды в среднем для озера в июле-августе не превышает 18-20°C. Озеро димектическое. Летняя температурная стратификация образуется в период с начала

июня до середины октября, средняя глубина термоклина – 20-25 м. Период ледостава продолжается с середины января до начала апреля, но как и в других рассматриваемых озерах оз. Онтарио полностью не замерзает, обычно льдом покрывается лишь 15% его площади.

Озеро Онтарио получает около 90% воды через р. Ниагара из оз. Эри. На севере из оз. Онтарио вытекает р. Св. Лаврентия, по которой осуществляется сток из всей системы Великих озер. Поступление водных масс из оз. Эри, которое одно из первых начало интенсивно загрязняться, интенсивное освоение собственного бассейна, рост промышленного потенциала, и как следствие рост численности населения не могло не сказаться на экологическом состоянии оз. Онтарио. Химический режим озера практически не менялся в течение периода 1854-1907 гг и был такой же, как в оз. Эри. Общая минерализация воды в этих озерах составляла около 140 мг/л. Однако к 1960 г. общая минерализация воды в оз. Онтарио возросла до 185 мг/л, главным образом за счет увеличения концентрации сульфатов с 15 до 30 мг/л, хлоридов – с 7 до 23 мг/л, кальция с 30 до 40 мг/л. Эти изменения проходили параллельно с изменениями в оз. Эри. Увеличение ионного состава в воде оз. Онтарио совпало с ростом промышленного потенциала городов Торонто, Гамильтон, а также индустриальная экспансия с верховья р. Ниагара.

Не только загрязнение воды, но и эвтрофирование озера начало проявляться в 1960-х годах. Последнее сказалось на кислородном режиме озера. Насыщение кислородом воды гипolimниона зимой в начале 1960-х годов было невысоким – 50-60%, но уже в 1971-1972 гг, когда улучшилось состояние озера, оно возросло до 75% (Beeton, 1965, Data Book..., 1999). Изменения коснулись и гидробиологических сообществ, их состава и количественных показателей. Фитопланктон достаточно активно изучался в период 1970-1983 гг, что дает возможность выявить его изменения с началом использования различных мер по отводу и очистки сточных вод. В 1970 г. зимой и весной диатомовые составляли 90% от общей биомассы. Летом состав водорослей был более разнообразным, наряду с диатомовыми доминировали зеленые и синезеленые, встречались также криптофитовые. Фитофлагеллаты составляли 30% общей биомассы. Массовое развитие зеленых и синезеленых водорослей указывало на эвтрофные процессы в озере в этот период. С января по май диатомовые доминировали как в прибрежной зоне, так и в открытой части озера, в прибрежной зоне доминировали эвтрофные виды *Melosira varians* и *M. binderana*, тогда как в центре озера - *M. islandica* var. *helvetica*. К 1978 г. уменьшилась роль зеленых и особенно синезеленых водорослей и увеличилась – диатомовых и криптофитовых. Из диатомовых исчезли некоторые эвтрофные виды *Melosira* (*Stephanodiscus*) *binderana*, *Stephanodiscus tenuis*, *S. hantzschii*, которые были обычными в 1970 г. В пелагической зоне озера летняя биомасса фитопланктона уменьшилась с 3.0 г/м³ (1.4-5.9) в 1970 г до 0.35 г/м³ в 1983 г., а хлорофилл «а» с 4-12 до 1 – 2.5 мкг/л. За этот же период уменьшилась концентрация растворенного реактивного фосфора с 15 до 7 мкг/л (Munawar, Munawar, 1986, Data Book..., 1988, Pollinger, 1990). По исследованиям, проведенным в 1998 г., состав фитопланктона с 1978-1998 гг. мало изменился, весной практически не встречались эвтрофные виды диатомовых. Летом основную биомассу составляли хризофитовые и зеленые, появились, хотя и в небольшом количестве, виды *Cyclotella*, которые характеризуют олиготрофный тип озер. Видовой состав фитопланктона был ниже, чем в других озерах: весной и летом не более 110-120 видов. Биомасса фитопланктона осталась на уровне 1983 г. - около 0.43 г/м³, что подтверждало мезотрофный уровень продуктивности озера на уровень 1990-х

гг. (Barbiero, Tuchman, 2001).

Видовой состав ракообразных оз. Онтарио отличается от других Великих американских озер прежде всего тем, что здесь доминирует молодь копепод и циклопов. Молодь диатомид составляет всего 1 % от численности летних ракообразных, тогда как в оз. Эри эта величина достигает 21%, в оз. Мичиган и Гурон – 29%, в оз. Верхнее – 55%. Летом в настоящее время в оз. Онтарио доминируют кладоцеры *Daphnia retrocurva*, *Bosmina longirostris* и из циклопов *Diacyclops thomasi*, а в начале прошлого века доминировали копеподы и различные виды дафний. Современный видовой состав ракообразных сохраняется постоянным с середины 1960-х годов, несмотря на то, что в 1970-1980-х годах были проведены следующие важные мероприятия в озере: во-первых, снижена фосфорная нагрузка на озеро на 40% и, во-вторых, увеличены запасы лососевых рыб, многие из которых используют в качестве пищи зоопланктон (Johannsson, 1987, Barbiero et al., 2001). В 1970 г. Численность ракообразных в оз. Онтарио составляла 80 экз./л, биомасса – 2.9 мг/л (Patalas, 1999). В 1998 г. численность была меньше – около 30 экз./л (Barbiero et al. 2001).

Донные организмы в оз. Онтарио представлены реликтовыми ракообразными *Monoporeia affinius* и *Mysis relicta*, которые, как правило, характеризуют олиготрофный тип озера, но могут встречаться и в мезотрофных водоемах. Присутствие этих организмов отличает оз. Онтарио от оз. Эри и приближает к другим озерам рассматриваемой системы. Из олигохет наиболее часто встречается *Stylodrilus heringianus*, которая считается индикатором олиготрофных условий, из хирономид *Procladius* spp. и *Heterotrissocladius oliveri*. Развитие олиготрофных видов зообентоса в оз. Онтарио обусловлено низкой температурой и достаточным количеством кислорода в придонных слоях воды. После 1988 г. в оз. Онтарио, как и в других озерах рассматриваемой системы, началось массовое развитие дрейссены, которая благодаря своей высокой фильтрационной активности уменьшила содержание взвешенных веществ в воде и увеличила прозрачность воды озера. Негативным последствием развития дрейссены является аккумуляция ею значительного количества кальция. Как было подсчитано, в 1997 г. во всем сообществе дрейссены содержалось около 1.33×10^8 кг кальция, что снижало концентрацию кальция и

щелочность в воде озера. Снижение кальция отрицательно влияет на развитие фитопланктона. Кроме того, массовое распространение дрейссены угнетающе действует на зообентос (Barbiero et al., 2006).

Количественные показатели рыбного населения озера ниже, чем в оз. Эри. Коммерческий вылов составил в 1975-1981 гг всего 1.1-3.5 тыс. т. Раньше озеро было лососевым, драматическая ситуация 1930-1950 гг значительно снизила численность ценных пород рыб, в том числе сига, форели, судака. Оз. Онтарио было первым, где появились вселенцы - морские миноги, и уже из этого озера они распространились по всем другим Великим американским озерам, особенно после строительства Уелленд-канала в обход Ниагарского водопада. Успешная борьба с миногой и выпуск в озеро молоди лососевых и сиговых рыб несколько улучшили состояние рыбного хозяйства озера. Коммерческий вылов состоит из сиговых, корюшки, мелкой озерной сельди, белого и желтого окуня, американского сомика, мороны, алозы и др.

Загрязнение озера токсическими веществами не могло ни сказаться на содержании тяжелых металлов и хлорорганических соединений в донных отложениях и в тканях рыб, однако в настоящее время концентрации этих веществ не выходят за пределы принятых стандартов. Проблема все еще остается в районах высокоиндустриальных портов и заливах.

Заключение

В кратком заключении необходимо отметить следующие характерные особенности Великих американских озер. Огромные запасы пресной воды являются главной причиной противостояния озер значительному антропогенному влиянию. Все озера и их водосборы интенсивно осваивались на протяжении нескольких столетий - рост промышленности и сельского хозяйства, добыча полезных ископаемых, строительство гидроэлектростанций, развитие лесопромышленных комплексов, интенсивный рыбный промысел, судоходство, рекреация. Меньше всего пострадало от антропогенной деятельности оз. Верхнее, сохранив высокое качество воды и олиготрофный статус. Значительно изменили свое состояние оз. Онтарио и особенно оз. Эри. С начала прошлого века США и Канада начали совместные исследования всех озер с целью выявления степени их загрязнения и эвтрофирования. В 1972 году

правительства США и Канады подписали Первое Соглашение о качестве воды в Великих озерах, на основании которого были разработаны меры по уменьшению фосфорной нагрузки на озера Эри и Онтарио за счет очистки промышленных и муниципальных сточных вод. С этого времени началось постоянное наблюдение за состоянием озер на международном уровне. Стратегическими направлениями природоохранной политики стали сокращение фосфорной нагрузки, токсических загрязнений, поступающих из воздуха и суши, уменьшение загрязнений донных отложений и подземных вод. Все эти меры способствовали улучшению экологического состояния озер, в том числе озер Онтарио и Эри. Великие американские озера стали примером возможности сохранения в озерах высокого качества воды и низкого трофического уровня в условиях чрезвычайно высокого уровня индустриального развития, высокой плотности населения, строительства многочисленных крупных городов на их берегах.

ОЗЕРА КАНАДЫ

На севере Канады на границе Докембрийского щита и Внутренних равнин расположены крупнейшие озера мира – Большое Медвежье, Большое Невольничье, Атабаска и Виннипег (рис. 4.15). Озера и их водосборы занимают территорию с координатами 49-67° с.ш. и 96-124° з.д.. Водная система озер Атабаска - Большое Невольничье и Большое Медвежье относится к водосбору р. Макензи, впадающей в Северный Ледовитый океан, и является самой большой системой на Северных территориях Канады (рис. 4.16). Оз. Большое Медвежье находится на юге субарктической зоны, его северная часть расположена за полярным кругом. Остальные озера находятся в таежной (бореальной) зоне. На большей части рассматриваемого региона широкое распространение имеет многолетняя мерзлота, пропадающая лишь на юге таежной зоны.

Из всех Канадских озер самым большим по площади является оз. Большое Медвежье, хоть озера Большое Невольничье и Виннипег уступают ему лишь немногим (табл. 4.3), площадь оз. Атабаска значительно меньше. По происхождению и особенностям лимнологии озеро Атабаска порой относят к Великим озерам и часто рассматривают вместе с ними (Larkin, 1964). Нельзя не отметить, что на соседней тер-

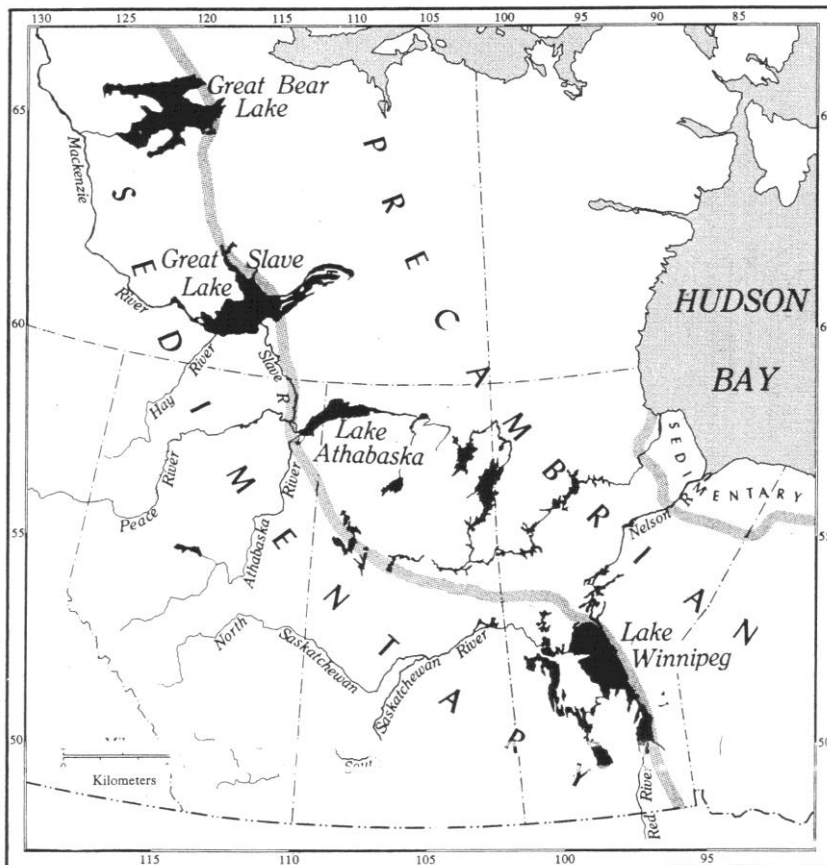


Рис. 4.15. Большие озера Канады. Источник: Northcote, Larkin, 1963



Рис. 4.16. Водосбор оз. Большое Медвежье и Большое Невольничье. Источник: Johnson, 1994..

Таблица 4.3. Морфометрическая характеристика озер

Показатели	Большое Медвежье	Большое Невольничье	Атабаска	Виннипег
Высота над уровнем моря, м	186	156	213	217
Площадь зеркала, км ²	31353	27050	7770	23750
Объем водной массы, км ³	2236	2090	155	284
Максимальная глубина, м	446	614	253	36
Средняя глубина, м	71.7	73	20	12
Время водообмена, год	124			2.9-4.3
Площадь водосбора, км ²	114717	985300	274540	953250

ритории расположено еще семь озер с площадью от 3100 до 6500 км² - это озера Рейндер, Виннипегосис, Нипигон, Манитоба, Дубонт, Вудс и Южное Индейское.

Все четыре рассматриваемые нами озера имеют сходное происхождение. Их бассейны были выработаны ледниковой эрозией в позднейшее геологическое время в относительно мягких породах, залегающих вдоль кристаллического щита. По мере отступления последнего ледника, постгляциальные озера на краю щита постепенно принимали современную форму. Оз. Виннипег является остатком огромного ледникового озера Агассиз (Agassiz). Остальные озера формально были одним огромным водоемом, который дренировался на юго-восток. Его уровень располагался приблизительно на 150 м выше современного. Возраст озер составляет около 10 тысяч лет.

Поверхность Докембрийского щита начиная с кембрийского периода неоднократно подвергалась эрозии. Последняя интенсивная эрозия имела место в течение плейстоценового периода, когда ледниковые воды смыли с поверхности щита накопившийся ранее почвенный покров, сделав ее каменистой и бесплодной, и привела в такое беспорядочное состояние пути стока, что поверхность была испещрена бесчисленными озерами. В этот период были выведены на поверхность минеральные богатства древних пород – железо, никель, кобальт, золото, уран и др. Разработка месторождений – одна из крупнейших отраслей индустрии Канады (Кинг, 1961). Внутренние равнины, покрытые осадочными породами, окружают щит и примыкают к озерам с запада (рис. 4.15).

В настоящее время озеро Большое Медвежье имеет сток в р. Макензи, но этот сток доста-

точно слабый, площадь водосбора этого озера невелика (табл. 4.3). Река Макензи вытекает из оз. Большое Невольничье, которое получает почти 77% воды из реки Невольничьей, вытекающей из оз. Атабаска. В свою очередь оз. Атабаска имеет два крупных притока - реки Атабаска и Фондю-Лака. Озеро Виннипег не принадлежит к системе р. Макензи, главными ее притоками являются р. Ред, впадающая в озеро с юга, р. Саскатчеван, впадающая в озеро с запада и р. Виннипег, протекающая по Докембрийскому щиту. Сток из озера осуществляется по реке Нелсон, воды которой поступают в Гудзонов залив.

Климатический режим озер различается, что объяснимо различием их широтного положения. В то же время 15°C изотерма для июня-августа проходит через западную часть оз. Большое Медвежье, через оз. Большое Невольничье, восточный конец оз. Атабаска и заканчивается недалеко от восточной части оз. Виннипег, что говорит о близких среднетемпературах (Larkin, 1964). Поскольку озера имеют значительную водную массу, они смягчают климат, уменьшая количество морозных дней. В среднем за год температура воздуха изменяется от - 7.2°C в районе оз. Большое Медвежье до 2.5°C в районе оз. Виннипег. Почти все озера значительную часть года покрыты льдом. На территории, окружающей озера Большое Медвежье и Большое Невольничье, почвенный покров большую часть времени находится в мерзлом состоянии, что препятствует поступлению с водосбора биогенных элементов. Хотя в среднем за лето температура воздуха близка, температурный режим воды озер различается и зависит от глубины и циркуляционных процессов в озерах. Типичные температурные профили озер для середины

лета представлены на рис. 4.17.

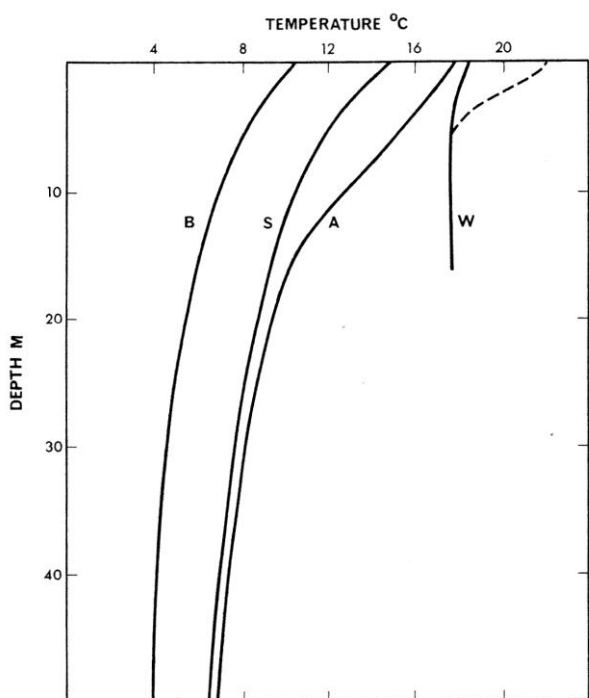


Рис. 4.17. Температурные профили канадских озер (для середины лета): В – Большое Медвежье, S – Большое Невольничье, А – Атабаска, W - Виннипег. Источник: Larkin, 1964.

Водосборы озер Б. Медвежье, Б. Невольничье и Атабаска слабо заселены. Численность населения в бассейне оз. Б. Медвежье не превышает 700 человек, включая приезжих. Бассейны озер Б. Невольничье и Атабаска начали заселяться, когда возникла необходимость добычи золота, серебра и урана, запасы которых на этих территориях значительны. Так возникли города Йеллоунайф на северном берегу оз. Б. Невольничье и Форт-Чипевьян на западном берегу оз. Атабаска. Бассейн оз. Виннипег по сравнению с предыдущими озерами заселен достаточно плотно, здесь находятся такие крупные города как Виннипег, Калгари, Эдмонтон (Johnson, 1994).

Подробно режим озер будет рассмотрен для каждого озера отдельно.

4.6. ОЗЕРО БОЛЬШОЕ МЕДВЕЖЬЕ

Акватория озера Большое Медвежье (рис. 4.18) пересекает северный полярный круг, и является самым крупным озером Канады. Его коор-

динаты - $64^{\circ} 47' - 67^{\circ} 00'$ с.ш., $117^{\circ} 40' - 125^{\circ} 00'$ з.д. Среди крупнейших озер мира оно занимает восьмое место по площади и десятое по объему водной массы.

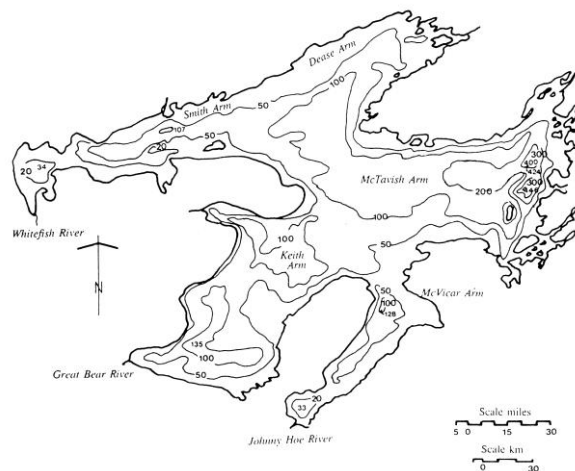


Рис. 4.18. Батиметрическая карта оз. Большое Медвежье. Источник: Johnson, 1994.

Докембрийский щит формирует восточный край озера. Этот регион озера представляет собой живописный пейзаж со множеством островов и протяженными озерными фьордами. Между щитом и Внутренними низменностями, формирующими западную часть озера, находится узкая полоса пород, состоящих из известняков и доломитов с включениями песчаников. Равнинная часть бассейна озера представлена мягко волнистыми ландшафтами со случайными холмами. Климат региона холодный, арктический (рис. 4.19). Озеро занимает территорию рядом с северной границей леса, водосбор его невелик (табл. 4.3). На юге и западе от озера лес представлен черной и белой елью, а к северу лес уступает место тундре, деревья встречаются лишь в наиболее защищенных местах.

Раньше бассейн озера заселяли различные индейские племена, первое проникновение сюда европейцев относится к 1799 г и связано с установкой поста торговли мехом. В 1898 г были предприняты геологические исследования, которые отметили залегание ценных металлических руд на восточном побережье озера. В 1930 г. были открыты также месторождения серебра и кобальта, и построены добывающие шахты. Однако в этих месторождениях были обнаружены урановые руды, добыча которых оказалась нерентабельной. Шахты были закрыты в 1940 г., после чего вплоть до 1964 г. они

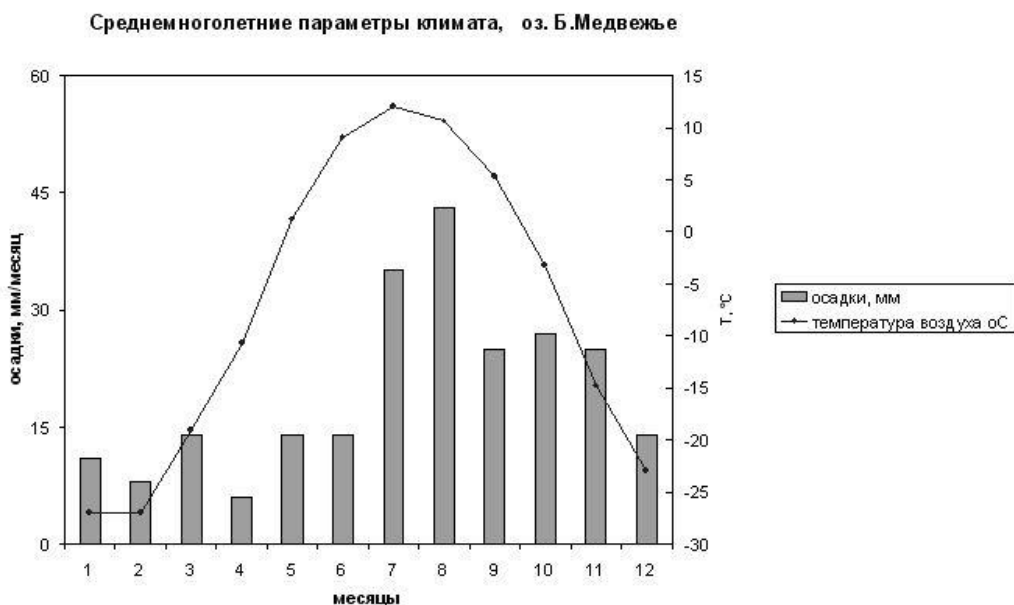


Рис. 4.19. Среднегодовое параметры температуры воздуха и осадков, ст. Port Radium.

то открывались, то закрывались. Каких-либо крупных населенных пунктов в бассейне озера нет.

Озеро обладает очень сложной конфигурацией и состоит из пяти рукавов. Западная часть озера наиболее мелководная, максимальные глубины свыше 400 м характерны для восточных районов озера, здесь же находится наибольшее количество островов (рис. 4.18). Озеру свойственны многие черты полярных озер. Количество солнечных часов за год 1854, средняя солнечная радиация составляет 10 МДж/м сут. Большую часть года, с ноября по июль, озеро находится подо льдом. Озеро мономиктическое, его полное перемешивание происходит достаточно редко и при медленном прогревании водной толщи. Как правило, циркуляция затрагивает лишь слой выше 200-300 м. Эпилимнион интенсивно прогревается лишь в августе, от 2.7-3.8° С в начале месяца до 3.5-5.2° С в конце. В гипolimнионе температура воды остается практически на одном уровне – 3.5-3.6° С.

Прозрачность воды достигает 27-30 м, и только в отдельных заливах она не превышает 10 м. Величина рН колеблется в пределах 7.8-8.1. Общая минерализация воды составляет 98 мг/л. Вся водная толща озера насыщена кислородом, содержание которого не опускается ниже 12.3-14.2 мг/л. Содержание биогенных элементов низкое: концентрация общего азота в августе на поверхности составляла 0.49 мг/л, концентрация общего фосфора была ниже пределов

точности измерений (Northcote, Larkin, 1963, Johnson, 1994).

Низкая температура воды, слабая обеспеченность биогенными элементами, отсутствие источников загрязнения обуславливают низкую биологическую продуктивность озера. Озеро является ультраолиготрофным с высоким качеством воды. Практически все биологические сообщества представлены бедным видовым составом с низкими количественными показателями. Высшая водная растительность практически отсутствует из-за длительного периода ледостава, только в наиболее изолированных заливах присутствуют хвощ (*Equisetum*) и хвостник обыкновенный (*Hippuris vulgaris*). Видовое разнообразие фитопланктона также невелико, наиболее обычными видами являются диатомовые (*Cyclotella* sp., *Synedra acus*), хризофитовые (*Dinobryon bavaricum*, *D. sociale*), криптофитовые (*Rhodomonas minuta*) и хлорофитовые (*Ankistrodesmus falcatus*). Биомасса фитопланктона в июле при температуре воды 0°С составляла 62 мг/м³, в сентябре она увеличилась до 70-91 мг/м³. Было высказано предположение, что мелазира в воде озера находится в покоящемся состоянии, а динобрион в виде спор (цит. по Pollinger, 1990).

Зоопланктон также представлен небольшим количеством видов, в основном копеподами – реликтовыми *Limnocalanus macrurus* и *Epischura nevadensis*, а также *Senecella calanoides*, *Diaptomus sicilis*, *Cyclops scutifer*, *C. vernalis*, встреча-

ются кладоцеры *Daphnia middendorffiana*, *D. longispina hyalina*, *Bosmina longirostris*. Коловратки представлены двумя видами *Keratella cochlearis* и *Kellicottia longispina*. Биомасса ракообразных составляет 0.13 мг/л, численность не превышает 1 экз. в 1 л (Patalas, 1975, 1990). Численность ракообразных в пересчете на всю водную массу равна 166 тыс экз. под 1 м². Сравнение общей биомассы всех планктонных сообществ выявило, что 85% принадлежит копеподам, коловраткам – 10%, а на долю фитопланктона приходится лишь 5% общей биомассы (Larkin, 1964).

Так же как в других северных озерах Канады в оз. Большое Медвежье среди донных сообществ довольно широко представлены реликтовые амфиподы *Pontoporeia affinis* и *Mysis relicta*, кроме того, здесь встречается из амфипод *Gammarus lacustris* и ряд видов моллюсков *Pisidium* spp, *Sphaerium nitidum*, *Volvata cincera-helicoidea* и др. Видовое разнообразие зообентоса невелико. До глубины 10 м он представлен 11 видами, глубже 10 м тремя, а глубже 100 м – двумя (Data Book..., 1990).

Озеро Большое Медвежье практически не имеет рыбохозяйственного коммерческого значения. В нем по сравнению с другими рассматриваемыми озерами рыбная продукция довольно низкая, что обусловлено многими причинами – низкой температурой воды, своеобразной конфигурацией озера, небольшим содержанием биогенных элементов, низкой биологической продуктивностью. Рыбное население представлено небольшим видовым разнообразием, в самом озере встречаются озерная форель (*Salvelinus namaycush*) и сига (*Coregonus* spp). Основную трофическую цепь можно представить как «планктон – бокоплав *Mysis* – сиг – форель» (Larkin, 1964). Остальные виды приурочены к более теплым, мелким и изолированным заливам, но и здесь видовое разнообразие невелико – судак, налим, щука, подкаменьщик, колюшка. Обычно размеры отдельных экземпляров небольшие. Внутреннее коммерческое рыболовство не превышает 15 тонн в год (результаты 1988 г.), спортивный улов – 20 тонн (Johnson, 1994).

Озеро поддерживает свой ультраолиготрофный статус длительное время, что связано с отсутствием на него какого-либо серьезного антропогенного воздействия. Население здесь представлено в основном рыбаками и туристами. Несколько расширяется в последние годы

рекреационное использование озера, но все это происходит под наблюдением за состоянием озера в соответствии с законодательными актами по поддержанию качества воды и охране водных ресурсов.

4.7. ОЗЕРО БОЛЬШОЕ НЕВОЛЬНИЧЬЕ

Озеро Большое Невольничье расположено на северо-западных территориях Канады, в 400 км южнее озера Большое Медвежье. Оно занимает десятое место в мире по площади и одиннадцатое по объему водной массы и седьмое место по максимальной глубине – 625 м (табл. 4.3). Его координаты - 60°48'-63°00' с.ш., 112°45'-117°20' з.д.

С юга в озеро впадает р. Невольничья, которая дренирует огромный бассейн площадью 606 тыс. км². Расход реки составляет 3340 м³/сек., то есть всего в 2 раза меньше стока р. Св. Лаврентия, вытекающей из оз. Онтарио и являющейся одной из крупнейших рек Северной Америки. Летом ежедневно р. Невольничья вносит в озеро 54 тыс. тонн растворенных минеральных соединений и 36 тыс. тонн - взвешенных (Northcote, Larkin, 1963). С северо-западной части озера вытекает р. Макензи, отсюда река берет свое начало.

Водосбор озера, также как и водосбор оз. Большое Медвежье, принадлежит двум различным физико-географическим областям – кристаллическому, стойкому к процессам эрозии Докембрийскому Щиту на востоке и Внутренним равнинам - на западе. На кристаллическом щите произрастает таежный лес с низким бонитетом, в то же время как западные равнины характеризуются более плотным арктическим лесом, произрастающим на местности, сильно изрезанной деятельностью ледника. Величина ежегодного стока с этих районов различна: модуль стока больше с Докембрийского щита.

Озеро обладает сложной конфигурацией. Его западная часть отличается большими размерами, но меньшими глубинами. Восточная часть, включая заливы Маклеод и Кристи, значительно более глубокая, с максимальной глубиной в Кристи Бей 615 м. Восточная часть изобилует островами (рис. 4.20). Морфометрические особенности озера сказываются и на его температурном режиме. Средне-летняя температура воды в эпилимнионе изменяется от 3.7°С в Кристи Бей до 14.5°С в Западном районе. На протяжении почти 8 месяцев озеро

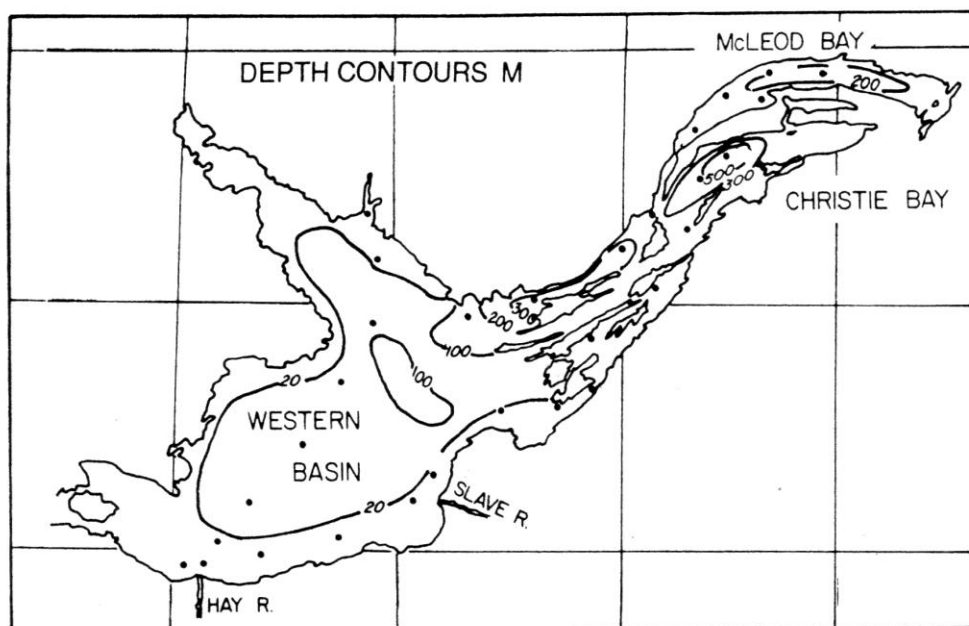


Рис. 4.20. Батиметрическая карта оз. Большое Невольничье. Источник: Patalas, 1990.

находится подо льдом. Ежегодные колебания уровня воды составляют 0.7 м.

Поскольку притоки озера и, особенно, р. Невольничья вносят в южный и западный мелководные районы озера значительное количество минеральных соединений, общая минерализация озерной воды, как и другие гидрохимические показатели, значительно изменяется по акватории озера. Величины общей минерализации воды максимальны в районе впадения р. Невольничьей, где они достигают 174 мг/л. С востока на запад эти величины изменяются от 22 до 82 мг/л (Larkin, 1964). Аналогично меняется прозрачность воды. В восточном районе озера прозрачность воды по диску Секки превышает 10 м, в западном – всего 1-2 м. В западном районе на низкую прозрачность влияют не только внесенные притоками взвеси, но и взмучивание донных отложений из-за мелководности района. Содержание кислорода в водной толще высокое и не меняется по вертикали.

Фитопланктон озера изучается довольно продолжительное время. Было выявлено, что сразу после вскрытия озера по биомассе доминируют диатомовые водоросли *Melosira islandica*, *Diatoma tenue* var. *elongatum* и *Stephanodiscus astrea*. В апреле 1976 и 1977 гг популяция зеленой водоросли *Chlamydomonas lapponica* интенсивно развивалась подо льдом,

когда увеличивался уровень освещения. Хризодитовые *Dinobryon bavaricum* и *D. cylindricum* появляются в июне, когда сокращается количество кремния после развития диатомовых. Биомасса фитопланктона подо льдом чрезвычайно низкая, а летом возрастает от 130 до 340 мг/м³ (цит. по Pollinger, 1990). Эти величины характеризуют олиготрофный трофический уровень озера.

Показатели зоопланктона подтверждают низкую биологическую продуктивность озера. Зоопланктон распределяется по акватории озера неравномерно. Максимальное количество ракообразных приурочено к территориям впадения основных притоков, дренирующих Внутренние низменности – до 4-8 экз./л. В восточном районе озера было обнаружено 7 видов ракообразных, в западном – 15. Районы отличаются по доминирующим видам, хотя в обоих случаях доминанты представлены копеподами. В восточном районе доминирует *Limnocalanus macrurus* и в меньшей степени *Diatomus sicilis* и *D. ashladi*, в западном районе доминирует *Diatomus ashlandi* (Patalas, 1975, 1990). Средняя биомасса и численность ракообразных в западном районе озера соответственно составляют 0.7 мг/л и 2.9 экз./л, в восточном районе – 0.07 мг/л и 2.7 экз./л. В 50-е годы прошлого столетия была определён сухой вес планктонных организмов в северных озерах Канады. По этой величине восточный район оз.

Большое Невольничье был аналогичен оз. Большое Медвежье – соответственно 9 и 10 кг/га, в западном районе оз. Б. Невольничье эта величина была выше – до 21.8 кг/га (Larkin, 1964).

Донные организмы аналогичны другим северным олиготрофным озерам. В озере доминирует амфипода *Pontoporeia affinis*, которая составляет почти 62% от численности всех донных организмов. Здесь также встречается несколько видов моллюсков (*Sphaerium*, *Pisidium*), а также олигохет и хирономид (главным образом *Spaniotomia*). В зоне 0-5 м количество донных организмов составляет 3000 экз./м², но на глубине 200-600 м их количество не превышает 300 экз./м². Сухой вес зообентоса в восточной части озера составляет 0.7 кг/га, почти столько же сколько в оз. Большое Медвежье (0.67 кг/га). В среднем по озеру эта величина составляет 4.1 кг/га (Larkin, 1964).

Рыбное население озера довольно разнообразное, но коммерческое значение имеют лосось, форель, сиг. Коммерческий годовой вылов составляет около 4 тыс. тонн.

Водосбор озера довольно интенсивно осваивается, поскольку здесь находятся золотодобывающие, алмазодобывающие шахты, здесь также разрабатываются месторождения цинка, все это является причиной повышения в озерной воде, особенно в западной части озера, концентрации металлов, таких как медь, железо, цинк. Особую опасность представляет повышенное содержание в воде мышьяка и ртути, используемых при золотодобыче. Все это привело к необходимости проведения очистки наиболее загрязненных участков водосбора от этих элементов и разработки мер по соблюдению должной безопасности при их добыче. Центром золотодобычи является город Йеллоунайф, расположенный на северном берегу озера, с населением 18.7 тыс. человек. Раньше все товары завозились в город по льду озера, но в 1967 г. вокруг озера было построено шоссе, которое может эксплуатироваться круглый год, это в свою очередь привлекает сюда туристов, поток которых в последние годы возрос.

4.8. ОЗЕРО АТАБАСКА

Озеро Атабаска расположено в пределах провинций Саскачеван и Альберта Канады и принадлежит речной системе Атабаска-Маккензи. Его координаты 58°36'-59°35'с.ш., 106°00'-111°00' з.д. (рис. 4.21).

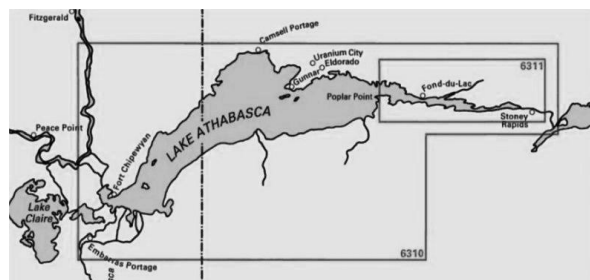


Рис. 4.21. Озеро Атабаска. Источник: http://www.fedpubs.com/charts/lake_athabasca.htm

Средний годовой приток в оз. Атабаска оценивается в 45.9 км³. Основными притоками озера являются река Атабаска (53% притока), которая поступает в озеро через систему каналов, и река Фондю-Лака (21 % притока), дренирующая восточную часть Докембрийского щита. С севера и юга в озеро поступает еще множество других более мелких притоков. Озеро Атабаска разгружается по реке Ривиере дес Рочерс и ее притоку. Меньшая часть оттока проходит по реке Ченал дес Кватре Форчес. Эти три реки присоединяются к реке Пис и формируют реку Невольничья, впадающую в оз. Большое Невольничье. Дельта Пис-Атабаски является одной из самых больших в мире пресноводных дельт.

Долгое время система оз. Атабаска - р. Невольничья служила главным транспортным маршрутом региона. В середине 1960-х годов на р. Пис была построена дамба, в результате чего низкие уровни воды в ее нижнем течении начали угрожать экологическому балансу дельты Пис-Атабаски. Для сохранения дельты, восстановления ее уровней и сохранения биологических сообществ был построен ряд плотин. После завершения строительства регулирующих структур амплитуда ежегодных колебаний уровня озера стала меньше, чем в естественных условиях, когда уровень озера колебался в пределах 5.5м, с максимальным значением 211.3 м в июле 1935 г. и минимальным 205.8 в феврале 1970 г.

Северные и южные районы озера сильно различаются. С северной стороны находится Докембрийский щит, тогда как с южной – обширная область дюн. Дюны являются природной особенностью побережья озера, поскольку они самые активные в мире. Они возникли в результате ледниковой деятельности, когда недавние отложения были подвергнуты воздействию интенсивных штормовых ветров. Сейчас здесь организован Природный Парк.

Водосбор на северо-востоке от дельты Пис-Атабаска и по южному берегу озера покрыт арктическими смежными лесами, с доминированием осины и тополя. К северу от озера преобладают осина и ель. Растительность северо-восточной части водосбора состоит из лишайников и редких лесов из ели и американской лиственницы. К югу от этой области произрастает арктический лес, состоящий из сосны, ели, и чередующийся бесплодными землями. Сельскохозяйственные области расположены к юго-западной части водораздела.

Оз. Атабаска по сравнению с двумя предыдущими озерами можно назвать мелким. Небольшие глубины и постепенный наклон дна в западной части озера вероятно обусловлен поступлением осадочных отложений с водами р. Атабаски. Центральная часть озера является самой глубокой с максимальной глубиной 124 м. К востоку оно становится более мелким, максимальной глубиной не более 46 м. К восточному краю озеро заметно сужается, в центре сужения глубина составляет 29-50 м. По всему озеру расположено множество островов.

Озеро димиктическое, четкая температурная стратификация наблюдается в июле-августе, максимальная температура воды в поверхностном слое не превышает 17° С. Ледостав продолжительный – с октября по июнь.

Качество воды озера достаточно высокое. Согласно Larkin (1964) в летний период содержание растворенного кислорода от поверхности до дна было одинаковым. В марте под льдом концентрация кислорода на поверхности составляла 14-15 мг/л, а у дна – 10-12 мг/л. Общая минерализация распределялась по акватории озера неравномерно: в его западной части в районе впадения р. Атабаска она составляет 130 мг/л, а к востоку уменьшается до 52 мг/л (в среднем 58 мг/л). Основными ионами на всех участках являлись бикарбонаты и кальций. Прозрачность воды изменялась в пределах 3.8-5.6 м по диску Секки. Низкая концентрация биогенных элементов указывала на олиготрофный статус озера – концентрация общего фосфора не превышала 9-11 мкг/л, общего азота – 208-250 мкг/л.

Видовой состав фитопланктона оз. Атабаска практически аналогичен фитопланктону предыдущих озер и состоит в основном из диатомовых – наиболее массовых *Melosira islandica*, *Asterionella formosa* и из хризофитовых *Dinobryon divergens*. Отмечалось низкое содер-

жание хлорофилла «а» - 1.1 мкг/л, что также подтверждает олиготрофный тип озера. В районе впадения р. Атабаска концентрация хлорофилла возрастала до 7.7 мкг/л.

Зоопланктон представлен приблизительно 10 видами, преобладают копеподы реликтовые *Limnocalanus macrurus* и *Epischura lacustris*, а также *Diaptomus sicilis*, *D. ashlandi*, *D. minutus*, *Cyclops bicuspidatus*, *C. vernalis*, из кладоцер встречаются *Daphnia retrocurva*, *D. longiremis* и *Holopedium gibberum* (Patalas, 1975). Сухой вес планктонных организмов, определенный в 1950-х годах, был равен 36.6 кг/га, то есть немногим больше, чем в среднем для оз. Большого Невольничьего (Larkin, 1964).

В составе озерного бентоса доминируют амфиподы *Pontoporeia affinis*, которая составляет 61 % от численности всех донных организмов, и в меньшей степени *Mysis relicta*. Здесь также представлены моллюски и хирономиды. Сухой вес донных организмов составлял в среднем 4.1 кг/га, почти как в оз. Большое Невольничье (2.5 кг/га).

Основное использование озера связано с коммерческим и спортивным рыболовством. В озере обнаружено 23 вида рыб, наиболее распространены северная щука, судак, арктический голец, озерная форель, сиг. В 1961 г. была выловлена форель весом 46.3 кг. Средние общие уловы с 1985 по 1988 гг. составили 377 тыс. кг в год, максимальные уловы в 1930-х годах доходили до 1.16 тыс. тонн в год.

Водосбор озера слабо заселен. Четыре поселения на водосборе небольшие – по 220-247 человек. В регионе развита лесная и добывающая промышленность. Полезные ископаемые включают гипс, гранит, золото и уран. Озеро не имеет высокого рекреационного потенциала. В бассейне озера создано несколько Национальных парков и заповедников. Кроме Природного Парка на территории дюн, на большей части дельты Пис-Атабаска был создан Национальный парк Вуд-Баффало. Регион дельты и Национальный парк Вуд-Баффало обеспечивают природную среду обитания для множества птиц и млекопитающих, из последних следует назвать бизонов и американских лосей.

4.9. ОЗЕРО ВИННИПЕГ

Озеро Виннипег расположено на северной границе канадских прерий в провинции Манитоба и является одним из крупнейших озер Канады. Как и предыдущие озера, оно расположено на

границе Докембрийского щита и Внутренних равнин (рис. 4.15). Координаты озера 50°23' - 53°50' с.ш., 96°22' - 99° 11' з.д. Озеро расположено на территории, ранее занимаемой огромным ледниковым озером Агассиз. Оно состоит из двух районов: широкого северного и узкого южного (рис. 4.22).

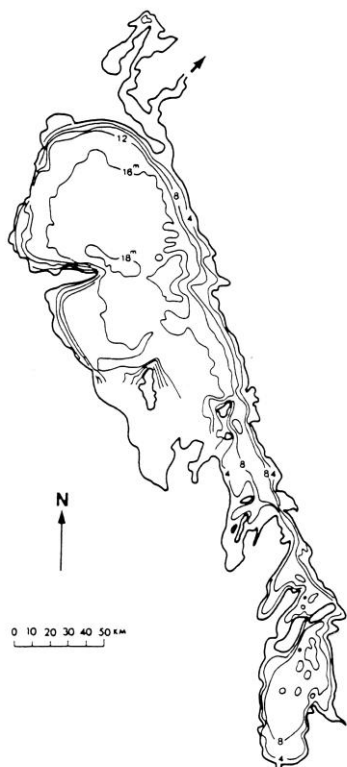


Рис. 4.22. Батиметрическая карта оз. Виннипег.
Источник: Brunskill et al., 1994.

Озеро Виннипег, в переводе означающее «большие грязные воды», несмотря на обширную площадь, довольно мелководное. Его северный район более глубоководный, максимальная глубина зафиксирована в центре, в южном районе глубины не превышают 4-8 м. Озерная вода из-за ее перемешивания под действием сильных ветров остается почти всегда мутной, и ее прозрачность по диску Секки колеблется в пределах 0.35-2 м (Brunskill et al., 1994).

Сток из озера осуществляется через реку Нельсон, которая течет из северного района озера на север в направлении Гудзонова Залива. В настоящее время на р. Нельсон построен каскад электростанций, позволяющий регулировать уровень озера. На юге в озеро впадает р. Рэд, на западе р. Саскачеван. В местах впадения этих

рек минерализация воды возрастает до 560 мг/л, тогда как в других районах озера она составляет 50 мг/л (в среднем 220 мг/л) (Larkin, 1964). С водами р. Рэд в озеро поступает большое количество загрязняющих и биогенных веществ, вымываемых из почв почти полностью распаханых прерий. Загрязняет озеро также г. Виннипег с населением 560 тыс. человек, расположенный в верхнем течении р. Рэд. Третья крупная река Виннипег поступает в озеро с Докембрийского щита.

Площадь водосбора озера огромная, она почти в 40 раз превышает площадь самого озера (табл. 4.3). Половину всей площади водосбора занимают сельскохозяйственные земли, которые используются для выращивания пшеницы, репы, овса, ячменя, ржи, и как пастбища. Леса занимают 40% водосбора, болота – 10%. Озеро окружено плотным кольцом леса, состоящего из вяза, ясеня, липы. Население водосбора составляет 3.9 млн. человек. Кроме г. Виннипег, на водосборе находятся другие крупные города - Калгари (более 1 млн. жителей) и Эдмонтон (730 тыс. жителей).

Наиболее высокие температуры воздуха в районе озера характерны для июля-августа – до 20°C (рис. 4.23), среднегодовая температура воздуха 2.5°. За год в среднем выпадает 517 мм осадков. Максимальная среднемесячная температура воды летом в центре озера не превышает 17.5°C, но в прибрежных районах в отдельные периоды может достигать 22°C. Вертикальные термические градиенты превышающие 1°C в водной толще не наблюдаются. Период ледостава меньше, чем в предыдущих озерах, и составляет 4-5 месяцев - с ноября по март (Brunskill et al.).

В оз. Виннипег поступает большое количество биогенных элементов, так, фосфорная нагрузка на озеро составляет 2980-10570 тонн в год, азотная – 47020-108280 тонн. Значительная нагрузка привела к достаточно высокой концентрации в озерной воде общего фосфора и азота, соответственно около 30 и 450 мг/м³, что не могло ни сказаться на продуктивности озера и, прежде всего, на развитии фитопланктона, который и количественно, и качественно отличается от фитопланктона предыдущих озер. В северной части озера доминируют диатомовые *Melosira islandica*, *M.*

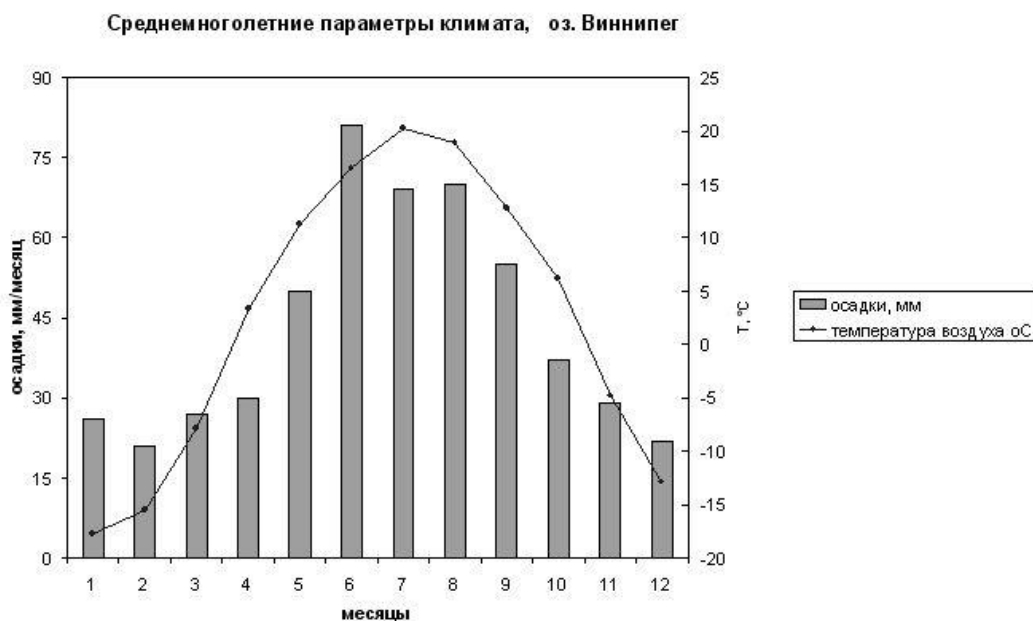


Рис. 4.23. Среднегодовое параметры температуры воздуха и осадков, ст. Winnipeg

italica, *Stephanodiscus binderanus*, здесь также встречаются диатомовые *S. niagarae*, *S. rotula*, *Tabellaria fenestrata*, *Synedra nana*. В южной части озера нередко наблюдается «цветение» воды при массовом развитии синезеленых водорослей, прежде всего доминирующей здесь является *Aphanizomenon flos-aquae* и *Microcystis aeruginosa*. Синезеленые в озере могут составлять до 15% общей биомассы, также активно развиваются зеленые (*Dictyosphaerium*, *Scenedesmus*), которые могут в течение летнего периода составлять 5-15% общей биомассы водорослей. В течение летнего периода общая биомасса фитопланктона в северной части озера с июня по начало августа уменьшается от 1.2 до 0.3 г/м³, а затем возрастает до 2.5-2.8 г/м³ в сентябре-октябре. Точно также изменяются величины хлорофилла «а», соответственно 2.2, 1.1 и 5.5 мкг/л (Larkin, 1964, Necky et al., 1986).

Зоопланктон распределяется по акватории озера неравномерно. В северной части озера отмечается более высокое видовое разнообразие ракообразных (17) по сравнению с южной (13). В северной части доминируют копеподы *Cyclops bicuspidatus* и *Diatomus ashlandi*, на долю которых приходится более 70% численности ракообразных, которая здесь составляет 53.3 экз./л, их биомасса не превышает 1 мг/л. В южной части озера доминируют *D. ashlandi* и *C. vernalis*, численность которых соответственно составляет 60 и 12.8 % общей

численности ракообразных. Общая численность ракообразных в южном районе озера почти в два раза выше, чем в северном и составляет 108 экз./л, а общая биомасса — 2.65 мг/л (Patalas, 1975).

Сравнить количественные показатели планктонных организмов оз. Виннипег и предыдущих озер можно по сухому весу организмов, определение которого было проведено в 1950-1960 гг. В оз. Виннипег эта величина составила 50 кг/га, то-есть была в 10 раз выше, чем в оз. Большое Медвежье, в 2.5 раза выше, чем в оз. Большое Невольничье и в 1.4 раза выше, чем в оз. Атабаска (Larkin, 1964). По трофическому статусу северную часть оз. Виннипег можно отнести к мезотрофным водоемам, южную - к эвтрофным.

Донная фауна озера, оставаясь в своей основе такой же, как в других северных озерах, имеет и свои особенности. Здесь распространены амфиподы *Pontoporeia affinis*, на долю которых в 1930-х годах приходилось до 64% от численности зообентоса. Донная фауна обильно представлена видами отряда Trichoptera. Ориентировочно численность бентоса составляет 5000 экз./м², сухой вес — 44 кг/га, что значительно превышает данные по другим северным озерам (Larkin, 1964).

Оз. Виннипег широко используется для коммерческого рыболовства, оно богато рыбным населением, наиболее значимыми являются

Таблица 4.4. Основные морфометрические показатели озер

Показатели	Ладожское озеро	Онежское озеро	озеро Сайма	озеро Ильмень
Высота над уровнем моря, м	5.1	35	76	20
Площадь зеркала, км ²	17 872	9 720	4 380	1090-1200
Объем водной массы, км ³	838	291.8	61	2.9-3.5
Средняя глубина, м	46.9	30	14	2
Максимальная глубина, м	230	120	85.3	4
Время водообмена, лет	11	12		0.25
Площадь водосбора, км ²	258 600	56 394	61 070	67 200

судак, сиг, окунь, щука, озерный осетр, чучуган. Годовой рыбный улов достигает 7726 тонн. Кроме коммерческого рыбоводства, озеро используется также для туризма и рекреации (плавание, спортивное рыболовство, яхты) (Brunskill et al., 1994). На водосборе развито сельское хозяйство и животноводство, горнодобывающая (нефть, никель, золото, серебро, медь.) и обрабатывающая промышленность. На берегах озера организован Провинциальный национальный парк.

ВЕЛИКИЕ ОЗЕРА ЕВРОПЫ

В северо-восточной части Европы в умеренном поясе северного полушария находится уникальная система крупнейших озер, в которую входят озера Ладожское, Онежское, Сайма и Ильмень. Своеобразие этой системы состоит в том, что каждое из озер Онежское, Сайма и Ильмень через реки Свирь, Вуокса, Волхов имеют собственный сток в Ладожское озеро, которое является замывающим в этой системе и в свою очередь имеет сток в Балтийское море через р. Неву. Вся эта обширная территория водосбора расположена на Северо-Западе России, а также Центральной и Южной Финляндии. На территории России находится 81.4 % бассейна, на территории Финляндии -18.5 %. Небольшая часть бассейна 0.1% - на территории Беларуси.

Озера рассматриваемой системы обладают значительными водными ресурсами. Ладожское и Онежское озера – самые большие в Европе и входят в двадцатку крупнейших озер мира: Ладожское по площади занимает 15, Онежское – 19 место, а по объему водных масс они

занимают соответственно 15 и 23 места среди крупнейших озер мира (табл.4.4).

Водосборный бассейн системы включает четыре вторичных бассейна: частный водосбор Ладожского озера (28.4 тыс. км²), Онежско-Свирский (83.2 тыс. км²), Ильмень-Волховский (80.2 тыс. км²) и Сайма-Вуоксинский (66.7 тыс км²) (рис. 4.24). Водосбор расположен в пределах Балтийского кристаллического щита и его погруженного склона. Климат здесь формируется под воздействием западного воздушного переноса. Континентальные воздушные массы играют подчиненную роль. Влияние Атлантики ослабевает в направлении с запада на восток. В этом же направлении нарастает континентальность климата. Среднегодовая температура воздуха изменяет от 1.1 до 3.0°С, увеличиваясь в южном направлении; с запада на восток, особенно в южной части водосбора, она уменьшается от 3 до 2°С.

Водосбор относится к двум растительным зонам: тайги и смешанных лесов. Зона тайги включает три подзоны: северной, средней и южной тайги. В северной и средней тайге преобладают сосновые леса, которые занимают 50-70% площади леса, еловые -26-30%. Для южной тайги характерны еловые леса, которые полностью не сохранились, так как на их месте возникло большинство сельскохозяйственных земель. Северная граница зоны смешанных лесов проходит южнее г. Пскова и севернее оз. Ильмень. Здесь к хвойным породам в большом количестве примешаны дуб, клен, вяз, липа, береза, осина.

Характерной особенностью бассейна является насыщенность озерами. Здесь, кроме основных

названных озер, расположены десятки тысяч других больших (до 200 км²), средних и малых озер. Из наиболее крупных следует назвать озера Водлозеро, Сямозеро, Б.Калла, Пиэлинен, Юоярви. Хейтияйнен. Только в российской части водосбора число озер ровно 26261, а их площадь – 36631 км² (Ресурсы поверхностных вод..., 1965). Коэффициент озерности в Онежско-Свирском вторичном бассейне составляет 16.7%, в Ильмень-Волховском он значительно ниже – всего 3.4 %. Основной озерный фонд сосредоточен к северу от линии р.Нева- р. Свирь.

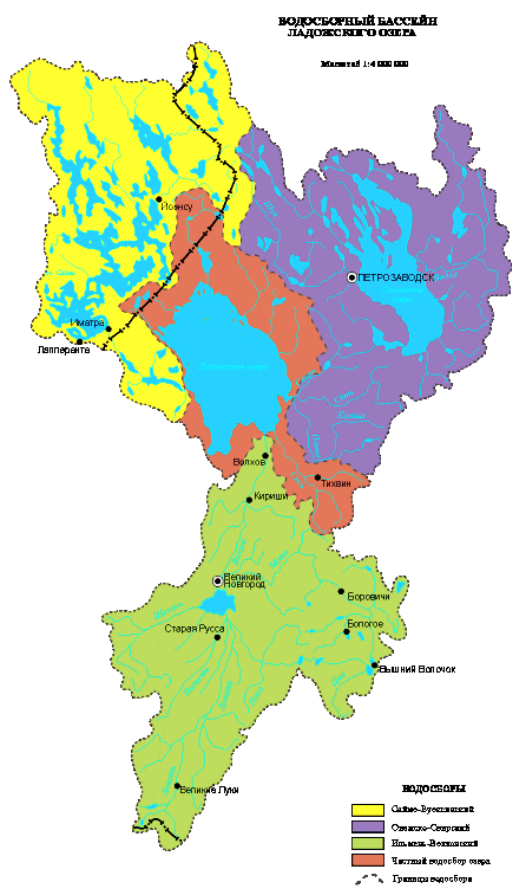


Рис. 4.24. Схема водосбора Ладожского озера.
Источник: Атлас Ладожское озеро.

По территории бассейна протекают многочисленные реки и ручьи, связывающие озера в единую водную систему. Так, только в российской части водосбора число водотоков достигает 48308 с суммарной длиной 126544 км, что составляет три длины земного экватора. Наиболее крупные реки с длиной более 300 км - Водла с Илексой, Мста, Ловать. Система рек и озер, а также заболоченность отдельных территорий, которая изменяется от 10-50% в

бассейне р. Вуокса до 60-70% в бассейне рек Ловать, Полисть, Шелонь, регулируют сток в крупные озера и перехватывают поступающие с водосбора органические и минеральные вещества. Можно говорить, что именно природные условия сформировали экосистемы крупных озер, в первую очередь Ладожского, Онежского, Саймы, с высоким качеством воды. Однако так было только до начала интенсивного хозяйственного освоения водосбора, после чего огромная территория водосбора стала оказывать негативное воздействие на озерные экосистемы. Первые изменения на водосборе были связаны с гидротехническими преобразованием водотоков. В начале XIX века русло р. Вытегра было приспособлено для судоходства – проведено дноуглубление и построен ряд шлюзов. В настоящее время гидротехнические изменения коснулись относительно равномерно всех участков бассейна. Они связаны, прежде всего, со строительством ГЭС, созданием сезонных водохранилищ, строительством судоходных каналов с расчисткой русел рек.

В 1952 г. вслед за Нижне-Свирской ГЭС была возведена Верхне-Свирская ГЭС, что вызвало подпор Онежского озера, уровень которого возрос примерно на 1 м. Для обеспечения прохода судов произведена расчистка и углубление русла на участке ниже Нижне-Свирской ГЭС. Благодаря строительству двух электростанций и работам по формированию судоходного фарватера, р. Свирь оказалась преобразованной на всем своем протяжении (Кудерский и др., 2000). Гидростроительство внесло также значительные изменения в гидрологический режим р. Волхов и оз. Ильмень. Плотина ГЭС, построенная на нижнем течении реки, обеспечивает подпор уровня в ней на 13.5 м. При таких показателях подпор распространяется по всему течению р. Волхов и оз. Ильмень. Значительные изменения произошли в Сайма-Вуоксинском бассейне. У истока р. Вуокса построены Тайнионкоскинская ГЭС, регулирующая сток из оз. Сайма, и ниже ее ГЭС Иматра. На территории Ленинградской области находятся еще две ГЭС, которые вместе с двумя финскими станциями существенно влияют на речной режим и оз. Сайма. Гидротехническое строительство затронуло и частный бассейн Ладожского озера. На ряде северных притоков озера, расположенных в Финляндии, построены шесть ГЭС и шесть плотин различного назначения. На территории Карелии у

истока р. Янисйоки построена ГЭС. В бассейне рек Олонка, Оять, Паша построены плотины для малых ГЭС.

Наибольшее влияние на экологию водной среды в бассейне оказывает хозяйственная деятельность на водосборе, территория которого характеризуется высоким уровнем экономического развития. На территории водосбора проживает более 3.5 млн. человек, из них 2.7 млн. городских жителей. Среди промышленных предприятий преобладают водо- и ресурсоемкие отрасли. Большой удельный вес приходится на целлюлозно-бумажные, деревообрабатывающие, химические, нефтехимические, топливно-энергетические предприятия, машиностроение, энергетику, цветную металлургию, предприятия по разработке нерудных ископаемых. Такие отрасли оказывают наибольшую нагрузку на природно-ресурсный потенциал, так как характеризуются высокой степенью отходов и, следовательно, загрязнений. В 70-х годах прошлого столетия было отмечено бурное развитие промышленности. Показателем антропогенной нагрузки на водоемы может служить общий объем сточных вод, сбрасываемых предприятиями и коммунальным хозяйством. В Онежское озеро поступает в год 137.5 млн. м³ сточных вод, в Ладожское – 497.7 млн. м³ и в оз. Сайма – 583.0 млн. м³, из которых 443.0 млн. м³ - сточные воды промышленных предприятий (Экосистема Онежского озера..., 1990, Экологическая обстановка..., 1998, Saimaan alueen..., 1983). Из приведенных данных видно, что наименьшие объемы сточных вод сбрасываются в Онежское озеро, наибольшие - в оз. Сайма. Такое соотношение сохраняется и при рассмотрении удельного показателя (объем сточных вод на 1 км² акватории озера), который в озерах соответственно составляет 15600 м³/км², 28100 м³/км² и 99300 м³/км². Хотя удельная нагрузка сточных вод на акваторию оз. Сайма в 4.7 раза выше, чем в Ладожском озере и в 8.4 раза выше, чем в Онежском, тяжелых экологических последствий в этом озере не наблюдается (Кудерский и др., 2000). Последнее обусловлено высокой эффективностью работ по очистке сточных вод (Laine, Minkkinen, 1998).

Сельскохозяйственными угодьями занято 11 % площади водосбора, где активно используются минеральные и органические удобрения. Кроме того, крупные животноводческие комплексы, птицефабрики, комплексы по выращиванию и откорму свиней, где очистные сооружения, как

правило, не отвечают современным стандартам, также служат источником загрязнения водной среды. Как реагируют озера рассматриваемой системы на антропогенное воздействие, будет рассматриваться для каждого озера отдельно.

Обширность водосборного бассейна в сочетании с избыточным увлажнением этой территории обуславливает формирование значительных объемов поверхностного стока, что усиливает влияние любых антропогенных изменений на водосборе на качество воды озер. Основной объем водного стока (70.5 км³ в год), аккумулируемого в Ладожском озере, формируется на всех вторичных бассейнах – Онежско-Свирском - 20.8 км³, Ильмень-Волховском – 16.9 км³, Сайма-Вуоксинском – 19.3 км³, частном водосборе Ладожского озера - 13.5 км³ в год. Удельный вес каждого из этих бассейнов следующий – 29.5%, 24.0%, 27.4% и 19.1%. Таким образом, поверхностный сток вторичных бассейнов близок по величине.

Значительные изменения на водосборе не могли не отразиться в большей или меньшей степени на экосистемах крупнейших озер бассейна Ладожском, Онежском, Сайме и Ильмень, хотя в настоящее время используются различные меры по восстановлению и охране их водных ресурсов.

4.10. ЛАДОЖСКОЕ ОЗЕРО

Ладожское озеро находится на территории Российской Федерации. Координаты озера 59° 54' - 61° 54' с.ш. и 29 °47'-32 °58' в.д. В древних русских документах оно называлось Нево, берега его были заселены человеком с очень давних времен. В летописи 1280 г. озеро впервые было названо «Ладога». В настоящее время озеро является чрезвычайно важным для российской экономики водным объектом. Это единственный источник питьевой воды для Санкт-Петербурга, крупного промышленного мегаполиса. На озере ведется рыбный промысел. Его водные ресурсы используются многими промышленными и сельскохозяйственными предприятиями. По акватории озера проходят важные водно-транспортные пути (Беломоро-Балтийский и Волго-Балтийский), плотность судоходных линий- 0.1 км/км². С давних времен озеро использовалось как часть водного торгового пути. Из-за частых штормовых ветров при Петре I началось строительство

канала вдоль берега озера, протяженностью 117 км и соединяющего реки Волхов и Нева. В 1861-1866 годах, в связи с обмелением Староладожского канала, был построен Новоладожский канал протяженностью 110 км, который используется до сих пор для движения судов малого водоизмещения. Ладожское озеро является одним из наиболее изученных озер России, благодаря чему можно представить полную картину не только его возникновения, но и дальнейшей эволюции.

В четвертичное время через Приладожье несколько раз продвигались ледники. Помимо ледникового выпаживания происходило накопление ледниковых отложений, что создало основные черты современного рельефа озерной котловины. Ледники покинули Ладожскую котловину около 12 тыс. лет назад (История Ладожского, Онежского ..., 1990). В настоящее время котловина озера расположена в районе соединения двух геологических структур. Северная часть Ладожского озера лежит на Балтийском кристаллическом щите, южная – на Русской платформе. Южная граница щита в ближайших к Ладоге районах проходит приблизительно по линии Выборг – Приозерск - исток р. Свири. Древние породы, слагающие Балтийский щит, выходят на дневную поверхность, будучи прикрыты местами лишь тонким слоем рыхлых осадков четвертичного времени. Среди архейских пород главное место в строении щита занимают различные граниты, мигматиты, гнейсы, кристаллические сланцы. К югу от Балтийского щита в районе Ладожского озера обнажаются раннекембрийские отложения Русской платформы. Кембрийская толща представлена двумя комплексами: валдайским, состоящим из пестрых песчаников и тонкослоистых сланцев, и балтийским, сложенным песчаниками, песками и пластическими синими глинами. Балтийский комплекс имеется только на юго-восточном побережье Ладоги. Толщина покрова рыхлых четвертичных отложений в приладожской части Русской платформы достигает десятков метров.

Различие в геологическом строении разных частей бассейна Ладожского озера отражается и на строении его озерной котловины. Рельеф дна северной части котловины повторяет рельеф прилегающей суши и состоит из глубоководных впадин, чередующихся с более мелководными участками. Преобладают глубины более 100 м. К западу от острова Валаам находится самое глубокое место озера (230 м),

в шхерном районе также есть впадины глубиной 150-220 м. В южной части озера дно более ровное, глубины постепенно уменьшаются от 100 м на севере до 10 м и менее на юге (рис. 4.25). Здесь много песчаных и каменных

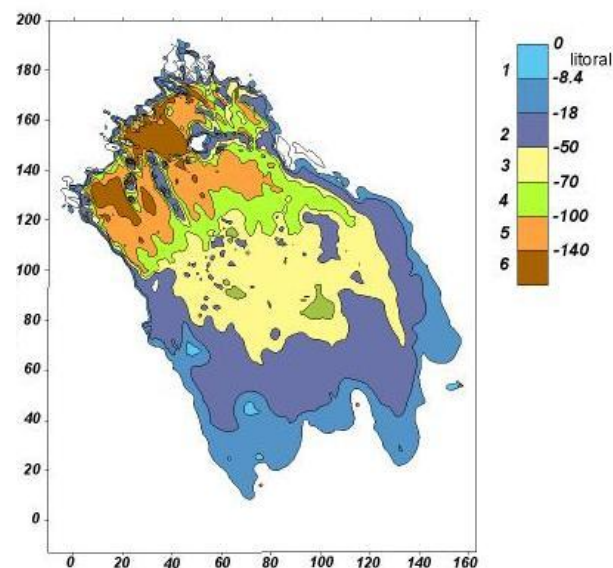


Рис. 4.25. Карта глубин Ладожского озера.
Источник: Науменко, 1995

кос и мелей, а также скоплений валунов на дне. Проведенное районирование глубин Ладожского озера позволило охарактеризовать особенности этих районов: 1 – мелководный район охватывает прибрежную зону, включающую в себя практически все мели, банки и при-островные мели, это самый большой по площади район (5550 км²), в котором сосредоточено тем не менее только 6% объема воды озера; 2 – переходный район (18-50 м) с большим уклоном дна по сравнению с первым районом и со значительно большим разгоном ветра, площадь его 4685 км² и здесь сосредоточено около 18% объема воды озера; 3 – район озерного уступа (50-70 м) имеет практически тот же самый уклон дна, что и мелководный, множество гряд пересекает этот район, площадь его 3797 км², и здесь сосредоточен наибольший объем вод по сравнению с другими районами озера – 27%; 4 – склоновый район (70-100 м) с увеличивающимся уклоном дна, площадь его 1746 км² и в нем сосредоточено 17% объема воды; 5 – глубоководный район (100-140 м) с большим уклоном дна, площадью равной 1521 км² и в котором сосредоточено 21% озерной воды; 6 – впадины (более 140 м) обособлены друг от друга и занимают небольшую площадь 568 км² и в которых сосредо-

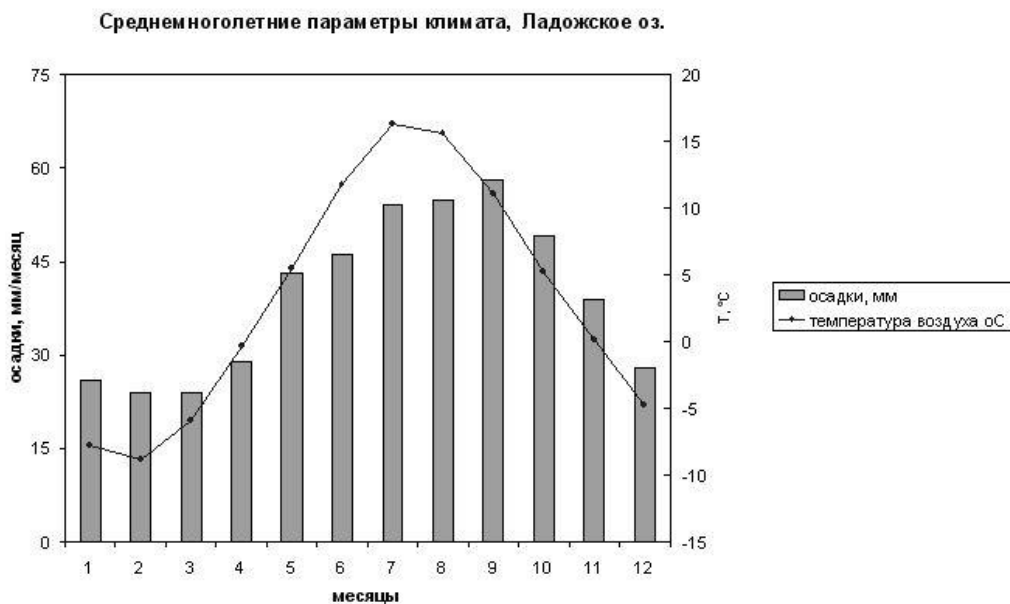


Рис. 4.26. Среднегодовое параметры температуры воздуха и осадков, ст. о-в Сухо.

точено 11% озерной воды (Науменко, Каретников, 2002). Сложная морфометрия озера обуславливает пространственно-временную неоднородность всех лимнических процессов.

На озере более 600 островов, к самым крупным из них относятся Риеккалансари (55.3 км²), Мантинсари (39.4 км²), Кильполе (32.1 км²), Тулолансари (30.3 км²) и Валаам (27.8 км²).

Северное положение озера определяет особенности его радиационного и термического режима, а также более высокую цветность и меньшую прозрачность воды по сравнению с другими великими озерами мира. Климат района формируется под влиянием морского воздуха из Атлантики, континентального из средних широт и периодических поступлений арктического воздуха (рис. 4.26). Весной в первую очередь прогреваются прибрежные районы, и на их границе с холодноводной центральной частью озера возникает термический бар, который постепенно перемещается все дальше от берегов. Разница температур по разные стороны термического бара иногда достигает 20° С. В конце июля - начале августа температура воды достигает максимальных величин 16-18°С, под слоем температурного скачка расположена холодная 4-градусная вода. Озеро димиктическое. Свободный ото льда период составляет 120-130 дней. Озеро полностью покрывается льдом в среднем около 15 февраля, а полностью очищается ото льда около 6 мая; раз в 4-5 лет его центральная часть не замерзает.

Средняя годовая амплитуда колебания уровня равна 69 см (крайние значения 21 и 126 см). Изменчивость сумм осадков из года в год довольно велика. При средней многолетней годовой сумме осадков 522 мм один раз в 20 лет осадки могут составлять 680 мм.

Природные условия сформировали экосистему озера с высоким качеством воды. В 1949 г. С.В. Гердом озеро было выделено в группу ультраолиготрофных озер с низкой биологической продуктивностью. Однако интенсивное хозяйственное освоение водосбора оказало негативное воздействие на озерную экосистему. В 1970-е годы началось бурное развитие промышленности и сельского хозяйства, в том числе строительство крупных животноводческих ферм. Многие предприятия строились по старым технологиям, а очистные сооружения не соответствовали экологическим нормам. Все это привело к резкому увеличению биогенной нагрузки на озеро, в результате чего концентрация общего фосфора увеличилась в среднем по озеру с 10 мкг/л (1959-1962 гг.) до 27 мкг/л 1976-1983 гг. (рис. 4.27). Концентрация минерального фосфора за этот период увеличилась с 3 мкг/л до 12 мкг/л. Концентрация общего фосфора возросла не так заметно — до 660 мкг/л против 450 мкг/л (Расплетина, 1992). Азот и фосфор являются наиболее важными элементами, влияющими на уровень развития биологических сообществ. Если в 1959-1962 гг. соотношение общего азота к общему фосфору составляло 45, то в

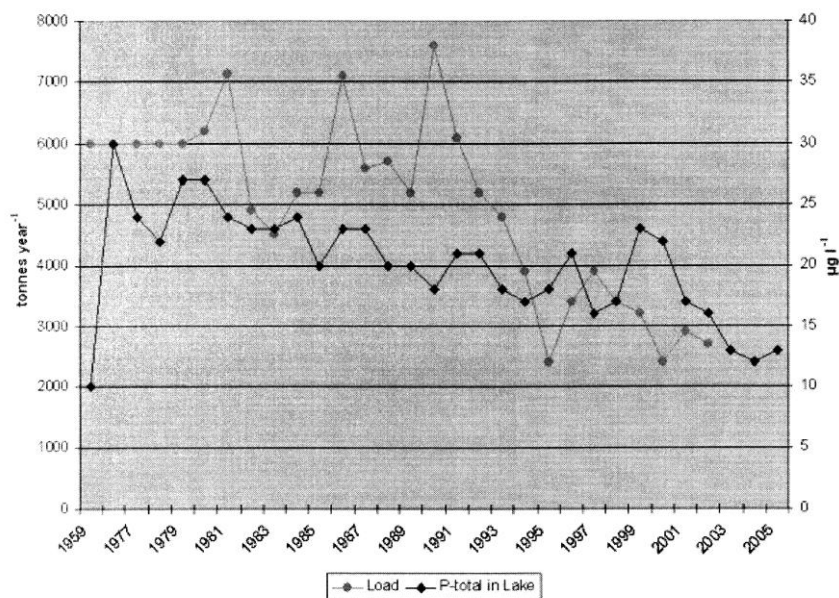


Рис. 4.27. Фосфорная нагрузка и концентрация общего фосфора в воде Ладожского озера. Источник: Viljanen et al., 2008

1976-1983 гг. оно упало до 24, а в Волховской губе даже до 12, что является четким показателем перехода озера в разряд мезотрофных, а в отдельных прибрежных районах даже эвтрофных (Расплетина, Сусарева, 2002). Немалую роль в увеличении концентрации фосфора в воде озера сыграл перевод Волховского алюминиевого завода на новое сырье – апатито-нефелиновые руды. В этот период средняя концентрация общего фосфора в р. Волхов (одном из основных притоков озера) увеличилась с 46 мкг/л (1959-1962гг.) до 230 мкг/л и выше. Для озера всегда была характерна низкая минерализация воды и превышение концентрации сульфатных ионов над хлоридными. В начале 1960-х годов средняя сумма ионов была около 55 мг/л, а к 1977-1981 гг. она повысилась до 62.9 мг/л.

Наиболее загрязненными участками озера стали Волховская губа из-за сильного загрязнения вод рек Волхов и Сясь промышленными стоками, Свирская губа, а также отдельные участки шхерного района, приуроченные к городам Питкяранта, Сортавала, Лахденпохья, где загрязнение происходило за счет деятельности целлюлозно-бумажных, деревообрабатывающих, пищевых, рыбообрабатывающих предприятий и поступления бытовых сточных вод (рис. 4.28).

Вслед за увеличением биогенной нагрузки на

озеро наблюдались значительные изменения в экосистеме озера. Наиболее важные из них: уменьшение концентрации кислорода в profundальной и ультрапроfundальной зонах, а также структурные и физиологические изменения биологических сообществ. В этот период изменился сезонный комплекс водорослей: виды олиготрофного озера дополнились видами эвтрофного. Это особенно четко проявлялось для летнего планктона, в котором при большом общем биоразнообразии начали резко преобладать синезеленые, а диатомовые почти полностью отсутствовали. Биомасса фитопланктона в этот период составляла 2-3 г/м³, что соответствовало мезотрофному озеру (Пырина, Трифонова, 1979). Изменения коснулись и зоопланктона. Резко сократилась численность крупных форм (в первую очередь *Limnocalanus macrurus*) и увеличилась численность коловраток и мелких ракообразных. Особенно четко это наблюдалось в бухте Петрокрепость и Волховской губе. Средний индивидуальный вес зоопланктона оказался в 4-5 раз меньше, чем был в 1940-х годах (Andronikova, 1996). В то же время средняя биомасса зоопланктона сохранилась в прежних пределах. Что касается макрозообентоса, то в ультрапроfundальной и profundальной зонах озера он не претерпел существенных количественных изменений. Однако в прибрежных районах произошло увеличение биомассы олигохет. Другим существенным изменением состава макрозообентоса

явилось почти полное исчезновение амфипод реликтового комплекса, таких как палласея и гаммаракантус. В этот период появились «мертвые зоны», обширные полисапробные зоны, особенно в районе городов Петрокрепость и Питкяранта (Слепухина, 1992). Максимальные концентрации хлорорганических соединений, 2-5 нг/л, были отмечены в районах впадения рек Волхов, Свирь, Вуокса.

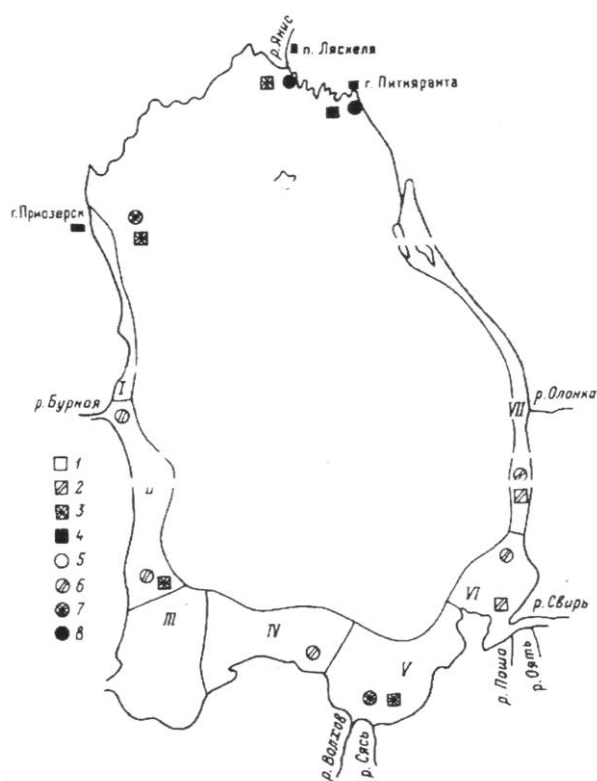


Рис. 4.28. Уровень загрязнения прибрежных районов Ладожского озера в период максимальной антропогенной нагрузки в середине 1980-х гг. Выделенные зоны: I – северо-западный берег; II – юго-западный берег; III – бухта Петрокрепость; IV – южный берег; V – Волховская губа; VI – Свирская губа; VII – восточный берег. Уровни загрязнения по степени антропогенной нагрузки: 1 – допустимое; 2 – среднее; 3 – сильное; 4 – критическое. Характеристика загрязнения по биологическим показателям: 5 – слабое; 6 – умеренное; 7 – сильное; 8 – критическое. Источник: Гусаков, Петрова, 1990.

Изменения затронули и такой элемент биоты, как рыбное население. В Ладоге резко сократилась численность рыб с длительным циклом (лосось, озерная форель, палия, озерно-речные и озерные сиги, судак и др.), что было обус-

ловлено несколькими факторами. Значительную роль сыграло нарушение естественного воспроизводства в реках в связи с гидростроительством, лесосплавом и в озерах из-за загрязнения нерестилищ стоками и сбросами предприятий. В Красную книгу России были внесены балтийский осетр, потерявший промысловое значение из-за гидростроительства на р. Волхов и неограниченного лова в прошлом, и волховский сиг. В составе рыбного населения увеличился удельный вес рыб с коротким жизненным циклом – это корюшка и ряпушка (Кудерский и др., 1997).

В 1983-1989 гг. наблюдалась некоторая стабилизация состояния озера, что было связано с перепрофилированием Приозерского целлюлозно-бумажного завода в 1987 г. и проведением технологических изменений на Волховском алюминиевом заводе. Концентрация общего фосфора несколько снизилась, и в среднем составила 22 мкг/л. В фитопланктоне началось заметное перераспределение ролей доминирующих видов в пользу форм олиготрофных озер (Петрова и др., 1992). Если в 1979-1983 гг. были выявлены наиболее характерные для процесса эвтрофирования представители родов *Microcystis* и *Oscillatoria*, то после 1983 г. снова стала преобладать *Aphanizomenon flos-aquae*.

С 1990 года началось резкое изменение социально-экономической обстановки на территории водосборного бассейна Ладожского озера. В конце 1990-х годов было сброшено сточных вод на 24% меньше, чем в 1992 г. В эти же годы на 51% уменьшилось водопотребление за счет сокращения потребностей промышленности, однако на муниципальные нужды оно увеличилось на 10 % (Smirnova, 1999). Наиболее существенные структурные изменения в сельском хозяйстве наблюдались в период 1990-1996 гг. В Ленинградской области площадь пашни сократилась на 6,8 тыс. га, наметилась устойчивая тенденция к сокращению поголовья скота, за рассматриваемый период оно уменьшилось на 50%. В этот период началось резкое снижение применения всех удобрений и пестицидов. По состоянию на 1996 г. опасность попадания в водоемы биогенных элементов, поступающих в почву с удобрениями, была практически снята. Токсическое загрязнение Ладожского озера также сократилось (Rumyantsev, Drabkova, 1997).

Изменения в промышленности и сельском хо-

зьястве на водосборе озера отразились, как и следовало ожидать, на внешней нагрузке. Так, поступление фосфора в озеро с водой рек в 1976-1982 гг. составляло 6-7 тыс. т/год, а в 1992-2005 гг. оно снизилось до 2.5 тыс. т/год. Одновременно с сокращением фосфорной нагрузки на озеро отмечалось уменьшение содержания общего фосфора в его воде. В 2003-2004 годах отмечались минимальные концентрации общего фосфора – 13 мкг/л (рис. 4.27). Концентрация общего азота практически не изменялась. Однако благодаря снижению общего фосфора, отношение общего азота к общему фосфору возросло до 34-36 в 1990-х годах, что характерно для мезотрофных озер, а в 2003-2005 гг. до 40-42, что уже характерно для слабomezотрофных озер.

Современное состояние гидробиологических сообществ озера остается довольно стабильным, несмотря на четкий тренд снижения антропогенной нагрузки. Количественные характеристики фитопланктона (биомасса 1.1-1.8 г/м³, хлорофилл «а» - 4.8-8.5 мг/м³) характеризуют озеро как мезотрофное и были на том же уровне, что и в 1970-х годах (Летанская, 2003). Что касается видового состава фитопланктона, то в настоящее время он близок к тому, что было получено в начале XX века, однако численность доминирующих видов изменилась. В настоящее время по биомассе доминируют синезеленые и криптонады, которые составляют 62-85 % от общей численности.

Высшая водная растительность в озере представлена 108 видами. Ведущую роль в зарастании играет тростник обыкновенный. Растения с плавающими листьями занимают небольшую площадь, а на значительной части литорали распространены группировки погруженного рдеста пронзеннолистного. Общая площадь зарослей близка к 13.43 тыс. га (4.8% площади литорали).

Численность и биомасса зоопланктона в верхнем слое воды 0-10 м соответствует слабomezотрофному уровню трофии при олиготрофном характере гипolimниона. В настоящее время из-за уменьшения численности каланоидов количественные показатели зоопланктона в слое 0-10 м по сравнению с 1970-ми годами несколько уменьшились: биомасса от 930-1171 до 600 мг/м³, численность от 89.8-66.9 тыс. экз./м³ до 53.3 тыс. экз./м³. Сопоставление данных по зоопланктону за 30-летний период

(1970-е – начало 2000-х гг.) показало, что биомасса зоопланктона в слое воды 0-70 м остается низкой и стабильной на протяжении всего этого периода (Andronikova, 1996, Авинский, 2002).

Донные биоценозы являются хорошим индикатором экологического состояния озер. О некотором улучшении состояния Ладожского озера говорит тот факт, что с середины 1990-х г. Стали вновь встречаться реликтовые виды, причем довольно часто. В последние годы в самых глубоководных районах только в конце 1990-х г. начали сказываться последствия антропогенного воздействия. Здесь все большее значение приобретают альфа-мезосапробные олигохеты (Барбашова, Слепухина, 2002).

Несмотря на снижение антропогенного воздействия и уменьшение концентрации фосфора в воде озера, стабильность количественного развития биологических сообществ можно объяснить инертностью внутренних озерных процессов, ввиду огромных размеров и пространственной неоднородности озера.

В настоящее время в центральной части озера экологическая ситуация складывается вполне благоприятная, однако сложившиеся в 1970-е годы прибрежные загрязняемые зоны сохраняются до сих пор. Общая площадь этих зон составляет 460 км² или 2.6% акватории озера (Зозуля и др., 1990). В районе сброса сточных вод Сясьского ЦБК в Волховской губе отмечаются «мертвые зоны». На неблагоприятную ситуацию в отдельных заливах озера указывают данные по биотестированию. В районе г. Питкяранта, Сортавальских шхер, Якимварском заливе и в устье р. Сясь пробы воды обладали острой токсичностью, здесь гибель дафний в течение 96 часов достигала 50-60%.

То, что озеро все еще продолжает испытывать антропогенное воздействие подтверждают данные по прозрачности воды (по диску Секки). В 1900-1960 гг. максимальная прозрачность воды достигала 6.0-6.5 м, в последние же годы лишь в отдельных районах максимальная прозрачность составляла 5.5 м, а в Волховском заливе - 1.9 м. Среднеголетние величины прозрачности воды, охватывающие всю акваторию озера, имеют хорошо выраженный тренд снижения этих величин (Naumenko, 2008). Продолжает возрастать, хотя и не так заметно как в середине прошлого века, общая минерализация воды. В среднем за период 1991-1998 гг. она составила 63.7 мг/л против

62.9 мг/л в среднем за 1977-1981 гг. (Расплетина и др., 2002).

Ладожское озеро располагает крупными рыбными запасами. Однако, несмотря на общее улучшение экологического состояния озера, после 1991 г. в нем наблюдается значительное сокращение общих уловов рыбы. Так, в 1996-2000 гг. средний улов рыбы составил 2.6 тыс.т, тогда как в 1986-1990 гг. - 6.1 тыс.т (Кудерский и др., 2000). Однако пока неясно, в какой мере это снижение вылова связано с колебаниями запасов промысловых рыб и в какой с таким явлением, как неполное отражение фактически полученных уловов в статистической отчетности.

Таким образом, к концу XX века в Ладожском озере произошли крупные экологические преобразования. Для решения непростых природоохранных проблем, накопившихся в озере и его бассейне, необходимо создание правовой базы по охране и восстановлению озерной экосистемы. Существующие общероссийские законы о природоохранной деятельности носят слишком общий характер и не отражают специфику озерных процессов и проблем, сложившихся в Ладожском озере. Разработка экологических мер, ограничивающих антропогенное воздействие на озеро, позволит улучшить среду обитания, комфортность и здоровье населения, проживающего в бассейне озера. Это особенно важно, поскольку озеро используется в качестве источника питьевой воды, и в первую очередь населением многомиллионного г. Санкт-Петербурга.

4.11. ОНЕЖСКОЕ ОЗЕРО

Онежское озеро является вторым по величине озером Европы после Ладожского озера (табл. 4.4). Его координаты 60°55' - 62°55' с.ш., 34°14' - 36°30' в.д. Административно акватория принадлежит трем субъектам Российской Федерации – Республике Карелии (86.1%), Вологодской области (12.3%) и Ленинградской области (1.6%). Озеро издавна имеет многоплановое хозяйственное использование: промышленное, рыбохозяйственное, энергетическое, как источник водоснабжения и приемник сточных, ливневых и дренажных вод, рекреационное и т.д. Онежское озеро является важным водотранспортным узлом, связывающим бассейны Белого, Балтийского, Каспийского, Азовского и Черного морей. Плотность судоходных линий –

0.2 км/км², выше, чем в Ладожском озере. Руслу рек Повенчанка и Вытегра обустроены в каналы (Беломоро-Балтийский и Волго- Балт).

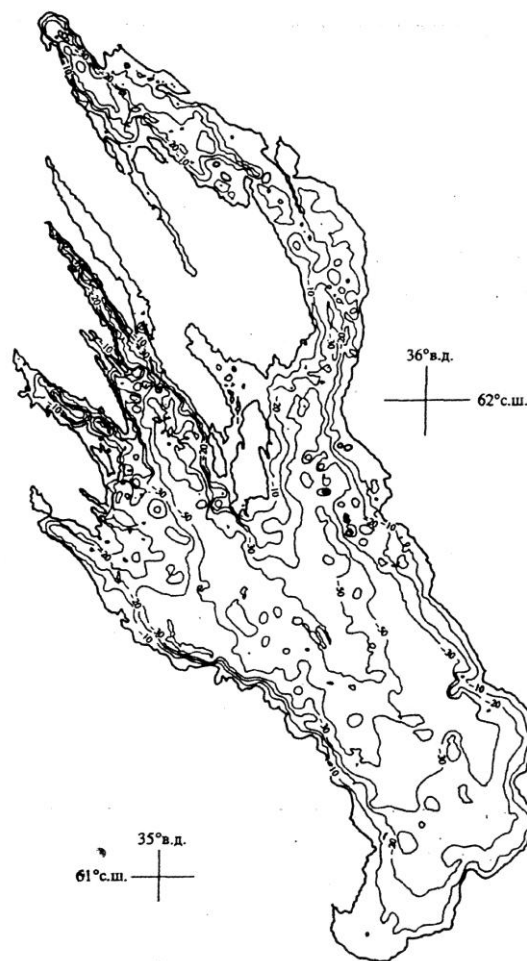


Рис. 4.29. Распределение глубин Онежского озера. Источник: Науменко, 2000

Котловина Онежского озера – доледниковая тектоническая впадина, расположенная в краевой части Балтийского щита, на стыке с Русской плитой. Она представляет собой сочетание двух блоков земной коры, имеющих разную геологическую историю. Формирование северной части котловины происходило в условиях преобладающих поднятий, южной – на фоне преобладающих погружений. Эти противонаправленные тектонические движения наблюдаются и в настоящее время. Северная часть котловины сложена кристаллическими породами (граниты, гнейсы). К югу от Петрозаводска эти породы сменяются кварцевыми и слюдяными песчаниками, песчано-глинистыми сланцами и конгломератами. Береговая линия северной части чрезвычайно из-

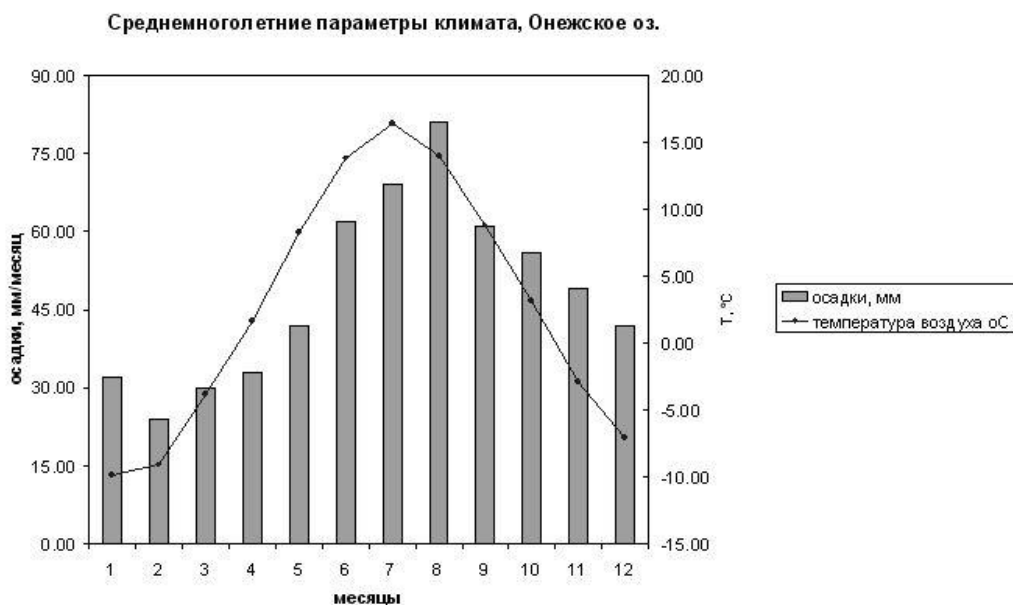


Рис. 4.30. Среднемесячные параметры температуры воздуха и осадков, ст. Петрозаводск.

резана, имеет большое количество островов и многочисленные фьорды. Северный бассейн окружен холмами и скалами. Здесь формы рельефа сориентированы с СЗ на ЮВ, следуя направлению движения ледника в гляциальный период. Береговая линия южного бассейна менее изрезана, побережье низменное и часто покрыто болотом. В половодье берега заливаются. Различия в геологическом строении котловины и водосбора Онежского озера отражаются на морфометрии и химии его вод.

Морфометрия озера крайне сложная (рис. 4.29). Северная часть озера характеризуется ультра-сложным рельефом, глубокие впадины (90-100 м) сочетаются с грядовыми возвышенностями, глубины над которыми составляют всего 1-1.5 м. Южная часть имеет сравнительно ровное дно с обширным плато на глубинах 50-60 м. Постепенно глубины уменьшаются к югу. В целом для озера преобладают глубины от 20 до 60 м, на долю которых приходится 57% площади озера. Наибольшая часть объема — 85.5% заключена на участках с глубинами до 40 м. После строительства Верхне-Свирской ГЭС уровень озера поднялся на 30 см по сравнению с естественным. Диапазон ежегодных колебаний уровня - 0.65 м.

Общее число островов на озере составляет 1369, из которых наиболее крупными являются Клименецкий, Леликовский, Суйсари. На одном из островов находится всемирно извест-

ный ансамбль Кижи.

Водосбор озера расположен в пределах среднейтайги. По сравнению с бассейном Ладожского озера климат региона носит более выраженные черты континентальности, годовые температуры несколько ниже (рис. 4.30). Онежское озеро относится к холодноводным водоемам со слабым водообменом (12.5 лет). Озеро димиктическое (полное перемешивание весной и осенью). В самые теплые месяцы июнь-август среднемесячная температура в эпилимнионе составляет 14.3-19.0°C. Профундаль заполнена мощным слоем холодного гипolimниона с температурой воды круглый год близкой к 4°C. Перенос тепла по вертикали осуществляется только за счет ветрового перемешивания, действие которого распространяется обычно до глубины 20-25 м. В силу позднего и неполного по акватории замерзания, охлаждение всей массы воды в озере продолжается всю зиму и в суровые годы температура воды может понизиться до 2-1°C. Период ледостава по многолетним данным продолжается с 18 января по 18 мая. Фронт термобара обычно возникает за 3-5 суток до полного исчезновения льда в озере при переходе температуры воды через 4°C. Термобар делит озеро на две динамические области: стратифицированную и гомотермическую (Тихомиров, 1982). Термический бар в озере исчезает в третьей декаде июня.

В озеро впадает 1152 реки, из которых лишь 52

имеют длину более 10 км. Основные водотоки бассейна – реки Водла, Шуя, Суна, сток которых составляет около 60% от общего притока в озеро

Ресурсы речного стока в пределах Карелии оценены в 14.1 км³ в средний по водности год (около 80% от общего стока в озеро) (Литвиненко и др., 1998). Площадь водосбора лишь в 5.8 раз больше площади самого озера. Природные ландшафты составляют 98% всей площади водосбора, где 71.5% представлены лесами (ель, береза, сосна, осина) и 19.1% - болотами. Сельскохозяйственные земли составляют лишь 1%, а земли населенных пунктов - 0.4%. Население – 499 тыс. чел.

По химическому составу воды Онежское озеро можно назвать уникальным водоемом, оно является одним из наименее минерализованных озер Мира. Общая минерализация воды в его различных частях составляет 39-46 мг/л. За последние 40-50 лет интенсивно выросло антропогенное воздействие на экосистему озера. Наибольший пресс испытывают его северо-западная и северная части, где расположены Петрозаводский, Кондопожский и Медвежьегорский промышленные центры (рис. 4.31) Здесь сосредоточено 80% населения и более 90% промышленного потенциала бассейна. Объем техногенных стоков в бассейне Онежского озера составляет около 315 млн м³ в год, из них 46% приходится на производственно-хозяйственные стоки, 25% - ливневый сток и 16% - дренажно - мелиоративные воды. Поступление в озеро биогенных элементов значительно превышает сток их из озера. Современная биогенная нагрузка характеризуется поступлением общего фосфора – 810 т, общего азота – 17.0 тыс. т в год, а из озера с водами р. Свирь выносятся 280 т фосфора и 11800 т азота, то есть аккумулируется в озере 68% фосфора и 31% азота. В отличие от Ладожского озера, в котором из-за интенсивной циркуляции водных масс и менее сложной морфометрии поступающие биогенные элементы распространяются по всей акватории озера, в Онежском озере поступающие с притоками, хозяйственно-бытовыми и промышленными стоками биогенные элементы аккумулируются в основном в отдельных районах (заливы, губы, прибрежные участки). Это является причиной того, что основная водная масса озера в настоящее время все еще характеризуется невысоким содержанием биогенных элементов и сохраняет свой

олиготрофный статус (Сабылина, 1999). В настоящее время кислородный режим открытого Онега сохраняет все черты, свойственные малопродуктивным холодноводным водоемам. Воды здесь слабо окрашены (20-30 град.). Средняя концентрация кислорода составляет 11.0 мг/л (95% насыщения), что не ниже, чем в 1980-е годы (Пирожкова, 1990). Перманганатная окисляемость воды приблизительно равна 6 мгО/л. Содержание общего фосфора не превышает 10-12 мкг/л, а общего азота - 650-720 мкг/л. Прозрачность воды – 3.5-3.7 м по диску Секки.

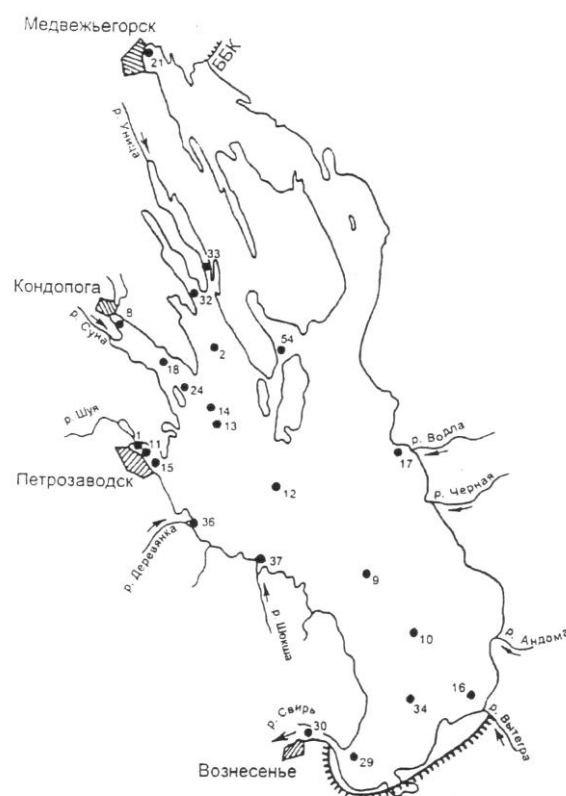


Рис. 4.31. Источники загрязнения Онежского озера. Источник: Сабылина, 1999.

Одним из наиболее загрязненных участков озера является Кондопожская губа. Химический состав ее воды под влиянием сбрасываемых в течение 50 лет сточных вод Кондопожского ЦБК, в том числе 40 лет без очистных сооружений, существенно изменился. За последние 10-15 лет загрязнение воды в губе специфическими химическими веществами уменьшилось, в тоже время заметно усилилось эвтрофирование, обусловленное резким возрастанием выноса со сточными водами общего фосфора (в 3-6 раз) и азота (в 15-30 раз). На удалении 10 км от места рассеивающего

выпуска сточных вод, оголовков которого расположен на глубине 5-7 м, заметна дифференциация потока. В поверхностном слое воды влияние сточных вод не прослеживается: практически все химические показатели близки к характерным для вод Онежского озера, тогда как с 20-метровой изобаты отмечается увеличение значений всех параметров с максимумом в 30-метровом горизонте, где концентрация лигносульфонатов возросла в 61 раз, общего фосфора было в 2-3 раза выше, а насыщение кислородом на 30-40% ниже, чем в поверхностном и придонном слоях. По многолетним данным, полученным в 1989-1997 гг., химический состав воды Кондопожской губы характеризуется следующими среднегодовыми показателями: перманганатная окисляемость – 9.2 мг О/л, насыщение воды кислородом – 85%, содержание общего фосфора – 18 мкг/л, общего азота -750 мкг/л.

Основным источником поступления органических, взвешенных и загрязняющих веществ в Центральное Онего является Петрозаводский промцентр, расположенный на побережье Петрозаводской губы, которая испытывает еще большую антропогенную и природную нагрузку, чем Кондопожская губа. По объему сброса сточных вод Петрозаводский и Кондопожский промцентры приблизительно равны, однако со сточными водами в целом в Петрозаводскую губу поступает общего фосфора и азота соответственно в 2.0 и 6.4 раза больше, чем в Кондопожскую. Поскольку Петрозаводская губа выделяется высокой проточностью и открытостью, на нее оказывают благоприятное влияние озерные воды высокого качества. Основные изменения в Петрозаводской губе коснулись биогенных элементов, особенно общего фосфора. Так, в вершинной части губы в 1960-1970 гг. его концентрация составляла 22 мкг/л, в 1988-1996 гг. -31 мкг/л, а во внешней части - соответственно 10 и 15 мкг/л (Сабылина, 1999, Сабылина, Мартынова, 2003).

Воды Центрального, Большого и Малого Онего, Повенецкого залива сохранили до настоящего времени олиготрофный характер и достаточно высокое качество. В губах развитие эвтрофирования идет быстрее, что подтверждается данными гидробиологических исследований. Фитопланктон Онежского озера, в основе своей представленный типичной североальпийской флорой, отличается большим видовым разнообразием, обычным в глубоководных олиготрофных озерах. Руководящим

комплексом водорослей являются диатомовые, постоянные доминанты онежских вод (Вислянская, 1990,1999, Петрова, 1990). Весной фитопланктон был представлен в основном *Melosira islandica*, *M.italica*, *M. distans* var. *alpigena*, *Asterionella formosa*, *Tabellaria fenestrata*. В летний период встречались золотистые - *Dinobryon divergens*, *D. Bawaricum*, синезеленые - *Sphaerocystis schroeteri*. В последние годы увеличивается роль *Aulacosira islandica subsp. helvetica*, максимальные количественные показатели которой были отмечены в июне 1993 г. в Кондопожской губе, где ее численность стала в шесть раз превышать ее максимум в более ранние годы. Наименьшая биомасса фитопланктона отмечается в Большом Онего – 0.80-2.37 (1.3) г/м³. В Кондопожской губе биомасса фитопланктона составляла 0.54-17.9 (4.4) г/м³, в Петрозаводской губе -0.19-9.32 (2.3) г/м³ (Вислянская, 1999). Концентрация хлорофилла «а» и интенсивность первичной продукции также указывают на развитие процессов эвтрофирования в губах озера. Концентрация хлорофилла «а» в июне-августе на поверхности в центральных районах озера составляет 1.4-5.8 мг/м³. В то же время в Кондопожской губе на поверхности в 2-х км от выпуска - 16.0 мг/м³. Первичная продукция в открытом районе равна 112 мг С/м² в сутки, а в вершине Кондопожской губы – до 395 мг С/м² в сутки (данные 1993).

Высшая водная растительность озера представлена воздушно-водными растениями – тростник, камыш озерный, хвощ речной; растениями с плавающими листьями – кубышка, горец земноводный; погруженными растениями – рдесты, шелковник. В Кондопожской губе в районе поступления стоков ЦБК исчезают заросли тростника и появляются растения с плавающими листьями, более устойчивые к загрязнению (Клюкина, 1986).

Лимническая неоднородность Онежского озера обеспечивает специфику распределения зоопланктона по его акватории. По видовому составу он довольно однороден, отличаясь большим разнообразием за счет литорального комплекса в губах. Доминирующий комплекс в озере представлен небольшим числом видов, которые составляют основу биомассы сообщества. Максимум биомассы в августе создавали ветвистоусые рачки – самый массовый вид летнего планктона *Daphnia cristata* и *Bosmina obt. lacustris*, из веслоногих рачков - *Eudiaptomus gracilis* и мелкие циклопы

Mesocyclops leuckarti, *M. oithonoides*, а на глубоководных участках - *Limnocalanus grimaldii macrurus*. Осенью и весной в сообществе увеличивается роль коловраток. Биомасса в среднем за вегетационный сезон колебалась в губах от 0.1 до 0.33 г/м³, достигая максимальной величины (1.2 г/м³) в верхней части Кондопожской губы. В глубоководных районах Большого Онего эти величины не превышали 0.05-0.07 г/м³. Летняя биомасса в разные годы в заливе Большое Онего составляла 0.1-0.2, в Петрозаводской губе - 0.3-0.6, а в Кондопожской губе - 1.3-3.5 г/м³ (Куликова, Сярки, 1999).

Современное состояние донных биоценозов сложилось в результате длительного взаимодействия естественных и антропогенных факторов, что обуславливает неравномерное распределение донного населения в озере. Наибольшее их количество сосредоточено в прибрежном мелководье. По мере увеличения глубины количество видов и плотность животных снижается и соответственно упрощается структура ценозов (Полякова, 1999). В профундальной зоне Центрального плеса и Большого Онего макрозообентос представлен традиционно бедным комплексом беспозвоночных. В него входят реликтовые ракообразные (*Pontoporeia affinis*, *Pallasea quadrispinosa*, *Mysis relicta* и крайне редко *Gammaracanthus lacustris*), олигохеты, в небольшом количестве двустворчатые моллюски и хирономиды (*Trissocladius parataticus*, *Paracladopelma camplolabis*, *Lauterbornia coracina*, *Protanypus*). Более 90% биомассы животных приходится на амфипод и олигохет. Количественные показатели бентоса в этом районе возросли по сравнению с 1977-1979 гг., когда их численность и биомасса не превышали соответственно 0.6 тыс. экз./м² и 1.3 г/м², но уже в 1989-1993 гг. средняя биомасса за сезон не опускалась ниже 3 г/м². Значительно более высокими величинами донное население характеризуется в загрязняемых губах Петрозаводской и Кондопожской. В современных условиях донные сообщества Петрозаводской губы выделяются максимальными для озера величинами численности и биомассы, которые в центральной части губы в 1988-1993 гг. составляли, соответственно, 8.3 тыс. экз./м² и 24.2 г/м², в последующие годы такие высокие показатели не регистрировались. Поступление неочищенных сточных вод ЦБК в Кондопожскую губу привело к покрытию отходами

значительных площадей дна. Этот участок на протяжении длительного периода остается «мертвой» зоной для бентоса. На участках, где неблагоприятные воздействия на бионтов несколько ослаблены, создаются условия для массового развития тубифицид, личинок хирономид и прокладиус. В 1995 г. здесь максимальные количественные значения бентоса составляли: биомасса - 14.6 г/м², численность - 11.0 тыс. экз./м².

Изменения экологической ситуации в озере затронули рыбное население. Как и в Ладожском озере, резко сократилась численность рыб с длительным жизненным циклом (лосось, озерная форель, паляя, сиги, судак и др.). В составе рыбного населения увеличился удельный вес рыб с коротким жизненным циклом - корюшки и ряпушки. Улов этих рыб сейчас составляет 80.9% общего вылова. В 1990 г. рыбы было выловлено 2.1 тыс. т в год.

Антропогенное влияние на озеро четко отразилось на составе донных отложений. В илах северной части центрального района озера, Петрозаводской губы, в районе Большого Онего увеличилось содержание органического вещества, фосфора (общего, минерального), азота, произошли изменения в диатомовом комплексе. Донные отложения Кондопожской губы в настоящее время загрязнены практически по всей акватории. Анаэробные процессы, происходящие в толще отложений губы, создают условия для вторичного загрязнения.

Несмотря на высокое качество воды Онежского озера, вызывают тревогу некоторые заливы, подвергающиеся антропогенному воздействию. Контроль за рациональным использованием озера и его охраной осуществляется Комитетом охраны окружающей среды Республики Карелия. Кроме того, на озере ведется мониторинг состояния его экосистемы.

4.12. ОЗЕРО САЙМА

Озеро Сайма расположено в юго-восточной Финляндии и является самым большим и самым сложным озером в стране (табл. 4.4). Его координаты - 61°03'-62°37' с.ш. и 27°16'-30°10' в.д. Происхождение озера - ледниково-тектоническое. Оз. Сайма представляет собой огромную систему соединенных между собой протоками вытянутых озер. Из-за чрезвычайной изрезанности берегов оно отличается

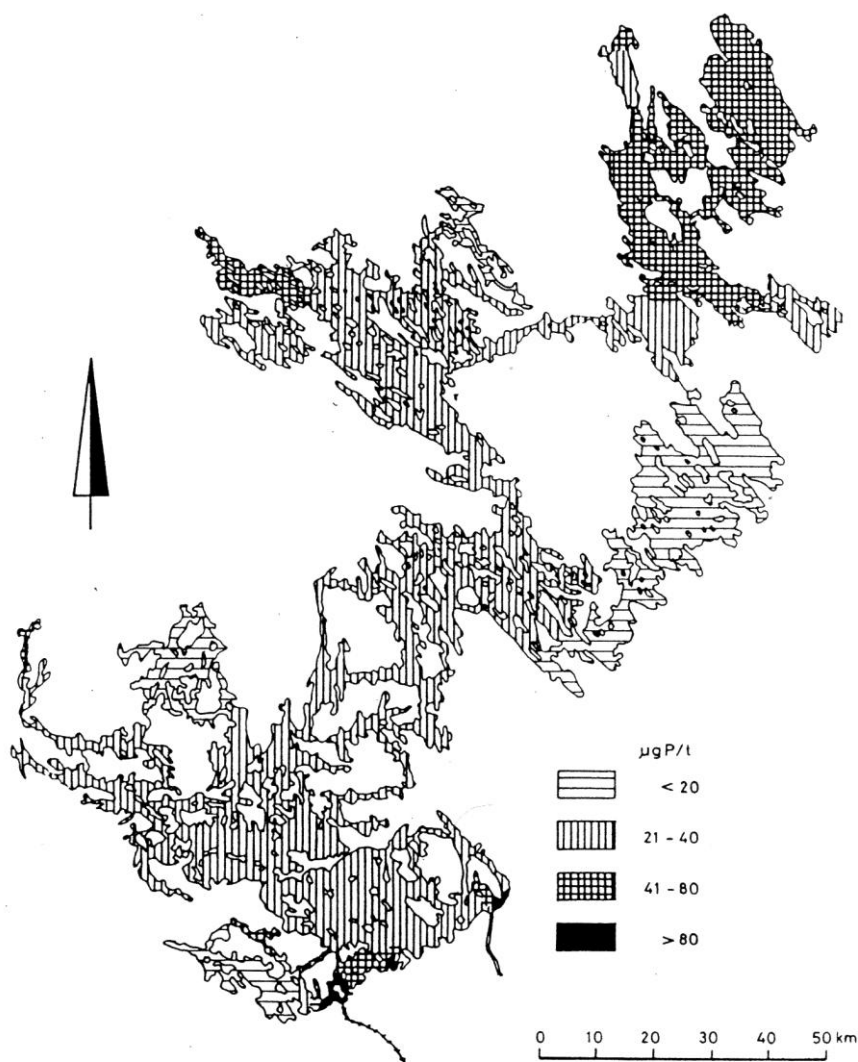


Рис. 4.32. Распределение концентрации общего фосфора в воде о. Сайма. Источник: Каурри et al., 1983.

огромной длиной береговой линии – 14850 км. На озере много островов - около 13710, на многих из них есть постоянные поселения. Из наиболее крупных островов следует выделить следующие: Хуриссало (Hurissalo) площадью 174 км², Парталансаари (Partalansaari) площадью 170 км², Вильякансаари (Viljakansaari) площадью 115 км² (рис. 4.32). Озеро расположено на Балтийском кристаллическом щите, на его побережье преобладают скалы, камни и небольшие глинистые и иловые участки.

Максимальная глубина озера, 85.3 м, была определена для периода 1961-1990 гг. Некоторые озера, которые входят в систему озера Сайма, достаточно глубокие и их максимальные глубины составляют в оз. Паасивеси (Paasivesi) – 74 м, в оз. Петранселка (Petranselka) – 72 м, оз. Луотери (Luoteri) – 70 м, оз. Пихаселка

(Pyhaselka) – 68 м, оз. Салонселка (Salonselka) – 67 м. Однако территория всего озера с глубинами более 50 м занимает небольшую площадь – всего 2500 га (0.5 % от общей площади).

Сток из озера осуществляется через р. Вуокса (площадь ее водосбора 65500 км², шестая часть которого находится на территории России), впадающую в Ладожское озеро. Из-за строительства плотин ГЭС на р. Вуоксе, оз. Сайма зарегулировано. В настоящее время колебания уровня озера составляет 70 см. Воды оз. Сайма поступают также в Выборгский залив Балтийского моря через Сайминский канал, который был построен в 1850 г. В настоящее время его длина составляет 45 км (почти половина в России), перепад высот в 76 м преодолевается с помощью 8 шлюзов. Безопасная скорость потока в канале - 40 м³/сек.,

хоть она может достигать 250 м³/сек. Средний сток из озера составляет 596 м³ в секунду (пределы колебаний 1150-56 м³/сек.) (Saimaa..., 1999).

Температурный режим озера достаточно своеобразен, что связано с его большой площадью, вытянутой с севера на юг, и многочисленными заливами. После вскрытия на озере формируется термический бар, то-есть температурный фронт с температурой воды 4°C от поверхности до дна. Такой барьер может существовать две-три недели, деля озеро на две части: теплоактивную с температурой до 15°C и теплоинертную с температурой в открытом озере до 2°C. Средняя температура для эпилимниона всего озера достигает максимальных значений около 10 августа. На глубине 60-80 м максимальная температура 8-10°C отмечена только в октябре. По многолетним данным в среднем озеро замерзает 15 декабря, а освобождается ото льда 2 мая (пределы 5 апреля-27 мая). Озеро димиктическое.

Озеро характеризуется повышенным уровнем антропогенного воздействия. Изменения качества его воды обусловлены сбросами сточных вод, осуществляемыми пятью заводами по выпуску целлюлозы, бумаги и картона, примерно таким же числом деревообрабатывающих предприятий (включая производство фанеры), металлургическим, химическими (четыре), горнодобывающими (два) производствами, пищевыми предприятиями. В озерной системе интенсивно развито судоходство (плотность судоходных линий – 0.1 км/км²), обеспечивающее, в частности, транспортировку больших объемов древесины. В оз Сайма также сбрасываются сточные воды расположенных здесь городов (Йоенсуу, Савонлинна, Варкаус, Миккели, Лаппеенранта и др.) и населенных пунктов. Наиболее загрязненными районами озера являются южный, северный и северо-западный. Со сточными водами поступает широкий спектр загрязняющих компонентов, включая органические вещества, минеральные кислоты и щелочи, формалин, метанол и др. Существенное значение имеет поступление фосфора, вызывающего процессы эвтрофирования. В начале 1980-х годов концентрация общего фосфора в наиболее загрязняемом южном районе достигала 80 мкг/л и выше, в других загрязняемых районах на севере и северо-западе – 41-80 мкг/л, а в относительно чистых – менее 20 мкг/л (Kauppi et al., 1985). В 1992-1995 гг. сброс

загрязняющих веществ сократился за счет перехода на новые методы очистки стоков и повторного использования технологической воды. Так, в южную часть озера максимальное поступление общего фосфора в 1988 г. составляло 490 кг Р в день, а в 1996 г оно уже не превышало 100 кг Р в день. Точно также изменялось поступление общего азота за этот период – от 2800 до 150 кг в день (Laine, 1997).

В настоящее время установлено, что на 61.5% площади озера качество воды очень хорошее, на 31.6% - хорошее, на 6.2% - удовлетворительное и только на 0.5% - плохое. Вода плохого качества находится на территории 2500 га, из них 26 га около промышленных районов (район городов Kaukas и Kaukoraа), где качество воды оценивается как очень плохое (Saimaa... 1999). В открытой части озера (Большая Сайма) качество воды оценивается как хорошее и даже очень хорошее: перманганатная окисляемость составляет 6.5-7.1 мгО/л, насыщение воды кислородом – 80-90%, концентрация общего фосфора 8-12 мкг/л, концентрация общего азота 459-500 мкг/л. В 1990-е годы в некоторых южных районах, где качество воды ранее оценивалось как плохое, воды перешли в разряд удовлетворительных, перманганатная окисляемость уменьшилась с 16 до 10.7 мгО/л, концентрация общего фосфора – с 68 до 36 мкг/л, насыщение воды кислородом увеличилось с 50 до 60% (Saukkonen, 1997). Значительно улучшилось экологическое состояние озер Пюхаселка (Pyhaselka) и Хаукивеси (Haukivesi) – двух крупных озер на севере Саймы. В начале 1980-х концентрация общего фосфора в оз. Пюхасерка составляла 41-80 мкг/л, а в 1992 г. - 11-20 мкг/л, в настоящее время прозрачность его воды -1.6-2.4, концентрация общего азота – 394- 533 мкг/л, и качество его воды оценивают как хорошее, за исключением районов около крупных городов (например, г. Йоенсуу). То же самое наблюдается в оз. Хаукивеси, в котором за этот же промежуток времени концентрация фосфора уменьшилась с 21-40 мкг/л до 8-34 мкг/л, качество воды озера оценивают даже как очень хорошее, за исключением района, примыкающего к промышленному центру Варкаус (Varkaus) (Karjalainen et. al., 1996).

В районах, не испытывающих антропогенное влияние, биомасса фитопланктона колеблется в пределах от 0.12 до 0.66 (среднее 0.31) мг/л, а концентрация хлорофилла «а» -1.0-3.5 (среднее 2.0) мкг/л. Эти показатели, как и показатели по

биогенным элементом, характеризуют основной район озера как олиготрофный. В районах, находящихся вблизи промышленных центров, биомасса фитопланктона увеличивается до 1-3 мг/л, в отдельных районах даже до 10 мг/л. Содержание хлорофилла «а» увеличивается до 4.5 и даже 6 мкг/л (Holopainen et al., 1993, Saimaa..., 1999). Эти районы приближаются к эвтрофному типу. В различных районах озера в основном доминируют зеленые и криптофитовые водоросли. Из синезеленых наиболее часто в загрязненных участках озера встречается *Aphanizomenon*, который иногда обнаруживается и в более благополучных районах. Кроме того, из синезеленых встречаются *Anabaena*, *Woronichinia*, *Microcystis*. Тем не менее, количественные показатели синезеленых невелики, и даже когда они находятся в максимуме их доля в общей биомассе водорослей не превышает пятую часть. Золотистые водоросли типичны для участков озера, не подвергающихся загрязнению, тогда как в загрязненных участках обычной является диатомовая водоросль *Asterionella*. Из динофлагеллят наиболее часто встречаются *Peridinium* и *Ceratium* (Saimaa..., 1999).

Поскольку берега озера в основном каменистые и песчаные, районов занятых высшей водной растительности мало, они расположены в основном в защищенных заливах, где встречаются кубышка, тростник, пузырчатка, осока, уруть.

В оз. Сайма идентифицировано около двух сотен видов зоопланктона, включая 60 видов коловраток, 20 – клadoцер, 15 – копепод. Наиболее подробно зоопланктон изучался на озерах Пюхаселка и Хаукивеси. На большей части этих озер доминировали *Daphnia cristata*, *Eudiaptomus gracilis*, *Eudiaptomus graciloides*, *Bosmina longispina* и *B. coregoni*, а в тех районах, которые подвергались значительному антропогенному влиянию со стороны городов Йоенсуу и Варкаус доминировали *Mesocyclops*, *Thermocyclops*, *Bosmina*, *Rotatoria*. Виды *Eurytemora lacustris*, *Limnocalanus macrurus* и *Heterocope appendiculata* в основном обитают в пелагической зоне. Общая биомасса зоопланктона в открытой воде оз. Пюхаселка составляла 7-9 г/м², а в оз. Хаукивеси немногим больше.

Бентосные организмы в основном представлены гастроподами, двусторчатками моллюсками, олигохетами, хирономидами и ракооб-

разными. Реликтовые амфиподы *Pallasea quadrispinosa* и *Monoporeia affinis* обитают в глубоководных и холодноводных районах. Наибольшая плотность зоопланктона в прибрежных районах на глубине 1-3 м в зарослях высшей водной растительности.

В настоящее время в оз. Сайма, также как в Ладожском и Онежском озерах, резко сократилась численность рыб с длительным жизненным циклом (лосось, озерная форель, паляя, сиги, судак и др.), что обусловлено гидростроительством и загрязнением нерестилищ стоками предприятий. В составе рыбного населения увеличился удельный вес рыб с коротким жизненным циклом. В первую очередь это ряпушка – наиболее ценный вид для коммерческого рыболовства в оз. Сайма, на нее приходится 47.4 % общего улова рыбы (Toivonen, 1985). Встречающийся в озере лосось (*Salmo salar m. sebago Girard*) является единственным пресноводным лососем, жившим в Финляндии. Помимо Финляндии, естественные места его обитания находятся только в Швеции. Сейчас разрабатываются проекты по восстановлению и охране популяции лосося (Кайемаа, 2003). Эндемическим реликтом озера является нерпа, которая до 1956 года являлась объектом охоты, как основного потребителя ряпушки. Сейчас установлено, что нерпа потребляет только незначительную часть продукции ряпушки. В связи с этим разрабатываются меры по защите нерпы, и поставлена цель довести ее численность до 400 особей (Аувинен и др., 2003).

4.13. ОЗЕРО ИЛЬМЕНЬ

Озеро Ильмень расположено в России, на юго-западе Новгородской области. Оно находится в центре обширной Приильменской низины, его координаты 58°00'-58°29' с.ш., 30°54'-31°44' в.д. Озеро Ильмень и все Приильменье является уникальной территорией, которую можно назвать колыбелью русского этноса и русской государственности. Почти вся территория Приильменья представляет собой плоскую равнину, находящуюся на абсолютных отметках 20-60 м. Самое низкое положение занимает дно долины р. Волхов и самого озера. Оз. Ильмень имеет ледниковое происхождение, его котловина представляет собой прогиб в девонских отложениях, более чем на 90% заполненный осадочными породами. Оно находится на месте огромного древнего Приильменского

водоема, границы которого на северо-западе доходили до современного водораздела рек Волховского и Невского бассейнов.

Современный Ильмень – мелководное озеро с плоским дном, сложенным 9-10-метровой толщиной ила (табл 4.4, рис. 4.33). Размеры и форма озера сильно изменяются вследствие значительных внутригодовых и межгодовых колебаний уровня его вод в условиях плоской низменной поймы. При высоких уровнях все берега озера, кроме северо-западного и юго-западного, затопляются на протяжении 2-15 км (Экосистема озера Ильмень..., 1997). В начале прошлого века Ильмень принимали за разлив рек Ловать, Пола, Мста, Шелонь и лишь в 1990-х гг. было неопровержимо доказано, что Ильмень – озеро (рис. 4.34).

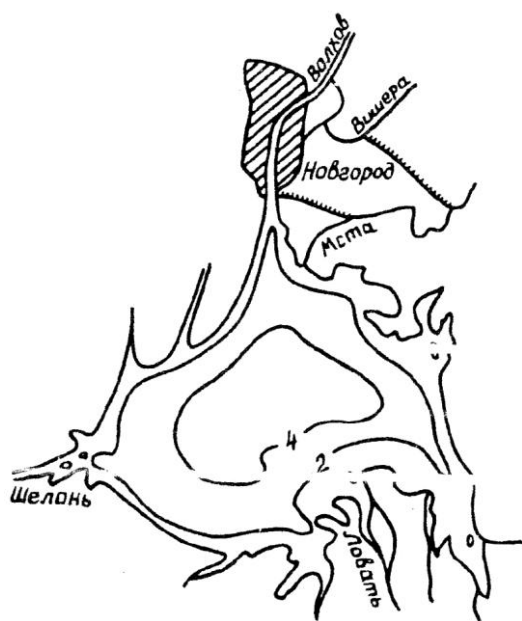


Рис. 4.33. Карта глубин оз. Ильмень. Источник: Атлас Новгородская область, 1982

Для бассейна озера наиболее типичны ландшафты поймы, особенно значительную площадь пойма занимает в северной, восточной и юго-восточной частях побережья, большие участки расположены также в дельтах рек Мста и Ловать. Поймы используются как пашни, сенокосы и пастбища. Ни одно озеро в Европе не обладает столь обширной поймой, как Ильмень. Северная и северо-восточная части водосбора относятся к южной тайге, вся остальная часть – это смешанные леса. В среднем леса занимают 40% всей территории. Нельзя не отметить красные известковые скалы (Ильменский глинт) на юго-западном побере-

жье озера. Ильменский глинт представляет собой уникальное творение природы, создающее полную иллюзию морского берега (Экосистема озера Ильмень ..., 1997).

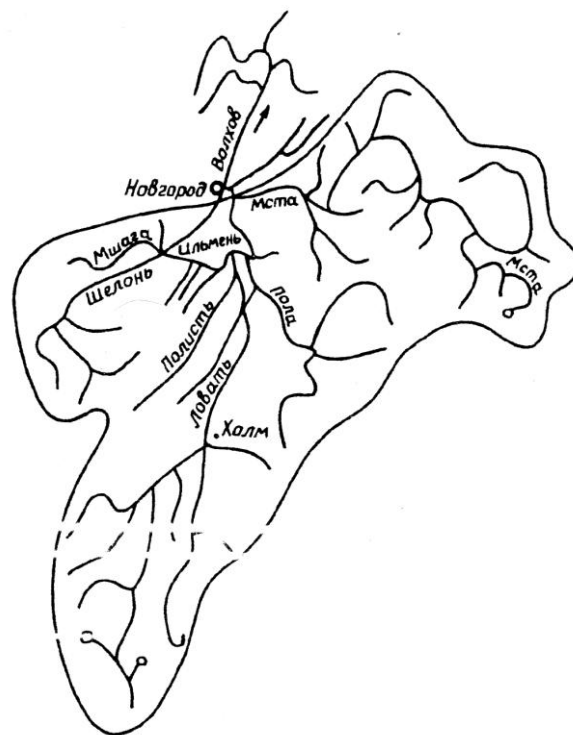


Рис. 4.34. Схема бассейна оз. Ильмень. Источник: «Экосистема оз.Ильмень...», 1997.

В озеро впадают 19 рек длиной более 10 км. Из всех рек, впадающих в озеро, самая длинная р.Ловать, ее длина от истока до устья составляет 530 км. Кроме Ловати с юга в Ильмень впадают реки Пола (268 км длиной) и Полость. Вместе с Ловатью они образуют общую обширную дельту, площадью около 400 км². Река Мста длиной 445 км при впадении в озеро также образует обширную дельту, площадь которой составляет 170 км². Недалеко от устья к р. Мста подходят Вишерский канал, соединяющий Мсту и Вишеру и Сиверсов канал, соединяющий Мсту с Волховым. Из рек, впадающих в Ильмень с запада, наиболее крупной является р. Шелонь с хорошо разработанной долиной, ее длина составляет 248 км. В устье Шелони развита обширная дельта, в районе которой ширина разлива достигает 3-5 км. В бассейне Шелони часто встречаются минеральные источники. Сток из озера осуществляется в Ладожское озеро через реку Волхов, длина которой составляет 228 км. У истока реки находится город Великий Новгород, крупный промышленный центр с населением

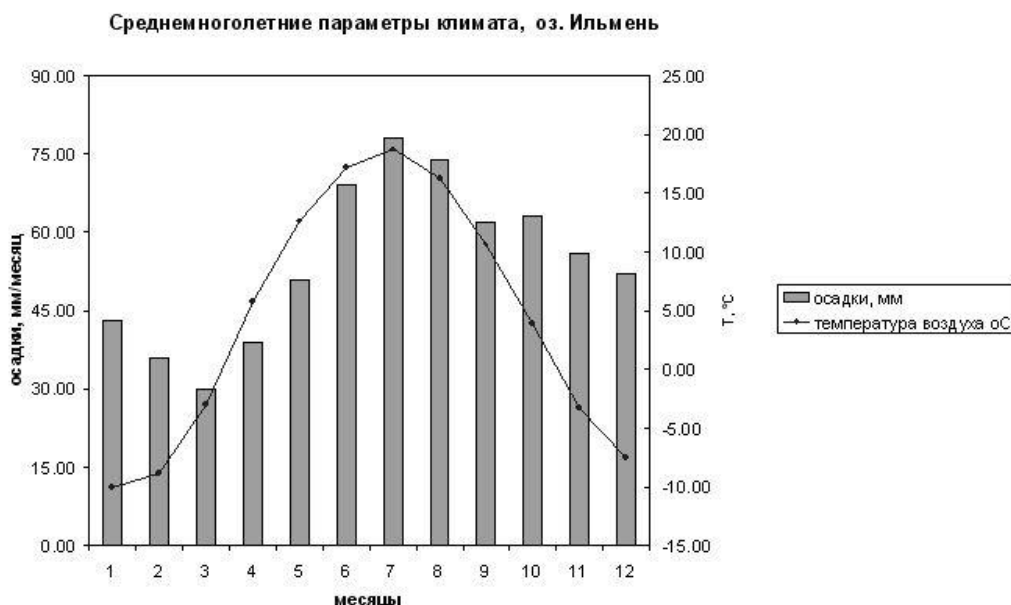


Рис. 4.35. Среднегодовое параметры температуры воздуха и осадков, ст. Новгород.

215 тыс. человек. Водный и уровень режим р. Волхов определяется режимами оз. Ильмень, работой Волховской ГЭС и Ладожским озером. Годовой приток речных вод в среднем за период 1953-1977 гг. составлял 14.2, а сток из озера – 14.4 км³ (Кириллова, 1984).

Наиболее характерными особенностями озера, кроме значительного варьирования площади, являются высокий коэффициент условного водообмена (смена воды происходит более 4 раз за год) и высокая активность озерных вод под влиянием ветра, при которой наблюдается взмучивание ила со дна озера.

Бассейн озера расположен в пределах южной тайги. Климат региона более мягкий, чем у остальных озер системы (рис. 4.35). Весной воды в мелководном озере прогреваются быстро: уже в мае температура воздуха и воды сближаются. С июня до поздней осени среднесуточная температура воды обычно выше, чем воздуха (максимальные 19 и 18° С соответственно). Редко и только в штилевую погоду в озере устанавливается стратификация температуры, обычно же характерно равномерное распределение температуры воды по глубине. С конца ноября до середины апреля озеро находится подо льдом.

Химический состав вод притоков очень различен, что определяет широкий разброс химических показателей по акватории озера. Средняя прозрачность воды по диску Секки

составляет 0.2-1.0 м. Существенной особенностью озера является недонасыщенность воды кислородом. С июня по август концентрация кислорода составляет 7.9 мг/л (95% насыщения). Кислородный минимум наблюдается подо льдом во всей толще воды в апреле – 6.9 мг/л (48 % насыщения), в придонном слое даже до 4.3 мг/л. Концентрация общего фосфора изменяется в пределах 0.11-0.02 мг/л, концентрация общего азота – 1.27-0.16 мг/л, уже эти показатели указывают, что трофический уровень озера различается по акватории. Содержание органического углерода изменяется в пределах 1.5-39.0 мг С/л (Смирнова, Гулин, 1986, Экосистема озера Ильмень ..., 1997).

Благодаря хозяйственной деятельности на водосборах рек Мста, Ловать, Шелонь, Пола и др. качество воды озера существенно меняется. Так, постепенно происходит увеличение минерализации воды за счет использования артезианских вод, внесения минеральных удобрений на поля и загрязнения притоков промышленными сточными водами. В 1952-1978 гг. величина общей минерализации составляла 128.4-167.7, при этом максимальные величины достигали 303 мг/л (Смирнова, 1874, Природные ресурсы..., 1984). В озере превышение ПДК по нефтепродуктам - 4.6-5.0 раз, меди – в 4.6-5.1 раза, марганцу – в 6.0-6.7 раз, фенолам в отдельные месяцы в 20 раз. Пестициды отмечаются в 25-26 % проб. В воде содержится большое количество органических

веществ (Фрумин и др., 1995). В грунтах озера присутствуют соли тяжелых металлов, причем концентрация хрома в 1.2-5.0 раз превышает геохимический фон, что обуславливается влиянием промышленных сбросов предприятий г. В. Новгород. В грунтах также обнаружены пестициды. По общей оценке качества воды оз. Ильмень может быть отнесено к классу «умеренно загрязненных».

Поскольку озеро богато рыбой, гидробиологические исследования начали проводиться с конца XIX века. Общее число идентифицированных в озере видов и форм водорослей возросло с 18 в 1902 г. до 445 в 1980-х гг. (Авинская, 1987). Представители рода диатомовых *Aulacoseira*, *Asterionella* и *Stephanodiscus* составляют основу биомассы фитопланктона на протяжении всех сезонов. В мае 1986 г. они составляли более 90 % от общей биомассы 4 мг/л. Наряду с диатомовыми в весеннем комплексе присутствовали пиррофитовые, золотистые, эвгленовые и зеленые водоросли. Летом представители родов из отдела синезеленых *Aphanizomenon*, *Anabaena* и *Microcystis* определяют основу численности фитопланктона. Кроме того, в этот период в озере достаточно обильно вегетируют зеленые из рода *Pediastrum* и из динофитовых - *Ceratium herudinella*. В июле доля диатомовых снижается, биомасса синезеленых в этот период составляла 22% от общей биомассы. Пик обилия фитопланктона обычно приходится на весну (до 10 мг/л), летом наблюдается некоторая депрессия (1-2.5 мг/л). В осенний период при общей биомассе 4.5-5.0 мг/л биомасса диатомовых составляет 97%. На основании проведенных исследований озеро было отнесено к мезотрофному типу (Авинская, 1987, Лаврентьева, 2003).

Высшая водная растительность в озере развита хорошо, она занимает 8.4 % площади водоема (100 км²). Всего определено 32 вида растений, наиболее распространены 4 вида: рдест пронзеннолистный, рдест блестящий, камыш озерный и горец земноводный. Заливы зарастают довольно однообразно: центральные части обычно занимают разреженные группировки рдеста пронзеннолистного, а к берегам сомкнутость сообщества возрастает. Само побережье занимают, как правило, сообщества камыша озерного (Доценко, Распопов, 1983).

Наибольшее число видов зоопланктона, 86, было установлено М.Б.Эггерт (1961), и оста-

ется неизменным до настоящего времени. В начале мая преобладали ветвистоусые рачки, биомасса которых составляла 52.3% от общей биомассы. Начиная со второй декады мая, биомасса *Cyclopoida* превышала 40% общей биомассы. В майском зоопланктоне доминировали *Mesocyclops*, *Daphnia*. В летнем зоопланктоне видовое разнообразие сокращалось. В сентябре по биомассе доминировали ветвистоусые (64.6% от общей биомассы). Уровень развития зоопланктона на протяжении 90 лет (1900-е – 1990-е гг.) был сравнительно постоянен: от 1.0 до 1.5 г/м³ в 1902г., от 1.5 до 4.5 г/м³ в 1969-1971 гг. и от 0.54 до 1.5 г/м³ в 1995-1997 гг. (Мицкевич, Волхонская, 1999).

Донная фауна в качественном отношении довольно однообразна и представлена 101 видом. Бентос озера исследовался в основном как кормовая база ихтиоценоза, поэтому главное внимание уделялось кормовому бентосу – сфероидам, олигохетам и хирономидам. Некормовой бентос представлен крупными двустворчатыми моллюсками: беззубками, перловицами, дрейссенами, брюхоногими улитками. По биомассе моллюски почти на порядок превышали некормовой бентос. Анализ межгодовых изменений общей биомассы бентоса в период с 1920-х до 1990-х годов выявил тенденцию ее сокращения за счет снижения удельного веса в ней моллюсков, при относительно стабильном видовом составе. Летом общая биомасса зообентоса снижалась с 51-67.3 г/м² в 1923-1937 гг. до 8.5 г/м² в 1968-1972 гг., осенью она снижалась с 120.0-485.0 г/м² в 1923-1937гг. до 4.9-9.8 г/м² в 1968-1999 гг. (Лаврентьева, 2003). По запасам кормового бентоса оз. Ильмень относится к классу высококормных водоемов. В настоящее время в озере успешно акклиматизировались нектобентические организмы, способные активно перемещаться и обитать в районах с переменным гидрологическим режимом - понто-каспийский *Paramysis intermedia*, дальневосточный *Neomysis awatchensis* и бокоплав байкальского комплекса *Gmelinoides fasciatus*. Однако их доля в количественных показателях бентоса не превышает 1-2% (Мицкевич, Андреева, 2003).

В озере обитает около 26 видов рыб. Из них охраняемые виды – лещ, судак, щука, а также синец, снеток, плотва, окунь, густера, язь, укляя, налим и др. Среднегодовой вылов рыбы в озере в 1984-1992 гг. составлял 3141 т, в 1993-2001 гг. - 1461 т. Главным промысловым видом сейчас является лещ, в 1993-2001 гг. его

средний вылов составил 436 т в год (Асанов, 2003). Для восстановления рыбных запасов необходимо снизить промысловую нагрузку на озеро.

Несомненно, сохранение уникальной экосистемы оз. Ильмень и его поймы – задача чрезвычайно важная. Богатство рыбного населения озера, плодородные и высокопродуктивные пойменные луга, обилие исторических памятников, бальнеологические курорты (г. Старая Русса) – все это требует не только сохранения озера как достояния России, но также его рационального использования и дальнейшего развития.

4.14. ЧУДСКО-ПСКОВСКИЙ ОЗЕРНЫЙ КОМПЛЕКС

Чудско-Псковское озеро (или озерный комплекс) - четвертый по величине пресноводный водоем Европы с площадью водного зеркала 3555 км² (рис. 4.36). Он расположен на границе между Россией и Эстонией: 1985 км² его водной площади относится к России и 1570 км² - к Эстонии. Координаты - 57°52' -59°00' с.ш., 26°58' -28°10' в.д., высота уреза воды – 30 м над уровнем моря. Озеро относится к бассейну Финского залива Балтийского моря и соединяется с ним небольшой по протяженности рекой Нарва.

Озерный комплекс имеет сложную конфигурацию, он вытянут в меридиональном направлении и состоит из трех частей: наиболее обширной северной (73 %) - Чудского озера (эст. *Peipsi järv*) — площадью 2613 км², южной (20 %) - Псковского озера (эст. *Pihkva järv*) - 709 км² и, соединяющего их, Теплого озера (7 %) (эст. *Lämmijärv*;) - 236 км². Суммарная площадь зеркала всех озер в целом составляет в среднем 3558 км², изменяясь в зависимости от уровня воды от 3473 до 4328 км² (Гидрометеорологический режим... 1983) Все озера сравнительно мелководны, их средняя глубина составляет 8.3 м, 3.8 м, 2.5 м, соответственно, объем водной массы - 21.79 км³, 0.60 км³, и 2.68 км³ при суммарной величине - 25.07 км³, максимальная глубина - 15.3 м. (Lake Peipsi, 2001).

В Чудско-Псковское озеро впадает около 240 рек, ручьев и искусственных водотоков (Reinart, Valdmets, 2007). Наиболее крупными притоками являются р. Великая и Эмайыги (58% и 22% от общей площади водосбора, соответ-

ственно). К числу достаточно крупных рек с площадями водосбора более 1000 км² относятся также Выханду и Желча. Вытекает из озера река Нарва.



Рис. 4.36. Чудско-Псковское озеро. Фото NASA.

Береговая линия Чудско-Псковского озера характеризуется плавными очертаниями и слабо расчленена. Северная часть лишена бухт и заливов, и лишь в юго-восточной части Чудского озера лежит Раскопельская бухта, в Теплом озере – Желчинская, в северо-западной части Псковского озера – Вярская бухта. Берега преимущественно низменные, сложены торфяниками, дно плоское, покрытое мощным слоем серого ила. Южные и западные берега заболоченные, вдоль северного берега протянулись довольно высокие песчаные дюны, поросшие сосной. Грунты водоема отличаются однообразием, основными являются пески и илы, распределение которых в основном зависит от морфометрии озерного ложа.

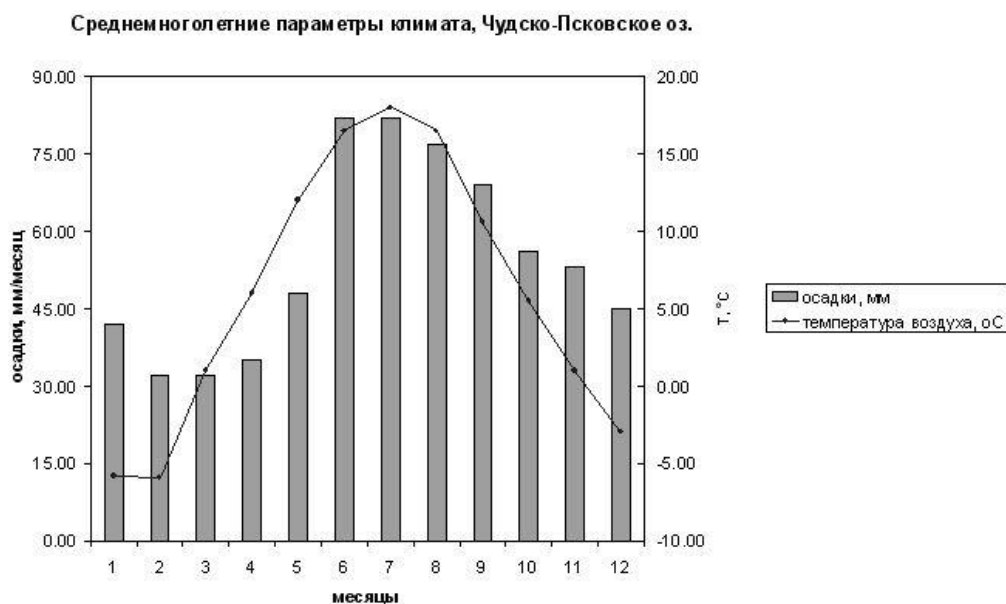


Рис. 4.37. Среднемноголетние климатические параметры Чудско-Псковского озера, ст. Псков

Острова малочисленны (29) и невелики по площади, крупнейший — Пийриссаар (Порка).

Современное озеро занимает котловину тектонического происхождения и является реликтом большого ледникового водоёма, оставшегося после отступления последнего Валдайского оледенения. Его возраст составляет приблизительно около 12 тыс. лет.

Климат. Характеристики термического режима

Климат региона характеризуется как умеренно-континентальный, что обуславливает неустойчивый характер погоды во все сезоны года. Чертами морского климата является влажное и умеренно теплое лето и сравнительно мягкая зима. Континентальность увеличивается к востоку, где зима продолжительней, а лето теплее. Общая величина годовых осадков в среднем по региону составляет около 600 мм, на возвышенностях (наветренные склоны) их количество может повышаться до 850 мм. На побережье Чудского озера и равнинах — 640 мм/год. Среднегодовая температура воздуха — +4.3-4.8°C. Средняя температура января — (-8-10°C), июля — +17-18°C (рис. 4.37). Продолжительность безморозного периода составляет 125-150 дней. В районе Чудского оз. Безморозный период длится несколько дольше, по мере продвижения на восток его продолжительность сокращается. Средние годовые скорости ветра на побережье озера составляют 4-5 м/с. Самым штормовым месяцем является октябрь, тихим —

июнь. Наибольшую повторяемость имеют ветры западного и южного направлений (Кондратьев и др., 2010).

Чудско-Псковское озеро характеризуется как полимиктический водоем. В летний период его водные массы испытывают активное ветровое перемешивание, с этим связано гомотермическое состояние воды и хорошие кислородные условия в течение всего безморозного периода. Для температурного режима характерен более быстрый прогрев и охлаждение Псковского и Тёплого озёр по сравнению с Чудским, что объясняется их морфометрическими особенностями. В результате в конце весны — начале лета разница между температурами поверхностного слоя озёр на одну и ту же дату могут составлять до 8-11°C. В конце лета горизонтальная температурная неоднородность равна 1.0-1.5°C. Максимальное значение средней по глубине температуры воды в Псковском озере — 22.2°C, в Чудском — 20°C (Соколов, 1952).

В зимний период на озере наблюдается обратная температурная стратификация, причем придонные слои воды имеют температуру примерно 1.5°. Озеро замерзает в конце ноября — начале декабря. С декабря по апрель-май его поверхность обычно покрыта льдом, однако, ледостав не всегда устойчивый. Псковское и Тёплое озеро вскрываются раньше Чудского. В последние годы наблюдается устойчивая тенденция к увеличению продолжительности периода «открытой воды» и повышению

теплообеспеченности озера. Так, если в 1960-80-е гг. продолжительность периода открытой воды составляла в среднем около 238 дней, то в 1990-е гг. она возросла до 251, а в 2000-е до 264 дней.

Характеристики водного режима и водного баланса

Водосбор Чудско-Псковского озера располагается в зоне избыточного увлажнения, в условиях равнинного рельефа и слабой водопроницаемости преобладающих грунтов, он характеризуется наличием большого количества рек и небольших озер. Для рек характерно смешанное питание, на долю талых снеговых вод приходится около 50% годового стока, дождевых и подземных - по 25%. (Кондратьев и др., 2010). Подземные воды на территории бассейна повсеместно распространены в верхней части осадочного чехла (четвертичные и палеозойские отложения), как правило, они напорные. Области питания приурочены к возвышенностям (Судомской, Бежаницкой, Хаанья), а региональными областями разгрузки являются Псковское и Чудское озера, местная разгрузка осуществляется речной сетью. Мощность зоны пресных вод в области питания составляет 200-400 м, а в области разгрузки сокращается до 50-100 м (Кондратьев, 2008).

В приходной части водного баланса основная роль принадлежит притоку поверхностных и подземных вод, составляющему в многолетнем разрезе около 11.2 км³/год, среднемноголетняя величина осадков на поверхность водоема - 1.9 км³/год, небольшая доля приходится на подземное питание. В расходной части баланса преобладает отток - 12 км³ в год, величина годового испарения оценивается в 1.1 км³ в год (Соколов, 1952).

Годовой ход уровня воды Чудско-Псковского озера характеризуется наличием хорошо выраженного весеннего половодья, продолжающегося с апреля по июнь и связанного с обильным таянием снегов на водосборе, летне-осенней меженью, сменяемой осенними паводками и зимней меженью. Высокая доля заболоченности и лесистости на водосборе способствуют снижению весеннего половодья и увеличению летнего меженного стока, таким образом, летом уровень воды в озере даже при низких осадках поддерживается за счет речного притока. Минимум стока приходится на конец зимы – начало весны и обычно наблюдается в

марте, перед началом вскрытия водоема. Годовая амплитуда уровня составляет 0.5-1.5 м. Для озера характерны также долгопериодные циклы колебания уровня продолжительностью 18-33 года с амплитудой около 0.8 м.

Основные характеристики качества вод

Чудско-Псковское озеро отличается невысокими значениями прозрачности воды, составляющими для Псковского озера 0.8-1.5 м по диску Секи, а для Чудского – 1.4-2.9 м. Величина рН колеблется преимущественно в пределах 7.8.-8.5, причем в последние годы наблюдается тенденция к повышению значений рН в летние месяцы до 8.5-8.9, что является еще одним подтверждением усиливающейся эвтрофикации водоема. Общая минерализация воды составляет в Чудском озере в среднем за период наблюдений 226 мг/л, а в Псковском – 212 мг/л.

По данным совместных российско-эстонских исследований (Lake Peipsi..., 2001; In the Mirror..., 2007) средние значения концентраций биогенных элементов в Чудском оз. составляют 30-40 мгР_{общ}/м³ и 630-680 мгN_{общ}/м³ и в Теплом оз. - 50-70 мгР_{общ}/м³ и 750-850 мгN_{общ}/м³. В Псковском оз. при относительном постоянстве содержания общего азота (~ 900 мг/м³) выявлено двукратное возрастание концентраций общего фосфора (с 65 мг/м³ в 1995 г. до 130 мг/м³ в 2005 г.). При этом основной приток биогенных веществ происходит со стоком рек Великой и Эмайыги - 80% общего фосфора и 84% общего азота (Поступление...). Нарушение баланса азота и фосфора в пользу последнего может способствовать доминированию сине-зеленых водорослей при цветении воды. Наименьшие значения показателя N:P за период наблюдений составляли 11 – 13 и были зафиксированы в 1995 и 96 гг.

Несмотря на то, что в естественном состоянии Чудско-Псковское озеро в силу его хорошей ветровой перемешиваемости отличалось высокими концентрациями кислорода по всей водной колонке, в настоящее время, в связи с процессами эвтрофикации водоема содержание кислорода в воде снижается. Так в конце зимнего периода перед вскрытием водоема содержание кислорода у дна в конце 1990-х-2000-е гг. периодически опускалось до 1-2 мг/л. Малые концентрации кислорода наблюдались также и в период «цветения» водоема.

По средним за сезон значениям индексов

сапробности Чудско-Псковское оз. относится к β -мезосапробному типу, т.е. умеренно загрязненному органическим веществом. Трофический статус Чудско-Псковского озера, оцененный по концентрации азота, фосфора и хлорофилла-а, очень различен в каждой из 3-х его частей: собственно Чудское озеро является эвтрофным, оз. Теплое – близко к гиперэвтрофному и оз. Псковское – можно считать гиперэвтрофным (Nutrient loads..., 1999).

Основные биологические особенности

Среди высшей водной растительности в Чудско-Псковском озере доминируют типичные для эвтрофных водоемов виды - тростник (*Phragmites australis*), камыш озерный (*Scheuchzeria palustris*) и рдест пронзеннолистный (*Potamogeton perfoliatus*). На защищённых от ветра заиленных мелководьях и приустьевых участках встречаются мелкие заросли других видов растительности: ситняг (*Eleocharis sp.*), аир (*Acorus calamus*), сусак (*Butomus umbellatus*), манник (*Glyceria aquatica*), рогоз (*Typha angustifolia*), поручейник (*Sium latifolium*), хвощ (*Equisetum fluviatile*) и тростянка (*Scolochloa festucaceae*). Плавающие на воде растения встречаются редко, из них по частоте встречаемости следует отметить: стрелолист (*Sagittaria sp.*), гречиху (*Rolygonum amphibium*) и кубышку (*Nuphar lutea*).

В течение XX в. сообщество макрофитов претерпело значительные изменения как количественные, так и качественные. В 1960-е гг. под макрофитами находилось лишь 2.5% площади озера, однако по мере роста уровня трофности водоема площадь их распространения существенно росла, и к концу 1980-х гг. макрофиты занимали уже 7.5% площади от оз. Теплого и 7.9 % от оз. Псковское. Редкие виды, такие как шилолистник (*Subularia aquatica*) и полушник (*Isoetes setacea*) к концу XX в. исчезли, а такие обычные для мелководной литорали виды, как частуха (*Alisma gramineum*), и рдесты нитевидный и маленький (*Potamogeton filiformis*, *P. panormitanus*) существенно снизились по численности и в настоящее время встречаются редко (Kondratiev, 2009).

Фитопланктон Чудско-Псковского озера насчитывает 475 видов, среди которых представлены: зеленые водоросли (176), диатомовые (153 вида), сине-зеленые (102), эвглениды (18), золотистые (12), желто-зеленые (7), криптофитовые (4), динофлагелляты (3). Кроме обычных видов, характерных для эвтрофных и мезо-

трофных озер, здесь присутствуют также арктические, галофильные, галофобные, ацидофильные и алкалофильные виды. Состав доминирующих организмов в течение большей части XX в. не претерпевал значительных изменений (Laugaste et.al., 1996). Среди основных видов Псковского озера: *Aulacoseira granulata*, *A. italica var. valida*, *Stephanodiscus binderanus*, *Asterionella formosa* (диатомовые); *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena flos-aquae*, *A. spiroides*, *Gloeotrichia echinulata* (сине-зеленые); в Чудском: *Aulacoseira islandica*, *Stephanodiscus binderanus*, *Aulacoseira granulata* (диатомовые), *Gloeotrichia echinulata*, *Microcystis pulverea*, *Anabaena flos-aquae* (сине-зеленые). По составу доминирующих видов фитопланктон водоема характеризуется как эвтрофный диатомово-сине-зеленый (Мельник, Ястремский, 2003).

Средняя биомасса фитопланктона в Псковском озере составляет 19.4 г/м³, а в Чудском - 12.9 г/м³ (Поступление). Роль сине-зеленых водорослей наиболее высокая в Псковском озере, тогда как в Чудском оз. в течение всех сезонов по биомассе преобладают диатомовые. В годовом цикле биомассы обычно выражены два или три пика: весенний, связанный с обильной вегетацией диатомовых, наиболее высокий летний, приходящийся на расцвет сине-зеленых и диатомовых водорослей и осенний, при обилии диатомовых. Летний и осенний пики в ряд лет сливаются.

Согласно данным многолетних наблюдений в конце XX в. в озере наблюдалось стойкое повышение биомассы фитопланктона, которое в Псковском озере началось с 1998 г., а в менее эвтрофированном Чудском – с 1987 г., причем происходило более заметными темпами. С этого же времени в летний период наблюдалась вспышка в развитии двух видов сине-зеленых водорослей, не входивших ранее в состав доминирующих форм – *Planktothrix agardhii* и *Limnithrix redekei* и заметное увеличение биомассы криптофитовых. Начиная с 1988 г. в Псковском озере отмечена тенденция к снижению числа пиков биомассы фитопланктона в течение вегетационного периода от двух-трех до двух (весенний, летне-осенний) и даже до одного летне-осеннего, что является характерным признаком перехода водоема на гиперэвтрофную стадию (Мельник, Ястремский, 2003).

Зоопланктон Чудско-Псковского озера

насчитывает 290 видов, здесь встречаются организмы, характерные как для эвтрофных, так и для олиготрофных вод. В формировании биомассы основная роль принадлежит ветвистоусым ракообразным (около 60 %) и веслоногим рачкам (38 %). Соотношение этих групп значительно изменяется по годам. В Псковском озере в 2000-е гг. наблюдалось некоторое повышение доли ветвистоусых в общей биомассе зоопланктона по сравнению с 1980-ми гг., тогда как в Чудском оз. – наоборот, снижение. В 1990-е гг. отмечалось увеличение численности коловраток, появление в большом количестве представителей рода *Brachionus* и среди них *Brachionus galyciflorus*, типичного для эвтрофных водоемов. Особенно четко это выражалось в 1992 г., как в устьях рек (Великая, Черная), так и в Псковском озере. Значительной численности достигал и другой вид – *B. diversicornis homoceros* – до 155.2 тыс. экз./м³ (Афанасьев и др., 1997).

Средняя за вегетационный сезон биомасса зоопланктона в Псковском озере в различные годы составляла от 0.57 до 5.50 г/м³, а в Чудском – 0.35-6.40 г/м³. В годовом цикле биомассы обычно выражены один - два пика, максимальный, достигающий 9-13 г/м³, приходится на июнь-июль. И в Чудском, и в Псковском озерах с середины 1980-х гг. отмечался рост количественных показателей зоопланктона. В последние годы в Псковском озере его средне-сезонная биомасса продолжает увеличиваться, в то время как в Чудском озере она имеет тенденцию к снижению (Мельник, Ястремский, 2003).

Бентосная фауна Чудско-Псковского озера представлена 421 видом и подвидом донных организмов, среди которых наиболее многочисленны семейство комаров-звонцов (111), моллюски (83), и малощетинковые черви (59) (Timm et al., 1996, 2001). Подавляющее число видов бентоса являются эвритопными, с широким ареалом распространения. Особенно многообразна по видовому составу литоральная фауна в зарослях макрофитов, а также сублиторальная зона. По большей части сублиторали выражено дрейссенное «кольцо», образованное скоплениями двустворчатого моллюска мидия-зебры (*Dreissena polymorpha*). Небольшим видовым разнообразием характеризуется северная часть Чудского озера с песчаным и илисто-песчаным дном, а также

профундаль, где количество видов ограничено 30. Общими для всех озёр являются около 70% всех видов бентофауны, отличия в ее составе обусловлены разностью глубин, особенностями гидролого-гидрохимического режима, степенью трофности озёр и т.д. Своеобразие Чудского озера заключается в присутствии здесь видов, характерных преимущественно для холодноводных олиготрофных водоёмов: *Stylodrilus heringianus*, *Orthocladus saxicola*, *Monodiamesa bathyphila*, *Pallasiola quadrispinosa*. Для сезонной динамики профундального зообентоса характерно наличие двух максимумов численности – весенний и осенний, и летнего минимума.

Несмотря на практически неизменный видовой состав пелофильных ценозов в последние десятилетия заметна тенденция изменения структуры и количественных показателей бентоса в Псковском озере. Структурные изменения связаны с увеличением в общей биомассе доли моллюсков (*Pisidiidae*, виды р. *Valvata*). Так, в среднем за 1981-1985 гг. моллюски составляли 9.78 % биомассы пелофильных ценозов Псковского озера (Асельборн, 1987), в 1986 – 1992 гг. уже 16.1 % , а в 1993 – 1998 гг. – 36.2 %. Несколько снизилась средне-сезонная биомасса олигохет, при этом в последние годы до 81-100 % увеличилась степень доминирования среди них *Potamothrix hammoniensis*. В девяностые-двухтысячные годы увеличилась амплитуда межгодовых и сезонных колебаний биомассы донных беспозвоночных в Чудско-Псковском озере. Размах межгодовых колебаний в Псковском озере составил от 4.78 до 45.24 г/м², в Чудском - от 2.78 до 26.20 г/м² (Мельник, Ястремский, 2003). В целом по Псковско-Чудскому озеру отмечается некоторое повышение средне-сезонной биомассы профундали, с 12.25 г/м² (1970 – 1978 гг.) до 14.8 г/м² (1993-2003 гг.).

Чудско-Псковское озеро - один из наиболее продуктивных водоемов Балтийского региона с высоким уровнем воспроизводства рыбного населения. В озере и его притоках обитает 33 вида рыб, из которых 23 местных: чудской сиг (*Coregonus lavaretus maraenoides*), ряпушка (*Coregonus albula*), снеток (*Osmerus eperlanus eperlanus*), лещ (*Abramis brama*), плотва (*Rutilus rutilus*), елец (*Leuciscus leuciscus*), язь (*Leuciscus idus*), пескарь (*Gobio gobio*), укляя (*Alburnus*

Уловы рыбы в Чудско-Псковском озере

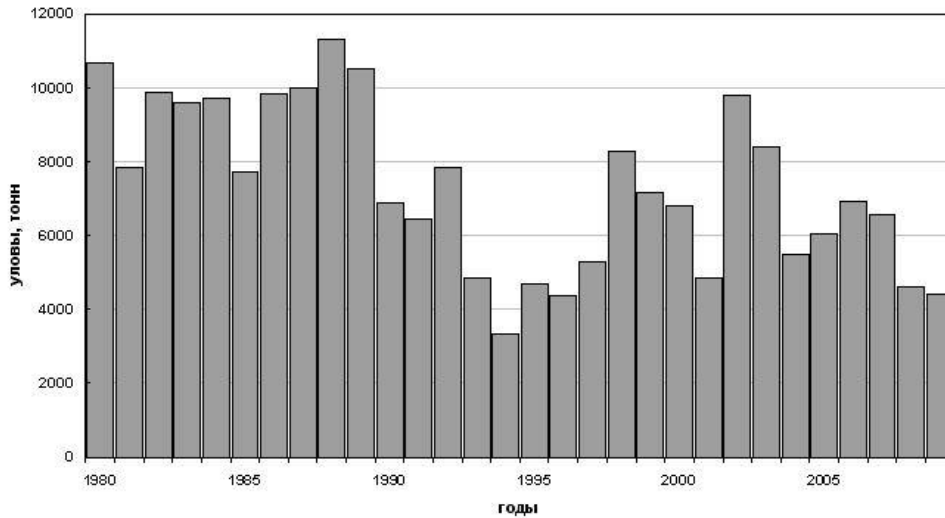


Рис. 4.38. Уловы рыбы в Чудско-Псковском оз. по данным ГОСНИОРХ.

alburnus), жерех (*Aspius aspius*), густера (*Blicca bjoerkna*), сырть (*Vimba vimba*), сом (*Silurus glanis*), угорь (*Anguilla anguilla*), щука (*Esox lucius*), судак (*Sander lucioperca*), окунь (*Perca fluviatilis*), ерш (*Acerina cernua*), трехиглая колюшка (*Gasterosteus aculeatus*), девятииглая колюшка (*Pungitius pungitius*) и налим (*Lota lota*). Кроме того, к числу рыб, обитающих в Псковско-Чудском озере, можно отнести предположительно акклиматизировавшегося здесь амурского сазана (*Cyprinus carpio haematopterus*), выпущенного в озеро в 1947-1951 гг. Промысловыми видами в последнее десятилетие являются чудской сиг, ряпушка, снеток, судак, лещ, щука, окунь, плотва.

Несмотря на то, что Псковское и Чудское озера имеют общий видовой состав, существуют определенные различия в численности популяций рыб в каждом из них. Так, в более мелководном Псковском озере представители холодноводного комплекса рыб – сиг и ряпушка – встречаются редко, в непромысловых количествах.

На протяжении столетия видовой состав рыб Чудско-Псковского озера практически не изменился. Из ихтиофауны водоема исчез только угорь, ранее естественным путем проникающий в озеро на гул из Балтийского моря, после зарегулирования р. Нарвы (с созданием Нарвского водохранилища) миграции угря стали невозможны. Однако под влиянием экологических факторов среды, а также за

счет интенсификации рыболовства в структуре озерного ихтиоценоза произошел ряд существенных изменений. Так, например, потепление климата, сильное «цветение» водоема, ведущее к уменьшению прозрачности воды, заиливание грунтов являются условиями, благоприятными для жизнедеятельности судака, и крайне неблагоприятными для сиговых рыб. Вызывают тревогу участвовавшие в последние годы заморные явления, происходящие в больших масштабах и затрагивающие все большее количество видов рыб.

Годовые уловы рыбы по всему озерному комплексу составляли в 1980-е гг. около 7000-11000 тонн, в 1990-е гг. уловы резко снизились до 3500-8000 тонн, и в 2000-е гг. составляли 4500-10000 тонн (рис. 4.38). В последние годы в территориальных водах Эстонии (в Теплом и Чудском озерах) наметилась тенденция роста уловов, в результате чего вылов рыбы по Эстонии в 2009 г., впервые за последние 15 лет, превысил совокупный вылов по России (включая Псковское озеро).

В прибрежной полосе Псковского озера расположен водно-болотный орнитологический заказник «Псковско-Чудская приозёрная низменность», являющийся ценнейшим резерватом многих редких растений и животных, произрастающих и обитающих в Балтийском регионе. Болотные земли являются местом отдыха и кормёжки лебедей, гусей и уток на пути их миграции.

Экономические характеристики антропогенной активности в бассейне

Площадь бассейна Чудско-Псковского озера составляет около 44000 км² (26% ее находится в Эстонии, 67% - в России и 7% - в Латвии). Здесь проживает более 1.1 млн. человек, в основном в сельской местности. На долю сельскохозяйственных земель приходится около 40% от общей площади водосбора, причем значительная их часть или не используется, или находится под паром. Еще около 40% площади занимают лесные массивы. Аграрный комплекс является важнейшей составной частью экономики региона как в российской, так и в эстонской частях водосбора. Приоритетными направлениями развития сельского хозяйства в российской части являются: производство молока, промышленное свиноводство и птицеводство, овощеводство, льноводство. На долю животноводства приходится около 80% от общей выручки сельхозпредприятий, причем около половины - на молоко. Структура посевных площадей отражает развитие кормопроизводства, определяющего состояние ведущей отрасли - молочного животноводства (Kontratiev et al., 2009).

Крупнейшими городами в бассейне озера являются Псков и Тарту, а также Остров, Опочка, Печоры. Наиболее важными отраслями промышленности в российской части бассейна являются пищевая и легкая промышленность, машиностроение, производство электрооборудования, а также электронного и оптического оборудования. Среди важнейших отраслей промышленности в Эстонии - машиностроение и металлообработка, приборостроительная промышленность, мебельная, легкая и пищевая промышленность. В настоящее время быстро развивающимися отраслями в Эстонии являются лесное хозяйство и производство бревен.

Основные проблемы, связанные с антропогенной деятельностью

Чрезмерная антропогенная нагрузка в бассейне Чудско-Псковского озера, наблюдавшаяся в течение XX в., особенно во второй его половине, привела к значительным ухудшениям качества озерной воды. Большинство показателей указывали на постепенное увеличение уровня трофности водоема. Многолетние данные наблюдений свидетельствовали, что интенсивная эвтрофикация озера началось в 1970-е гг. (Noges et al., 2003). В результате, уже к 1980-е гг. озеро Чудское от мезотрофного уровня, ха-

рактерного для него в 1960-е гг., перешло в категорию эвтрофных водоемов, а оз. Псковское - от эвтрофного уровня к гипертрофному.

В 1990-е гг., с распадом Советского Союза, обстановка с поступлением в озеро различного рода загрязнителей изменилась. Ухудшение экономической ситуации в Эстонии, Латвии и Российской Федерации, сопровождающееся снижением как сельскохозяйственного, так и промышленного производства, способствовало на первых этапах значительному сокращению поступления в озеро стоков. Другим фактором, способствующим снижению загрязнения, явились предпринимаемые со второй половины 1990-х гг. водоохранные меры, в том числе улучшение очистных сооружений на большинстве точечных источников загрязнения. Однако, несмотря на все вышесказанное, на сегодняшний день, Чудско-Псковское озеро все еще остается под сильным антропогенным прессом. Период экономического спада оказался не столь продолжительным для того, чтобы в озере смогли начаться восстановительные процессы, и предпринимаемые меры по очистке стоков являются пока для этого недостаточными. Процесс антропогенного эвтрофирования водоема продолжается, причем в последние годы он особенно резко проявляется в экосистеме менее загрязненного на сегодняшний день Чудского озера. В результате эвтрофикации в Чудско-Псковском озере ежегодно в летне-осенний период наблюдается «цветение» воды различной интенсивности, связанное с массовым развитием сине-зеленых водорослей. В цветении в порядке очередности вегетации принимают участие: *Anabaena flos-aquae*, *Gloeotrichia echinulata* и *Aphanizomenon flos-aquae*. Повышение уровня трофности водоема и вызываемое им «цветение воды» негативно сказывается и на рыбном населении водоема. С конца 1980-х гг. в озере все чаще стали наблюдаться заморные явления, причем не только в зимний период, но и в летний (Noges et al., 2003), в связи с исчерпанием в воде кислорода во время обильного развития фитопланктона.

Основным источником поступления биогенных веществ в озеро является сельское хозяйство, стоки которого обеспечивают приток в озеро с эстонской части более половины от общего поступления азота и около 40% - фосфора, а с российской - 70 и 65%, соответственно. Таким образом, ожидаемое в будущем увеличение сельскохозяйственного производства без приня-

тия должных мер и совершенствования сельскохозяйственной практики может крайне негативно отразиться на озерной экосистеме.

Наряду с биогенным загрязнением, озеро испытывает на себе значительное загрязнение тяжелыми металлами и детергентами, связанное с развитием промышленности на водосборе. Два наиболее крупных на водосборе города - Псков и Тарту, несмотря на модернизацию их очистных систем, являются основными источниками загрязнения озера как промышленными, так и бытовыми стоками.

Согласно выполненным оценкам индекса загрязненности вод (ИЗВ) на начало XXI в. воды поверхностных горизонтов Псковского, Теплового и восточной части Чудского озер относятся к III - IV классам качества т.е. являются «умеренно загрязненными» и «загрязненными» (План..., 2006). Придонные воды «умеренно загрязнены» (III класс качества). Часто фиксируются значительные превышения значений ПДК для нефтепродуктов, фенолов, БПК₅, ХПК, амонийного азота, а также металлов (железо, медь, магний, цинк, кадмий).

Описание мер, предпринятых для улучшения экосистемы озера

Начало изучения лимнологии Чудско-Псковского оз. было положено еще Соколовым (1941), и успешно продолжалось до конца 1980-х. В начале 1990-х гг., в связи с образованием в Балтийском регионе независимых государств и превращением Чудско-Псковского оз. комплекса в трансграничный водоем, возникли некоторые сложности в согласовании работ по мониторингу и обмену информацией между Россией и Эстонией. В конце 1990-х гг. на Чудском озере имел место Шведско-Эстонско-Российский проект по мониторингу, направленный на улучшение качества работ региональных экологических органов, отвечающих за охрану окружающей среды на водосборном бассейне озера, а также на улучшение обмена информацией между эстонской и российской сторонами. В результате совместных усилий к началу 2000-х гг. наметился существенный прогресс в объединении сил по совместному изучению озера заинтересованными сторонами (Lake Peipsi..., 2001; In the mirror..., 2007). В настоящее время использование водных ресурсов водосборного бассейна Чудско-Псковского оз. регулируется рядом международных конвенций, среди которых наиболее значимым является соглашение меж-

ду правительствами России и Эстонии по сотрудничеству в области охраны и рационального использования трансграничных вод, подписанное в Москве 20 августа 1997 г. (Румянцев и др., 2006).

В национальную программу мониторинга Эстонии входит его проведение на 8 реках, дренирующих 90% территории Эстонской части водосборного бассейна озера. На них ежемесячно определяется расход и отбираются пробы на анализ содержания в воде питательных веществ. В России эта программа проводится только на 2-х реках (Великая и Гдовка), которые дренируют 87% водосборной территории Российской части бассейна. Определение концентрации биогенных веществ в воде Чудско-Псковского озера и других показателей, характеризующих степень его эвтрофикации, на начало 2000-х гг. проходило на 5 станциях на Эстонской стороне и на 10 станциях на Российской.

В соответствии с Российско-Эстонской программой рационального использования и охраны водных ресурсов Чудско-Псковского оз. на 2005-2015 гг. основным направлением совместных действий по предотвращению дальнейшего эвтрофирования озера является снижение сбросов фосфора со сточными водами городов и крупных населенных пунктов. Особое внимание в этой связи уделяется совершенствованию очистных сооружений Пскова и Тарту, где постоянно проводятся работы по улучшению систем водоочистки, биологическому обезвреживанию иловых осадков, строительству цехов механического обезвреживания осадка. Кроме того, проводится комплекс мер по снижению фосфорной нагрузки на озеро, включающий строгое соблюдение технологий внесения удобрений на водосборе, организацию оборудованных навозохранилищ и мест хранения минеральных удобрений и др. В современных условиях большое внимание к экологическим аспектам хозяйственной деятельности уделяет не только государство, но и общественные организации.

ОЗЕРА ШВЕЦИИ

Швеция является одной из самых озерных стран мира, где количество озер превышает 100 тыс. с общей площадью 41 тыс. км² (8.7% территории страны). Самые большие и достаточно глубокие озера Швеции находятся

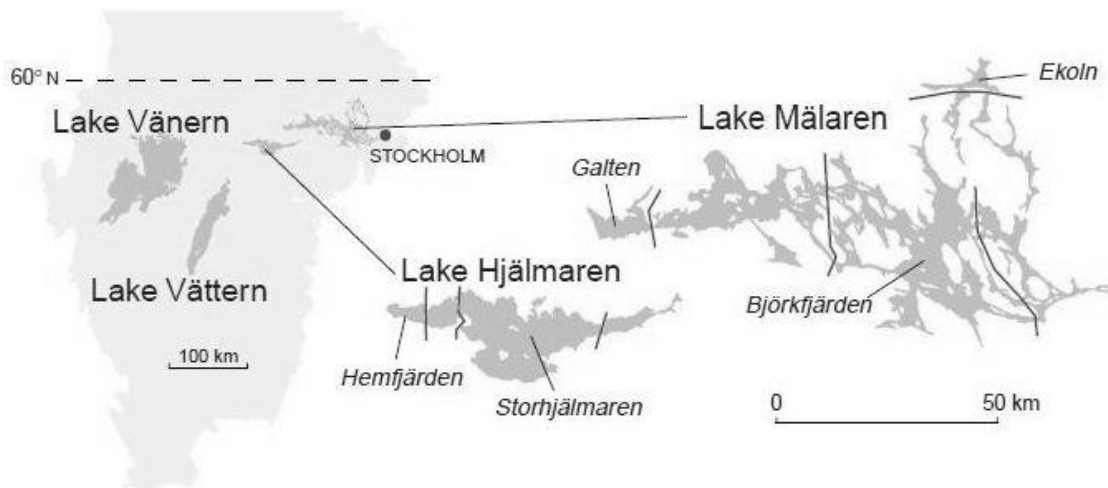


Рис. 4.39. Озера Швеции. Источник: Wilander, Persson, 2001.

Таблица 4.5. Морфометрическая характеристика озер.

Показатели	Оз. Венерн	Оз. Ваттерн	Оз. Эльмарен	Оз. Меларен
Высота над уровнем моря, м	44	89	22	0.3
Площадь зеркала, км ²	5 648	1 856	478	1 140
Объем водной массы, км ³	153	74	2.9	13.8
Максимальная глубина, м	106	128	22	61
Средняя глубина, м	27	39.9	6.1	11.9
Время водообмена, год	9	55.9	3.3	2.2
Площадь водосбора, км ²	41 182	4 503	3 575	21 460

на юге страны - это озера Венерн, Веттерн, Меларен и Эльмарен, вместе они составляют 22% от площади всех озер страны (рис. 4.39, табл. 4.5). Первое из них по площади занимает 29, а по объему водной массы 32 место среди крупнейших озер мира. Эти озера созданы ледниковым выпахиванием. В тех местах, где были распространены породы, менее устойчивые к денудации, выпахивание могло происходить на большие глубины. В результате были созданы глубокие котловины. В некоторых из них существовали межледниковые озерные и морские бассейны. В позднеледниковое время эти котловины были вновь заняты озерами, которые непрерывно развиваются вплоть до настоящего времени (Квасов, 1986). Прежде чем большие озера стали самостоятельными пресноводными водоемами, они затоплялись солоноватыми водами. Озера Венерн и Веттерн были полностью изолированы от окружающих морей 9 000 лет назад. Образование

столицы Швеции Стокгольма стало возможным только тогда, когда оз. Меларен стало изолированным от моря. Однако солоноватые воды поступали в озеро даже в 20-м веке при подъеме уровня воды Балтийского моря. Для предотвращения этого в 1940-х годах в Стокгольме была построена дамба.

Озера расположены на границе южной тайги и подтаежной зоны. Для региона характерны сезонная контрастность температур с длительной зимой и умеренно теплым летом, избыточное увлажнение, господство хвойных лесов (рис. 4.40, 4.41). Период ледостава для озер Эльмарен и Меларен – около 120-140 дней. Как результат увеличения средних глобальных температур в последние десятилетия в больших озерах Венерн и Веттерн безледные зимы стали более частыми. Так, за период 1979-1995 гг оз. Венерн и оз. Веттерн замерзало зимой девять раз. За период 1995-2002 гг они не замерзали

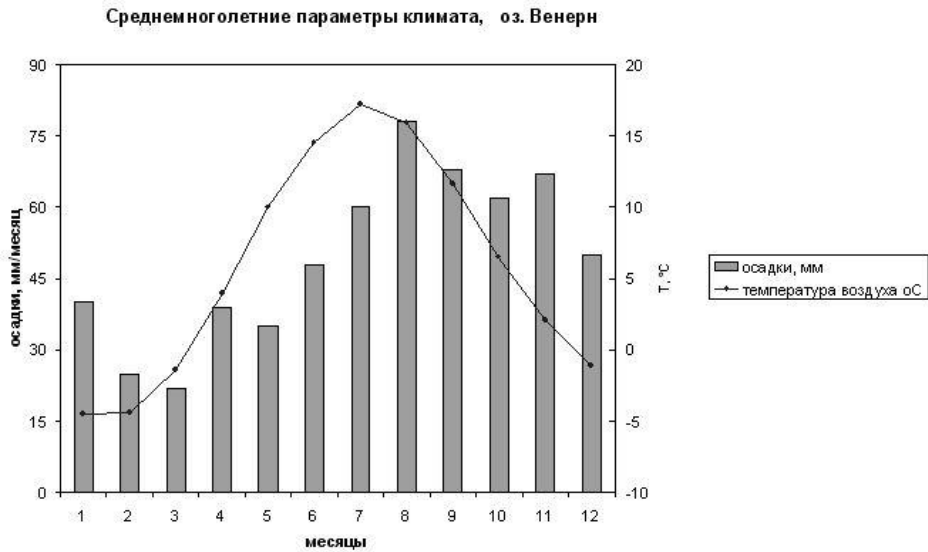


Рис. 4.40. Среднегодовые параметры температуры воздуха и осадков, ст. Карлстад

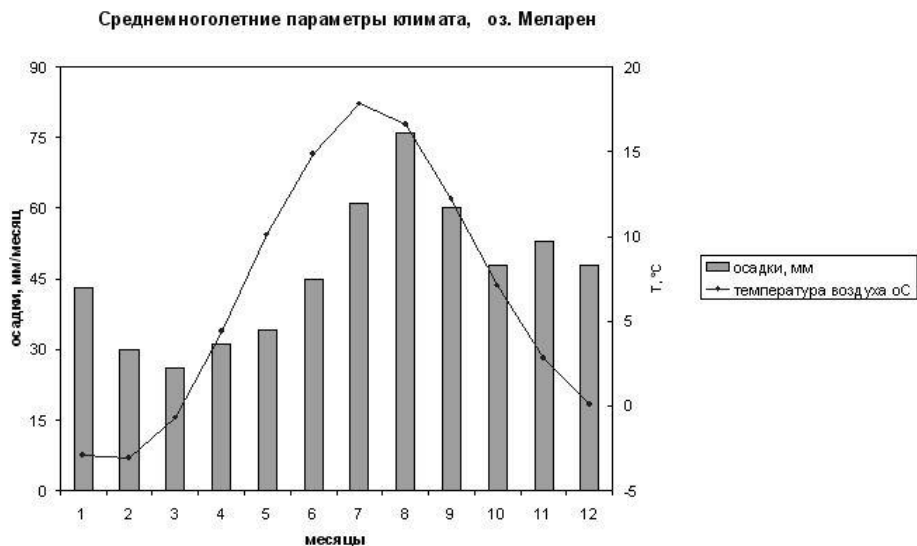


Рис. 4.41. Среднегодовые параметры температуры воздуха и осадков, ст. Стокгольм.

вообще (рис. 4.42). Сравнивая среднемесячную температуру воды в озерах в мае было установлено, что в периоды отсутствия льда температура воды в оз. Венерн была на 2°C , а в оз. Веттерн – на 1.3°C выше, чем в годы, когда озера замерзали (Weyhenmeyer et al., 2008).

Южные районы Швеции являются наиболее освоенными районами страны. Здесь хорошо развита как промышленность, так и сельское хозяйство. Промышленность представлена целлюлозно-бумажными, деревообрабатывающими, текстильными, химическими, металлургическими предприятиями, ведутся разработки полезных ископаемых. Сельскохозяйственными землями занято от 18% на водосборе оз. Венерн

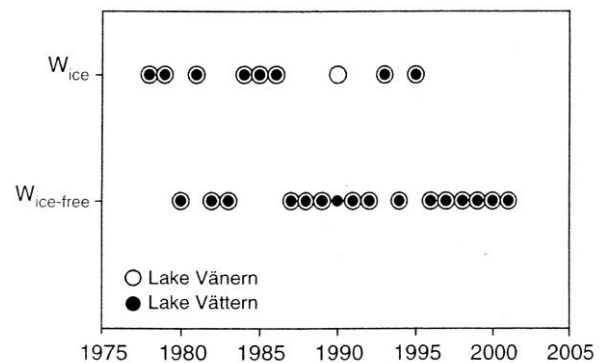


Рис. 4.42. Зимы с ледовым покровом (W_{ice}) и без ледового покрова ($W_{ice-free}$) на оз. Венерн и Вектерн. Источник: Weyhenmeyer et al., 2008.

до 26% на водосборе оз. Эльмарен. Плотность населения также достаточно высокая. На водосборах оз. Венерн 32.9 чел./км², оз. Веттерн – 46.5, оз. Эльмарен – 67.7. оз. Меларен – 50.6 чел./км². Здесь расположено довольно много городов, но большинство из них имеют население 18-95 тыс. человек. Самый крупный город - столица Швеции Стокгольм с населением 810 тыс. человек, а с пригородами – около 2 млн. человек. Из других городов следует назвать следующие – Уппсала (190 тыс. чел.), Вестерас (135 тыс. чел.), Эребру (132 тыс. чел.), Йёнчёпинг (125 тыс. чел.).

Все рассматриваемые озера объединены в единый водный путь из г. Стокгольма до г. Гётеборг, так называемый Гёта-канал. Это потребовало строительства значительных гидротехнических сооружений, прежде всего каналов, соединяющего озера Венерн и Веттерн и Веттерн и Эльмарен. Озеро Меларен имеет сток в Балтийское море у г. Стокгольм через канал Сёдертелье и систему шлюзов. Таким образом, все эти озера в настоящее время составляют единую систему. Озеро Эльмарен трудно назвать большим, но поскольку его роль во всей системе значима, оно, как правило, всегда рассматривается вместе с остальными большими озерами.

Значительное антропогенное воздействие на озера привело к ухудшению качества их воды, что потребовало регулярного исследования экосистем этих озер с целью разработки мероприятий по их восстановлению и охране. Наиболее сильное загрязнение воды наблюдалось в оз. Меларен уже в 1960-х годах. Значительные усилия были предприняты для предотвращения попадания в это озеро биогенных элементов, прежде всего за счет химического осаждения фосфора при обработке сточных вод. В 1973 г. в бассейне оз. Меларен предприятий с обработкой сточных вод было около 62%, тогда как по всей стране - только 26%, а в 1975 г. эти величины соответственно составляли 92 и 50%. На водосборах других рассматриваемых озер были предприняты попытки отведения стоков биогенных элементов, не допуская поступления их в озера. Регулярные комплексные исследования начались на оз. Меларен с 1964г., на оз. Эльмарен – с 1965 г., на оз. Ваттерн – с 1966 г. и на оз. Венерн – с 1973 г. (Willen, 1975). К концу 1970-х годов несколько улучшилось экологическое состояние озер. В 1981-1985 гг. биогенная нагрузка на озера была следующей: на оз. Венерн годовая

фосфорная нагрузка составляла 880 т, азотная – 17380 т, на оз. Веттерн – соответственно 65 т и 3370 т, на оз. Эльмарен – соответственно 65 т и 2750 т, на оз. Меларен – соответственно 590 т и 13400 т. (Data Book..., 1989). Хотя биогенная нагрузка в данном случае находится в некоторой зависимости от площади водосбора, содержание биогенных элементов в озерной воде определяется не только нагрузкой на озера, но и их площадью.

Из естественных факторов, повлиявших на экологическое состояние озер, следует назвать продолжающийся подъем территории, который в районе озер Венерн и Веттерн составляет 2-3 мм в год, а озера Меларен и Эльмарен – 4-5 мм в год. Это привело к увеличению литоральной зоны на отлогих склонах берегов озер, которая стала интенсивно зарастать тростником (Willen, 2001a). В настоящее время все озера зарегулированы.

4.15. ОЗЕРО ВЕНЕРН

Озеро Венерн, расположенное в пределах провинций (лен) Верmland и Скараборг, самое большое озеро Швеции и четвертое по величине озеро Европы после Каспия, Ладожского и Онежского озер. Его координаты 58°22' – 59°25' с.ш. и 12°19' – 14°10' в.д. Озеро расположено в районе выхода архейских пород, однако водосбор представлен преимущественно моренными отложениями, бедными питательными веществами. Берега озера в основном низкие. Рифтовая зона, направленная с севера на юг, делит озеро на два основных плеса. Множество небольших островов формирует архипелаг в центральной части озера. Наибольшая глубина характерна для восточного плеса (рис. 4.43).

Озеро димиктическое, два раза в год, весной и осенью, водные массы полностью перемешиваются, летом устанавливается устойчивая стратификация температуры. В течение лета происходит циркуляция воды против часовой стрелки. Весной нагревание воды идет неравномерно в мелководный и глубоководный районах озера, термический бар сдерживает в это время обмен воды между этими районами.

В озеро впадает более 100 рек. Основной приток р. Кларельвен впадает в северную часть озера. Сток осуществляется через реку Гёта в пролив Каттегат, соединяющий Балтийское и Северное моря. В 1935 г. озеро было зарегу-

лировано, в настоящее время колебания уровня не превышают 1.7 м. Водосбор озера почти в 8 раз превышает площадь озера и охватывает около 10% площади Швеции.



Рис. 4.43. Батиметрическая карта оз. Венерн.
Источник: Data Book..., 1987-1989.

В конце 19 столетия на притоках и берегах озера начала интенсивно развиваться целлюлозно-бумажная промышленность, которая стала его доминирующим загрязнителем. Стоки предприятий целлюлозно-бумажной промышленности отличаются высоким содержанием органического вещества с компонентами лигнина, а также цинка и кадмия. Органическая нагрузка на озеро уже с начала 20 века стала приводить к увеличению цветности воды. Пик загрязнения пришелся на начало 1960-х годов, когда содержание в озере органического вещества (по данным перманганатной окисляемости) по сравнению с 1900 г. возросло почти в 4 раза, 45 и 12 мг/л, соответственно. Загрязнение потребовало принятия срочных мер по его сокращению: был закрыт ряд устаревших заводов, введены современные технологии производства целлюлозы и очистки сточных вод (Wilander, Persson, 2001). В настоящее время величина перманганатной окисляемости составляет 15 мг/л. Прозрачность воды озера в 2000-х годах стала почти такой же, как в начале 20-го века, т.е. более 5 м по диску Секки, в период наибольшего загрязнения прозрачность воды составляла всего 2 м.

Другим источником загрязнения озера является

хлорщелочной завод на его северном берегу, в сточных водах которого содержалось много ртути. В 1960-х годах высокая концентрация ртути была обнаружена в озерной воде и, особенно, в донных отложениях, загрязнение которых охватывало значительную площадь. Выявление ртути в рыбе привело к вынужденному запрету на ее потребление, так как концентрация ртути в тканях значительно превышала допустимую концентрацию в 1 мг/кг. В последствие на заводе была внедрена новая технология, которая серьезно уменьшила и даже ликвидировала поступление ртути в озеро. В течение некоторого времени ртуть все еще встречалась в донных отложениях, но уже отсутствовала в рыбе (Lindstrom, 2001). В настоящее время в бассейне озера проводится почти полная очистка сточных вод: усовершенствованные локальные системы очистки охватывают 100% муниципального и более 90 % сельского населения. Приблизительно 75 % стоков прежде чем попасть в озеро проходят дополнительную очистку, протекая через острова архипелага.

Общая минерализация воды озера 50-80 мг/л. Водная толща равномерно насыщена кислородом, концентрация которого составляет 9.3-13.5 мг/л в период открытой воды. Величины рН изменяются в узких пределах 7.1-7.7. С середины 1990-х годов до настоящего времени концентрация общего фосфора находится на стабильном и низком уровне 8-10 мкг/л. Максимальный подъем содержания общего фосфора до 15 мкг/л отмечался в 1980 году (рис. 4.44). Приводимые данные характерны для центральной части озера, в некоторых заливах общего фосфора было больше (Wilander, Persson, 2001). Проблема биогенных элементов еще сохраняется в озере из-за высокого содержания азота, главным образом в виде нитратов, которые в основном поступают с сельскохозяйственных полей. Среднее содержание общего азота за период 1981-1995 гг (март, май-октябрь) составило 768-932 мкг/л, а нитратов 495-597 мкг/л (Weyhenmeyer, 2004). В центральной части озера концентрация общего азота превышает концентрацию общего фосфора в 80-100 раз. Значительное количество нитратов в воде связано не только с поступлением с водосбора, но и со слабым их потреблением в самом озере водорослями, развитие которых ограничено низким содержанием фосфора. Кроме того, из-за низкой первичной продукции органического вещества

здесь слабо развиты процессы денитрификации (Willen, 2001a). В настоящее время концентрация общего азота составляет около 800 мкг/л. Концентрация кремния равна 0.2-0.5 мг/л.

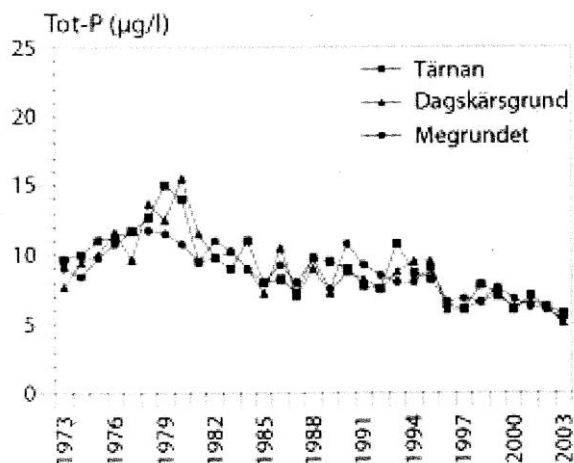


Рис. 4.44. Содержание общего фосфора в воде различных районов оз. Венерн. Источник: Wilander, Persson, 2001.

По своему трофическому статусу оз. Венерн является олиготрофным водоемом, за исключением небольших прибрежных районов. Количественные показатели фитопланктона и величины хлорофилла «а» в озере низкие. Содержание хлорофилла «а» в среднем за период 1973-2003 гг в течение вегетационного периода колебалось в пределах 0.9-3.0 мг/м³, при этом не наблюдалось какого-либо тренда изменения этих величин. В мае содержание хлорофилла меняется значительно в зависимости от того был ледостав на озере или нет. Так, после ледостава хлорофилл «а» в мае составлял в среднем 1.0 мг/м³, если же озеро не замерзло, то эта величина была значительно выше – 2.5 мг/м³, при этом концентрация биогенных элементов оставалась на одном уровне. Хорошее перемешивание воды с благоприятными температурными условиями (около 5°C) после отсутствия ледостава благоприятны для развития доминирующего вида *Aulacoseira islandica*, биомасса которого достигает 0.08 мг/л против 0.02 мг/л в мае после ледостава. Суммарная биомасса диатомовых в эти периоды составляла, соответственно, 0.26 и 0.06 мг/л. Другие виды водорослей таких различий не проявляют (рис. 4.45) (Weyhenmeyer et al., 2008). В течение вегетационного периода в озере преобладают диатомовые и криптофитовые водоросли. Из диатомовых наиболее часто встречаются *Aula-*

coseira islandica, *Melosira islandica*, *Asterionella formosa*, *Tabellaria flocculosa*, *Diatoma elongatum*, из криптофитовых – *Rhodomonas lacustris*, *Cryptomonas* spp. В некоторых районах встречались синезеленые- *Anabaena flos-aquae*, *Aphanizomenon flos-aquae*. Биомасса фитопланктона достаточно низкая, максимальные ее величины 0.4-0.5 мг/л отмечаются в мае-июне. Годовая первичная продукция органического вещества в 1976 г. составляла 20 гС/м²

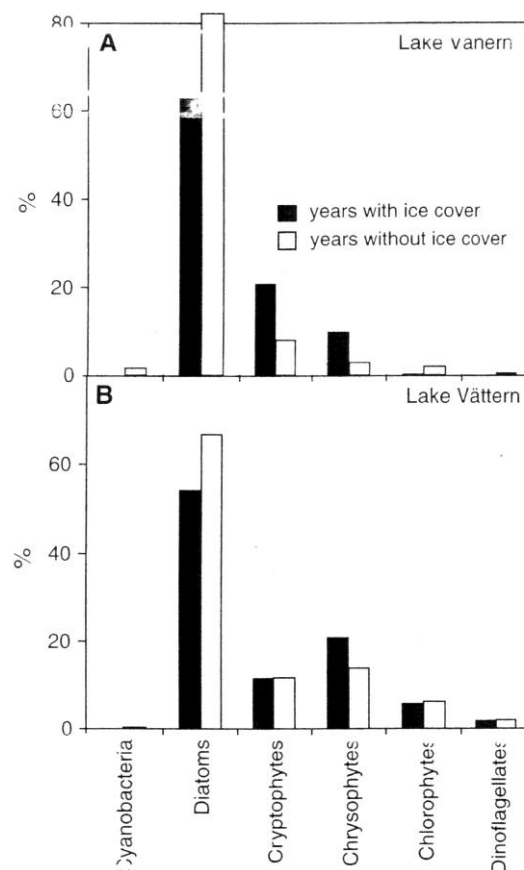


Рис. 4.45. Процент участия различных таксономических групп водорослей в общей биомассе оз. Венерн и Веттерн в мае в годы с и без ледяного покрова. Источник: Weyhenmeyer et al., 2008.

Зоопланктон представлен следующими видами: копепода (*Eudiaptomus gracilis*, *Cyclopiidae* spp., реликтовая *Eurytemora lacustris*), клado-цера (*Daphnia cristata*, *Eubosmina coregoni*), коловратки (*Polyarthra vulgaris*, *Synchaeta* spp., *Kellicottia longispina*).

Среди донных организмов есть морские реликтовые организмы, сохранившиеся с ледникового периода. Это в первую очередь амфипода

Pontoporea affinis, которая доминирует в бентосе и в профундале озера и составляет 62% от общей численности макрозообентоса, а вместе с олигохетамим (*Stylodrilus heringianus*, *Spirosperma ferox*, *Limnodrilus profundicola*, *Tubifex tubifex*) - 90 %. Многолетние исследования выявили неравномерное распределение бентосных организмов. Так, за период 1973 – 1986 гг. было обнаружена два максимума развития *Pontoporea affinis* в середине 1979-х и середине 1980-х гг., когда их численность достигала 1500-1600 экз./м². Между этими максимумами численность не превышала 500 экз. на м². Синхронно в те же самые периоды изменялась численность олигохет: максимум – 500-600 экз., а минимум – 200 экз./м², а также численность *Pisidium conventus*: максимум – около 300 экз., минимум – около 50 экз./м². Причины колебаний численности донных организмов пока не установлены, но возможно это связано с изменением питательных ресурсов (Johnson, Wiederholm, 1990).

Рыбное население в озере представлено 36 видами, среди которых наиболее распространены являются форель, сиг, судак, ряпушка, голец, корюшка, окунь, щука, налим. Строительство электростанций и зарегулированность озера отрицательно повлияло на рыбное население. Годовая рыбная продукция в настоящее время составляет 540 тонн. Согласно водному законодательству, принятому в 1993 г., в Швеции сильно ограничено любительское рыболовство.

Принятые срочные меры по ликвидации загрязнения озера, которое особенно сильно проявилось в 1960-е годы, спасли качество его воды и сохранили олиготрофный статус. В настоящее время уменьшилось содержание органического вещества, биогенных элементов, токсичных микроэлементов и хлорорганических соединений. В 1970 г. в тканях рыб содержание полихлорбифенолов превышало 20 мкг/г, в 1980 г. - 5, а в 1995 г. уже не превышало допустимые концентрации и составляло менее 1 мкг/г. В 1999 г. Шведский парламент принял ряд постановлений для поддержания устойчивого развития окружающей среды на 20-25 лет. Они предусматривают контроль загрязнения, в том числе биологического, поддержание биологического разнообразия, создание нормальных условий для рекреации. Контроль и охрана относятся не только к озерам, но и к их водосборам.

4.16. ОЗЕРО ВЕТТЕРН

Озеро Веттерн по площади занимает второе место в Швеции, а по глубине – первое (табл. 4.5). Его координаты – 57° 46' – 58° 52' с.ш., 14° 07' – 15° 00' в.д. История озера связана с последовательной сменой озерных и морских постгляциальных фаз в период 12000-6000 лет до н.э. Примерно 8000 лет назад бассейн озера Веттерн был приподнят над поверхностью Анцилового моря, после чего озеро стало самостоятельно существовать.

С востока и запада оз. Веттерн окружено горами и имеет очень живописные берега. В средние века на большом острове Висингсё жили короли. Котловина озера имеет вытянутую форму, максимальные глубины отмечены в его южной части, южнее острова Висингсё (рис. 4.46). Озеро легко реагирует на изменения ветра и атмосферного давления, отвечающие за развитие постоянных волн амплитудой 20-25 см. Сейши вызывают сильные потоки, определяющие распределение эрозионных и аккумуляционных веществ в донных отложениях.

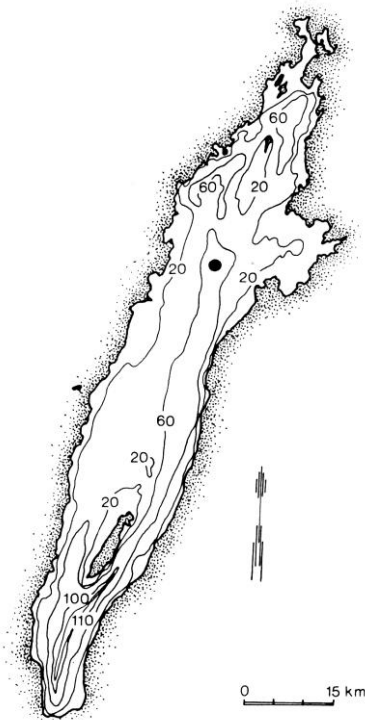


Рис. 4.46. Батиметрическая карта оз. Веттерн. Источник: Data Book..., 1987-1989.

Озеро димиктическое. (Data Book., 1989). С 1995г. оно практически не замерзает (рис. 4.42). В 1928 г. озеро было зарегулировано, и колебание уровня воды в настоящее время не пре-

вышает 0.3 м. В озеро впадает 6 достаточно крупных и множество небольших притоков и ручьев. Сток из озера поступает в систему озер, связанных каналом с Балтийским морем. Водосбор всего в 2.5 раза превышает площадь озера, что способствует сохранению его уникальных свойств и высокого качества воды, и, что особенно важно, препятствует его загрязнению через воздушный перенос. Озеро признано национальным достоянием и охраняется законом. Оно является одним из немногих больших пресных озер, пригодных для использования для питьевых нужд практически без очистки.

Оз. Венерн является олиготрофным, а в отдельные периоды даже ультраолиготрофным водоемом. Однако и для него были периоды, когда наблюдались критические изменения его экологического состояния. В середине 20-ого века в бассейне озера, особенно на юге, возникли различные поселения. Население г. Йенчепинг росло наиболее быстро (в настоящее время в нем свыше 100000 жителей). Рост населения привел к поступлению в озеро сточных вод, содержащих значительное количество биогенных элементов, органических веществ, в воде появились хлорорганические соединения. Наибольшие изменения произошли в период 1950-1960 гг. Так, в 1935 году прозрачность воды по диску Секки составляла 17.5 м, а в 1950 г. – только 7.5 м. В этот период годовая фосфорная нагрузка составляла 180 т, азотная – 7000 т. В конце 1960-х гг. концентрация общего фосфора достигала 8-14 мкг/л. Начавшийся процесс эвтрофирования прежде всего сказался на массовом развитии фитоперифитона, который стал забивать рыболовецкие сети (Persson et al., 1989).

Предпринятые срочные меры по очистке и отведению сточных вод значительно улучшили состояние озера. В настоящее время биогенная нагрузка составляет всего 3-6 % от нагрузки 1950-1960 гг (см. выше). Прозрачность воды возросла до 9.0-12.5 м. Концентрация общего фосфора не превышает 3-5 мкг/л за период март, май – октябрь (1981-1995). В озере отмечается довольно высокая концентрация общего азота 610-740 мкг/л за тот же период, причем основную часть общего азота составляют нитраты -380-512 мкг/л. Соотношение общего азота и общего фосфора – от 80 до более 100, аналогичное соотношение общего азота и фосфора отмечено в оз. Венерн. Вся водная толща хорошо насыщена кислородом – 9.4 -

13.3 мг/л. Величины рН изменяются в пределах 7.4-7.8. Перманганатная окисляемость составляет всего 6.3 – 8.1 мг О/л (Weyhenmeyer, 2004). Все эти показатели характеризуют высокое качество воды, что подтверждает оценка содержания токсических веществ и в первую очередь хлорорганических соединений.

В 1926 г. на северном побережье озера был построен второй (первый был построен в 19 веке на южном берегу озера) бумажный завод, где использовали хлор и его производные для отбеливания бумаги. Строительство привело к большому выбросу хлорорганических соединений в озеро, включая диоксины. Только к 1995 г. количество выбрасываемых токсических веществ удалось наконец сократить значительно. За период от 1960 до 1995 г. концентрация ДДТ в рыбе уменьшилась и составила 13% (0.85 мкг на 1 г веса), а полихлорбифенилов – 5.4 % (5.6 мкг на 1 г) от начальных концентраций (Lindell et al., 2001). Озеро подвергалось также загрязнению цинком, который добывается на его северной стороне, но в настоящее время поступление токсичного металла в озеро сокращено (Willen, 2001a).

Низкое содержание биогенных элементов и особенно фосфора отразилось на количественных показателях фитопланктона. Биомасса фитопланктона и содержание хлорофилла «а» в озере в последние десятилетия остаются низкими. В его южной части, где пробы отбирались через каждые три недели в течение всего вегетационного периода, концентрация хлорофилла изменялась в пределах 1.09-1.37 мг/м³. Биомасса фитопланктона почти всегда была ниже 0.5 мг/л (Willen, 1975). Весной, как правило, доминировали диатомовые водоросли, причем их биомасса зависела от того, был ли на озере ледостав или нет, хотя это различие было не так резко выражено, как в оз. Венерн. После ледостава общая биомасса фитопланктона в мае в среднем за период 1979-2002 составляла 0.06 мг/л, а при отсутствии ледостава – 0.10 мг/л, при этом биомасса диатомовых составляла, соответственно, 0.03 и 0.05 мг/л (рис.4.45). Из диатомовых наиболее четко изменялась биомасса *Aulacoseira islandica*: после замерзания озера она составляла в мае 0.002 мг/л, в отсутствие ледостава - 0.009 мг/л. Другие доминирующие весной диатомовые – *Melosira islandica*, *Asterionella formosa*, *Diatoma elongatum*, *Cyclotella comensis*. В остальные сезоны вегетационного периода доминировали хризофитовые и криптофитовые. Годовая

первичная продукция фитопланктона составляла 40 г С/м² (1978 г.).

Зоопланктон в озере представлен практически теми же видами, что и в оз. Венерн: копеподы (*Eudiaptomus gracilis*, *Eurytemora lacustris*, *Cyclopidae* spp.), клadoцеры (*Eubosmina coregoni*, *Daphnia cristata*), коловратки (*Polyarthra vulgaris*, *Keratella cochlearis*, *K. longispina*) (Data Book..., 1989).

Среди донных организмов присутствуют ледниковые реликты амфиподы *Pontoporeia affinis*, *Gammaracanthus lacustris*, *Mysis relicta*. Наиболее распространена *P. affinis*, которая составляет почти 50% от общего числа бентосных организмов. Так же как и в оз. Венерн, численность *P. affinis* в отдельные годы достигала 2000 экз./м², в другие – всего 500 экз./м², причем периоды ее максимального и минимального развития в обоих озерах совпадали (Johnson, Wiederholm, 1990). Из других видов донных организмов следует назвать: Oligochaeta (*Stylodrilus heringianus*, *Spirosperma forex*, *Limnodrilus profundicola*, *Tubifex tubifex*), Diptera (*Heterotrissocladius suspilosus*, *Paracladopelma obscura*), Bivalvia (*Pisidium conventus*).

Рыбное население представлено 30 видами. Холодноводное и глубоководное оз. Веттерн является местом обитания реликтового арктического хариуса (*Salvelinus alpinus*), некоторых видов сигов (*Coregonus* spp.), форели, которые имеют большое промысловое значение. Здесь также широко представлены корюшка, окунь, щука. Годовой уловы рыбы на протяжении многих лет держатся на одном уровне – около 250 тонн.

В настоящее время озеро является объектом туризма и рекреации (плавание, парусный спорт, спортивное рыболовство). Население на водосборе озера не превышает 210 тыс. человек, причем около 80% из них проживает в городах. Почти полная очистка промышленных, муниципальных и сельскохозяйственных сточных вод позволяет озеру сохранять экологические условия, близкие к природным.

4.17. ОЗЕРО МЕЛАРЕН (МАЛЯРЕН)

Озеро Меларен является третьим по площади озером Швеции и расположено в юго-западной части страны (табл. 4.5). Его координаты 59°14' - 59° 48' с.ш. и 16° 04' - 18° 00' в.д. Озеро

является очень сложной водной системой, состоящей из заливов различного характера, плесов. Большое количество островов до 1416 (площадью более 25м²) также усложняет систему (рис. 4.47). На основе топографических особенностей озеро подразделено на пять частей, каждая из которых имеет характерный химический и биологический режим. Столица Швеции город Стокгольм с населением около 700 тыс. человек расположена на выходе из оз. Меларен в Балтийское море. Для того, чтобы соленые воды из Балтийского моря не поступали в озеро, в 1940-х годах озеро было зарегулировано. В настоящее время диапазон ежегодных колебаний уровня воды составляет 0.5 м. 75% притока в озеро поступает в его западную часть, остальной приток – в северо-восточную. Это означает, что вода перед попаданием в Балтийское море течет в двух направлениях – с запада на восток и с севера-востока на юг. Сток из озера осуществляется по реке Норрстрем в Балтийское море. Озеро димиктическое и полностью перемешивается весной и осенью. Как правило, оно замерзает, и ледостав длится в среднем 3.5-4 месяца.

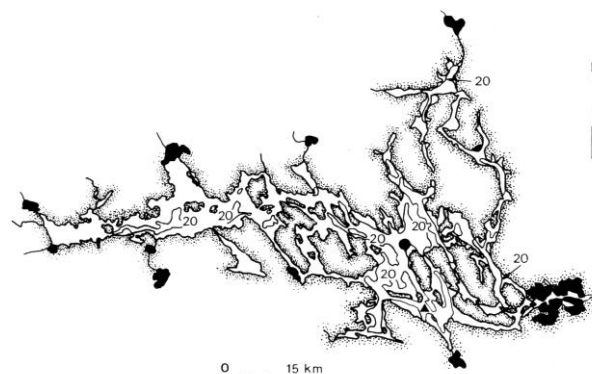


Рис. 4.47. Глубины оз. Меларен. Источник: Willen, 1975.

В отложениях на водосборе озера, особенно в его северо-восточной и южной частях, доминируют богатые известняковые глины, создающие хорошие условия для ведения в регионе сельского хозяйства. Центральная Швеция представляет собой высоко освоенный в сельскохозяйственном отношении район, где использование неорганических удобрений увеличивает поступление биогенных элементов в озеро. Водосбор, занимающий 5 % территории Швеции, почти в 20 раз превышает площадь самого озера, что делает его влияние на качество воды

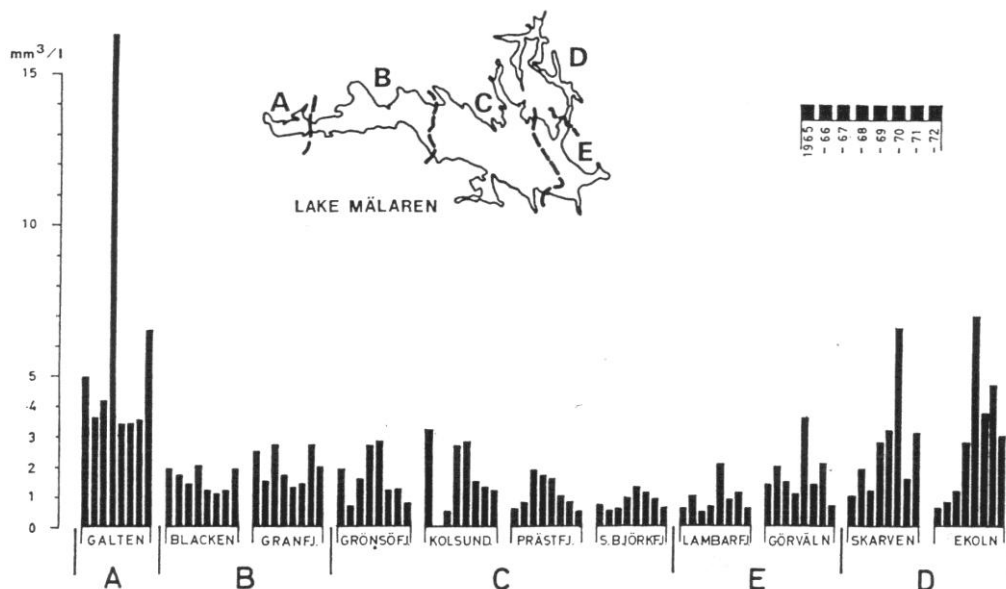


Рис. 4.48. Биомасса фитопланктона в различных частях оз. Меларен, Май-Октябрь 1965-1972 гг. Источник: Willen, 1975.

чрезвычайно существенным.

Водосбор озера начал осваиваться раньше других территорий, здесь сохранились памятники древнейших поселений и результаты культивирования земельных угодий. Быстро росло население, плотность которого и сейчас остается наибольшей. Начали разрабатываться полезные ископаемые и в первую очередь железо. Металлургическая промышленность продолжает активно развиваться до сегодняшнего дня. Первые гидростанции начали строиться на притоках оз. Меларен. В результате активного антропогенного воздействия исследования 1965-1967 гг. выявили, что озеро находится в чрезвычайно плохом состоянии. Высокая биогенная нагрузка привела к цветению воды в течение всего летнего периода, в придонных слоях воды почти полностью отсутствовал кислород. Среди синезеленых водорослей, вызывающих цветение воды, оказалось много токсичных видов. Прозрачность воды не превышала 1.5 м по диску Секки. Публикация первых данных по состоянию озера вызвала негативную реакцию населения, назвавшем оз. Меларен «сточной канавой». Уже в 1969 г. был принят закон по охране озера, после чего были приняты меры по очистке сточных вод как промышленных, так и коммунальных. Восточная часть озера улучшила свое состояние после того, как в 1970-1980 гг. муниципальные сточные воды были выведены в Балтийское море.

Очень большое различие между разными частями озера не позволяют говорить о каких-то средних значениях. Как видно из рис. 4.48, биомасса фитопланктона в 1965-1972 гг. была наибольшей в западном и северо-восточном районах, наименьшей – в центральном плесе, причем различие было существенным: максимальные значения в западном районе достигали 17 мг/л, а в центральном – 3 мг/л (Willen, 1975). Такое различие в величинах биомассы фитопланктона было связано с различной биогенной нагрузкой на эти районы. В самом загрязняемом западном районе озера годовая фосфорная нагрузка в 1965-1971 гг. составляла 3.6 г/м², азотная нагрузка – 71.8 г/м², тогда как в центральном бассейне эти величины соответственно были равны 0.7 и 13.2. Значительная нагрузка биогенными элементами на западный район озера привела к массовому развитию здесь синезеленых водорослей, достигающих 35-55% от общей биомассы, тогда как в центральном бассейне – только 2-11%. Величины хлорофилла «а» в этих районах также значительно различались – 29-34 и 6.2-9.7 мг/м³, соответственно (Ahl, 1975).

Принятый в 1969 г. закон об охране озера, предусматривающий сокращение поступления в него биогенных и токсических веществ, привел к значительному улучшению экологического состояния озера. Это видно на примере сильно загрязняемого северо-восточного района озера

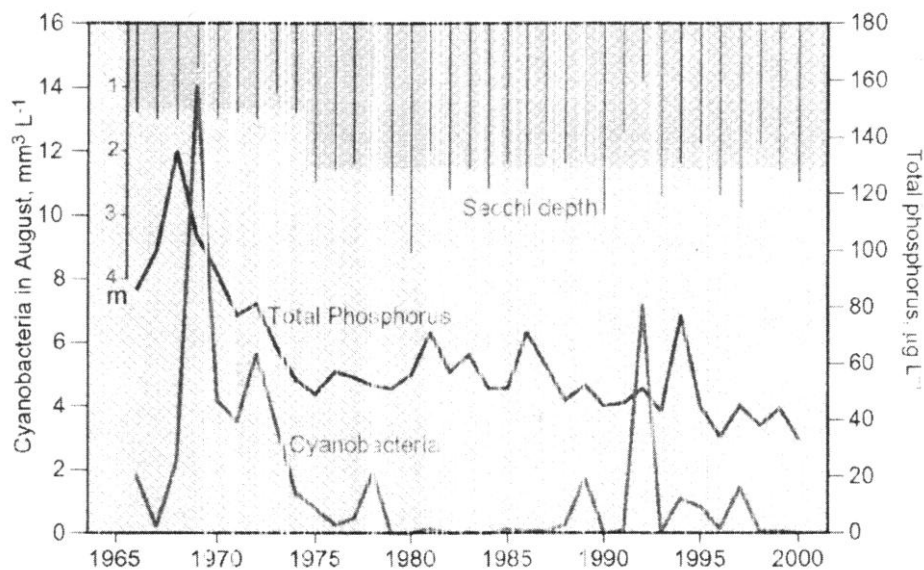


Рис. 4.49. Содержание общего фосфора, биомассы синезеленых водорослей и прозрачность воды оз. Меларен. Источник: Willen, 2001.

(рис. 4.49). Уже к 1975 г. концентрация фосфора уменьшилась здесь до 40 мкг/л против 130 мкг/л в 1967 г., а в 1995 г. стала 25 мкг/л, увеличилась прозрачность воды от 1.5 м до 3.8 м по диску Секки, уменьшилось количество синезеленых водорослей (Willen, 2001a). В западном районе концентрация общего фосфора сократилась до 50 мкг/л в 1995 г. против 120 мкг/л в 1970 г. (Wilander, Persson, 2001).

Средние гидрохимические показатели за период март-октябрь 1981-1995 гг в различных районах озера были следующими: в западном районе концентрация общего фосфора составляла 24-67 мкг/л, общего азота - 621-1654 мкг/л, активного кремния 0.2-3.1 мг/л, прозрачность воды - 0.6-1.9 м. Эти же показатели в северо-восточном районе озера составляли, соответственно - 30-81, 912-2370, 1.4-4.3, 1.2-2.7. В центральном районе озера, соответственно - 15-39, 501-942, 0.1-1.1, 1.9-3.9. Содержание кислорода в водной толще озера было достаточно высоким, даже в западном и северо-восточном районах и не опускалось ниже 7.9 мг/л (Weyhenmeyer, 2004). На примере соотношения азота к фосфору можно проследить, как изменялся уровень трофности озера. Так, в 1965-1970 гг это соотношение в западном районе составляло 10-15, в 1970-1980 гг - 25-85, и 1980-1995 гг - 30-70, то есть уже в 1970-х годах улучшилось экологическое состояние этого загрязняемого района (Wilander, Persson, 2001).

Западный и северо-восточный районы озера все еще остаются загрязненными, хотя в зна-

чительно меньшей степени, чем в конце 1960-х годов. Здесь также более высокая биологическая продуктивность, о чем свидетельствуют данные по концентрации хлорофилла «а». Так, в западном районе в настоящее время концентрация хлорофилла составляет 2.2-32.9, в северо-восточном - 0.9-23.1, а в центральном - 1.2-9.5 мг/м³. Только центральный район можно отнести к мезотрофным водоемам, хотя и в других районах трофический уровень приближается мезотрофному уровню. Если раньше цветение воды вызывало массовое развитие *Microcystis* и *Anabaena* spp., то в настоящее время эти водоросли практически исчезли и встречаются лишь в отдельных заливах. Уменьшилось количество диатомовых, но возросла численность флагаеллят, принадлежащих к Chrysophyta, Cryptophyta и Dinophyta. С 1970 г. в центральном и восточном районах озера заметно возросла численность десмидиевых *Closterium aciculare* и *Cl. acutum* до 100-300 тыс. клеток в 1 мл, что указывает на улучшение качества воды озера. Значительно увеличилось число видов водорослей. Биомасса фитопланктона на 50% уменьшилась в гипертрофных и стратифицированных северо-западных районах, но в мелководных западных районах это сокращение было значительно меньше (Pollinger, 1990).

Распределение зоопланктона по акватории озера, как и других биологических и химических показателей, было неравномерным. В 1965-1966 гг по биомассе в озере доминировали Cladocera, особенно в западном районе,

наибольшее значение в центральном районе имели Rotatoria, а биомасса Copepoda увеличивалась в восточном и северо-восточном районах озера (*Cyclopidae* spp., *Eudiaptomus gracilis*). Среди коловраток по биомассе по всему озеру доминировала *Synchaeta*, к которой в западном районе добавлялась *Asplanchna priodonta* и *Keratella cochlearis*, а в северо-восточном - *Polyarthra vulgaris* и *Keratella cochlearis*. Из кладоцер по всему озеру встречались *Daphnia galeata* и *D. cristata*, кроме них в восточном и северо-восточном районе встречалась *D. cucullata*, а в центральной части - *Bosmina coregoni*. Биомасса зоопланктона колебалась в пределах 0.96-2.75 г/л. По мере улучшения экологического состояния биомасса зоопланктона уменьшалась и сокращался его видовой состав, в основном за счет коловраток и кладоцер (Willen, 1975, Willen, 2001a).

Доминирующими группами донных организмов в озере являются Crustacea, Chironomidae и Oligochaeta. В конце 1960-х – начале 1970-х гг. реликтовая амфипода *Pontoporeia affinis* занимала ведущую роль среди макрозообентоса и составляла почти 42% от общей численности, а вместе с олигохетами – до 90%. Максимальное содержание *P. affinis*, свыше 15 тыс. экз./м² наблюдалось в 1971 г. на глубине 50 м. После чего она либо полностью исчезла в центральной части озера, либо встречалась единично, что, как правило, связывают со значительным ее потреблением рыбами. К середине 1970-х годов, когда улучшилось экологическое состояние озера, в центральной части озера увеличилось количество олигохет до максимальных значений 3.1-4.4 тыс. экз./м², а также хирономид до максимальных значений 1.1-1.9 тыс. экз./м² (Wiederholm, 1978). Хотя численность олигохет увеличилась во всех районах озера, наиболее четко это отмечалось в северо-восточном районе, где численность олигохет в 1972 г. возросла до 81.1 тыс. экз./м² против 23.7 тыс. экз. в 1969 г. (Willen, 1975). Из вселенцев следует назвать дрейссену (*Dreissena polymorpha*), которая создает некоторые проблемы в озере.

Из рыбного населения промысловое значение имеют судак, ряпушка, угорь, щука, окунь. Годовая рыбная продукция составляет 370 тонн (1986 г.). На протяжении последних десятилетий уловы рыбы колебались в близких пределах (Data Book..., 1989).

После принятия срочных мер по восстановлению качества воды в озере, прежде всего за счет создания и развития в бассейне систем очистки коммунальных и промышленных стоков, экологическое состояние озера значительно улучшилось. Это позволило активно развивать здесь туризм и рекреацию (плавание, спортивное рыболовство, яхтенный спорт).

4.18. ОЗЕРО ЭЛЬМАРЕН

Озеро Эльмарен является четвертым по площади озером в Швеции (табл. 4.5). Его координаты – 59° 08' - 59° 18' с.ш. и 15° 13' - 16° 19' в.д. Это большое мелководное озеро, которое постоянно перемешивается и даже летом не стратифицировано. Наибольшие глубины характерны для его центральной части. Озеро состоит из 4 основных плесов, отделенных друг от друга островами (рис. 4.50). Озеро зарегулировано, и амплитуда колебания его уровня составляет 0.5 м. Оно регулярно замерзает, период ледостава - 4-5 месяцев.

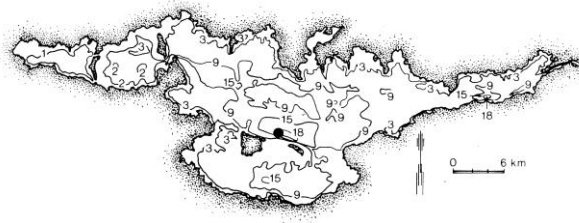


Рис. 4.50. Батиметрическая карта оз. Эльмарен. Источник: Data book..., 1987-1989.

В отложениях вокруг озера доминируют богатые известняком глины, способствующие плодородию почв региона и интенсивному развитию сельского хозяйства. Антропогенное воздействие в основном определяется поступлением стоков с сельскохозяйственных угодий, а также бытовых и промышленных стоков г. Эребру, расположенного в западной части озера.

По наблюдениям, проведенным в 18 веке, озеро было прозрачным, и вода имела хороший вкус, хотя в результате сильного ветрового перемешивания часто повышалась ее мутность. Озеро характеризовалось высокой биологической продуктивностью и хорошими уловами рыбы. Цветение воды было обычным явлением на протяжении всего вегетационного периода (Data Book..., 1989).

В настоящее время используются новые технологии очистки коммунальных и промышленных стоков. Локальные системы очистки охватывают 100% муниципального и более 90% сельского населения. Тем не менее, озеро по многим показателям остается эвтрофным, что связывают с высокой степенью сельскохозяйственной освоенности бассейна озера. Прежде всего, здесь отмечаются высокие концентрации биогенных элементов, хотя в самых загрязненных местах они в последнее время уменьшились. Поступление азота и фосфора с сельскохозяйственных полей и сточных вод соответственно в 3 и 5 раз превышает естественное их поступление (с неосвоенных почв и лесных массивов). Для сравнения в оз. Веттерн это превышение равно 2 (Ahl, 1975). По акватории озера содержание биогенные элементы распределяются неравномерно. В наиболее загрязненном участке на западе озера (залив Хемфьорден) концентрация фосфора в 1970 -е гг. превышала 300 мкг/л, а в основном бассейне – 50-60 мкг/л. К середине 1980-х гг. в заливе удалось снизить содержание фосфора до 100 мкг/л, а к началу 2000-х гг. - до 75 мкг/л. Однако в основном бассейне концентрация фосфора оставалась на уровне 45-50 мкг/л, то есть озеро на протяжении всех этих лет сохраняло свой эвтрофный статус (Wilander, Persson, 2001). Концентрация общего азота в западной части озера в 1966-1973 годах была очень высокой – до 1.5-2.5 мг/л, а в основном бассейне 0.5-1.0 мг/л. В 1980 – х годах в основном бассейне концентрация азота сохранилась на уровне 0.6-1.0 мг/л (Data Book ..., 1989). Соотношение общего азота и общего фосфора, которое является хорошим показателем уровня трофии водоема, за период 1965-1995 гг. в западной наиболее загрязняемой части озера колебалось в пределах 5-20, а в основном центральном бассейне - 10-30. Хотя эти соотношения несколько различаются, тем не менее, они соответствуют эвтрофным и гипертрофным водоемам (Wilander, Persson, 2001). Несмотря на сокращение фосфорной нагрузки на озеро, высокая концентрация фосфора в воде поддерживается поступлением его из донных отложений. Как положительный момент, следует отметить сокращение содержание фосфора в донных отложениях в ряде частей озера которое за последние 11 лет уменьшилось почти вдвое – с 2.3 до 1.0 мг Р на 1 г отложений (Willen, 2001a).

Прозрачность воды по диску Секки в цен-

тральной части озера изменяется от 1.5 м летом до 3.5 м зимой. Реакция воды нейтральная, рН варьирует в пределах 7.2-7.8. Перманганатная окисляемость – 22-40 мг О/л.

Хорошая обеспеченность озера биогенными элементами способствует массовому развитию биологических сообществ. Макрофиты представлены преимущественно воздушно-водными растениями (*Phragmites australis*) и растениями с плавающими листьями (*Nuphar luteum*). В фитопланктоне в настоящее время доминируют из синезеленых *Microcystis aeruginosa*, *Gomphosphaeria naegeliana*, из диатомовых *Melosira islandica*, *M. granulata*, *Asterionella formosa*, *Stephanodiscus rotula*, *S. hantzchii*, из криптофитовых *Rhodomonas lacustris*, из динофитовых *Ceratium hirundinella*. В 1950-е годы отмечалось массовое развитие *Gloeoetrichia echinulata*, *Volvox aureus*, но к 1970 году они практически исчезли, и в массе стали развиваться мелозира, анабена, афанизоменон, осциллятория, при этом максимальная биомасса достигала 15-22 мг/л в западном районе и 3-7 мг/л в основном бассейне (Willen, 1972). В среднем за период 1966-1973 гг. значения хлорофилла «а» в западных заливах около г. Эребру составляли 112-154 мг/м³, это были самые высокие цифры за весь период исследования, в основном бассейне озера они были равны 15 мг/м³. Годовая первичная продукция в этот период в основном бассейне также была высокой 170 г С/м² (Willen, 1975). В 1981-1985 гг. в мае-сентябре величины хлорофилла в основном бассейне колебались в пределах 4.7-19.9 мг/м³, то есть мало изменились по сравнению с предыдущим периодом. Тем не менее по некоторым показателям наблюдается некоторое улучшение экологической ситуации в озере: уменьшается биомасса синезеленых водорослей (с 1.8 мг/л в 1970-1975 гг до 0.1-0.3 мг/л в 1990-1995 гг.) и сокращаются периоды весеннего цветения воды за счет массового развития диатомовых (Willen, 2001b).

В зоопланктоне преобладают: копепода (*Cyclopidae* spp., *Eudiaptomus gracilis*), кладоцера (*Chydorus sphaericus*, *Daphnia cucullata*), коловратки (*Keratella cochlearis*, *K. quadrata*, *Kellicottia longispina*). В течение последнего времени наблюдается некоторое изменение видового состава в сообществе кладоцер и коловраток.

В отличие от предыдущих озер в донных

сообществах оз. Эльмарен в основном присутствуют хирономиды (*Chironomus plumosus*, *Procladius* spp.), олигохеты (*Potamothrix hammoniensis*, *Limnodrilus hoffmeisteri*) и моллюски (*Pisidium casertanum*). Существенных изменений в донных сообществах не наблюдается, для этого, скорее всего, нужен более длительный период восстановления озера.

Из рыбного населения имеют промысловое значение судак, щука, угорь и окунь. В 1960-х годах уловы рыбы превышали 300 тонн/год, а в

1980-х они сократились до 125-220 тонн (Data Book..., 1989).

На водосборе озера проживает немногим более 220 тыс. человек. Промышленные, коммунальные стоки почти полностью очищаются, что улучшает экологическое состояние озера, особенно его западного района, где расположен г. Эребру, наиболее подверженного загрязнению. Тем не менее, озеро остается эвтрофным. Озеро используется для туризма, рекреации, спортивного рыболовства.