

## Глава 6. КРУПНЕЙШИЕ ВЫСОКОГОРНЫЕ

К группе высокогорных озер относятся водоемы, водное зеркало которых расположено на значительной высоте, превышающей 1000-1200 м, со всех сторон они окружены горами, оказывающими заметное воздействие на климатические условия их водосбора. В данной главе нами рассматриваются только шесть таких водоемов: расположенное в Центральных Андах на плато Альтиплано оз. Титикака; находящееся в пределах Тибетского Плато оз. Цинхай (Кукунор); окруженное горами Северного Тянь-Шаня оз. Иссык-Куль, а также три крупнейших озера Армянского нагорья – Урмия, Ван и Севан, с древних времен известные как «три Великих Озера Великой Армении». Два из этих водоемов пресноводные, два – солоноватоводные и два – соленые. Наряду с этими водоемами к крупнейшим высокогорным озерам могут быть отнесены также рифтовые озера – Хубсугул и Киву и Большое Соленое озеро.

Все рассматриваемые нами озера находятся в бессточных регионах Земли. Из шести водоемов, описанных в данной главе, лишь оз. Севан и оз. Титикака имеют отток. При этом, вытекающая из оз. Титикака р. Десагуадеро, разгружается в оз. Поопо, лишь в годы высокой водности имеющее отток в бессточное оз. Койпаса, а вытекающая из оз. Севан р. Раздан относится к бассейну р. Куры, питающей внутреннее Каспийское море. Большинство рассматриваемых озер находится в средних широтах: озера Кукунор, Урмия, Ван, Севан и Иссык-Куль расположены в широтном промежутке от 36° до 43° с.ш., а оз. Титикака в низких – от 14° до 17° ю.ш. Несмотря на характерную для низких и средних широт высокую радиацию, из-за большой абсолютной высоты климат в бассейнах рассматриваемых озер отличается суровостью и крайней степенью континентальности, с огромной разницей годовых температур, низкими осадками и высоким испарением. При этом на климат близлежащих областей озера оказывают смягчающее воздействие.

### 6.1. ОЗЕРО ТИТИКАКА

Озеро Титикака расположено на границе Перу и Боливии, в Центральных Андах на плато Альтиплано. Его координаты: 14°07'-17°08'

ю.ш., 68°02'-71°06' з.д. Урез воды находится на высоте 3810 м над уровнем моря. Это самое большое пресноводное озеро Южной Америки с площадью водной поверхности 8372 км<sup>2</sup>. Длина озера 176 км, максимальная ширина 66 км, длина береговой линии – 1125 км. Средняя глубина озера – 107 м, максимальная – 283 м, объем заключенной воды – 930 км<sup>3</sup>. Время водообмена – 1343 года. Озеро состоит из двух суббассейнов: основного глубоководного и мелководного, соединенных проливом Текина, ширина которого в самом узком месте составляет около 800 м. Происхождение названия озера неизвестно. Оно было переведено как «Скала Пумы» или «Скала Лидерства». Местные жители называют озеро по-разному. Юго-восточную четверть озера боливийцы именуют «Лаго Хикьямарка», а основное озеро – «Лаго Чукюто». В Перу две эти части называются, соответственно, «Лаго Пекюэко» и «Лаго Гранде».

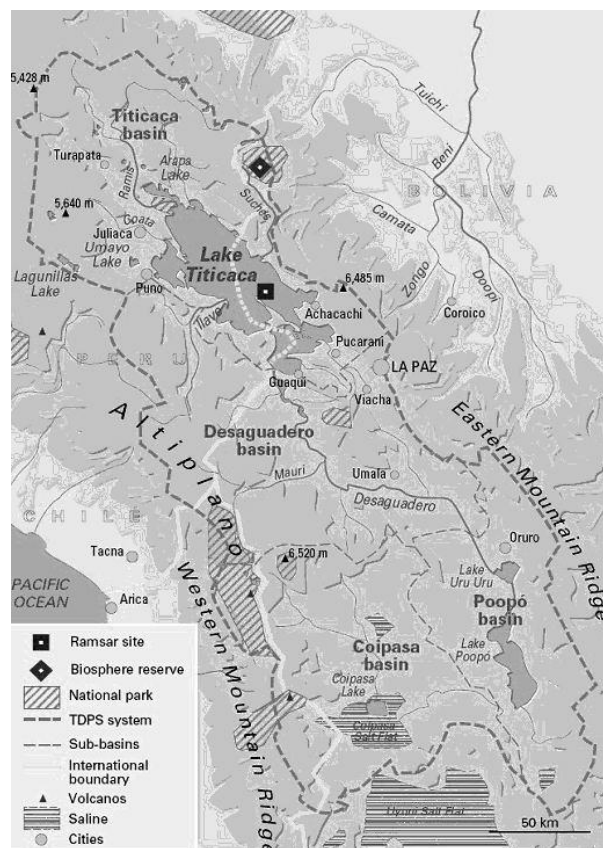


Рис. 6.1. Бассейн оз. Титикака. Источник: WWAP 2002

Водосборный бассейн оз. Титикака практически безлесный и покрыт грубой травой с рассеянными полями картофеля, ячменя и других местных зерновых культур. Само озеро

оконтурено болотистой камышовой зоной, которая является местом жительства береговых обитателей и сырьем для производства местных лодок. За небольшой полосой болот возвышаются холмы, поднимающиеся на высоту до 600 м. Около одной трети бассейна занимают горы, около половины которых имеют вулканическое происхождение (Revollo et al., 2006). На горных склонах произрастают невысокие кустарники. Карта бассейна оз. Титикака приведена на рис. 6.1. При этом необходимо отметить, что рассматривая оз. Титикака как внутренний водоем, к нему также обычно относят бассейн р. Десагуадеро (площадь частного водосбора 29843 км<sup>2</sup>), вытекающей из озера и несущей его воды в оз. Поопо (площадь частного водосбора - 24829 км<sup>2</sup>, высота водного зеркала 3686 м), а также оз. Койпаса (площадь частного водосбора - 32948 км<sup>2</sup>, высота водного зеркала 3657 м) в которое в годы высокой водности происходит разгрузка вод оз. Поопо.

Горы, окружающие оз. Титикака сформированы в меловой и эоценовый период. В начале миоцена они подверглись эрозии до пенеплена. В течение миоцена движения коры и блоков сформировали плато Альтиплано как депрессию между двумя горными хребтами Восточных и Западных Кордильер. В этот период установилась система внутреннего дренажа, которая существует до сегодняшнего времени. Согласно некоторым предположениям, в плиоцене плато Альтиплано возвышалось над уровнем моря всего на несколько сотен метров и было покрыто богатой тропической растительностью. В течение и после плиоцена тектонические движения, сформировавшие современные Анды, подняли весь район. При этом не наблюдалось больших изменений морфоструктур, но поднятие способствовало увеличению аридности климата.

Согласно последним палеолимнологическим исследованиям оз. Титикака является наследником древнего мегаозера Мантаро, возраст которого пока не установлен, но известно, что оно сформировалось где-то в четвертичный период (Revollo et al., 2006). В связи с активным испарением, характерным для плато Альтиплано, озеро постепенно уменьшилось в размере, пока не наступила фаза следующего оледенения. Периодическая смена ледниковых и постледниковых фаз в четвертичном периоде привела к перерождению озера Мантаро в оз. Кабана, а затем последнего - в озера Балли-

виан и Эскара. При отступании ледников на расположенном в аридном климате плато вновь достаточно быстро возникали условия, вызывающие уменьшение площади озер. Кроме того, в этот же период реки Ла-Пас на севере и Пилькомайо на юге перепилили ряд восточных Анд и захватили часть бассейна Альтиплано. В результате воды оз. Балливиан были частично разгружены в реки Ла-Плата и Амазонка, а само озеро распалось на два основных водоема – озера Таука и Минчин. Очередная смена ледниковых и постледниковых фаз привела к тому, что на месте оз. Минчин возникли современные озера Поопо и Койпаса, а оз. Титикака явилось наследником оз. Таука.

### *История заселения и роль озера в жизни окружающих народов*

Первые поселения на берегу оз. Титикака датируются 8 тыс. лет до нашей эры, согласно мнению историков основным занятием проживающих здесь людей в это время была охота. В период с 8 по 2 тысячелетия до н.э. происходило активное освоение региона; археологи находят множество оставшихся с тех времен каменных орудий, использовавшихся для различных хозяйственных работ. Считается, что первые оседлые общины, занимающиеся сельским хозяйством, появились в регионе еще во 2 тысячелетии до н.э. Около XV в. до н. э. на берегу озера возникает крупнейший город региона Центральных Анд – Тиуанако. В XII в. происходит завоевание региона племенами колья (аймара). Инки завоевывают земли аймара в 1432 г (Revollo et al., 2006) и господствуют в регионе вплоть до появления европейцев в XVI в.

После прихода европейцев путь развития региона резко изменился. Испанские колонизаторы начали здесь активную добычу драгоценных металлов, используя местных индейцев как очень дешевую рабочую силу. В начале XIX в. заканчивается испанское господство и начинается республиканский период развития региона. Этот период связан с широкомасштабной экспроприацией земель и их передачей крупным помещикам. Такая система землевладения просуществовала вплоть до земельной реформы в Боливии в 1953 г. и в Перу в 1969 г. Новая реформа тоже не принесла местным жителям благополучия, так как в ее результате были снижены цены на сельскохозяйственную продукцию. В результате многовековой эксплуатации отношение коренного

Среднегодовое параметры климата, оз. Титикака

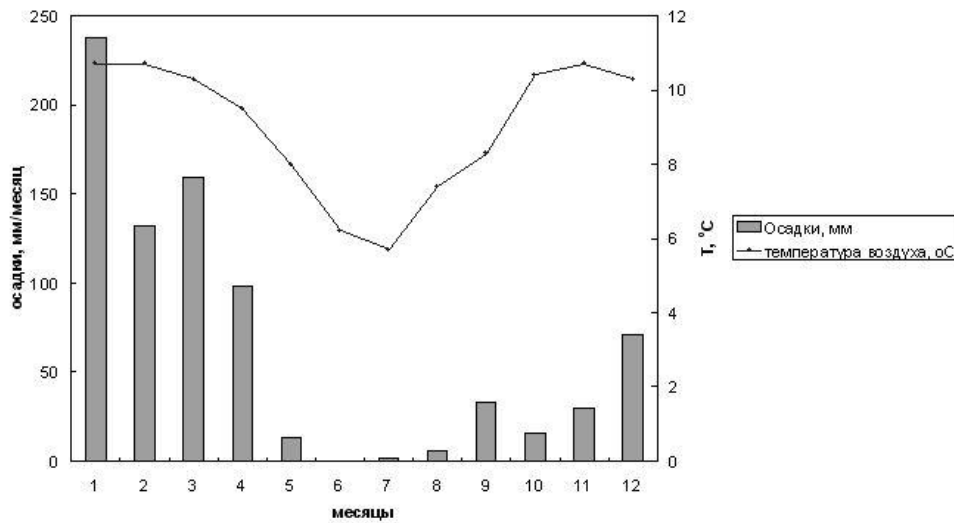


Рис. 6.2. Среднемесячные параметры климата по данным ILEC.

население к властям очень недоверчивое, усилия последних правительств обеспечить инфраструктуру в интересах развития городов еще более осложнили ситуацию в сельских регионах. Тем не менее, среди местных жителей появилось стремление к лучшей жизни, надежды и перспективы связываются в регионе с развитием туризма.

Значительная часть населения, проживающего в бассейне оз. Титикака – коренные жители, смешанное население характерно лишь для городов. На сегодняшний день этнически регион разделен на три зоны - зона кечуа на севере, зона аймара в центре и зона кечуа на юге. Кроме того, непосредственно на озере проживают индейцы урос. Еще инками они были вытеснены в свое время на острова, где и обитают до сегодняшнего дня. Урос занимают 42 искусственных острова, сделанных ими из местного титикакаского тростника. Толщина таких островов составляет около 1.5 м, их необходимо постоянно обновлять камышом сверху, так как нижние слои со временем сгнивают. Время жизни искусственных островов составляет около 30 лет. Обычно семьи заблаговременно строят новый остров, что занимает в среднем около полугода. Индейцы ловят рыбу и птиц, держат мелкую живность, однако основным источником их доходов в последнее время стал туризм.

Озеро Титикака играет огромнейшую роль в жизни народов, обитающих на его берегах. Оно

обладает богатой флорой и фауной и является важнейшим ресурсом воды для более двух с половиной миллионов человек, проживающих в его бассейне. Озеро является высочайшим в мире судоходным водоемом. Линия между Пуно (Перу) на северо-востоке озера и Гуаки (Боливия) на юго-западе является основной морской дорогой Боливии - внутренней страны, не имеющей прибрежных территорий. Однако особенно важную роль озеро Титикака играет в жизни таких индейских племен, как урос, продолжающих вести практически естественный (природный) образ жизни и целиком зависящих от его водных и биологических ресурсов.

**Климат. Характеристики термического режима**

Лето (декабрь-февраль) в бассейне оз. Титикака облачное и дождливое, зима (июнь-август) - солнечная и сухая (рис. 6.2). Температура воздуха изменяется в течение года от -10 до +23°C. Для региона характерны значительные различия между дневными и ночными температурами. Поступление солнечной радиации очень высокое, что объясняет значительные величины испаряемости. Суммарное испарение оценивается в среднем в 652 мм/год (Cathcart et al., 2007). Средняя величина осадков составляет 703 мм (Cathcart et al., 2007), при этом они изменяются в пределах бассейна от 200 до 1500 мм. Наибольшее количество осадков выпадает в северной части водосбора и, непосредственно, на поверхность озера. Южная часть

региона, относящаяся к бассейну р. Десагуадеро и озерам Поопо и Койпаса, характеризуется значительной сухостью. Здесь разбросаны небольшие соленые водоемы.

Озеро Титикака - теплое мономиктическое. Для него характерен обширный эпилимнион, температура которого не сильно контрастирует с температурой гиполимниона. В течение лета и осени озеро стратифицировано со слоем температурного скачка, расположенного в марте на глубине 40-70 м и перемещающегося к июню на глубину 70-100 м. К середине зимы озеро по большей части своего объема становится изотермальным с температурой 11.1-11.2°C. На мелководье в наиболее холодные ночи может происходить образование ледяного покрова. К концу июля, в период изотермии, озеро перемешивается до глубины 100 м. Низкая концентрация растворенного кислорода и высокая концентрация кремния на глубинах 150-200 м до и после перемешивания свидетельствуют, что ниже глубины 150 м озеро может не перемешиваться (это явление наблюдалось в 1973 г.) (Richerson et al., 1987). Стратификация восстанавливается в сентябре и продолжается все лето (Powell et al., 1984).

#### ***Характеристики водного режима и водного баланса***

Основной приток в оз. Титикака приносят 5 больших рек, стекающих с ледников, окружающих плато Альтиплано. Их среднегодовые расходы согласно данным Cathcart et al. (2007) составляют: Рамис - 76 м<sup>3</sup>/сек, Коата - 41.5 м<sup>3</sup>/с, Илаве - 38.5 м<sup>3</sup>/с, Ханкане - 20 м<sup>3</sup>/с и Сучез - 10.6 м<sup>3</sup>/с. Четыре реки имеют водосборы на территории Перу. Также в озеро впадают еще около 20 рек и многочисленные ручьи, стекающие со склонов плато и носящие временный характер. Большинство рек берет начало высоко в горах, в зоне распространения ледников. Кроме поверхностного стока питание озера происходит также за счет грунтовых вод. Основной, связанный с озером, аквифер расположен в средней и нижней частях бассейнов р. Рамис и Коата, в нижней части бассейна Илаве и по направлению от оз. Титикака до Оруро, и ограничен восточным горным хребтом. Отток из озера происходит по р. Десагуадеро в направлении оз. Поопо. Среднегодовой расход р. Десагуадеро составляет 89 м<sup>3</sup>/с при максимальном - 319 м<sup>3</sup>/с (Cathcart et al., 2007). Оз. Поопо фактически является бессточным, лишь в очень влажные

годы из него может происходить отток в направлении солончака Койпаса по водотоку Лака Джахуера. Соленость оз. Поопо колеблется от 15 до 100 г/л.

На долю оттока из оз. Титикака приходится лишь около 5% расходной части водного баланса, тогда как на испарение - более 90 % (Richerson et al., 1975) Величина испарения изменяется в пределах водосбора от 200 до 1400 мм, максимальные значения отмечаются в центральной части озера.

Из-за высокой вариативности климата уровень озера подвержен значительным колебаниям как сезонным, так и многолетним. За 100 лет наблюдений он изменялся в пределах 6.5 метров, тогда как годовые колебания уровня составляют около 1 м (Cathcart et al., 2007). Обычно в летние месяцы (с декабря по март) уровень повышается, а в зимние - снижается.

Раньше предполагалось, что в многолетнем разрезе уровень оз. Титикака постепенно снижается. Однако исследования последних лет опровергают эту точку зрения, были выявлены более-менее регулярные циклы падения и повышения уровня. В наиболее сухой период, наблюдавшийся приблизительно от 5700 до 5000 лет назад (Wirtmann, 1987) уровень озера был на 75 м ниже сегодняшнего. Приблизительно около 4500 лет назад озеро стало вновь наполняться (Baker, 2005). В результате под поверхностью воды в настоящее время оказались когда-то заселенные озерные террасы, содержащие памятники древней культуры (Erickson, 1988).

#### ***Основные характеристики качества вод***

Оз. Титикака в естественном состоянии характеризовалось высокой степенью олиготрофности и, соответственно, высокой прозрачностью воды, изменяющейся в течение года от 4.5 до 10.5 м. В последние десятилетия активная хозяйственная деятельность на водосборе ухудшила качество воды и способствовала снижению прозрачности и периодическому цветению сине-зеленых водорослей, особенно в прибрежной зоне, на мелководье. На сегодняшний день озеро по большей части своего объема рассматривается как мезотрофное. Минерализация повышенная и составляет по различным оценкам от 780 (ILEC, 1988) до 1030 мг/л (Hegewald et al., 1976). Электропроводность - 1541  $\mu$ S/cm, pH - 7.9-8.6 (Hegewald et al., 1976). Концентрация растворенного

кислорода в поверхностном слое от 4 до 5 мг/л или 95-102% насыщения. По данным (Gilson, 1964) зимой кислород присутствует и на глубине 150-180 м, где его концентрация составляет около 2 мг/л. Среди ионов преобладают  $\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{K}$ ,  $\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$ . Концентрация нитратов изменяется в течение года от 0.06 до 0.24 мг/л, зимой она несколько выше, летом - минимальная. Концентрация фосфатов также наименьшая в летний период и изменяется в течение года в пределах 0.01-0.023 мг/л у поверхности и 0.02-0.065 мг/л на глубине более 30 м.  $\text{SiO}_2$ , мг/л - 0.5-1 мг/л (ILEC, 1988).

### Основные биологические особенности

На мелководье оз. Титикака широко распространена высшая водная растительность, представленная воздушно-водными макрофитами: камышом (*Scirpus tatora*), щитолистником (*Hydrocotyle* sp.), лилеопсисом (*Lilaeopsis* sp.); плавающими: ряской (*Lemna* sp.), азоллой (*Azolla* sp.); погруженными: перистолистником (*Myriophyllum elatinoides*), харовыми водорослями (*Chara* sp.), элодеей (*Elodea potamogeton*), блестяжкой (*Nitella clavata*), рдестом (*Potamogeton strictus*), руппией (*Ruppia filifolia*), камышевиком (*Schoenoplectus californicus*), ситником (*Juncus arcticus*). Макрофиты покрывают значительные площади заливов, где глубина воды не превышает 2.5 м, формируя слабо проницаемые болотины, так в зал. Пуно растительностью занято 300 км<sup>2</sup> площади. В фитопланктоне доминируют сине-зеленые водоросли: *Lyngbya vacuolifera*, *Anabaena sphaerica*, *Nodularia harveyana*, зеленые: *Ulothrix subtilissima*, *Oocystis borgei*, *Ankistrodesmus falcatus*, *Selenastrum minutum*, *Dictyosphaerium ehrenbergianum*, *Staurastrum paradoxum*, среди диатомовых - *Cyclotella stelligera*. (Gilson, 1964, ILEC, 1988). Фитопланктон не богат по количеству и разнообразию и достаточно однообразен в различных частях озера. В водах с повышенным содержанием солей преобладают диатомовые водоросли - *Botryococcus Braunii*. По данным (Widmer et al., 1975) среднемесячная биомасса фитопланктона изменяется в течение года от 13.5 до 30.8 мг С/м<sup>3</sup>. Минимальные значения характерны для весенних месяцев (сентябрь-ноябрь) и января, максимальные наблюдаются в конце лета, в феврале, марте, а также зимой, с мая по август.

Зоопланктон достаточно беден, доминируют веслоногие ракообразные: *Boeckella titicacae*,

*Microcyclops leptopus*, *Boeckella occidentalis*, *Eucyclops neumani*, *Paracyclops finitimus*, *Mesocyclops annulatus*, *Metacyclops leptopus*. Ветвистоусые раки представлены: *Ceriodaphnia quadrangula*, *Bosmina coregoni* var. *Bosmina huaronensis*, *obtusirostris*, *Daphnia pulex*, 9 видов коловраток, среди которых преобладает *Asplanchna* sp. (Gilson, 1964, ILEC, 1990, Bayly, 1995). В озере многочисленны моллюски, в т.ч. брюхоногие - *Taphius* spp. и пресноводные брюхоногие - *Littoridina* spp.. Многочисленной группой являются бокоплавы - *Hyalella*, обитающие на различной глубине, в том числе в донных отложениях. Представлены: поденки, стрекозы, полужесткокрылые, ручейники, жесткокрылые и двукрылые. Насекомые не многочисленны. Среди комаров-звонцов выявлены: *Chironomus*, *Polypedilum*, *Paratanytarsus*, *Syncricotopus*, *Pseudosmittia*, *Corynoneura* (Gilson, 1964).

Оз. Титикака богато рыбой, среди которой много эндемиков, особенно среди отряда кипринид рода орестии, которых насчитывается 40 видов. Наиболее многочисленны в рыбном населении орестии - *Orestias agassii*, *O. luteus*, *O. Pentlandii*, а также представители отряда сомообразных - трицхомистерии (*Trichomycterus rivulatus*), и отряда актериноподобные - базилихты (*Basilichthys bonariensis*). (LBRI & ILECF, 1988, Vaux et al., 1988). В озере также водятся представители семейства лососевых - голец (*Salvelinus namaycush*) и лосось (*Salmo gairdneri*) (Gilson, 1964). Подселение в 1930-е годы в оз. Титикака новых видов рыб (форели и мокрели) привело к снижению аборигенных видов, таких как орестии и трицхомистерии (Willcock 1994). Рыбная продуктивность на 1980 г. составляла 6327 тонн/год.

Среди отряда земноводных в озере встречается 18 местных видов, в том числе на мелководье широко распространены крупные лягушки (*Telmatobiinae*), представители семейства свистунов или зубастых жаб (*Leptodactylidae*), достигающие в длину 30 см.

На озере обитает около 60 видов птиц, в том числе титикакская поганка (*Centropelma micropterum*), ибисы (*Plegadis ridgwayi*), бакланы (*Phalacrocorax olivaceus*), цапли (*Phleocryptes melanops*), утки (*Anatidae*), чайки (*Laridae*), кулики (*Scolopacidae*), фламинго (*Phoenicopteridae*). В том числе исчезающие виды - *Phoenicopus cilensis*, *Phoenicopus janesi*,

*Phoenicopterus andinus* (Revollo et al., 2006).

### **Экономические характеристики антропогенной активности в бассейне**

Площадь водосбора озера Титикака составляет 58000 км<sup>2</sup>, здесь проживает 2.8 миллиона человек (Revollo et al., 2006). Темпы прироста населения составляют 1.6% в год. Большинство жителей существуют в условиях крайней бедности, так что борьба за выживание в данном регионе является приоритетной, тогда как образование и здравоохранение находятся на второстепенном уровне. Даже в одном из наиболее крупных городов бассейна – Пуно годовой доход не превышает 600 долларов США, тогда как в сельской местности он в разы ниже (Revollo et al., 2006). Количество неграмотных составляет более 20%, причем в сельской местности их большинство. Для региона характерны значительные проблемы со здоровьем, связанные, прежде всего, с бедностью, плохим питанием, недостатком чистой воды и низким уровнем санитарии. Лишь небольшой процент населения, преимущественно городского, имеет доступ к электричеству. При этом основным источником энергии (приблизительно на 70%) для сельских жителей является сжигаемая биомасса. К сожалению, рычаги для улучшения уровня жизни населения региона в настоящее время практически отсутствуют.

Основой местной экономики является сельское хозяйство в котором занято более половины трудоспособного населения. Среди выращиваемых культур – картофель и другие корнеплоды, некоторые бобовые. Урожайность низкая, прежде всего, в связи с ограниченным использованием удобрений и сельскохозяйственной техники. Кроме того, для региона характерны резкие перепады погоды, сильные морозы, частые засухи и периодические наводнения. Возвышенные земли на водосборе обеспечивают небогатое пропитание овцам, ламам и альпакам, тогда как ряд земель в понижениях и вдоль рек пригодны для ирригации. Доля сельскохозяйственных земель составляет около 1/3 от площади бассейна, что превышает его естественные возможности и свидетельствует о сверхэксплуатации земельных ресурсов. Почти все сельскохозяйственные земли принадлежат отсутствующим владельцам и обрабатываются очень небольшим индейским населением племен кечуа и аймара.

По берегам озера расположен ряд городов,

крупнейшим из которых является Пуно в Перу (около 100 тыс. жит.) и Джулиака (около 175 тыс. жит.) в Боливии. На территории Перу среди более крупных населенных пунктов на побережье - Помата, Джули, Платерия, Паукаркойла, Капачика, Пуси, Вилькечико, на территории Боливии - Хуарина, Гвакуи, Десагуадеро и Копакабана. В последние десятилетия рост городов происходит достаточно быстрыми темпами. Здесь строятся предприятия агропромышленности, а также мебельной и текстильной промышленности. Однако их количество пока невелико, а эффективность достаточно низкая. На водосборе развита горно-добывающая промышленность, в том числе рудная - добыча золота и олова, а также фосфатов, соли и гипса. В последние десятилетия в регионе постепенно набирает темпы туризм. На озере развито рыболовство, здесь работает около 11000 рыбаков (Revollo et al., 2006).

Водозабор в бассейне озера происходит как из поверхностных, так и из грунтовых вод. Общая величина водозабора составляет 0.3 км<sup>3</sup> в год, в том числе на нужды ирригации – 0.23 км<sup>3</sup> (Cathcart et al., 2007). Приблизительный водозабор грунтовых вод составляет 0.1 км<sup>3</sup> и используется преимущественно на питьевые нужды. Основное водообеспечение населения происходит за счет колодцев. Потенциально возможный водозабор на ирригационные нужды, обеспечиваемый из поверхностных вод, оценивается в 0.6-0.8 км<sup>3</sup>/год (Revollo, 2008).

### **Основные проблемы, существующие в бассейне озера**

Среди важнейших проблем, существующих в бассейне оз. Титикака и препятствующих его устойчивому использованию, Revollo et al. (2006), указывает следующие:

- естественные, природные проблемы, связанные с погодными явлениями;
- проблемы, связанные с недостаточным регулированием водных ресурсов;
- проблемы деградации окружающей среды;
- проблемы, связанные с социально-экономическими условиями в регионе.

*Природные проблемы* Климатические условия плоскогорья Альти-пано отличаются суровостью, значительной вариабельностью и частым возникновением опасных явлений, сказывающихся на природо-пользовании и человеческой деятельности. Большая часть

плато характеризуется суровым климатом, отрицательными температурами значительную часть года. На юге плато заморозки наблюдаются около 300 дней в году. Суровые климатические условия отражаются, прежде всего, на развитии сельского хозяйства, ограничивая его производство лишь небольшим набором выращиваемых культур и являясь основной причиной низкой урожайности.

К опасным явлениям в регионе относятся наводнения. Значительные ливневые осадки, наблюдавшиеся во второй половине 1980-х гг. привели к регулярным наводнениям низменных территорий близ озера, и затронули около 95000 га земель. Только ущерб от наводнений 1985-86 гг. был оценен в 125 миллионов долларов. (Revollo et al., 2006). Существенному подтоплению подвергались земли вдоль р. Десагуадеро и близ озер Уру-Уру и Попо. Среди других опасных явлений в регионе – засухи. Засуха 1982-83 гг. принесла убытков на 128 миллионов долларов, при этом потери урожая были оценены в 105 миллионов и потери в животноводстве – в 23 миллиона долларов (Revollo et al., 2006). Ущерб от засухи 1989-90 гг. оценивается в 88.5 миллионов долларов.

*Проблемы, связанные с недостаточным регулированием водных ресурсов* Как указывалось выше, в годы низкой водности в бассейне оз. Титикака острейшим образом выражены проблемы нехватки воды, что вызывает необходимость продуманного распределения водных ресурсов в интересах различных водопотребителей. В то же время в годы высокой водности значительную опасность для низменных земель представляют наводнения, приводящие к огромнейшему ущербу местной экономике. Проблемы усугубляются из-за слабого регулирования имеющихся в наличии водных ресурсов. Оптимизация их использования позволит минимизировать отрицательные последствия естественных колебаний водности, приводящих порой к катастрофическим последствиям.

С целью борьбы с наводнениями и обеспечения стока в маловодные годы в конце XX в. в бассейне озера были начаты работы по регулированию стока. План включает строительство двух плотин на р. Десагуадеро. Первая из них, сооруженная в 2001 г., расположена при выходе из озера, вторая будет сооружена в 40

км ниже по течению (Cathcart et al., 2007). Основное предназначение дамб – регулирование стока и защита пойменных земель, кроме того, они обеспечивают ирригационные нужды, защиту рыбного населения и аквакультурности. Строительство дамб позволяет защитить от разливов воды около 6000 га земли вокруг озера и около 10000 га в долине р. Десагуадеро, оросить около 50000 га земель в Перу и около 35000 га в Боливии. Строительство водохранилищ обеспечит увеличение рыбопродуктивности на 6000 тонн и сбор макрофитов массой около 50000 тонн/год. Кроме того, оно создает рекреационную зону вблизи поселений. Согласно расчетам, в идеале, зарегулированный уровень должен колебаться в диапазоне от 3808 до 3811 м. Кроме строительства дамб предполагаются работы по углублению русла реки для борьбы с осадконакоплением и улучшения ее гидравлики. Кроме р. Десагуадеро гидротехническое строительство предполагается и на реках питающих озеро. Его основная цель – увеличение площади ирригационных земель в регионе.

*Проблемы, деградации окружающей среды.* Недавнее развитие городов, специализирующихся на обрабатывающей промышленности, и нескольких туристических центров значительно сказываются на качестве озерной воды. Из расположенных на побережье оз. Титикака городов единственным, имеющим на сегодняшний день систему муниципальной очистки стоков, является г. Эль Альто. Согласно оценкам ILEC, 1988 загрязнение на озере в 1980-е гг. было ограниченным, однако к началу 2000-х гг. оно существенно возросло. Необработанные муниципальные стоки г. Пуно являются основным источником эвтрофирования внутреннего залива Пуно, оказавшегося наиболее затронутым антропогенным загрязнением. Поступление азота и фосфора в зал. Пуно еще в 1990-х гг. оценивалось в 19.6 и 7.5 метр. тонн, соответственно (Rivera, et al., 1991). Поскольку открытые воды оз. Титикака бедны азотом, сточные воды являются его основным поставщиком. В результате поступления биогенного вещества зал. Пуно на сегодняшний день достаточно плотно покрыт акварастительностью, распространяющейся до глубин 7-8 м. Кроме макрофитов широкое развитие в заливе получают сине-зеленые водоросли. Из-за необработанных стоков в зал. Пуно обнаружена высокая концентрация колиформ бактерий, составляющая на мелководье 620 - 1870

экз./100 мл. Такая концентрация лимитирует использование воды для питья и представляет потенциальную угрозу здоровью (Rivera, et al., 1991). С глубиной количество бактерий быстро падает. Значительное загрязнение наблюдается и в низовьях р. Коата, прежде всего за счет стоков города Джулиака.

Из-за развития на водосборе добывающей промышленности в речных водах, питающих озеро, в заметном количестве присутствуют тяжелые металлы. Донные отложения реки Коата загрязнены медью, кадмием, магнием, цинком, никелем и кобальтом. Однако загрязненность тяжелыми металлами вод оз. Титикака выражена слабо, и проявляется пока лишь в заливе Пуно. Вместе с тем, в верховьях вытекающей из озера реки Десагуадеро наблюдается повышенное содержание кадмия, а ниже по течению – магния, кобальта, никеля, сурьмы, марганца, мышьяка, меди, цинка и железа (Revollo et al., 2006). В результате, загрязнение тяжелыми металлами в оз. Поопо весьма значительно.

Важнейшей проблемой в бассейне оз. Титикака является почвенная эрозия, усиливающаяся по мере его хозяйственного использования. Более четверти водосбора уязвимы к эрозии. На сегодняшний день наблюдается чрезмерная эксплуатация земель, достигшая 35% от площади водосбора, что существенно превышает его естественные возможности, лишь 17% площади действительно пригодны для сельского хозяйства. Кроме того, на усиление эрозии влияет многолетний выпас скота, приводящий к выбиванию почв. Эрозия приводит к смыву почвы и настолько велика, что может изменить состав и структуру озерного и речного стока.

*Проблемы, связанные с социально-экономическими условиями* Слабость экономики и бедность местных жителей, особенно в сельских районах, не позволяет предпринять необходимых усилий для ограничения возрастающего загрязнения. На сегодняшний день в регионе, где интенсификация сельского хозяйства пока мало реальна, чрезмерная эксплуатация земель является жизненно необходимой. Быстрые темпы урбанизации значительно опережают темпы введения очистных сооружений, тогда как во многих населенных пунктах речь о них пока даже не заходит.

*Проблемы, связанные с глобальным потеплением* Среди проблем, которые угрожают оз. Титикака называют также глобальное потепление климата. Уже на сегодняшний день

ряд авторов (Valdez, 2009) видит проявление глобального потепления в наблюдающемся в последние годы снижении уровня оз. Титикака до минимальных значений прошедшего столетия, что, впрочем, могло быть вызвано естественными колебаниями климата. Однако реальной угрозой озеру является предсказываемое в связи с ростом температуры таяние ледников. Ледниковое питание является основным для рек, питающих озеро, и их возможное исчезновение в недалеком будущем катастрофически скажется на его водных запасах.

### ***Описание мер, предпринятых для улучшения экосистемы озера***

После сильных наводнений 1986-89 гг., сменивших засуху 1983 г., с целью защиты и обеспечения рационального природопользования в регионе в 1993 г. Перу и Болтвией было создано двунациональное автономное управление оз. Титикака (ALT). При этом была объединена доступная в обеих странах информация по его водным ресурсам. Модель совладения не только обращается к водным ресурсам озера, но также к его водосбору, что гарантирует комплексное управление водной системой. Основными задачами объединенного управления озером являются: сосредоточение усилий с целью жизнеспособного природопользования; восстановление экологической целостности системы, в том числе восстановление исчезающих видов, пополнение рыбных запасов и смягчение антропогенного вмешательства; расширение человеческой активности в бассейне, в том числе ирригационное строительство, защита от наводнений и поднятие уровня жизни местного населения.

В силу своей высокой биологической вариативности оз. Титикака с 1998 г. является частью Рамсарских охраняемых территорий. В связи с усилившимся в 2000-е гг. загрязнением озера Всемирный банк выделил к 2008 г. \$20 миллионов на восстановление экологического баланса в районе озера. Средства будут расходоваться в течение 5 лет на развитие "цивилизованного туризма", обучение местных руководящих кадров методике рационального природопользования, а также на улучшение санитарно-гигиенических условий жизни коренных обитателей. Планируется провести в индейские селения водопровод, построить канализацию и очистные сооружения.



## 6.2. ОЗЕРО ЦИНХАЙ (КУКУНОР, КИНГХАЙ ХУ)

Оз. Цинхай (Кукунор, Кингхай Ху) – крупнейшее в Китае бессточное солоноватое озеро, расположенное на восточном краю Тибетского плато, на территории провинции Цинхай между автономными провинциями Хайнань и Хайбей (рис. 6.3). Его координаты:  $36^{\circ}32'$  –  $37^{\circ}15'$  с.ш.,  $99^{\circ}36'$  –  $100^{\circ}47'$  в.д., высота уреза воды расположена на 3195 м выше уровня моря. По берегам озера раскинулись равнины, которые как бы тремя высотными уровнями поднимаются по водосбору: от уреза воды до 3600 м, от 3800 до 4000 м и от 4200 до 4600 м. Непосредственно близ озера распространена пустынная и полупустынная растительность, переходящая в степную. С ростом абсолютной высоты, степь постепенно сменяется живописными лугами. В наиболее влажных понижениях, на высотах до 3600 м произрастает кустарничковая и, даже, лесная растительность. Равнинная часть (включая само озеро) составляет 31,4% от общей площади водосбора. Практически по всему периметру водосбора тянутся горы, возвышающиеся до 5714 м, и частично покрытые ледниками. Наибольшее оледенение характерно для хребта Шуленань и верховьев р. Янхань и Ксинджер (притоков р. Бухын-Нор). На горные территории приходится 68,6% водосбора. Общая площадь водосбора составляет 29661 км<sup>2</sup> (Cangjiang et al., 1995). Он вытянут с северо-запада на юго-восток, причем северо-западная часть намного обширнее, здесь расположен бассейн основного питающего озера притока – р. Бухын-Нор (14337 км<sup>2</sup>).

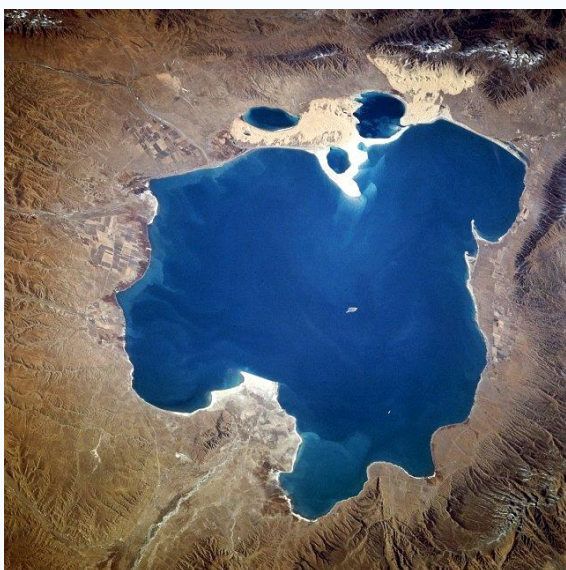


Рис. 6.3. Озеро Кукунор. Фото NASA.

Озеро имеет грушевидную форму, его длина составляет 109 км (с востока на запад), максимальная ширина – 65 км (север-юг). Максимальная глубина не превышает 27 м при средней глубине 16-19 м. Длина береговой линии 360 км. Площадь водной поверхности снижалась в течение всего XX века, ее увеличение наблюдается лишь с середины 2000-х гг (рис.6.4). На уровень 2007 г. площадь зеркала озера составляла 4489 км<sup>2</sup> (Xiao-Yan et al., 2007). На западе озера, при впадении в него самого многоводного притока – р. Бухын-Нор, сформирована обширная дельта, вдающаяся вглубь водоема. На озере расположено несколько песчаных островов, в том числе остров Куйсу.

Современное озеро Цинхай сформировалось за счет таяния ледниковых вод в течение последней эпохи плейстоцена. Оно занимает замкнутую тектоническую депрессию и состоит из двух подбассейнов – северного и южного. Берега озера слабо расчленены, вдоль побережья развиты древние озерные песчаные террасы высотой до 50 м (Обручев, 1940). Террасы вдоль большей части озера тянутся двумя грядами, в ряде районов – тремя. Высота нижней гряды обычно составляет 2-3 м, следующей – от 18,6 м над уровнем воды. Дно озера сложено преимущественно илами. Водосбор простирается на север к горам Кильян (Qilian), расположенным на северо-восточном краю Тибетского Плато, и характеризуется значительной тектонической активностью. Данные сейсмического анализа показывают, что донные осадки в некоторых частях бассейна тектонически деформированы. Сейсмические обзоры указывают, что южный подбассейн содержит непрерывную стратиграфическую последовательность отложений толщиной более 700 м (Zhisheng et al., 2006).

Водный режим озера Цинхай характеризуется регрессионным периодом: уменьшением его морфометрических параметров на фоне усиливающейся аридизации климата. Этот регрессионный процесс является частью долговременного тренда. Как показали результаты палеогеографических исследований, тренд уровня воды к снижению отмечается в течение нескольких тысяч лет (поздний голоцен). Первые натурные данные по морфометрии оз. Цинхай относятся к 1884-86 г.г., когда уровень воды находился на отметке 3207 м н.у.м., а глубина водоема оценивалась в 39 м.



**Рис. 6.4.** Морфометрические характеристики оз. Цинхай по литературным данным за разные годы.

По данным Обручева (1940) к 1927 г. уровень воды опустился примерно на 2 м, после чего продолжал последовательно снижаться вплоть до 2004 года. Лишь с 2005 г. наблюдался рост уровня, составивший за 5 лет 70 см.

В истории озеро имело несколько названий, как "Сихай" (Западное море), "Сяньшуй", "Сяньхай" и др. Название Цинхай появилось в период правления династии Северная Вэй (386-534 гг.) В переводе с китайского Цинхай (*Qīnghǎi Hú*) означает «синее море». Помонгольски озеро называется Кукунор (*Huhu Noor*), что также обозначает «синее море». Потибетски его название звучит Нгонгпоцо (*Ngongpo Tso*).

#### **История заселения и роль озера в жизни окружающих народов**

Водосбор оз. Цинхай начал заселяться в раннем голоцене, около 10 тыс. лет до н.э. (Rhode et al., 2007). В регионе находят стоянки древнего человека и оставшиеся в память от первых поселений каменные орудия и куски керамической посуды. На протяжении тысячелетий основным занятием местного населения были охота и скотоводство. В регионе обитали стада газелей, оленей, овцы. В более поздние времена район озера славился разведением прекрасных скакунов. В 312 году в регионе сложилось сяньбийское государство Тогон, просуществовавшее до его захвата тибетцами в 663 г. В 1724 году территория Цинхая была захвачена войсками династии Цин и включена в состав Китайской империи. После

уничтожения Джунгарского ханства в середине XVIII века на территорию Цинхая были переселены люди из северной части современного Синьцзяна, известные теперь как "кукунорские монголы". Среди европейцев первым озеро исследовал Н. М. Пржевальский в 1872 г.. В 1928 году Цинхай стал провинцией Китайской республики, с 1949 года - провинция КНР.

Озеро играет важную роль в жизни местных жителей. Из-за значительной солености его вода непригодна для питья и полива, так что основной вид использования водоема – рыбная ловля. Район озера Цинхай красив во все времена года и ежегодно привлекает большое количество туристов. Кроме того, оз. Цинхай является священным озером Тибета, к которому приходят паломники. В его западной части расположен остров Койсу с храмом и местами уединения – «Махадева, сердце озера», здесь на протяжении многих лет располагался буддийский монастырь. Добраться до острова или покинуть его можно только зимой, когда образуется ледяной покров, использование лодок в безледный период запрещено традициями.

#### **Климат. Характеристики термического режима**

Климат региона резко континентальный с прохладным летом и суровой зимой. За год выпадает около 300—500 мм осадков, преимущественно с июня по сентябрь. Величина испарения достигает 1460 мм. Температуры

Сток основных рек, впадающих в оз. Цинхай

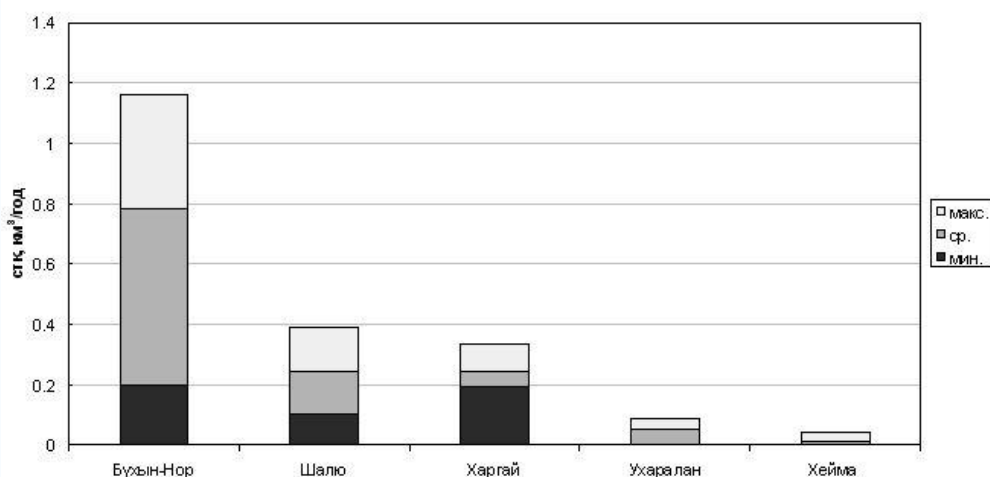


Рис. 6.5. Приток в оз. Цинхай по основным питающим его рекам, по данным Cangjiang et al., 1995.

воздуха колеблются от  $-12.7^{\circ}\text{C}$  до  $-30^{\circ}\text{C}$  в январе и от  $+10.4^{\circ}\text{C}$  до  $+28^{\circ}\text{C}$  в июле. Зимы холодные и сухие, в этот период погоду полностью определяют холодные воздушные массы с севера. Лето несколько более влажное, осадки обычно приносятся юго-восточными воздушными массами, проникновение которых сильно блокируется горами (Cangjiang et al., 1995). Для региона характерны значительные внутрисуточные колебания температуры.

Летом озерная вода у поверхности прогревается до  $15\text{--}20^{\circ}\text{C}$ , тогда как на глубине 10–20 м она резко снижается до  $8^{\circ}\text{C}$ . (Williams, 1991). В холодное время года озеро замерзает, ледостав продолжается чуть более 3 месяцев с ноября по март/апрель. Толщина льда достигает 30–45 (68) см. Приповерхностная температура зимой составляет около  $1^{\circ}\text{C}$ , а на глубине - около  $2^{\circ}\text{C}$ . Зимой и летом на водоеме четко выражен термоклин. В январе он располагается на глубине около 5 м, летом - около 20 м. Гомотермия на озере наблюдается в мае и в октябре при температуре воды около  $10^{\circ}\text{C}$ .

Озеро чрезвычайно чувствительно к климатическим изменениям, поскольку находится в критической транзитной зоне между регионом с влажным климатом, управляемым Восточным азиатским муссоном и сухой внутренней областью Китая, которую контролируют западные ветры. Три основных системы атмосферного переноса определяют его климат: (i) зимний муссон, вызванный Сибирским высоким давлением и связанный с арктическим воздушным переносом; (ii) тропический влажный воздух,

который несет Восточный азиатский летний муссон, приходящий из низких широт; и (iii) климатические изменения в Североатлантическом регионе, влияние которых распространяется до рассматриваемого региона (Zhisheng et al., 2006).

#### *Характеристики водного режима и водного баланса*

Озеро Цинхай питает множество небольших рек и несколько крупных, в том числе Бухын-Нор, Шалю, Харгай, Ухаралан, Хейма (рис. 6.5). Многие реки носят временный характер, сток по ним проходит лишь после обильных дождей. Среднегодовой поверхностный приток в озеро составлял для второй половины XX века  $1.56\text{ км}^3/\text{год}$ . Большая часть стока (около 85%) проходит с мая по сентябрь и связана с таянием ледников и снега в горах и с выпадающими в летнюю часть года дождями. Грунтовый приток оценивается в  $0.875\text{ км}^3/\text{год}$  (Cangjiang et al., 1995).

Поскольку озеро расположено в пустынном регионе, в котором в последние столетия наблюдается усиление аридизации климата, уровень его воды фактически постоянно снижается. Исключения составляют кратковременные периоды повышенной водности, обычно не превышающие по продолжительности 5–8 лет. По данным экспедиции Обрчева, проходившей в первой половине XX в., оз. Кукунор в предыдущие столетия было многоводнее и заливало берега почти до подножия гор, покрывая также остров Куйсу. По его мнению, это доказывают много-

численные террасы, расположенные как на острове, так и на южном берегу озера и находящиеся на высоте до 50 м над уровнем озера (Обручев, 1940). В течение XX века усыхание озера происходило особенно интенсивно, так как к естественным климатическим изменениям добавился антропогенный фактор. Аридизация климата сопровождается дальнейшим опустыниванием территории. По данным Cheng Zhun (1994) с 1960 по 1990 гг. площадь пустыни в регионе расширилась на 15%.

Согласно гидрологическим наблюдениям, проводившимся на озере Цинхай в конце 1950-х – начале 1960-х гг, в озеро впадало 108 пресноводных рек, однако большинство из них заполнялись водой лишь после выпадения дождей. 50 рек имели длину русла более 5 км. Между 1959 и 2004 гг. наблюдалось постепенное снижение уровня озера, составлявшее в среднем 8 см в год. Понижение уровня было прервано непродолжительным, с 1983 по 1989 гг., его повышением, однако после 1989 г., вплоть до середины 2000-х гг., уровень опять стал снижаться. В результате последовательного падения уровня площадь поверхности озера за сто лет уменьшилась на 11.7 процентов. В 1998 г. Китайская Академия Наук сообщила, что из-за чрезмерного антропогенного воздействия в бассейне (прежде всего из-за выпаса скота, освоения земель, но также и за счет естественных причин) озеро находится под угрозой потери значительной части своей акватории.

Происходившее в течение XX века падение уровня озера сопровождалось появлением террас в его юго-западной части и отделением от единого большого водоема многочисленных небольших озер. С 1961 по 2004 г. водная поверхность озера сжалась на 450 км<sup>2</sup>. В 1960-ых гг. в северной части озера возник первый самостоятельный водоем – оз. Гахай площадью 48.9 км<sup>2</sup>. В 1976 г. расположенный когда-то в центре озера Птичий остров соединился с берегом, и превратился в полуостров. В течение 1980-ых гг. в северо-западной части водоема отделилось оз. Шадао площадью 19.6 км<sup>2</sup>, а в северо-восточной – оз. Хайянь - 112.5 км<sup>2</sup> (Buffettrille, 1994). К 1995 г. площадь озера снизилась до 4304.5 км<sup>2</sup> (Cangjiang et al., 1995), а объем озерной воды за 30 лет сократился на 11.5 км<sup>3</sup>. К началу XXI в. пересохло около 85% речных устьев, включая наибольший приток, реку Бухын-Гол, обеспечивавшую около половины притока в озеро. От водоема по его

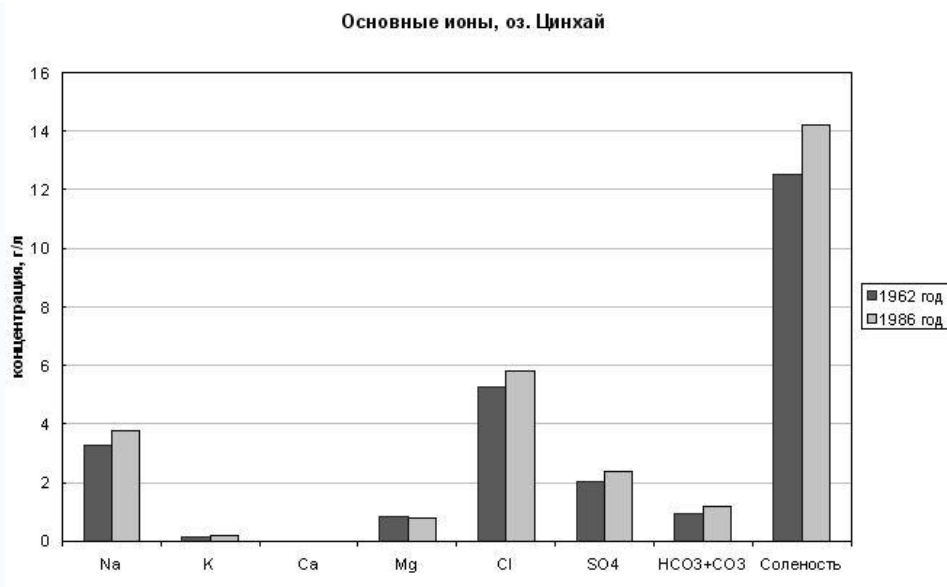
периметру отделилось еще с полдюжины маленьких озер. Самый низкий уровень воды наблюдался в первой половине 2004 г., когда от озера отпочковались озера-дочери общей площадью 96.7 км<sup>2</sup>, и площадь его водного зеркала сократилась до 4186 км<sup>2</sup>. С конца 2004 г., в связи с обильными осадками, выпавшими на водосборе, площадь водного зеркала оз. Цинхай начала увеличиваться. За 2005 г. Увеличение составило 78 км<sup>2</sup>, за 2006 - 88 км<sup>2</sup> и за 2007 - 137 км<sup>2</sup>, в результате к 2007 г. площадь зеркала достигла 4489 км<sup>2</sup>. Уровень воды в озере продолжал последовательно повышаться до 2009 г., и за 5 лет вырос на 70 см. В настоящее время озеро достигают 23 реки и водотока, против 16 в 2003 г.. В течение многоводных лет был полностью восстановлен сток по р. Бухын. Кроме обильных осадков во второй половине 2000-х гг. на увеличение уровня озера сказались также и природоохранные мероприятия, проводимые в районе с конца XX в

Средняя величина осадков на водосборе озера во второй половине XX в. составляла 357 мм в год, поверхностного притока – 348 мм и грунтового притока – 137 мм. Величина испарения оценивалась в 924 мм, общая величина водозабора в бассейне - в 10 мм (Xiao-Yan et al., 2007). Большая часть осадков, около 80%, выпадает с мая по сентябрь (Zhu et al., 2009). В многоводные 2004-2009 гг. осредненная величина осадков на водосборе возросла до 431 мм, одновременно наблюдалось увеличение стока и снижение испарения, связанное с более частой облачной погодой.

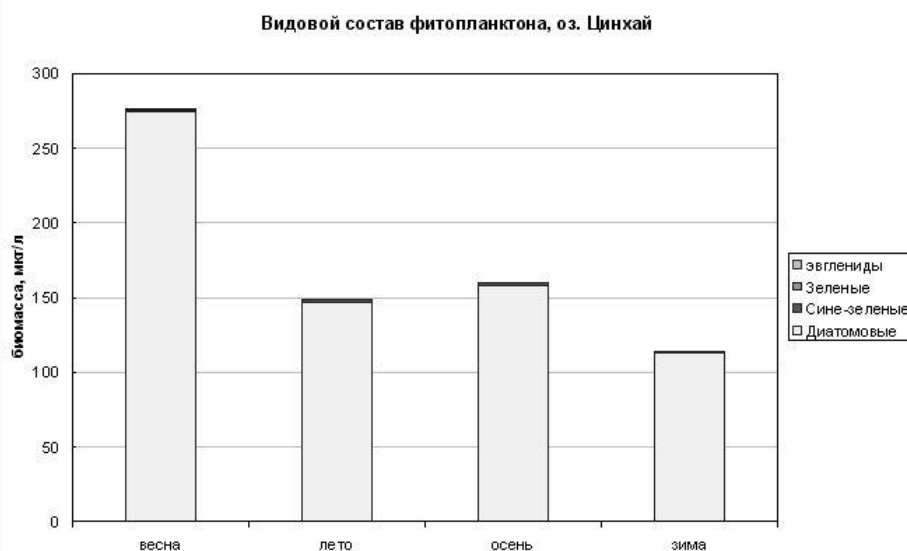
Согласно анализу, проведенному Xiao-Yan et al. (2007), наиболее значительное снижение уровня озера происходило в теплые и сухие годы, умеренное снижение - в холодные и сухие, и относительно небольшое снижение - в теплые и влажные годы. Эксперты предсказывают, что уровень оз. Цинхай в течение следующих двадцати лет может продолжаться повышаться (Zhang Mingyu, 2009). В этом случае к 2030 г он достигнет уровня начала 1970-ых гг., что более чем на 3 метра превысит сегодняшний. Тенденция холодного/теплого и сухого климата является главной причиной для снижения уровня озера.

#### **Основные характеристики качества вод**

В химическом составе воды оз. Цинхай преобладают ионы Na и Cl (рис. 6.6), наблюдается значительное количество сульфатов, рН воды составляет 9.2-9.4



**Рис. 6.6.** Химический состав воды оз. Цинхай, г/л по данным Hailiang Dong et al., 2006.

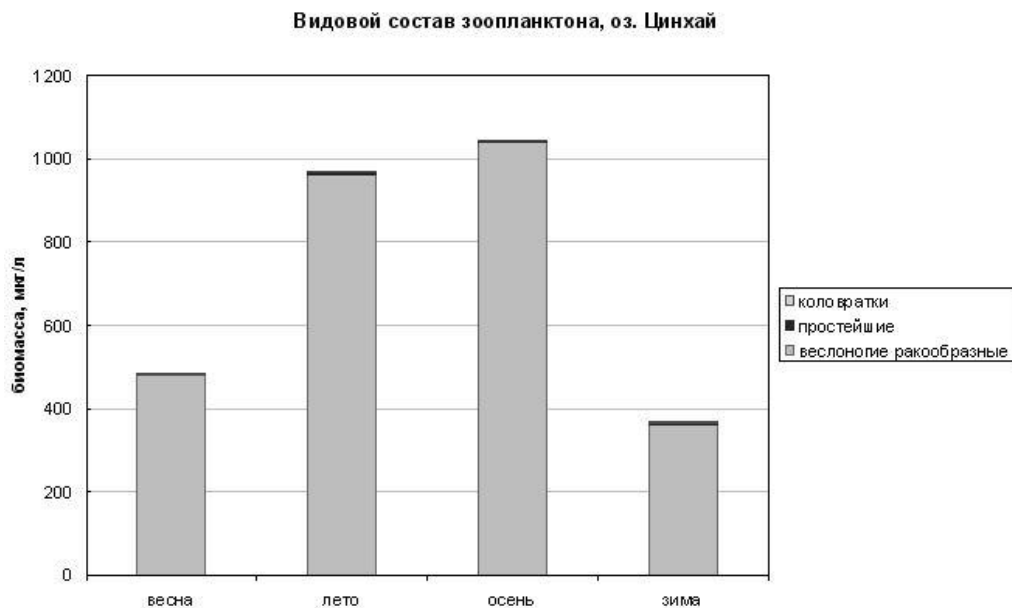


**Рис. 6.7.** Видовой состав фитопланктона на оз. Цинхай в разные периоды года по данным Cangjiang et al., 1995.

(Hailiang Dong et al., 2006). Цвет воды изменяется в зависимости от интенсивности освещения и наличия облаков от голубого до темно-зеленого. Прозрачность у берега составляет 1-3 м, в открытых областях 5-10 м. Содержание кислорода в воде достаточно низкое - 4.6 мг/л летом и 3.8 мг/л осенью, насыщенность - от 10.3 до 34.3%. Концентрация биогенных веществ низкая, общего фосфора - 20 мкг/л, азота - 80 мкг/л. Озеро имеет олиготрофный статус (Cangjiang et al., 1995).

Согласно анализу, проведенному Zhandong et al. (2009), химический состав озерной воды, а

также речных и подземных вод в его бассейне, прежде всего, зависит от возраста и типа выветриваемых пород, залегающих под речным ложем или являющихся водоносным слоем. Большинство растворимых ионов в бассейне оз. Цинхай происходит за счет вымывания карбонатов, и меньшая часть — силикатов. Самая крупная питающая озера река Бухын-Гол течёт по поздне-палеозойскому известняку и песчанику. Химический состав ее воды наиболее схож с составом озерной воды, и определяет его щелочную характеристику, тогда как воды других рек и подземные воды



**Рис. 6.8.** Видовой состав зоопланктона на оз. Цинхай в разные периоды года по данным Cangjiang et al., 1995.

играют буферную роль для состава озерной воды (Zhandong et al., 2009).

Согласно гидрохимическим наблюдениям, производимым на озере со второй половины XX в., соленость озерной воды постепенно возрастает. В 1961-63 г.г. общая минерализация составляла 12.5 г/л, в 1982 г. - 13.3 г/л, в 1986 г. - 14.2 г/л, а в 1988 г. - 17.1 г/л. В 1989 г. в связи с обильными осадками наблюдалось непродолжительное понижение минерализации (Williams, 1991).

#### **Основные биологические особенности**

В озере Цинхай встречаются несколько литоральных видов макрофитов. Идентифицировано 53 вида фитопланктона из которых 23 вида - диатомовые водоросли, 17 - зеленые, 10 - синезеленые и по 1 виду желто-зеленых, пиррофитов и эвгленид. (Cangjiang et al., 1995). Средняя численность фитопланктона 146304 экз./л, биомасса 175 мкг/л. В течение всего года по биомассе доминируют диатомовые (рис. 6.7), за ними следуют зеленые. Маты из зеленых водорослей покрывают дно озера в летние месяцы. В весенние месяцы основная масса фитопланктона находится в верхнем 6-метровом слое, летом на глубине от 10 до 15 м, зимой от 20 до 25 м.

В озере выявлено 25 видов зоопланктона, среди них 11 коловраток (*Pedalia fenica*, *Brachionus*,

*Hexarthra* sp.), 13 веслоногих ракообразных (*Arctodiaptomus retrogressus*, *Cyclop* sp.), и представитель простейших (*Carchesium* sp.). Среднегодовая численность зоопланктона составляет 34 экз./л, биомасса 716 мкг/л (Cangjiang et al., 1995). По биомассе доминируют веслоногие ракообразные из отряда циклопоида. Плотность зоопланктона значительно выше в летний сезон. Весной большая часть зоопланктона располагается на глубине, летом - у поверхности, осенью распределение по глубине достаточно однородно (рис. 6.8).

В озере выявлено 22 бентосных организма, в том числе 3 вида малощетинковых червей, в т.ч. *Nais* sp., *Paranais* sp., *Limnodrilus helveticus*, 4 ракушковых, в т.ч. *Cyprinotus salinus*, *Eucypris inflata*, *Limnocythere dubiosa*, *L. inopinata* 1 бокоплав - *Gammarus tacusta*, 14 комаров-звонцов прежде всего из семейства комаров-дергунов: *Procladius chorcus*, *Cricotopus sylvestris*, *Trichocladus inagqualis*, *T. senex*, *Psectrocladius barbimanus*, *Paratnyctarus dissimilis*, *Rheotanytarsus esignus*, *Tanytarsus coracina*, *Stictotendipes flavingula*, *Cryptochironomus digitatus*, *Tendipes salinarium*, *T. tugubris*, *T. hyperboreus*, *T. tentans*. Преобладают малощетинковые черви и комары-дергуны. Пик численности приходится на осенне-зимний сезон (Cangjiang et al., 1995).

Ихтиофауна представлена несколькими видами из отряда карпообразных: представителем се-

мейства карповых, эндемиком *Gymnocypris przewalskii*, а также балиториевыми: *Nemachilus stoliczkae*, *N. dorsonotatus*, *N. scleroperus*, *N. anticeps*, *Triplophysa alticeps*, *T. microps* (syn. *T. dorsonotatus*), *T. scleropterus* и *T. stoliczkae*. Лишь *Gymnocypris* обитает исключительно в озере, тогда как представители балиториевых живут преимущественно во впадающих в озеро реках. Годовые уловы рыбы в озере составляют 3000-6000 тонн/год (Cangjiang et al., 1995).

Озеро отличается богатством орнитофауны. Многие виды птиц либо постоянно живут на озере, либо используют его как место остановки на путях миграции. Здесь встречаются горный гусь (*Anser indicus*), черноголовый и коричневоголовый хохотун (*Larus ichthyaetus*, *L. branicephalus*), большой баклан (*Phalacrocorax carbo*) и др. Каждый апрель тысячи птиц прилетают размножаться на расположенные на озере острова. Они откладывают здесь свои яйца, выращивают потомство и к зиме улетают на юг. В связи с повышением уровня воды, наблюдавшегося в регионе в последние 5 лет, и расширением площади заболоченных земель, количество птицы на озере увеличилось (Zhang, 2009). Прежде всего, это касается лебедей, численность которых в 2009 г. достигла 4275 экз.

В связи с прохождением через озеро нескольких маршрутов перемещения птицы вдоль Евразийского континента, оно является центром глобального беспокойства, связанного с эпидемией птичьего гриппа, поскольку возникшая здесь большая вспышка может распространить вирус по всему континенту. Незначительные вспышки H5N1 уже были зафиксированы на озере.

#### **Экономические характеристики антропогенной активности в бассейне**

Провинция Цинхай, в которой расположено озеро, многонациональная, хотя по китайским меркам сравнительно малонаселенная, здесь проживает около 5.5 млн. человек при этом в бассейне озера – менее 1 млн. Основным видом деятельности местных жителей на протяжении веков являлись сельское хозяйство и рыболовство. На водосборе раскинулись обширные пастбища и плодородные поля, доля которых, однако, заметно сокращается по мере аридизации климата и опустынивания территории. Под пастбища возможно использовать 63.5% водосбора. На начало 1990-х гг. здесь выпасалось около 2.5 млн. животных. Под

пашней занято около 20000 га, из которых 13000 - ирригационные земли (Cangjiang et al., 1995). Среди основных выращиваемых культур – рапс, ячмень, пшеница, овес, а также овощи – капуста и бобовые. Возделываемые земли расположены недалеке от озера, вдоль его северного и южного побережий. В результате наблюдающегося в регионе опустынивания, ряд площадей, ранее занятых под пашней, более не могут использоваться и засоляются. Согласно Cheng Zhun (1994) в 1970-1980-е гг. на водосборе ежегодно терялось 14.7 км<sup>2</sup> пашни. Несмотря на то, что в последнее десятилетие ряд предпринятых природоохранных мер позволил снизить негативное антропогенное воздействие на водосборе озера, процесс опустынивания продолжается.

Важной статьёй дохода местных жителей является рыболовство. Рыба - это один из основных продуктов питания местного населения, особенно людей с небольшим достатком. Промысел ориентирован на представителей семейства карповых, годовые уловы сильно колеблются, в 1990-е гг. они составляли около 3000 т., при этом нелегальное рыболовство оценивалось в десятки тонн.

В последние десятилетия значительное внимание властей стало уделяться промышленному развитию провинции Цинхай. Здесь имеются богатые запасы полезных ископаемых. Так, в Цайдаме есть значительные залежи соли, свинца и цинка, нефти и угля. Запасы соли в основном находятся в нескольких крупных озерах. В оз. Цинхай имеются также бор, литий, магний, калий и другие нужные металлические соли. Запасы калийной соли оцениваются в целом по провинции в 300 млн. тонн, а пищевой соли - в 60 млрд. тонн. В настоящее время разработки пищевой соли активно ведутся в восточной части Цайдама в Чака. Также в восточной части Цайдама в горах Сикуаншань находятся свинцовые и цинковые шахты. Запасы этих металлов большие, залегают они неглубоко, годовые мощности шахт составляют до 1 млн. тонн. Наряду с развитием горнодобывающей промышленности, в провинции в последние годы активно строятся предприятия обрабатывающего комплекса, прежде всего химической промышленности и металлургии, а также предприятия по производству оборудования и современных материалов. Большое внимание уделяется развитию энергетики, в том числе использованию энергии ветра и солнца (ChChR, 2007).

### **Основные проблемы, существующие в бассейне озера**

Важнейшей экологической проблемой озера является его постепенное усыхание на фоне происходящего опустынивания окружающей территории. Изменение площади озера на протяжении последних 50 лет рассматривалось выше. Наряду с сокращением водной поверхности происходит снижение площади водно-болотных угодий, являющихся местом обитания богатейшего птичьего населения. В течение второй половины XX в. скорость их исчезновения составляла около 2 км<sup>2</sup>/год. Среди причин снижения уровня озера наряду с наблюдающейся в регионе аридизацией климата называется также ряд антропогенных факторов - чрезмерный выпас, бесконтрольная вырубка и строительство дорог на водосборе, а также увеличивающийся водозабор из питающих озеро рек. Согласно Jin (1995) на уровень начала 1990-х гг. водозабор оценивается в 50 млн. м<sup>3</sup>/год, что составляет около 3% от общего годового притока.

Развивающаяся в регионе промышленность и сельское хозяйство, а также растущие городские поселения приводят к загрязнению поверхностных вод разнообразными стоками, попадающими в озеро. Среди основных загрязнителей – химические удобрения, пестициды, тяжелые металлы, нефтепродукты. Несмотря на то, что количество стоков пока невелико и озеро сохраняет свой олиготрофный статус, ряд показателей свидетельствуют о постепенно происходящих процессах эвтрофирования.

Ежегодно с речным стоком в оз. Цинхай попадает 498000 тонн ила (Cangjiang et al., 1995), в том числе 355000 тонн со стоком р. Бухын. Происходит постепенное заполнение его чаши. Развитие эрозионных процессов, связанное с антропогенным фактором, вызывает ускорение седиментации. Это приводит к множеству нежелательных последствий, седиментация отрицательно сказывается на нерестилищах карпа а, соответственно, на его уловах.

Озеро Цинхай представляет собой объект научного интереса, проявляя себя как чувствительный палеоклиматический индикатор.

### **6.3. ОЗЕРО ИССЫК-КУЛЬ**

Озеро Иссык-Куль расположено в северо-восточной части республики Кыргызстан и окру-

жено горами Северного Тянь-Шаня (рис. 6.9). Координаты озера: 42°08' - 42°44' с. ш., 76°10' - 78°20' в. д, высота - 1608 м над уровнем моря. Оз. Иссык-Куль – самое крупное горное озеро на территории СНГ. Его площадь составляет 6236 км<sup>2</sup>, длина 178 км, ширина 60 км, максимальная глубина 668 м, средняя – 278.4 м, объём воды 1738 км<sup>3</sup> (Кодяев, 1973; Забиров, Коротаев, 1978). Форма озерной чаши напоминает перевернутый усеченный конус. На его нижнюю часть с глубинами более 600 м приходится около 20% от всей площади озера. Шельфовая зона имеет глубины до 300 м и представлена полосой древних террас выровненных 40-50 метровым глубоким каньоном. Около 38% площади озера имеет глубины менее 100 м, это наиболее заселенная его часть. Берега слабо расчленены, глубокие заливы есть только на востоке и юго-востоке (Тюпский, Джергаланский, Покровская бухта). Длина береговой линии 669 км, более половины ее составляют песчаные берега, также распространены илистые и галечные берега (А.В.Шнитников, 1980).



**Рис. 6.9.** Озеро Иссык-Куль. Фото NASA.

Возраст оз. Иссык-Куль составляет по различным источникам от 10 до 25 млн лет, это одно из древнейших озер на Земле. Его котловина имеет тектоническое происхождение, она образовалась вследствие разломов, сбросов и прогибов земной поверхности. Обширная ее часть опустилась и заполнилась водой, в то время как соседние участки поднялись на 3000—3500 м над уровнем озера создав горные хребты к югу - Терской-Алатау (тюрк. “Пестрые горы, обращенные от солнца”) и к северу - Кунгей-Алатау (“Пестрые горы, обращенные к солнцу”).



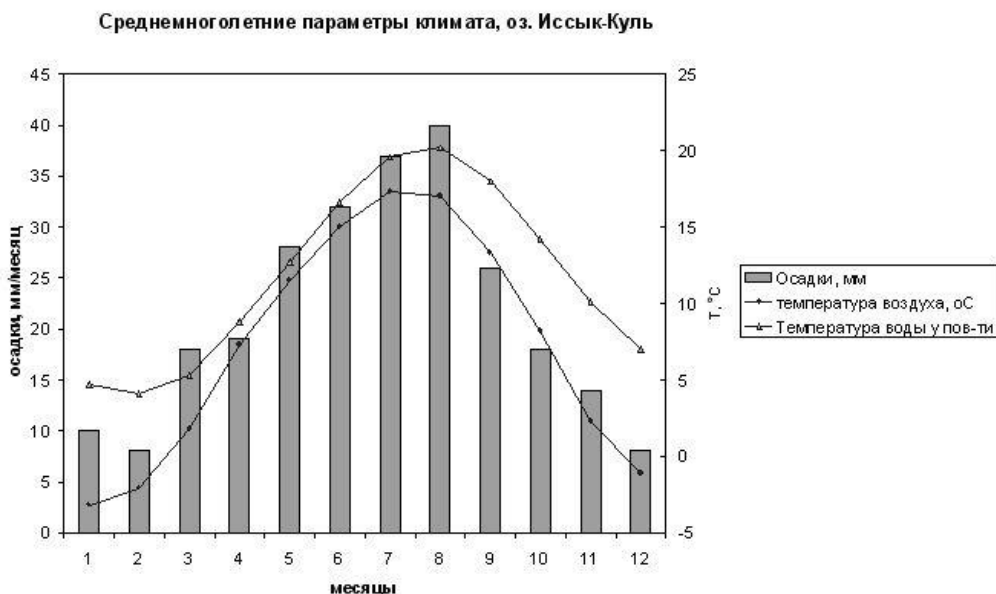
Бассейн оз. Иссык-Куль имеет овальную форму. Озеро окаймляет прибрежная полоса типичной предгорной равнины, сложенной речными и озерными отложениями. Согласно градиенту аридности климата с запада на восток тянутся различные типы ландшафтов. Западная подветренная часть котловины озера представляет собой каменистую солянково-полянную пустыню, к востоку ландшафты приобретают сначала полупустынный характер (с полынно-злаковыми покровами и караганой), а затем степной и лугово-степной (Исаченко, Шляпников, 1989). Равнина граничит с крутыми расчлененными склонами горных хребтов, за исключением восточной и юго-западной частей котловины, где равнина отделена от высоких водораздельных хребтов полосами предгорий. Ширина предгорной равнины не превышает нескольких километров, наибольшего развития она достигает на востоке Иссык-Куля в долине р. Джергалан и изрезанной притоками и рукавами долине р. Тюп. Приозерная равнина по мере приближения к горам сменяется предгорьями (адырами). Иногда предгорья выступают в виде обособленных возвышенностей, превышающих равнину на 300—1100 м, а в среднем на 700 м; они сложены рыхлыми отложениями и пересечены речными долинами и саями (сухими руслами). На высоте 1850—2100 м на западе находится предгорно-среднегорная степная зона с сухими степями на бедных коричневых почвах и сероземах, на востоке произрастает более богатая степная растительность на темно-каштановых почвах, которые широко осваиваются под богарное (неполивное) земледелие. Наиболее крупные возвышенности: Чаар-Джон (2722 м), Чон-Тосма (2382 м), Кара-Бельтек (2668 м), Бельбулак и Джанбулак (2364 м), Кара-Кунгей (2653 м) и др. Южная береговая линия Иссык-Куля местами, особенно на южном побережье, настолько близка к предгорьям Терской-Алатау, что воды озера омывают подножия адыров Кизыл-Чокду, Кизыл-Эшме и Бозбешик. С ростом высоты по восточному побережью, по ущельям Терской Алатау, произрастают густые еловые леса. Высота гор, окаймляющих озерный бассейн с северной и южной сторон достигает 4000-5200 м. На их склонах располагается 834 ледника общей площадью 650 км<sup>2</sup> (около 3% от площади водосбора) и суммарным объемом 48 км<sup>3</sup>. В последние десятилетия, в связи с наблюдающимся в регионе повышением температур воздуха определяемым глоба-

льными изменениями климата, отмечается сокращение площади ледников (Ваитов, 2003).

В озеро впадает 102 сравнительно небольших притока, из которых лишь 50 постоянных (Savvaitova, Petr, 1999). Наиболее крупными из них являются впадающие с востока р. Тюп и р. Джергалан, общий средний годовой расход воды которых составляет 8.3 м<sup>3</sup>/с и 17.1 м<sup>3</sup>/с, соответственно. Питание рек смешанное, с преобладанием снегового и высокой долей ледникового. Кроме того, озеро питает значительное количество горячих источников. По западной окраине котловины озера, в нескольких километрах от него, протекает р. Чу. Раньше в многоводные эпохи, когда уровень озера был выше современного на 10-12 м, по ней происходил отток из озера, однако, уже около 200 лет оз. Иссык-Куль лишено стока. Согласно Шнитникову (1980) по протоке Кутмалды длиной в 6 км, периодически, во время весенних половодий, происходит приток в озеро вод р. Чу.

#### *История заселения и роль озера в жизни окружающих народов*

Еще с древних доисторических времен земли вокруг оз. Иссык-Куль привлекали к себе людей. На побережье обнаружены пещеры каменного века, древние могильники и курганы. Первое письменное упоминание об оз. Иссык-Куль встречается в китайских летописях конца II века до нашей эры, где оно называется Же-Хай, что означает «тёплое море». В 1-ом тысячелетии до н. э. и в первом тысячелетии н.э. уровень оз. Иссык-Куль находился значительно ниже сегодняшнего (на 8-10 м). В этот период здесь развивались различные цивилизации, следы которых затем ушли под воду. На сегодняшний день археологам Киргизии известно более десятка древних и средневековых поселений, находящихся под водой. В них обнаружено множество исторических и культурных ценностей саксо-усуньского периода (I тысячелетие до н.э.) и раннего средневековья. В 2006 г. Археологической экспедицией Кыргызско-Российского Славянского университета на дне озера была обнаружена еще одна, неизвестная ранее цивилизация, проживавшая на озере около 5 в. до н.э. Данные и полученные экспонаты свидетельствуют, что обнаруженный на дне древний город являлся столицей некоего государства. От города площадью несколько квадратных



**Рис. 6.10.** Среднегодовое климатические параметры оз. Иссык-Куль (ст. Чолпон-Ата).

километров сохранились огромные стены, протяженностью до 500 метров.

Со 2-ой половины VII века мимо оз. Иссык-Куль проходил «Шелковый путь» из Европы в Китай. Вдоль трассы шелкового пути, в Прииссыккулье началось активное строительство поселений. Вплоть до прихода в Среднюю Азию орд Чингисхана (начало XIII в.) города Прииссыккулья расстраивались и богатели. После опустошительных рейдов монголов города вдоль трассы Шелкового пути деградировали, и этот процесс оказался необратимым. летописцы походов Тимура (конец XIV в.) уже не отмечали существование значительных городов на Иссык-Куле. Окончательное уничтожение средневековых поселений на побережье завершило само озеро, к XVI веку его уровень существенно вырос, и оно полностью затопило все города.

Оз. Иссык-Куль играет важнейшую роль в жизни народов, проживающих по его берегам. Несмотря на то, что соленость его воды достаточно высокая, чтобы использовать ее для питья и орошения, периодически озерную воду дают скоту. Реки, питающие озеро, поддерживают сельское хозяйство региона. Озеро активно используется для рыбной ловли. На озере существует регулярное судоходство, основные порты — Рыбачье и Пржевальск. Огромное значение озеро играет как центр туризма и бальнеологический курорт.

### **Климат. Характеристики термического режима**

Вследствие орографической замкнутости котловины, климат в бассейне озера своеобразный, почти морской, он мягче, теплее и влажнее, чем в других впадинах Тянь-Шаня, расположенных на той же высоте. По термическому режиму Иссык-Куль - субтропическое озеро, здесь летом на побережье умеренно-тепло, зимой - не холодно, средняя температура воздуха составляет в июле от 16 до 17°C, в январе от -2 до -10°C (рис. 6.10). Среднее количество осадков над озером - около 250 мм. Западная часть котловины более засушливая, дожди здесь редки, снега почти не выпадает, даже в горах количество осадков не превышает 115 мм в год, тогда как на восточном берегу - 400 - 600 мм. Необходимо отметить, что в последние годы увеличилось количество осадков, а также наблюдается повышение температур воздуха в высокогорье, составляющее в среднем 0.2°C, а в летние месяцы - 0.6°C (Ваев, 2003).

Температура воды на поверхности озера в январе-феврале у южного побережья составляет 5-6°C, а в западной части озера 2-4°C, несмотря на отрицательные температуры воздуха она, за исключением мелководных устьевых участков, не опускается ниже температуры максимальной плотности (2.75°C при солёности 6 промилле). Лед образуется лишь в особо холодные зимы в заливах Рыбачий, Тюп. образованию льда вдоль берега

также препятствуют выходы горячих источников. Весеннее прогревание, начинающееся в марте, затрагивает лишь верхний десятиметровый слой водоема. В апреле-мае тепло проникает до глубины 100-м, где изменения температуры составляют около 0.1°C, а на глубине 75 м – 0.7°C. К середине апреля поверхностная температура поднимается на 6.5-8°C, а к середине мая на 10-12°C (Shabuninet al., 2002). В июле и августе поверхность водоема у побережья прогревается до 17-23°C, а в ряде районов до 29-30°C, тогда как на глубине свыше 100 м в течение всего года температура остается около 3.5-4°C. В центральной части вода остается холодной весь год.

В Иссык-Кульской котловине преобладает теплый и сухой западный ветер, приходящий через Боомское ущелье и носящий местное название “улан” или “боом”. Холодный восточный ветер “санташ” иногда встречается над озером с западным ветром и вызывает образование водяных смерчей. На западе и востоке озера часты сильные ветры (до 30-40 м/сек), вызывающие внезапные шторма и ветровые волны высотой до 3-4 м, каждый четвертый день на оз. Иссык-Куль - штормовой. Не редки на озере прибрежные ветры - бризы: днем они дуют с озера на берег (по-местному “морской ветер”), а ночью - с берега к воде (“горняк”). (А.В.Шнитников, 1980). Взаимодействие восточных и западных ветров, которые часто дуют одновременно внутри бассейна, вызывает образование циклонов с дивергентной зоной в центре озера и конвергентной по его периферии. Последствием этого является поднятие холодной воды в центральной части озера наряду с погружением теплой поверхностной воды в сублиторальную зону. Центр купола с холодной водой в гипolimнионе под воздействием изменения расположения термоклина дрейфует в пределах центральной части озера вследствие штормовых ветров различного происхождения, в межштормовой период купол сглаживается. Крутизна купола обычно увеличивается в течение осенних штормов. Как результат описанных процессов озеро в течение теплого сезона аккумулирует большое количество тепла.

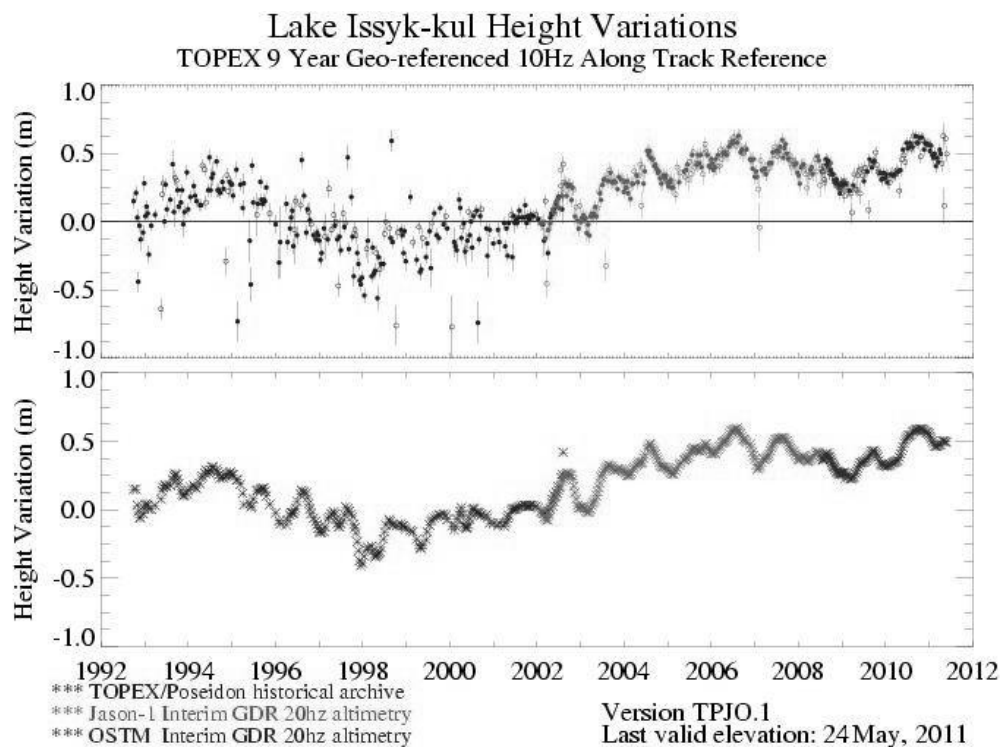
Озеро мономиктическое. Термоклин формируется в начале июня и существует до начала декабря, максимальный вертикальный температурный градиент составляет 2.7°C. В середине озера вода стратифицирована до глубины 5-10 м., тогда как у берегов тепловая неодно-

родность составляет 20-30 м (Savvaitova, Petr, 1999). Зимой пресная вода замерзающих мелководных заливов отделяется от водных масс основной части озера термическим баром. В этот период в поверхностном слое могут наблюдаться кольцевые зоны воды с повышенной температурой. Они образуются на границе между холодной водой сублиторальной зоны и приподнятыми участками воды в центре озера (LBRI&ILECF, 1993).

### ***Характеристики водного режима и водного баланса***

Годовой ход уровня воды оз. Иссык-Куль характеризуется растянутым весенне-летним половодьем. Рост уровня обычно начинается в апреле и связан со снеготаянием в горах, которое к августу сменяется таянием ледников. Из-за значительной площади ледников в бассейне доля ледникового питания очень высокая, так что максимум уровня обычно приходится на август-сентябрь. Высокий уровень удерживается до сентября – октября. В сухие годы, при значительном разборе воды на орошение, максимум уровня может смещаться на июнь-июль. Так, в засушливом 1948 г. рост уровня в период половодья составлял всего 5 см, в результате к концу года уровень снизился на 28 см. В многоводном 1956 г. рост уровня продолжался до сентября и составлял за половодье 42 см, в результате за год уровень повысился на 17 см (Romanovsky, 2002). С середины осени уровень быстро идет на спад и до начала весны продолжается осенне-зимняя межень. Наиболее низкие уровни приходится на февраль - март. Годовая амплитуда колебаний уровня озера составляет 10-50 см.

В последние столетия водный баланс оз. Иссык-Куль отрицательный, и его расходная часть превышает приходную. Расчетом элементов водного баланса озера занимались Каплинский, Тимченко, 1977; Шнитников, 1979 и 1986; Кривошей, Гронская, 1985, Романовский, 1990 и 2002 и др. Шнитников (1979) производил расчеты с учетом наличия или отсутствия оттока по р. Чу. Согласно его расчетам приток в озеро составляет 2.99/4.08 км<sup>3</sup>/год (озеро при отсутствии стока/озеро со стоком) осадки на поверхность – 1.57/2.38 км<sup>3</sup>, испарение – 4.37/4.08 км<sup>3</sup>, забор воды на орошение – 0.62/2.38 км<sup>3</sup> (Шнитников, 1979). Наиболее полное исследование, на основе анализа результатов других ученых и собственных работ, провел В. Романовский



**Рис. 6.11.** Уровень воды оз. Иссык-Куль по данным со спутников TOPEX, Jason-1, OSTM. Источник: USDA

(1990). Согласно его данным приток в озеро составляет  $2.27 \text{ км}^3/\text{год}$ , осадки на его поверхность  $-1.34 \text{ км}^3$ , испарение  $-4.63 \text{ км}^3$ .

#### **Проблемы изменения уровня озера**

Для оз. Иссык-Куль характерны значительные изменения уровня его воды в многолетнем разрезе, вызванные климатическими колебаниями. Об их размахе свидетельствуют озёрные террасы высотой 8-10 м и подводные развалины поселений на глубине до 8 м. На протяжении последних двух столетий, начиная с первой четверти XIX в., наблюдается снижение уровня озера, оцениваемое как одна из важнейших проблем региона. Уже в 1905 г. Виноградский назвал оз. Иссык-Куль «исчезающим озером». По различным данным средняя интенсивность падения уровня за полтора столетия составляла 2 - 8 см/год (Шнитников, 1980; Кривошей, Гронская 1985). Только за период с 1870 г. по 1973 г. уровень озера упал на 9 метров (Шнитников, 1979). Раньше, при уровне озера на 10—11 м. выше современного, сток из озера осуществлялся по р. Чу. Последняя эпоха повышенной водности приходилась на вторую половину XVIII - первую половину XIX вв. Из-за постепенного пониже-

ния уровня воды береговая зона Иссу-Куля подвергалась продолжительным изменениям, мелководье высушилось, появились бары, острова и литоральные банки. Только за 1950-1980 гг. осушенная площадь составила около  $55 \text{ км}^2$ .

Причины изменения уровня оз. Иссык-Куль продолжают оставаться до конца не выясненными и являются предметом научных споров. Среди факторов, способствующих снижению уровня, называют: разбор стока на ирригационные нужды (антропогенный), снижение количества выпадающих осадков и рост испарения (климатический), отделение озера от бас. р. Чу (гидрографический), оседание бассейна и прогибания дна озера (тектонический), грунтовый отток за пределы котловины озера по трещинам и разломам земной коры (гидрогеологический). На многовековые колебания уровня озера накладываются краткосрочные изменения меньшей амплитуды. Так, с 1986 г. снижение уровня воды произошло (Romanovsky, 2002) и в 1990-е гг. – первой половине 2000-х гг. наблюдался его небольшой подъем, составивший только с 2000 по 2006 г. около 0.5 м (рис. 6.11). Однако в 2007 году было вновь зарегистрировано

небольшое понижение уровня, составившее 6 см, и такая тенденция сохранилась до 2010 г.

Наблюдавшееся в 1990-е – начале 2000-х гг. повышение уровня озера было связано, прежде всего, с климатическими факторами, с увеличением в этот период количества осадков на водосборе и повышением водности рек. Увеличение водности рек отмечалось с 1972 г., и составило в среднем 14%, однако к концу 2000-х гг. на реках с небольшой долей ледникового питания имело место уменьшение стока.

Как указывают Аламанов и др. (2006), совокупный анализ влияния климатического и антропогенного факторов на уровень оз. Иссык-Куль показывает, что их вклад в процесс колебания уровня очевиден. При этом, начиная с середины XX в. ведущее значение при формировании отрицательной составляющей водного баланса озера принадлежит безвозвратным потерям воды за счет орошаемого земледелия. Повышенный речной сток, связанный с дополнительным поступлением воды в речную сеть от атмосферных осадков и таяния ледников, чаще всего оказывается недостаточным для компенсации этих потерь и может способствовать лишь небольшому, непродолжительному подъему уровня.

В качестве кардинальных мер по стабилизации уровня озера в различные годы выдвигались, и в настоящее время продолжают выдвигаться проекты переброски стока рек из смежных речных бассейнов. Среди предлагаемых схем: переброска около 2 км<sup>3</sup> стока р. Сарыжаз (общий сток 4 км<sup>3</sup>), несущей свои воды в КНР; переброска 0.18 км<sup>3</sup> стока р. Каркыра, принадлежащей к Или-Балхашскому бассейну (проект М.Н. Большакова и Б.Г. Шпака, предложенный в 1960 г.); переброска 0.125 км<sup>3</sup> стока р. Арабелсуу (общий сток 0.3 км<sup>3</sup>) в восточную часть котловины по руслу реки Жууку. Однако, поскольку любые проекты, основанные на перебросках стока рек, являются высоко затратными, особенно в горной местности, ожидание того, что в ближайшей перспективе они могут начать реализовываться крайне маловероятно. Поэтому более рациональными и осуществимыми являются меры по сокращению безвозвратного водопотребления, прежде всего в сельском хозяйстве. Существуют большие резервы в снижении потерь воды за счет усовершенствования норм и режима полива. Большая экономия воды может быть достигнута путем повышения КПД оросительных систем, значе-

ния которых в котловине находятся на уровне 20–30% (Аламанов и др., 2006).

### **Основные характеристики качества вод**

Прозрачность озерной воды высокая, составляющая в центральной части водоема до 19 м, у впадения рек она резко снижается. Цвет воды темно-синий, у берегов — зеленоватый. Показатель кислотности среды, рН – 7.7-9.98. Соленость составляет до 5 промилле, среди ионов преобладают: Na и K>Mg>Ca, SO<sub>4</sub>>Cl>HCO<sub>3</sub>. В литоральной зоне химический состав воды существенно различается, у впадения крупных притоков, прежде всего р. Тюп и Джергалан, она более пресная. На расстоянии около 300 м от устьев соленость составляет 2.5-3.0 г/л, но уже на расстоянии 3 км она повышается в поверхностном слое до 3.8 г/л, а в глубинном - до 5.3 г/л. При снижении солености гидрокарбонатов становится больше, чем сульфатов (Karmanchuk 2002). Высокая соленость наблюдается в заливах, характеризующихся низким притоком, и в прибрежных акваториях, подвергающихся интенсивному ветровому перемешиванию (южное побережье). Пелагиальная зона характеризуется гомогенным составом химических элементов и одинаковой соленостью как по вертикали, так и по акватории.

По концентрации биогенных элементов и продуктивности оз. Иссык-Куль является низкопродуктивным олиготрофным водоемом. Концентрации биогенных элементов наиболее высоки на литорали, где они приносятся реками или поступают с коммунальными стоками. Содержание NO<sub>2</sub> составляет на литорали:– 2-10 мкг/л (наиболее высокие значения в заливе Рыбачьем - 25-80 мкг/л), NO<sub>3</sub> – 6-25 мкг/л, NH<sub>4</sub> – 0-5 мкг/л (наиболее высокие значения также в заливе Рыбачьем, 10-13 мкг/л). Содержание общего фосфора на значительной части акватории ниже пределов обнаружения, и лишь у побережья, близ ряда населенных пунктов оно возрастает до 20-30 мкг/л. (Karmanchuk 2002).

Благодаря интенсивному ветровому перемешиванию содержание растворенного в воде кислорода достаточно высокое и, по большей части водного столба, составляет - 9.2-10.1 мг/л, не опускаясь ниже 6.5-7.5 мг/л даже у дна. Для озера характерны свои специфические особенности аккумуляции кислорода ниже термоклина, связанные с фотосинтетической активностью фитопланктона в условиях высокой прозрачности озерных вод (ILEC, 1993).

### Основные биологические особенности

Благодаря высокой прозрачности воды высшая водная растительность покрывает значительную часть дна. Среди макрофитов преобладают воздушно-водные: тростник (*Phragmites australis*), рогоз (*Typha latifolia*), камыш (*Scirpus tabernaemontani*); погруженные: рдесты (*Potamogeton pectinatus*), уруть (*Myriophyllum spicatum*), наяда (*Najas marina*), произрастающие до глубин 1.5-2 м, а также харовые водоросли (*Charophyta*), распространенные до глубин 30-40 м. Харовые водоросли составляют до 96% от общей биомассы (Savvaitova, Petr, 1999). Наиболее продуктивная зона находится на глубине 15-20 м. Биомасса макрофитов достигает 60 кг/м<sup>2</sup>.

В оз. Иссык-Куль обнаружено около 300 видов фитопланктона. По видовому разнообразию преобладают сине-зеленые водоросли: *Meristopedia punctata*, *M. tenuissima*, *M. glauca*, *Gloeocapsa minor*, *Lyngbya contorta*, однако их общая масса не велика, активно распространены диатомовые: *Cyclotella caspia*; а также зеленые: *Oocystis submarina*, *O. issykkulica*, *Dictyosphaerium pulchellum*, *Sphaerocystis schroeteri*, *Binuclearia lauterbornii*, *Elakatothrix* sp.; динофлагелляты: *Peridinium cinctum*. Солнечный свет настолько глубоко проникает в толщу воды, что водоросли растут на глубине до 70 м. В сезонном развитии фитопланктона присутствуют два пика: май и октябрь (Кулумбаева, 1982). Средняя биомасса фитопланктона – 111.0 мкг/л, в Заливе Туяп - 207-398, в Заливе Рыбацкий - 5300 мкг/л. (ИЕС, 1993)

В озере обнаружено 170 видов зоопланктона (Кулумбаева, 1982). По видовому разнообразию преобладают коловратки: *Hexarthra fenica*, *Keratella quadrata* много ветвистоусых рачков: *Diaphanosoma brachyurum* и веслоногих ракообразных, среди которых наиболее многочисленно семейство циклопов и диаптомусов: *Arctodiaptomus salinus*, *Acanthocyclops viridis*, *Cyclops vicinus*. Диаптомус *A. salinus* распространен по всему озеру и составляет от 75 до 95% численности зоопланктона и до 99% его биомассы. Биомасса зоопланктона в открытой воде – 164 мкг/л, в заливах - 10-520 мкг/л (ИЕС, 1993). Продуктивность фито- и зоопланктона наиболее высокая в заливах, в зоне открытой воды они крайне низкие.

Зообентос озера представлен 224 видами (Savvaitova, Petr, 1999) и встречается преимущественно до глубин 40 м, в зоне распро-

странения харовых водорослей. Наиболее разнообразны представители группы протозоа из царства одноклеточных или колониальных эукариот, которых насчитывается 35 видов (Павлова, 1981; Иззатулаев, 1986). Также многообразны двукрылые насчитывающие 65 видов, в том числе: *Chironomus f. l. plumosus*, *C. thummi*, *Glyptotendipes barbipes*, *Stictochironomus pictulus*; ракообразные - 20 видов: *Gammarus bergi*, *G. ocellatus*, *Paramysis lacustris kowalewskyi*, *P. intermedia*; кольчатые черви – 9 видов; моллюски – 8 видов: *Lymnaea subdisjuncta*, *L. auricularia obliquata*, *Pseudocaspia issykkulensis*; водяные клещи – 5 видов; полужесткокрылые и жесткокрылые – 4 вида. Годовая продуктивность зообентоса составляет 8-10 г/м<sup>2</sup> (Savvaitova, Petr, 1999), на глубине более 7 м - 0.2-0.3 г/м<sup>2</sup>.

Состав ихтиофауны бассейна озера насчитывает 22 вида, из которых 12 - эндемики, относящиеся к семействам карповых, вьюнковых и лососевых и 10 – интродуцированных. К родным видам относятся: чебак (*Leuciscus schmidtii*), чебачок (*Leuciscus bergi*), голый осман (*Diptychus dybowskii*), маринка (*Schizothorax pseudoksaiensis issyk-kuli*), серый голец (*Nemacheilus dorsalis*), голец-губач (*Nemachilus strauchi*), голяян (*Phoxinus issykkulensis*). Давнее географическое обособление и изоляция озера (прекращение связи с рекой Чу) вызвали у рыб развитие ряда новых признаков, приведших к образованию специфических форм, свойственных только Иссык-Куль. В течение XX в. проводилась систематическая работа по обогащению озера наиболее ценными промысловыми видами рыбы. Среди интродуцированных видов - ишхан или севанская форель (*Salmo ischchan issykogegarkuni*), вселенная в 1970-х гг., лещ (*Abramis brama orientalis*), судак (*Stizostedion lucioperca*), зеркальный карп (*Cyprinus carpio*), белый амур (*Ctenopharyngodon idella*), пелядь (*Coregonus peled*), байкальский омуль (*Coregonus autumnalis*).

Коммерческий лов рыбы в оз. Иссык-Куль начат с 1890 г. Изначально основными коммерческими видами являлись осман, сазан, маринка и чебак. К 1930-м годам из-за перелола и связанного с ним сокращения численности основным видом стал чебачок. В 1970-е гг. невысокие уловы на озере спровоцировали вселение новых видов, которые и стали основными для промысла (Savvaitova, Petr, 1999). Молодь активно разводится в инку-

баторах и потом выпускается в озеро, были введены специальные квоты как на разведение, так и на отлов.

В настоящее время годовые уловы на оз. Иссык-Куль составляют около 1200 тонн. В последние годы наблюдается сокращение численности рыбы, что с одной стороны связано с чрезмерным отловом, а с другой – с хищничеством вселенцев. Четыре эндемичных вида: чебак, чебачок, маринка и голый осман, резко сократились по численности и находятся под угрозой исчезновения. Значительный ущерб аборигенной фауне наносит радужная форель, на протяжении 40 лет выращиваемая в озере садковым методом (Savvaitova, Petr, 1999). В середине 2000-х гг. ежегодное производство форели составляло 33 тонны. Поскольку оз. Иссык-Куль отличается значительным волнением, сетки, сдерживающие рыбу, быстро приходят в негодность и прорываются, выпуская мальков в озеро. Если в 1970-е гг. попавшая в озеро в генетически модифицированном виде радужная форель не давала потомство, а только уничтожала всё вокруг, то в 2000-е гг. привезённая из Англии и отличающаяся высокой экологической приспособляемостью форель представляет значительно большую опасность для восстановления подорванных запасов аборигенных видов рыб. В связи с этим рациональность ее дальнейшего выращивания в последние годы подвергается сомнению. С декабря 2009 г. в Кыргызстане наложен запрет на разведение радужной форели в садковых хозяйствах, расположенных в акватории озера Иссык-Куль, вместо этого предлагается разводить ее в мелких прудовых хозяйствах вокруг озера. На сегодняшний день многие специалисты видят спасение рыбного населения озера в пополнении рыбных запасов за счет молодежи, в том числе аборигенных видов, выращенной в инкубаторах.

Озеро характеризуется богатством орнитофауны, через него проходят пути миграции черношейной и красношейной поганки (*Podiceps nigricollis*, *P. auritus*), большой белой и серой цапли (*Egretta alba*, *Ardea cinerea*), а также редких уток: шилохвость (*Anas acuta*), чирок-трескунок (*Anas querquedula*), обыкновенный гоголь (*Bucephala clangula*), средний и большой крохаль (*Mergus serrator*, *M. Merganser*). В заливах и на западе озера ежегодно зимует 70—80 тыс. особей водоплавающих птиц, принадлежащих к 16 видам, среди которых лебеди-шипунуны (*Cygnus olor*), лебеди-

кликуны (*Cygnus cygnus*), красноносые нырки (*Netta rufina*), кряквы (*Anas platyrhynchos*), лысухи (*Fulica atra*), гоголи (*Bucephala clangula*), лутки (*Mergellus albellus*). Гнездятся серые и горные гуси (*Anser anser*, *A. indicus*), длинноносый крохаль (*Mergus serrator*).

В 1944 г. в оз. Иссык-Куль была выпущена ондатра (*Ondatra zibethicus*); она быстро акклиматизировалась и заселила Покровский залив, некоторые другие богатые растительностью мелководные заливы и устья рек.

#### **Экономические характеристики антропогенной активности в бассейне**

Площадь водосбора оз. Иссык-Куль составляет 22080 км<sup>2</sup>, здесь проживает около полумиллиона человек. Большинство населённых пунктов расположено на северном побережье и в восточной части котловины. Основное занятие населения — сельское хозяйство, включающее земледелие (зерновые и зерно-бобовые культуры, выращивание картофеля и др. овощей), скотоводство (тонкорунное овцеводство, мясомолочное скотоводство и племенное коневодство) и садоводство (абрикосы, груши, яблоки, персики). Определенное развитие в регионе имеет промышленность, прежде всего, горнодобывающая, сконцентрированная на добыче золота, каменного и бурого угля, олова, меди, свинца, полиметаллов и др. Обрабатывающая промышленность представлена такими отраслями как легкая, пищевая, а также производство стройматериалов, машиностроение, судостроение, электротехническая и топливная промышленность. На озере развито рыболовство. Кроме того, еще со времен Советского Союза, котловина оз. Иссык-Куль является общепризнанным международным центром туризма, курортного отдыха и лечения, приносящим на сегодняшний день экономике Кыргызстана значительный доход. Большую часть туристов составляют жители Кыргызстана и соседних стран, самые популярные курорты - города Чолпон-Ата и Каракол, посёлки Бостери, Сары-Ой, Чон-Сары-Ой, Тамчи, а также ущелье Джеты-Огуз. Основу курортных ресурсов зоны составляют минеральные и термальные воды, а также лечебные грязи. В 2010 г. Иссык-Кульская область лидировала в стране по социально-экономическим показателям, рост производства промышленной продукции был здесь самым высоким в республике.

### **Основные проблемы, связанные с антропогенной деятельностью**

Активное антропогенное развитие в бассейне озера Иссык-Куль, происходящее с середины XX в., вызывает ряд негативных изменений, сказывающихся на снижении притока в озеро. В силу аридности климата большая часть сельскохозяйственных земель орошается. Только с 1930 по 1980 г. площади орошаемых земель на водосборе увеличились в 3 раза, с 50 до 154 тыс. га. (Savvaitova, Petr, 1999), затем, в связи с экономическими причинами, их дальнейшее расширение было приостановлено. На уровень 2000 г. общие посевные площади в регионе составляли 187 тыс. га. Водозабор в это же время увеличивался с 9% от общего притока в 1966 г. до 34% в 1982 и до 43% - в 1998 г. (Karmanchuk, 2002). В ближайшее время предполагается расширение орошаемых земель в Иссык-Кульской котловине более чем на 60 тыс. га (Аламанов и др., 2006), что приведет к еще большим заборам воды из питающих озеро рек.

Наряду со снижением притока происходят негативные качественные изменения озерной воды. Несмотря на наличие на большинстве предприятий очистительных систем, в силу своей слабой эффективности они не справляются с очисткой стоков. В результате в водоем попадают плохо обработанные промышленные и коммунальные стоки, содержащие нефтепродукты, тяжелые металлы и детергенты, кроме того, с сельскохозяйственными стоками проникают пестициды и биогенные вещества. Улучшение очистных сооружений затруднено в связи с финансовыми трудностями в регионе.

К счастью, на сегодняшний день способность озера к самоочищению позволяет справляться с поступающим загрязнением, с растворением попадающих в него вредных веществ до безопасного для человека уровня. И экологическая ситуация в Иссык-Кульской котловине не вызывает в целом серьезных опасений. Однако, в разгар туристического сезона, когда возрастает количество отдыхающих, а вместе с тем и уровень загрязнения прибрежной части, озерное растворение не так эффективно. В результате этого, согласно информации, публикуемой в прессе, в пик сезона близ Чолпон-Аты периодически фиксируется превышения допустимой концентрации вредных веществ. По данным Karmanchuk (2002) химический анализ проб воды показал, что в последние несколько

десятилетий большинство химических параметров остаются неизменными. Выявлено наличие загрязнения в прибрежной зоне, прежде всего нефтепродуктами и тяжелыми металлами. Наиболее загрязнены Рыбацкий залив, Восточный залив у г. Чолпон-Ата, побережье вблизи ряда поселков (Каджи Сай), по восточному побережью - заливы при впадении р. Тюп и Джергалан. Пелагиальная зона остается практически чистой. В последние десятилетия наблюдалось снижение нефтяного загрязнения в сравнении с 1980-ми годами, что связано с предпринятыми мерами и более серьезным отношением к нефтяным сбросам в последнее время. Наличие тяжелых металлов выявлено лишь в литоральной зоне. Более поздние исследования, проведенные летом 2007 г. показали наличие желтых пятен на поверхности озера, образованных в результате отработки горюче-смазочных материалов, а также появление быстро разрастающихся сине-зеленых водорослей

К другим проблемам оз. Иссык-Куль относятся эрозия почв на водосборе, вызываемая как развитием сельского хозяйства (распахивание склонов, неправильная система полива, выбивание почвы за счет чрезмерного выпаса), так и добывающей промышленности. Среди негативных факторов называется также бесконтрольное уничтожение болотно-кустарникового пояса на побережье в целях расширения пляжной зоны. Древесно-кустарниковый пояс с болотистыми участками является естественным фильтром озера, очищающим все стоки, поступающие в него с поверхности Иссык-Кульской котловины, что позволяет значительно улучшить ситуацию при плохой работе очистных сооружений.

Бурное развитие туризма, предпринимательской деятельности и реализация хозяйственных проектов в условиях почти полной природной замкнутости Иссык-Кульской котловины усиливают антропогенный прессинг и, в случае ослабления экологического контроля, могут привести к чрезвычайным ситуациям.

### **Описание мер, предпринятых для улучшения экосистемы озера**

В 1958 г. близ озера Иссык-Куль организован Иссык-Кульский заповедник, впоследствии ставший биосферным. Оз. Иссык-Куль входит в состав Рамсарских охраняемых водно-болотных угодий, еще в 1974 году согласно Рамсарской конвенции, подписанной тогда Совет-





Рис. 6.12. Государство Урарту, VIII в. до н.э. Источник: История изучения Урарту.

ским Союзом, озеро включено в группу водоемов, имеющих международное значение. В 2001 году биосферная территория «Иссык-Куль» вошла в Планетарную сеть биосферных резерватов Программы Организации объединенных наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО), тем самым Иссык-Кульской области придан статус международной особо охраняемой природной территории мирового значения.

В 2007 г. был принят Государственный Закон "Об охране озера Иссык-Куль". В рамках закона предполагается разработать нормативы предельно допустимых вредных воздействий, а также перечень вредных веществ - особо опасных, опасных и умеренно опасных для уникальной экологической системы Иссык-Куля. Специально уполномоченный государственный орган призван вести мониторинг состояния высокогорной гляциальной зоны, питающей реки, впадающие в Иссык-Куль, а также хозяйственного использования главных источников, несущих воды в озеро (рек Джергалан, Тюп, Каракол, Джуука, Тонг, Джетыюгуз, Чонаксуу, Чонкызылсуу, Актерек, Барскоон и др.); повышения и снижения уровня воды в озере, прогнозировать последствия. В первой половине 2010 г. был разработан проект Закона Кыргызской Республики «О внесении дополнений и изменений в Закон Кыргызской Республики «Об устойчивом развитии эколого-экономической системы «Иссык-Куль». Предлагаемые дополнения и изменения направлены

на усиление правового режима устойчивого развития эколого-экономической системы «Иссык-Куль», усиления особого статуса озера Иссык-Куль как национального достояния республики. В рамках этих дополнений, в частности, запрещена деятельность здравниц Иссык-Куля без очистных сооружений.

### ОЗЕРА АРМЯНСКОГО НАГОРЬЯ

Для Армянского нагорья характерно обилие крупных озёр, расположенных в обширных тектонических впадинах и чаще всего представляющих собой центры внутреннего стока. Наиболее крупными из них и являются озера Урмия, Ван и Севан, из которых только оз. Севан – сточное (по р. Раздан). С древних времен озера Урмия, Ван и Севан известны как три Великих Озера Великой Армении. Их водное зеркало находится на высотах от 1250 (оз. Урмия) до 1900 м (оз. Севан), в регионе, отличающемся суровым резко континентальным климатом с холодными, морозными зимами, жарким, сухим летом и сравнительно небольшим количеством годовых осадков при значительном испарении.

Первые следы пребывания человека на Армянском нагорье относятся еще к временам палеолита. С неолитических времён живущие здесь племена уже занимались выплавкой металлов (Геворкян, 1980), и существует версия, что именно здесь были изобретены технология плавки железа (Мецамор, Чатал-

Хююк и др.) и коневодство. Первые государства появились в регионе уже к началу первого тысячелетия до н.э. Согласно историческим свидетельствам с XI по VI вв. до н.э. значительную часть территории Армянского нагорья занимало государство Урарту, соседствующее в VII в. с государством Манна (рис. 6.12). В силу своего удобного положения на стыке Средиземноморья и Передней Азии Армянское нагорье с самых древних времен являлось территорией, привлекающей интерес всех крупных держав, расположенных по округе. Поэтому его история на фоне многочисленных войн изобилует быстрым возникновением и часто таким же быстрым падением здесь различных царств, их подчинением соседям, затем вновь возрождением и очередным завоеванием. Наибольшего величия регион добился в период Великой Армении (начало II в. до н.э.— 387 г н.э.) или «страны трёх морей». Именно в это время древней истории «три моря» или озера Ван, Урмия и Севан становятся хорошо известными европейским цивилизациям. В 387 г. Великая Армения подверглась разделу и с тех пор озера практически уже никогда все вместе не входили в состав единого государства.

На сегодняшний день оз. Урмия расположено на территории Иранского Азербайджана, оз. Ван на территории Турции, а оз. Севан – Армении. Современная история региона включает не только взаимоотношения между проживающими здесь народами, но и антропогенное воздействие, в значительной степени изменяющее природную среду. На протяжении XX в., особенно его второй половины озера региона претерпевали ряд изменений. Наиболее существенные изменения коснулись оз. Севан, уровень которого на протяжении 70 лет искусственно понижался. В публикуемых ниже трех отдельных статьях о крупнейших озерах Армянского нагорья озеру Севан, в связи с этим, уделено особое внимание.

#### 6.4. ОЗЕРО УРМИЯ

Озеро Урмия - самое крупное озеро Ирана (рис. 6.13), расположенное на северо-западе страны в Иранской котловине, между провинциями Восточный и Западный Азербайджан. Его координаты: 37°00'-38°15'с.ш., 45°00'-46°01'в.д., высота уреза воды 1250 м над уровнем моря (после снижения уровня воды в последнее десятилетие - 1247 м). В 1926 году оз. Урмия

было переименовано в оз. Резайе, в честь шаха Резы Пахлави; прежнее название было возвращено в 1970-х гг.

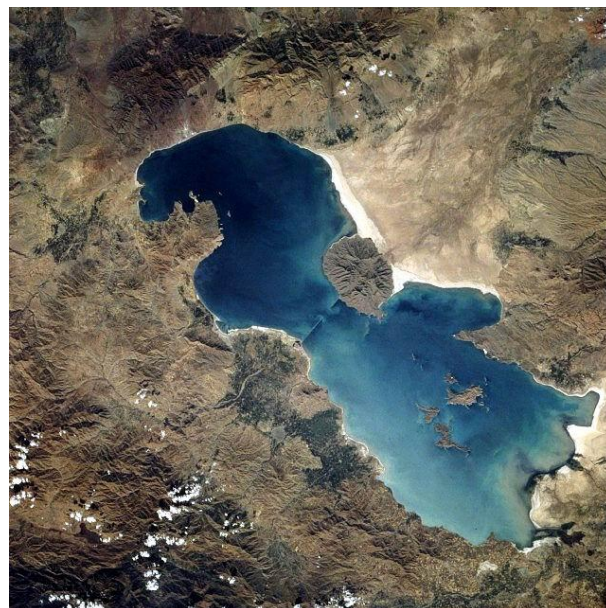


Рис. 6.13. Озеро Урмия. Фото NASA.

Согласно оценкам, выполненным во второй половине XX в., площадь водного зеркала оз. Урмия составляла 5960 км<sup>2</sup>, объем содержащейся воды – 19 км<sup>3</sup>, длина озера - 140 км, ширина - от 16 до 63 км (Kelts and Shahrabi, 1997), средняя глубина оценивалась в 5 м, максимальная – в 16 м. Считается, что на протяжении XX в. на озере наблюдалось постепенное сокращение площади водного зеркала. В работах 1990-х г. площадь озера указывалась равной 5200 км<sup>2</sup> (Ghaheri, 1999). Значительное снижение акватории отмечалось с 1995 по 2005 гг. и было связано с низкими осадками в этот период. Уровень воды за десятилетие упал на 3.5 метра, в результате площадь водного зеркала сократилась к середине 2000-х гг. до 4610 км<sup>2</sup> (Alipour, 2006).

Озеро Урмия - бессточное. В него впадает 21 постоянная река, в том числе 13 основных, наиболее крупными из которых являются рр. Аджи-чай, Заррине-руд, Симине-руд, Шахри-чай, Махабад-руд и Назлы-чай. Кроме того, в озеро впадает 39 временных водотоков, таких как Софе-чай и Мардок-чай. Южная часть озера отличается мелководностью, северная более глубокая. На озере 102 острова, важнейшие из которых о-ва Ислами, Кабудан, Эспир, Ашк и Арезу.

Озерная котловина имеет тектоническое проис-

хождение, она расположена в грабене, между поднятиями Аравийского полуострова, Урмии, Турции и Иранской платформы. Озеро окружат высокие горы (до 3800 м), сложенные преимущественно магматическими и осадочными породами. На долю горных ландшафтов приходится около 65% от площади водосбора, на долю равнинных – 24% и около 11% - на озера. Возраст слагающих водосбор пород - от докембрия до четвертичного периода. Наиболее древние породы представлены кислыми туфами и диоритами, а также породами, имеющими вулканическое происхождение, среди метаморфических пород - амфиболиты, гнейсы, лейциты и базаниты. Палеозой представлен доломитами, сланцами и песчаниками, преобразованными в латериты и распространенными в западной части бассейна, мезозой – известняками и доломитами, распространенными в восточной части, меловой период – конгломератами, песчаниками и известняками. Породы, образовавшиеся за счет вулканической деятельности, датируются палеоценом и плейстоценом.

Образование озерной котловины происходило около 400000 - 800000 лет назад. Однако возраст современного озера оценивается от 8000 до 40000 лет. Озерное дно и острова сложены преимущественно меловыми известняками, перекрытыми осадочными отложениями, имеющими возраст 30 000 – 40 000 лет. Согласно геоморфологическим данным максимальный уровень озера на протяжении его истории не превышал 5 м над современным уровнем, так как озерные отложения были найдены только в этом диапазоне высот. Наиболее высокие уровни наблюдались в промежутке между двумя последними оледенениями и в период голоцена, наиболее низкие - на период Валдайского оледенения.

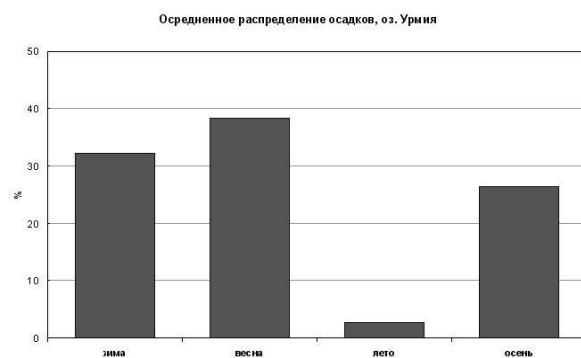
### **Роль озера в жизни окружающих народов**

Озеро Урмия играет важнейшую роль в жизни людей, проживающих по его берегам. Питающие его воды активно используются для коммунального, сельскохозяйственного и промышленного водоснабжения. Благодаря наличию в озере ценного минерального сырья, ведется его активная промышленная разработка. Обитающая в озере артемия является источником питания домашнего скота и богатейшего птичьего населения, живущего на озере. В летний период озеро представляет собой прекрасное место для отдыха и плавания, повышенное содержание солей ежегодно привлекает к его берегам

больных ревматизмом, кожными заболеваниями и нервными расстройствами.

### **Климат. Характеристики термического режима**

Климат рассматриваемого региона сухой субтропический, резко континентальный, характеризующийся холодными зимами и умеренным летом. Наблюдается значительный градиент годовых температур, от  $-20^{\circ}\text{C}$  зимой до  $+40^{\circ}\text{C}$  летом. Согласно (Inegrated...) среднегодовые осадки, рассчитанные за период 1967-2001 гг., составляли в бассейне 384 мм, изменяясь от 250 в пониженных областях до 1000 мм на западных склонах гор. Более 70% осадков приходится на зимне-весенний период, причем около 1/3 от годовых осадков выпадает в виде снега. Осредненное распределение осадков в течение года приводится на рис. 6.14. За период наблюдений, с 1950 по 2010 гг. наблюдалось несколько полных циклов влагообеспеченности, продолжительность которых составляла около 10 лет. Повышенные осадки приходились на 1957, 1969, 1976, 1982, 1987 и 1994 гг, пониженные – на 1963, 1971, 1984, 1991, крайне низким количеством осадков характеризовалось также все десятилетие 1995-2003 гг. с минимумом в 2002 г.



**Рис 6.14.** Осредненное распределение осадков, %, в течение года (по данным Inegrated...)

Температура воды оз. Урмия варьирует в течение года от 0 до  $30^{\circ}\text{C}$ . В верхнем 1.5-метровом слое температура воды всегда выше, чем на глубине, различия особенно заметны в весенний и летний сезон. В связи с разницей температур поверхностная вода озера всегда легче, что предотвращает быстрое вертикальное перемешивание.

### Характеристики водного режима и водного баланса

Общий речной приток в оз. Урмия составляет в среднем около 5 км<sup>3</sup> воды в год, при этом чуть менее половины всего притока, 2.25 км<sup>3</sup>/год, приносит р. Заррине-руд. Большая часть притока приходится на весенние месяцы, летом многие водотоки полностью пересыхают. Непосредственно на поверхность озера за год выпадает от 120 до 600 мм осадков при среднем значении около 380 мм. Испарение с поверхности водоема оценивается в 1435 мм/год (Alipour, 2006). При годовых осадках 350-400 мм и выше и притоке более 1050 мм, водный баланс озера бездефицитен. В течение 1995-2005 гг величина испарения значительно превосходила суммарную величину осадков плюс стока, совместно составлявших лишь около 1150 мм, при этом осредненный за этот период приток составлял лишь 4.35 км<sup>3</sup> воды. Таким образом, наблюдалось существенное сокращение площади водоема, в среднем на 32 см/год. В табл. 6.1 приведены водно-балансовые характеристики, рассчитанные Alipour (2006) за период 1967-2002 гг.

**Таблица 6.1.** Показатели водного баланса оз. Урмия по данным Alipour (2006), 1967-2002 гг. (км<sup>3</sup>).

ОСАДКИ	СТОК	ПОДЗЕМНЫЙ ПРИТОК	ИСПАРЕНИЕ	ИЗМЕНЕНИЕ ЗАПАСОВ
1.145	4.636	0.042	5.873	-0.05

### Основные характеристики качества вод

Вода оз. Урмия характеризуется повышенной прозрачностью при интенсивной цветности (цвет воды ярко-синий). Показатель кислотности среды, pH – 7.3-8.6. Соленость воды большую часть XX в. составляла 150—230 промилле, с начала 2000-х гг. она повышалась до значений выше 250 промилле, периодически доходя до 300 гр/л. Среди катионов преобладают Na>Mg>Ca>K, Li, среди анионов – Cl>SO<sub>4</sub>>HCO<sub>3</sub>. Концентрация ионов натрия и хлора примерно в 4 раза превышает таковую в морской воде (Eimanifar et al., 2007). Характерно, также, повышенное содержание в озерной воде фтора и брома. Высокая соленость озерной воды сочетается с ее повышенной плотностью, в результате, даже в холодные зимы на озере не происходит льдообразования.

По всему озеру распределение солей достаточно однородное, свидетельствующее о хорошей смешиваемости водной массы. Наблюдается несколько более высокие концентрации натрия в южной мелководной части озера.

Содержание солей в воде оз. Урмия близко к насыщению. Наименьшие значения солености озерной воды наблюдаются весной при максимуме притока, наиболее высокие значения – в жаркий сухой сезон при максимуме испарения. На мелководье, преимущественно в конце осени и зимой, при низких температурах происходит образование мирабилита. При низких осадках и высоком испарении может происходить кристаллизация солей. Такое явление наблюдалось в 2002 г., соль кристаллизовалась тонким слоем (до 1 см) на озерном дне на глубинах до 2 м и на поверхности береговых галечников.

Общая масса растворенных солей, накопившихся в озере на сегодняшний день, оценивается в 4800 млн. тонн. Ежегодный принос солей с речным стоком оценивается в 2.2 млн. тонн, из которых 54% поступает со стоком р. Аджи-чай (Горькая река), обеспечивающей лишь 10% водного притока (Integrated...). Высокой соленостью отличается также ряд сезонных водотоков, протекающих по соляным куполам, существующим у северного побережья. В южную часть озера впадают лишь пресноводные реки. Проведенное бурение озерного дна не выявило наличия мощных соляных пластов (Alipour, 2006), так что причиной высокой солености воды является значительный уровень испаряемости и отсутствие оттока, из-за чего все поступающие со стоком соли накапливаются в водоеме.

### Основные биологические особенности

Побережье оз. Урмия болотистое, отличающееся наличием небольших пресноводных озер. К озеру, преимущественно в его южной части, подступают заросли камыша, наиболее обширные в дельтах питающих озеро рек. Фитопланктон отличается низким видовым разнообразием и представлен несколькими видами галофильных водорослей. Здесь многочисленна зеленая водоросль *Dunaliella* sp., составляющая до 95% биомассы и *Enteromorpha intestinalis*, особенно активно распространяющаяся при снижении солености воды, наблюдающемся в годы высокой водности. Также в озере распространены зеленые водоросли: *Ankistrodesmus* sp., *Monostroma* sp., *Pan-*

*dorina* sp.; сине-зеленые: *Anabaena* sp., *Anacystis* sp., *Chroococcus* sp., *Lyngbya* sp., *Oscillatoria* sp. и *Synechococcus* sp.; диатомовые: *Amphora* sp., *Navicula* sp., *Nitzschia* sp., *Cyclotella* sp., *Symbella* sp., *Synedra* sp., *Pinnularia* sp., *Diatoma* sp., *Amphiprora* sp., *Surirella* sp., *Cumatopleura* sp., *Gyrosigma* sp. (Ryahi et al., 1994, Mohebbi et al., 2006) Водоросли *Dunaliella* sp. и *Tetraselmis* sp. являются основным рационом местной артемии. По производству фитопланктона, составляющему 0.5-0.8 мкг/л, оз. Урмия может быть охарактеризовано как олиготрофное (Eimanifar et al., 2007).

В зоопланктоне оз. Урмия выявлены низшие ракообразные. Так, оз. Урмия, как полагают, является одной из самых крупных естественных сред обитания артемии - *Artemia Urmiana Salina*, вида ракообразных из класса жаброногих, эндемика оз. Урмия. Из-за высокой солености в озере нет рыбы, отсутствие которой позволяет артемии распространиться до плотности более 4000 экз./л (Inegrated...). Предельные значения солености, выше которых кисты артемии начинают погибать – 250 гр/л. При превышении этих значений, периодически наблюдающихся в озере на протяжении сухого сезона, плотность артемии резко сокращается. Так из-за значительной засухи последнего десятилетия ее популяция к 2002 г. начала исчезать, сохранившись лишь вблизи устьев рек.

Озеро характеризуется богатством орнитофауны, здесь насчитывается 212 видов птиц, среди которых чайки, утки, колпицы, ибисы, аисты, шилоноски, ходулочники и др. Его острова широко используется перелётными птицами как промежуточный пункт на путях миграции. Среди встречающихся на озере редких видов - кудрявый пеликан (*Pelecanus crispus*), красный фламинго (*Phoenicopterus ruber*), белоголовый сип (*Gyps fulvus*), савка (*Oxyura leucocephala*), могильник и большой подорник (*Aquila heliaca*, *A. clanga*), мраморный чирок (*Marmaronetta angustirostris*), дрофа (*Otis tarda*), малый лебедь (*Cygnus bewickii*), балобан (*Falco cherrug*), орлан-белохвост и орлан-долгохвост (*Haliaeetus albicilla*, *H. leucoryphus*). И зимой, благодаря тому, что озеро не замерзает даже при холодной погоде, сюда слетается огромное количество птиц (не менее 13 видов), основным источником продовольствия которых является артемия. В зимнее время на озере обитает около 1% всех птиц Передней Азии. По

берегам озера также обнаружен 41 вид рептилий, 7 видов земноводных и 41 – млекопитающих.

### **Экономические характеристики антропогенной активности в бассейне**

Площадь водосбора оз. Урмия составляет 51876 км<sup>2</sup> (Inegrated...). Здесь проживает около 4.5 млн. чел. Основное занятие жителей – сельское хозяйство, обеспечивающее доход большей части местного населения, животноводство, пчеловодство, а также добывающая промышленность, в том числе промышленная добыча соли на озере. В долинах вокруг озера распространено орошаемое земледелие, ориентированное, прежде всего, на выращивание овощей и фруктов, а также хлопка, табака, орехов, и зерновых. Большая часть водоносных слоев вокруг озера содержит пресную воду и является источником водных ресурсов для сельского хозяйства. В регионе эксплуатируется около 2 км<sup>3</sup> воды (Inegrated...), причем более половины забирается из подземных горизонтов. 96% воды, употребляемой на нужды сельского хозяйства, водоснабжения и промышленности, изымается из колодцев и кяризов. В годы низкой водности имеющихся водных ресурсов начинает не хватать для сельскохозяйственного водоснабжения.

Благодаря наличию ценного минерального сырья на озере активно ведется его промышленная разработка. Прежде всего, происходит добыча солей (NaCO<sub>3</sub>), которых ежегодно добывается около 450000 тонн, из них около 400000 в г. Мераге (Alipour, 2006), в юго-западной оконечности озера. Значительный интерес представляют также такие ценные элементы как K, Li, Br, Mg, однако их успешная эксплуатация требует развития новых технологий (Ghaheri, 1999).

На озере развито судоходство. Для соединения западного и восточного берегов в 1970 г. был разработан проект возведения громадного моста между городами Урмией и Тебризом. После Иранской Революции 1979 г. Строительные работы были приостановлены, и вновь возобновились лишь в 2000-х гг. Конструкция моста предполагала насыпь дамбы, длиной около 18 км, и конструкцию собственно моста, длиной около полутора километров, позволяющего осуществлять водообмен между северной и южной частями водоема. Строительство было завершено в ноябре 2008 г. К сожалению, несмотря на антикоррозийную обработку, высокая

соленость воды негативно сказывается на металлических конструкциях, что снижает сроки эксплуатации только возведенного сооружения.

### ***Основные проблемы, связанные с антропогенной деятельностью***

В последние два десятилетия в связи с активным антропогенным развитием наблюдалось значительное давление на экосистему оз. Урмия и окружающие его болотные угодья. Антропогенное давление на озеро еще больше усилилось в результате значительной засухи 1995-2003 гг., когда существенно снизился уровень его воды, а берега отступили местами на несколько километров. Из-за засухи соленые озерные воды проникали в связанные с озером водоносные горизонты. Особенно резко это проявлялось в восточной и западной части водоема, где и в годы средней водности соленые воды могут простираться на значительное расстояние от озера. Соленые воды обнаруживались в колодцах, расположенных на сельскохозяйственных землях, приводя к огромным потерям урожая. Кроме того, рост солености воды нанес колоссальный ущерб популяции артемии, являющейся основой питания прилетающих на озеро птиц. Основным урон пришелся на маловодный 2002 г., когда соленость озерной воды достигала 300 гр/л. Истощение популяции артемии снизило привлекательность водоема для птичьего населения. При достижении уровня насыщения соль начинала кристаллизоваться и тонкой коркой покрывать дно и прибрежные галечники, что повлекло за собой массовую гибель прилетевшей птицы. Соль попадала в желудки птиц, их лапки покрывались шариками соли, препятствующими движению (Alipour, 2006).

Активный водозабор, составляющий до 2 км<sup>3</sup> воды/год и расходуемый, прежде всего, на сельскохозяйственные нужды, способствовал еще большему снижению уровня воды озера, так как даже в годы нормальной водности приходная часть водного баланса озера Урмия не всегда может уравновесить расходную часть. Из-за водозабора в северной и восточной частях водосбора, характеризующихся наибольшей хозяйственной освоенностью и высокой плотностью населения, наблюдалось снижение уровня грунтовых вод, составившее в ряде районов до 16 м (Zarghami M. 2009). Кроме того, водоносным горизонтам здесь угрожали неочищенные промышленные и коммунальные стоки.

Наряду с засухой негативное влияние на озерную экосистему вызвало строительство моста, соединившего западный и восточный берега озера. Его влияние более детально изучается в последние годы. Основной пресный приток поступает в южную часть оз. Урмия, строительство моста привело к нарушению циркуляции и снижению водообмена между бассейнами, что способствовало увеличению солености северной части озера. До начала строительных работ обитающая в озере креветка была равномерно распределена по всему водоему, в конце 2000-х гг., после завершения строительства, совпавшего с ростом солености озера, основным местообитанием креветки стал южный бассейн, тогда как в северном бассейне ее численность теперь весьма невелика (Eimanifar et al., 2007).

С целью обеспечения рационального использования водных ресурсов и поддержания устойчивого экономического развития в бассейне оз. Урмия на реках, питающих озеро, строятся водохранилища. К середине 2000-х годов существовало уже 6 водохранилищ с суммарным полезным объемом 846 млн. м<sup>3</sup> воды. На ближайшие годы запланировано строительство еще 21 водохранилища с полезным объемом от 0.25 до 20 млн. м<sup>3</sup> воды. Объем зарегулированного стока составляет на сегодняшний день 1.241 км<sup>3</sup>/год, и планируется увеличить его до 3.169 км<sup>3</sup>. Введение в эксплуатацию водохранилищ приводит к изменениям внутригодового притока в озеро, кроме того, в условиях сухого и жаркого климата – к дополнительным потерям воды на испарение. Однако, пока это единственный выход для поддержания местной экономики, испытывающей в последние годы регулярную нехватку воды.

Наблюдающееся в последние десятилетия постепенное усыхание оз. Урмия является катастрофой, которая может привести к еще худшим последствиям. Отступление береговой линии приводит к оголению покрытого солью озерного дна, такая земля не может быть использована под сельское хозяйство, однако может стать источником соли, распространяемой по региону при сильных ветрах. Соляная пыль может явиться причиной серьезных заболеваний дыхательных путей в регионе, как это происходило при пересыхании Арала. С целью спасения оз. Урмия в последние годы был разработан ряд проектов, предлагающих четыре альтернативных маршрута переброски стока из смежных бассейнов и позволяющих

увеличить приходную часть водного баланса озера (Zarghami M. 2009).

#### **Описание мер, предпринятых для улучшения экосистемы озера**

С 1975 г. оз. Урмия входит в состав Национального Парка – одного из самых важных в Иране. Благодаря высокой биологической вариативности озеро признано ЮНЕСКО «хранилищем биосферы». Часть болотистых земель вокруг озера включено в состав Рамсарских охраняемых территорий, обеспечивающих среду обитания редким видам птицы.

Рациональное использование озера и сохранение его уникальной экосистемы представляет важнейшую задачу, особенно в свете наблюдавшейся в регионе с конца XX в. засухи и катастрофического роста водозабора, приведших к сокращению площади водоема и существенному падению уровня грунтовых вод, и повлекших за собой колоссальные потери для сельского хозяйства региона. Основной целью, в этой связи, является восполнение притока в озеро. Важной задачей является также поиск возможностей улучшения биологического потенциала водоема, резко снизившегося в последнее десятилетие, для ее решения в 2000 г. Иранская Организация Исследования Рыбной ловли (IFRO) организовала Исследовательский центр *Артемии* на оз. Урмия.

#### **6.5. ОЗЕРО ВАН**

Озеро Ван – самое большое озеро Турции, расположенное на Армянском нагорье (рис. 6.15). Его координаты: 38°16' - 39°00'сш.; 42°17' - 43°40'в.д., урез воды находится на высоте 1648 м над уровнем моря. Площадь водного зеркала составляет 3522 км<sup>2</sup>, объем заключенной воды – 576 км<sup>3</sup> (Reimer et al., 2009). Средняя глубина 161 м при максимальной - 451 м (Hammer U.T., 1986), длина озера - 119 км. Озеро имеет неправильную треугольную форму, узким перешейком оно делится на небольшую мелководную северо-восточную часть и глубоководную юго-западную. Берега преимущественно обрывистые. На озере много не-больших островов и четыре более крупных, Гадир, Чарпанак, Ахтамар и Атрек. Озеро бессточное, основной приток приносят реки Бендимахи, Зейлан-Дереси, Карашу и Мичингер.

Оз. Ван расположено в западной части тектонической котловины, окруженной Восточным Тавром с юга, Курдскими горами с востока и

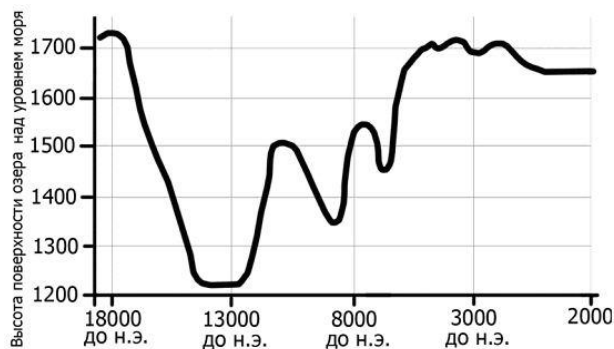
хребтом Аладаглар с северо-востока. В среднюю плейстоценовую эпоху, около 200 тысяч лет назад, извержение вулкана Немрут-Даг образовало поток лавы, заблокировавший сток вод из Ванской котловины в Мушскую, что и привело к образованию озера. Таким образом, оз. Ван занимает самую глубокую часть котловины, окружённой горами. Сохраняющий свою активность стратовулкан Немрут-Даг (2935 м) возвышается вблизи его северо-западного берега, а высочайший потухший стратовулкан Сипан (4434 м) доминирует на северном побережье.



**Рис. 6.15.** Озеро Ван. Фото NASA.

Террасы, расположенные по берегам озера свидетельствуют, что в более ранние эпохи его уровень поднимался значительно выше, чем сегодня. Так около 18000 лет назад, в конце ледниковой эпохи, он был выше приблизительно на 72 м (Degens et al., 1984). Кроме того, результаты глубоководного бурения, проведенного в 1990 г., показали, что около 9500 лет назад озеро пересыхало, распадаясь на небольшие соляные озерца, когда его уровень был на 300 м ниже сегодняшнего (Landmann et al., 1996). Следующее значительное повышение уровня наблюдалось около 6500 лет назад (рис. 6.16). Большинство исследователей связывают пересыхание озера с климатическими изменениями, хотя его точные причины, возможность повторения и связь климатических изменений в районе оз. Ван с соседними регионами всё ещё остаются предметом дискуссий. Уровень близкий к современному

наблюдается на озере около 3000 лет. Еще в 1946 г. Матвеев высказывал предположение, что через определенное время эрозия Восточного Тавра притоками реки Ботан-Чайи (приток р. Тигр) может образовать новый сток вод озера в бассейн Тигра, и озеро Ван уменьшится или перестанет существовать.



**Рис. 6.16.** Изменение уровня воды в озере Ван по данным глубоководного бурения 1990 года по данным Landmann et al., 1996.

В течение своей длительной истории глубокое, бессточное оз. Ван накопило огромный слой осадочных отложений, составляющий в ряде районов до 400 м. Такие мощные отложения привлекают к себе интерес геологов, вулканологов и климатологов, начавших их активное изучение в 1990-х годах.

#### **Роль озера в жизни окружающих народов**

Озеро Ван играет важную роль в жизни людей, проживающих на его берегах. Питающие его реки являются основным источником воды местного населения. Озеро оказывает смягчающее воздействие на климат в регионе. Благодаря более мягкому климату и искусственному орошению в прибрежных областях произрастают и хорошо плодоносят оливковые деревья, яблони, персики, гранаты и другие садовые культуры.

#### **Климат. Характеристики термического режима**

Оз. Ван расположено на Армянском нагорье, отличающемся суровым резко континентальным климатом с холодными, морозными зимами, жарким, сухим летом, и амплитудой годовых температур до 75°C. Средние температуры воздуха составляют от -16 до -12°C в январе и от +22 до +25 С в июле. В особенно холодные зимние дни температура в центре нагорья достигает -45 С. Само озеро смягчает

климат близлежащих окрестностей, поэтому в городе Ван, расположенном на его берегу, средние температуры января составляют всего -3.5 С, а июля +22.5 С. Годовое количество осадков в бассейне колеблется от 400 до 700 мм.

Озеро димиктическое, с хорошо выраженной летней и зимней стратификацией. Температура воды в озере летом достигает у поверхности 20°C, тогда как на глубинах более 50 м в течение всего года остается около 3°C. Из-за высокой солености озеро не замерзает за исключением небольших мелководных участков у северного берега.

#### **Характеристики водного режима и водного баланса**

Оз. Ван имеет преимущественно снеговое питание. Основной сток приносят, выпадающие с севера реки Бендимахи и Зейлан-Дереси и выпадающие с востока - Карашу и Мичингер. Самая крупная из четырех рек, р. Зейлан-Дереси (Зейлан), берёт свое начало в горах Аладаглар, совместно с р. Бендимахи они обеспечивают около 40% притока в озеро, составляющего 2.5 км<sup>3</sup>/год. Осадки на поверхность водоема составляют 1.7 км<sup>3</sup>/год. Поскольку озеро бессточное единственной составляющей расходной части водного баланса является испарение, оцениваемое в 4.2 км<sup>3</sup> воды в год (Altunkaynak et al., 2003).

Годовая амплитуда уровня воды озера составляет всего около 0.5 м. Значительный рост уровня начинается в апреле и совпадает с началом снеготаяния в горах, максимум притока приходится на июль. За этот период озеро получает основную часть своего питания, около 80% (Altunkaynak et al., 2003). К августу приток снижается и продолжает оставаться незначительным до января-февраля. Уровень воды падает, наиболее низкие его значения наблюдаются в зимние месяцы.

Оз. Ван испытывает также малоисследованные колебания уровня значительной амплитуды. Его последний рост, превысивший средние значения примерно на 3 м, наблюдался в 1990-е гг., причем только за 1990-е гг. уровень увеличился на 2.6 м (рис. 6.17), а за период 1960-2000 г. рост уровня составил около 4 м. После 2000 г. был кратковременный период стабилизации и снижения уровня, вновь прерванный в середине 2000-х гг. Kadioglu et al. (1997) отмечает, что изменения уровня воды



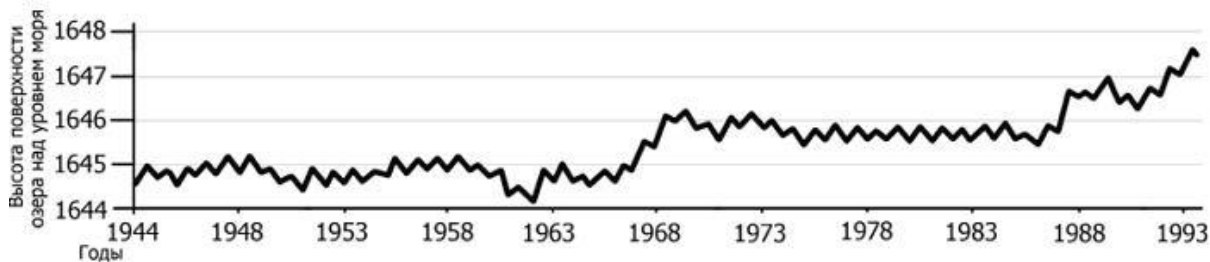


Рис. 6.17. График изменений уровня воды в озере Ван в период с 1944 по 1994 годы. по данным Kadioglu et al., 1997.

зависят, прежде всего, от естественных вариаций гидрологического цикла и от многолетних климатических изменений, затрагивающих весь водосбор озера. Повышения уровня сопровождаются затоплением прибрежных земель, нанося ущерб землепользователям. Высоко щелочные воды озера делают их на некоторое время непригодными для использования, пока уровень щелочности почв не придет в норму (Dikmen, 2003).

#### Основные характеристики качества вод

Оз. Ван имеет среднюю соленость 21.7 промилле (Reimer et al., 2009). Соленость изменяется как по площади, так и с глубиной. Вблизи впадения рек вода почти пресная, тогда как в глубоких котловинах она становится гиперсоленой, в южной части озера присутствуют впадины с соленостью до 67 промилле (Hammer, 1986). Вода высоко щелочная, pH составляет 9.5-9.8 (10) (Reimer et al., 2009). Преобладают ионы натрия и карбонат-ионы,  $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ . Среди солей доминируют карбонат натрия ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), составляющий 18-19% от всех солей в озере (Dikmen, 2003), сульфат натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) и хлорид натрия ( $\text{NaCl}$ ), что придает воде моющие свойства. Характерно значительное содержание карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) (Thiel et al., 1997). Оз. Ван является самым крупным содовым озером в мире и, возможно, по своему химическому составу является моделью океана в его молодом возрасте (Kemp et al., 2007). Реки Зейлан-Дереси и р. Бендимахи обеспечивают поступление в водоем около половины от общего привноса растворенных в воде хлоридов и сульфатов (Reimer et al., 2009).

Содержание растворенного в воде кислорода составляет у поверхности около 8 мг/л, с глубиной концентрация падает, однако даже на глубине 75 м содержание кислорода составляет

около 5 мг/л, а на глубине 400 м – около 1.5 мг/л. Концентрация фосфора и кремния у поверхности минимальна и значительно возрастает с глубиной. При этом даже ее значения у поверхности свидетельствуют, что оба элемента не полностью используются при фотосинтезе. Биогенным элементом, лимитирующим первичное производство в оз. Ван, является азот (Reimer et al., 2009). Содержание хлорофилла-а оценивается в 0.1-0.9 мкг/л (Tugrul et al., 1984).

#### Основные биологические особенности

В связи со значительными изменениями солености по площади озера, различные его части населяют разные организмы от пресноводных в устьях рек до галлофитов. В озере обнаружено 103 вида фитопланктона, включая диатомовые, бактериофиты, цианофиты, хлорофиты, флагаеллы и феофиты. В озере отмечено большое количество микроорганизмов, в том числе бактерий. Здесь обитает 5 видов экстремофилов - грамположительных палочковидных бактерий рода бацилл, характерных для щелочных сред (Berber et al., 2005), прокариот *Caulobacter crescentus*, грамотрицательная анаэробная бактерия *Shewanella oneidensis*, цианобактерия *Synechococcus leopoliensis* и аэробная протеобактерия *Ramlibacter tataouinensis* (Benzerara et al., 2006). Первичная продуктивность оценивается в 100 гС/м<sup>2</sup> год, максимальное первичное производство наблюдается на глубине 10-50 м (Reimer et al., 2009).

В озере насчитывается 36 видов зоопланктона, представляющих коловраток: *Hexarthra fennica polydonta*, *H. f. Polydonta*, *H. fennica*, *Filinia maior*, *Colurella adriatica*, *Keratella cochlearis*, *K. quadrata*, *Trichocerca taurocephala*; ветвистых рачков и веслоногих ракообразных: *Arctodiaptomus spinosus* и др (Danulat, Selçuk 1992).

В озере водится также единственный вид рыбы – эндемик жемчужная кефаль (*Chalcalburnus tarichi*) из семейства карповых, родственная европейской уклейке. Ее основным питанием является зоопланктон, а также фитопланктон (Dikmen, 2003). В мае-июне данный вид мигрирует из озера в менее соленые воды устьев рек для размножения, а затем опять возвращается. В летние месяцы рыба обитает на глубине около 20 м, а в зимние – 60 м. Предельно допустимый порог солености для обитания жемчужной кефали составляет 23 промилле.

Поскольку рыбная ловля является важным источником пропитания и дохода местных жителей, ее годовые уловы достигают до 43000 тонн. Однако большая часть этих уловов незаконна, так как годовая квота, выделяемая правительством для рыбаков оз. Ван составляет всего 8500 тонн (Dikmen, 2003).

#### ***Экономические характеристики антропогенной активности в бассейне***

Площадь водосбора озера составляет около 15000 км<sup>2</sup>. Здесь проживает около 900 тыс. чел., что составляет около 15% жителей Южной Анатолии. Из-за высотного положения и труднодоступности район оз. Ван один из наиболее бедных в Турции. Данный район плохо связан с остальной страной транспортной сетью, что существенно тормозит его развитие. Основное занятие населения – земледелие и скотоводство. На озере также развито рыболовство, в рыбном промысле задействовано 2500 семей, годовой доход которых составляет около 3000 \$US. Промышленность практически не развита за исключением солеварения.

Для поднятия благосостояния региона правительство Турции в последние годы прилагает значительные усилия. На ближайшую перспективу предполагается строительство в Южной Анатолии 22 дамб и 19 электростанций, с суммарной выработкой 27 млрд Квт/час, что должно полностью обеспечить регион электроэнергией и будет способствовать расширению ирригационных территорий на 1.7 млн. гектар (Dikmen, 2003). В результате предполагается обеспечить в Южной Анатолии около 3.3 млн. рабочих мест и удвоить сельскохозяйственное производство. Кроме того, делается все возможное для привлечения сюда туристов.

#### ***Основные проблемы, связанные с антропогенной деятельностью***

Регион озера Ван слабо заселен. Основной уг-

розой для водоема является активное развитие сельского хозяйства на водосборе, сопровождающееся ростом орошаемых площадей, увеличением изъятия воды из рек, питающих озеро, а также развитием эрозионных процессов. Еще одной опасностью для озера являются плохо очищенные стоки, количество которых растет по мере развития региона.

Из-за растущего загрязнения, а также чрезмерного вылова в озере сокращается популяция эндемичной жемчужной кефали. В последнее время в печати появляется все больше опасений, что если не начать строить очистные сооружения и сохранить сегодняшние темпы вылова, ее популяция может затухнуть в течение ближайших нескольких десятилетий. Для поддержания населения кефали правительство Турции определило жесткие квоты на ее вылов, однако, к сожалению, браконьерский лов пока сохраняется.

#### ***Описание мер, принятых для улучшения экосистемы озера***

В XX веке вплоть до восьмидесятых годов исследовательские работы на озере не проводились, что было в основном связано с политической нестабильностью в регионе. Сложившаяся ситуация привела к тому, что многие географические работы и справочники XX в. (включая Большую советскую энциклопедию последнего издания) допускали серьезные ошибки в оценке средней и максимальной глубин озера, а, как следствие, грубые ошибки в оценках его объема. Только целенаправленные исследования девятидесятых годов XX века несколькими экспедициями (в основном немецких ученых) пролили свет на вопросы глубин озера, а также дали важные сведения о составе воды озера. В 1990 году на озере работала международная исследовательская экспедиция, проводившая глубоководное бурение и исследующая минеральные отложения со дна озера.

## **6.6. ОЗЕРО СЕВАН**

Озеро Севан (рис. 6.18) расположено на Кавказе, на северо-востоке Армении. Его координаты: 40°09'-40°38'с.ш. и 44°57'- 45°39'в.д., урез воды находится на высоте около 1900 м над уровнем моря. Это самое крупное озеро на Кавказе и одно из крупнейших пресноводных высокогорных озер мира. До искусственного снижения уровня воды площадь озера

составляла 1416 км<sup>2</sup>, максимальная глубина - 84 м средняя - 47 м, объем содержащейся в озере воды был 58.5 км<sup>3</sup>, а площадь водосборного бассейна - 3475 км<sup>2</sup>. Длина озера была 75 км, средняя ширина - 19 км, максимальная - 37 км. С начала снижения уровня площадь озера на протяжении 70 лет постепенно сокращалась, более быстрыми темпами до 1981 г., затем наступил период так называемой условной стабилизации уровня, продолжавшийся до конца 2001 г., за это время уровень сначала поднялся на 0.9 м (1981-1990гг.), а затем спустился на 1.68 м (1991-2001гг.). В 2002 г. при уровне воды около 1897.5 м площадь озера составляла 1240 км<sup>2</sup>, объем воды - 32.92 км<sup>3</sup>. С 2002 г. наблюдается постепенный рост уровня озера. К концу 2010 года уровень достиг отметки 1899.71 метров н.у.м.

Оз. Севан со всех сторон окаймлено горными хребтами: Севанским и Арегуни-Памбакским с северо-востока, Гегамским с запада и Варденисским с юга. Границей его бассейна на западе и юге является водораздел бассейна р. Аракс, а в остальной части - бассейна р. Кура. Окружающие озеро ландшафты отличаются красотой и разнообразием - горные степи переходят в альпийские луга и горные леса. А горные вершины до начала лета находятся под снегом.



Рис. 6.18. Озеро Севан. Фото NASA.

В оз. Севан впадают 28 рек, причем все небольшие, длина самой крупной р. Масрик не достигает и 50 км. Вытекает из озера р. Раздан, приток Аракса. Естественным повышением - Шоржинским подводным валом-порогом и двумя мысами, вдающимися в озеро - Артанишским (с востока) и Норатусским (с запада), озеро делится на две части: Малый Севан и Большой Севан, площади которых до искусственного понижения уровня составляли 384 и 1032 км<sup>2</sup>, соответственно. Малый Севан отличается значительной глубиной, изрезанными берегами, его максимальная глубина составляла 84 м. Большой Севан характеризовался ровным дном, мало изрезанными берегами и максимальной глубиной 51 м. До начала снижения уровня воды, в озере был остров площадью 1 кв. км и высотой 80 м, который в последнее время стал полуостровом.

Озерная котловина Севана имеет тектоническое и запрудное происхождение. По истории и палеографии бассейна Севана есть много работ: Абих, 1902, Марков, 1911, Ляйстер, 1908, 1914, Ляйстер, Чурсин, 1924; Гинзберг, 1929, Кузнецов, 1929, Габриелян, 1946; Асланян, 1947; Варданыц, 1948, Леонтьев, 1949, Паффенгольц, 1950; Милановский, 1952; Саркисян (1962) и др. Однако единого мнения о времени образования и начале развития впадин Малого и Большого Севана пока нет. Одной из наиболее известных является гипотеза Саркисяна (1962). Горный массив, ограничивающий бассейн оз. Севан Севанским, Арегуниским, Варденисским и Гегамским хребтами образовался еще в триасе (Леонтьев, 1949). Формирование Севанской впадины было связано с интенсивными тектоническими движениями, происходившими на территории Армении в конце плиоцена, начале постплиоцена (Милановский, 1952). В среднем постплиоцене Севанская впадина (будущее дно озера Севан) уже была покрыта сетью рек и мелких пресноводных озер. В верхнечетвертичное время в результате новых тектонических поднятий происходило формирование Баязетского поперечного вала, от мыса Норадуз до полуострова Арданиш, который и стал причиной, а также первым этапом образования и наполнения Палео-Большого Севана за счет рек, протекающих по этой части Севанской впадины. После его наполнения, в конце верхнечетвертичного времени, начинается второй этап формирования озера. Переливающиеся через Баязетский вал в сторону будущего Палео-Малого Севана,

воды разрушают вал в его средней части; в дальнейшем происходит углубление русла и образование реки Палео-Раздан, вытекающей из Палео-Большого Севана в сторону западной Армении. Третий этап формирования происходил в конце верхнечетвертичного времени, когда в 25-35 км от баязетского вала, вследствие излияния лав из горной вершины Богудаг было перекрыто русло Палео-Раздана, и возникла естественная плотина, создавшая условия для образования Палео-Малого Севана. В период таяния ледников произошло окончательное соединение Палео Малого и Большого Севана, а прорыв Богудагской плотины способствовал образованию современного русла реки Раздан.

Таким образом, тектонические движения и излияния лав явились причиной образования Севанской впадины, а окончательное формирование современного бассейна и самого современного оз. Севан произошло в четвертичное время (Асланян, 1947).

#### ***Климат. Характеристики термического режима***

Бассейна оз. Севан характеризуется значительным разнообразием климатических условий в его различных частях. Наряду с резко континентальным сухим климатом Араратской равнины на небольшом от нее расстоянии, в высокогорных областях Армянского нагорья, можно встретить районы, климат которых аналогичен климату нагорных тундр. Своеобразное взаиморасположение горных хребтов, различия в экспозиции их склонов, наличие глубоких межгорных впадин и хорошо защищенных горных долин являются причиной резко выраженных климатических контрастов даже в пределах одних и тех же высотных зон и в районах, весьма близко расположенных друг от друга (Оганесян, 1994). Однако если характеризовать природно-климатические условия бассейна в целом, то они типичны для высокогорья: достаточно суровая зима и прохладное лето. Среднегодовая температура воздуха колеблется в бассейне от 4° до 6°C, самым холодным месяцем является январь со среднемесячной температурой от -8° до -4°, самым теплым - август, со среднемесячными температурами 14° и 17°. Переход средних суточных температур воздуха через 0° происходит весной во второй декаде апреля, а осенью - в первой декаде ноября. Продолжительность зимы варьирует, безморозные дни

начинаются в мае и кончаются в октябре.

Среднегодовое количество осадков, выпадающих в бассейне озера, составляет 340-720 мм (Babayan et al., 2003), из них 17% приходится на зимний период, 37% на весну, 26% на лето и 20% на осень. Абсолютная влажность воздуха характеризуется ее наименьшими значениями в зимний период и наибольшими - в летний. Регион оз. Севан относится к наиболее ветреным районам Армении. Рельеф бассейна и большие амплитуды высот обуславливают значительные термические градиенты и способствуют развитию горнодолинных ветров на побережье. Средняя годовая скорость ветра в бассейне составляет 1.5-5.0 м/сек, наибольшие скорости приходятся на зимние месяцы.

В естественном состоянии среднемесячная температура воды оз. Севан в поверхностном слое не превышала 18.7°C. Летом был хорошо выражен температурный скачок на глубине 20-35 м, ниже которого температура падала до 4.1°C. Спуск уровня озера привёл к тому, что среднегодовая температура воды в озере повысилась почти на 2 градуса (Гаспарян, 2006), кроме того, произошла перестройка характера ее распределения по глубине. В настоящее время осенняя гомотермия наступает на месяц раньше при температуре на 3-4°C выше по сравнению с допусковым периодом. Кроме того, произошло повышение осенней температуры придонных слоёв озера. В допусковой период температура воды в гиполимнионе редко превышала 8 °C, а с 1965 г. стала выше 12°C. Изменился и ледовый режим озера. С конца января озеро теперь покрывается сплошным ледовым покровом мощностью от 28 см и более, тогда как до спуска воды оно замерзало в среднем раз в 15-20 лет.

#### ***Характеристики водного режима и водного баланса***

В естественных условиях приходная часть водного баланса оз. Севан состояла в основном из речного притока, оцениваемого в 0.77 км<sup>3</sup>, и осадков на его поверхность - 0.55 км<sup>3</sup>. Расходная часть преимущественно тратилась на испарение, 1.21 км<sup>3</sup> и лишь 0.11 км<sup>3</sup> приходилась на поверхностный и подземный отток (0.05 и 0.06, соответственно) (Чилингарян, Мнацаканян, 2008). Соразмерность величины испарения с поверхностью с суммарным притоком воды являлась следствием крайне малого соотношения площади водосбора к зеркалу озера (2.5). Такая

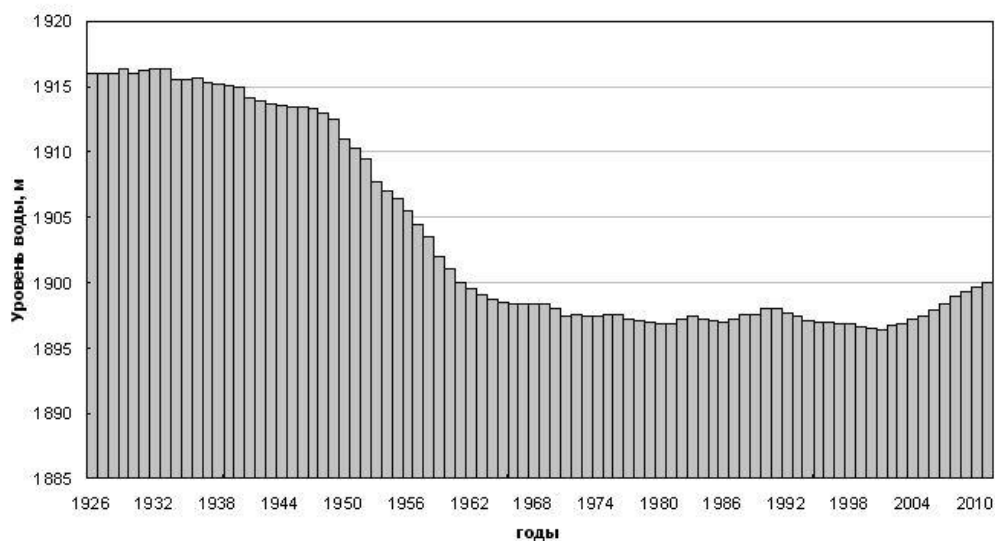
**Табл. 6.2.** Водный баланс оз. Севан по данным Чилингарян, Мнацаканян (2008) в период 1981-2007 гг.

Элементы водного баланса	Средний	1981	многоводный год (1988)	год миним, естеств. стока (1999)	год миним, отметки уровня (2001)	2007
<b>Приход км<sup>3</sup></b>	1.574	1.532	2.084	1.435	1.276	1.819
Речной приток	0.789	0.774	1.125	0.576	0.582	0.804
Осадки на водное зеркало	0.503	0.541	0.602	0.454	0.42	0.743
Подземный приток	0.091	0.053	0.093	0.094	0.094	0.094
Переброска из р. Арпа	0.191	0.164	0.264	0.311	0.18	0.178
<b>Расход км<sup>3</sup></b>	1.432	1.536	1.151	1.492	1.314	1.262
Испарение	1.128	1.114	1.024	1.282	1.142	1.093
Подземный сток	0.014	0.006	0.014	0.014	0.014	0.014
Попуски из озера	0.39	0.416	0.113	0.196	0.158	0.155
<b>Отметка уровня, м</b>						
в начале года	1897.09	1897.09	1897.10	1896.63	1896.46	1898.25
в конце года	1898.79	1897.10	1897.83	1896.51	1896.32	1898.79
<b>Площадь зеркала км<sup>2</sup>:</b>						
в начале года	1244.38	1244.38	1244.50	1239.71	1237.89	1255.96
в конце года	1261.46	1244.42	1251.83	1238.55	1236.20	1261.46
<b>Объем воды, км<sup>3</sup></b>						
в начале года	33.38	33.88	33.89	33.30	33.09	35.33
в конце года	36.00	33.88	34.80	33.15	32.92	36.00

структура водного баланса послужила основой для возникновения идеи снижения уровня воды и увеличения доли активной отдачи озера за счёт уменьшения непродуктивных потерь на

испарение. В результате реализации этой идеи был создан Севано-Разданский ирригационно-энергетический комплекс, приведший к значи-

**Уровень воды оз. Севан, 1926-2011 гг.**



**Рис. 6.19.** Изменение уровня воды оз. Севан по данным Чилингарян, Мнацаканян (2008).

тельному снижению уровня воды в Севане и перестройке его водного баланса. Сработка уровня за период 1936-77 гг. составила 18.5 м, что уменьшило объём водной массы на 43.2 %, а средние глубины – на 35.1 % (Данелян, 1996). Несмотря на то, что после завершения строительства Арпинского тоннеля уровень озера удалось стабилизировать на отметке около 1998 м, в последующие годы, вплоть до начала 2000-х гг, уровень воды еще продолжал периодически снижаться, хоть и значительно меньшими темпами (рис. 6.19). Водный баланс озера в этот период претерпевал дальнейшие изменения (табл. 6.2). Элемент подземного стока в расходной части значительно уменьшился, что непосредственно связано с положением уровня озера. В связи с использованием и искусственным пополнением водных ресурсов озера за счет перебросок стока в приходной части его водного баланса добавился новый элемент, тогда как в расходной части отток заменился попусками из озера (Чилингарян, Мнацаканян, 2008)

### *История снижения уровня*

Оз. Севан — самый большой водоем Армении, являющийся единственным гарантированным крупным источником пресной воды. В связи с этим с давних времён ставился вопрос об эффективности эксплуатации его водных ресурсов, и о возможности их использования для орошения Араратской долины. В начале XX в., в связи с появившимися к этому времени новыми техническими возможностями, планы по использованию озерной воды приобретают более четкие очертания (Ляйстер, 1914). Было разработано несколько проектов, в том числе проект Стюарта, предлагающего выведение воды озера через туннель на север для орошения земель южной части бассейна р. Куры, и проект Манасерьяна, где доказывалась целесообразность использования севанских вод для орошения земель Араратской равнины и выработки электроэнергии по течению реки Раздан. В техническом обосновании к проекту Серьяна было подсчитано, что из всего объёма речного притока около 95 % воды расходуется на испарение с поверхности озера. Из этого факта был сделан вывод, что значительная часть водных ресурсов просто бесцельно «пропадает», в то время как она могла бы быть более рационально использована. В этой связи, предлагалось уменьшить глубину озера на 45 м, используя осво-

бодившиеся водные ресурсы для орошения Араратской равнины и выработки электроэнергии.

Осуществление указанных проектов началось в 1927 г., когда Совет Труда и Оборона СССР обратился в АН СССР с просьбой о всестороннем исследовании оз. Севан и выявлении потенциальной возможности использования его вод для ирригационно-энергетических целей (Тер-Аствацурян, 1927, Левинсон-Лессинг 1929). Уже к 1931 г. появляется первая схема понижения уровня оз. Севан, согласно которой уровень озера за 50 лет должен был опуститься на 55 м, а его площадь сократиться до 299 км<sup>2</sup>. С точки зрения разработчиков это позволило бы существенно уменьшить затраты на неэффективное испарение и использовать высвободившуюся воду для народнохозяйственных целей, осушенные же земли предполагалось использовать для посадки деревьев: орешника, дуба и т.д. В 1933 г. проект получил одобрение в правительстве, и были начаты работы по углублению русла р. Раздан и созданию искусственных путей стока, представлявших собой тоннельные сооружения на глубине 40 м. Первый этап основного строительства каскада был завершен в 1938 году, когда началась активная эксплуатация Севан-Разданского ирригационно-энергетического комплекса, послужившая на тот период мощным толчком для развития экономики Армянской ССР. С началом Великой Отечественной войны все технические работы по созданию Разданского каскада были приостановлены и завершились лишь к 1949 году. С постройкой Разданского каскада ГЭС уровень воды озера в среднем ежегодно с 1949 по 1962 г. понижался на 1 м. В течение двадцатипятилетнего периода было использовано 38 миллиардов кубометров воды (Данелян, 1996), что уменьшило объём озера на 1/3, с 58.5 до 39.3 млрд. м<sup>3</sup>. С сокращением площади озера открылись прибрежные части дна, остров Севан на северо-западе озера сомкнулся с берегом, превратившись в полуостров.

К концу 1950-х гг. вскрылся ряд факторов, свидетельствующих о несовершенстве первоначального плана по снижению уровня озера. Освободившиеся земли оказались неплодородными, и их освоение не приносило прибыли. Построенные на р. Раздан гидроэлектростанции более не могли удовлетворить нуждам народного хозяйства Армении, было принято решение о развитии в регионе теплоэнер-

гетики, а затем атомной энергетики, в результате мощности Севан-Разданского каскада оказывались не востребованными. Кроме того, в условиях увеличивающегося потребления водных ресурсов оз. Севан оставалось единственным резервным источником пресной воды в республике, тогда как, согласно проведенным расчетам, другие источники к концу XX века могли быть исчерпаны. В тоже время Академией наук Армянской ССР в 1947-1961 гг. были выполнены новые теоретические, экспериментальные и натурные исследования озера (АН АрмССР...1961-62). В результате было принято решение о пересмотре проекта по снижению уровня озера. В 1961 г. был опубликован доклад АН Армянской ССР о необходимости прекращения спуска уровня, который к этому периоду успел опуститься на 13.7 м.

Поскольку водами только впадающих в оз. Севан рек восстановить его прежний запас воды и его уровень было невозможно, было принято решение о постоянном дополнительном сбросе в озеро с юга вод из бассейна р. Арпы по тоннелю длиной 49 км, который необходимо было построить под Вардениским хребтом. Было подсчитано, что в этом варианте максимальный спуск уровня воды составит 18 м. Строительство тоннеля было завершено к 1981 г., после чего была начата переброска в озеро Арпинской воды из водохранилища Кечут. В результате реализации проекта снижение уровня воды озера было временно приостановлено на отметке 1898 м. При этом площадь Малого Севана составляла 328 км<sup>2</sup>, а Большого - 916 км<sup>2</sup>. Поскольку для повышения уровня озера требовалось значительно больше воды, было решено построить ещё один двадцатикилометровый тоннель, подводный к оз. Севан воды р. Воротан. Однако начатое строительство было приостановлено в 1988 г. в связи с экономической блокадой со стороны Азербайджана.

В начале 1990-х гг. в Армении разразился энергетический кризис, вызванный остановкой в стране атомной станции, для выхода из кризиса пришлось воспользоваться энергоресурсами оз. Севан. Поддержание жизни людей обошлось еще в 6.1 миллиардов куб. м воды или в три метра уровня озера, который снизился до 1896.8 м. Экосистема озера Севан снова подверглась опасности. Начиная с 1998 г. вода оз. Севан более не используется на энергетические цели. В зимний период 1998-1999 гг. удалось накопить значительное количество ресурсов для Севано-Разданского каскада, что позволило более не

использовать озерную воду для нужд энергосистемы. В 2003 г. было завершено строительство Воротанского тоннеля, однако начало его эксплуатации было решено отодвинуть. Общая мощность гидроэлектростанций Севано-Разданского каскада составляет 550 мВт, однако он работает исключительно в ирригационный период, общая мощность Воротанского каскада - 404 мВт и на его долю приходится производство более 1 млрд. кВт. ч. электроэнергии в год. Согласно расчетам, начало эксплуатации Воротанского тоннеля должно привести к сокращению водных ресурсов, используемых для производства электроэнергии, так как 160 млн. куб м воды будет направляться в оз. Севан, это может вызвать снижение объема производства энергии примерно до 500 млн. кВт.ч. Несмотря на это, стратегическая значимость сохранения экологии озера Севан, по мнению правительства Армении, важнее возможных энергетических потерь.

К началу 2000-х гг. уровень воды оз. Севан стабилизировался на уровне 20 м ниже исходного, и, благодаря введению политики рационального водопользования, направленной на восстановление экологического баланса оз. Севан, начал постепенно повышаться. С 2002 г. наблюдается рост уровня озера, составляющий от 25 до 45 см в год. Было принято решение сначала поднять уровень на 3 м, после чего провести дополнительные исследования. В соответствии с планом, к 2031 году уровень озера должен вырасти до 1903.5 метра.

#### ***Основные характеристики качества вод***

Оз. Севан является пресноводным водоемом, реакция воды щелочная, рН составляет 8.8-9.9. В составе катионов наблюдается доминирование магния над кальцием. В естественном состоянии воды оз. Севан отличались высокой прозрачностью (13-14 м), и в течение всего года были богаты кислородом. Для озера были характерны низкая окисляемость (около 2 мг/л), круглогодичное отсутствие соединений азота, полное отсутствие соединений железа, аномальное содержание соединений фосфора.

С падением уровня озера произошло повышение общей минерализации воды с 555 до 700 мг/л (Оганесян, 2006). Кроме того, снижение уровня привело к падению концентрации кислорода, прежде всего, в придонных слоях. Концентрация снизилась с 8.4 мг/л на уровень 1959 г. до 5.76 мг/л в 1980-х гг., что было обусловлено развитием гипolimни-

ального кислородного дефицита, продолжающегося в Большом Севане около двух месяцев в году. К 2000-гг. на озере стали периодически образовываться бескислородные зоны, кислородное голодание, сопровождалось выделениями метана и сероводорода. Кроме того, со спуском воды уменьшилась ее прозрачность (до 3-4 м), щелочность, повысилось содержания железа и азота. Концентрации минерального и общего азота возросли в 30 раз (с 0.01 до 0.32 г/м<sup>3</sup>), что сопровождалось ростом интенсивности освоения биогенного вещества водорослями и способствовало их активному развитию (Нац. доклад, 2002).

В последние десятилетия, особенно в 1990-е гг. показатели общего качества воды значительно ухудшились и из-за попадания в озеро неочищенных сточных вод. Увеличились концентрации сульфат-иона, в 3-6 раз возросла величина БПК<sub>5</sub>, в 2 раза увеличилось содержание ионов магния, нарушилось соотношение ионов Са и Mg (Оганесян, 2006). Надежды на улучшения качества воды связываются с начавшимся с 2002 г. повышением уровня и принятием решением о строительстве кругового коллектора.

#### **Основные биологические особенности**

Изначально фитопланктон озера Севан был небогатым, он состоял преимущественно из представителей диатомовых водорослей (*Asterionella*, *Cyclotella*, *Stephanodiscus*), зеленых (*Botryococcus*, *Pandorina*, *Ankistrodesmus*, *Gloeococcus*, *Dletiosphaerium*, *Oocystis*) и в существенно меньшей степени сине-зеленых (*Aphanothece*, *Gloeocapsa*) (Слободчиков, Стройкина, 1953). В зоопланктоне массовое развитие имели коловратки: *Synchaeta pectinata*, *Filinia longiseta*, *Pedalia mira*, *Keratella quadrata*, ветвистоусые рачки: *Daphnia longispina sevanica eulimnetica*, веслоногие ракообразные: *Acanthodiptomus denticornis*, *Arctodiptomus bacillifer*, *A. spinocus fadeevi*, *Cyclops strenuus*, *Megacyclops gigas* (Мешкова 1941, 1945). Бентосная фауна состояла преимущественно из представителей подкласса малощетинковых червей и пиявок, отряда бокоплавов, личинок комаров-звонцов (*Chironomidae*), и, в меньшей степени, представителей класса двустворчатых моллюсков, брюхоногих, отряда поденок (*Ephemeroptera*), и ручейников (*Trichoptera*). По своим продукционно-биологическим особенностям в естественном состоянии озеро приближалось к озёрам олиго-

трофного типа.

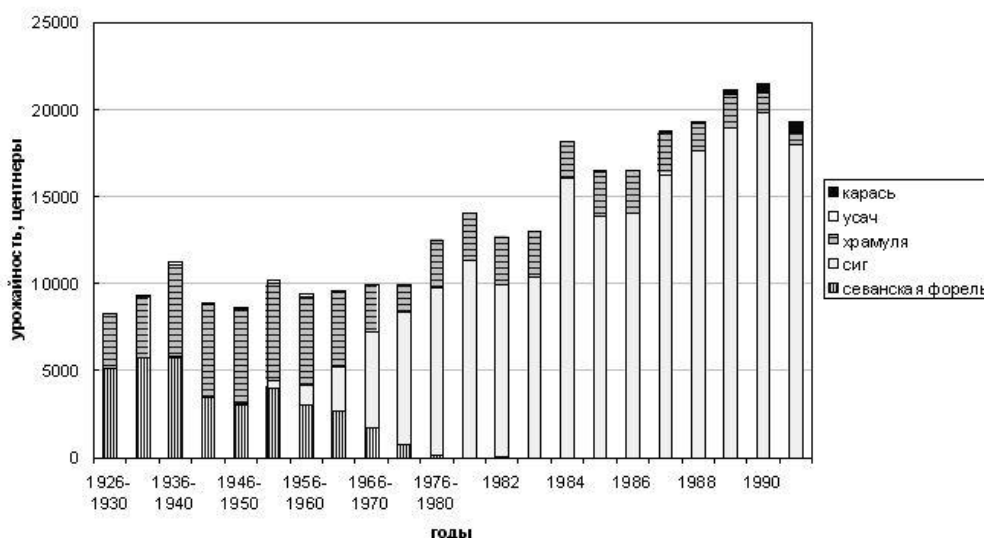
В связи с искусственным снижением уровня воды в оз. Севан стали происходить существенные изменения биохимической циркуляции, структурно-функциональных цепей и видового состава биоты (Данелян, 1996). В результате к началу 1960-х гг. озеро подверглось быстрому эвтрофированию и буквально за несколько лет превратилось из "чистого" водного бассейна в "средне загрязненный". Биомасса фитопланктона увеличилась значительно и стала сравнима с биомассой эвтрофных озёр. В Большом Севане максимальная биомасса увеличилась в 22 раза (18 г/м<sup>2</sup>), а в Малом Севане – в 10 раз (7.3 г/м<sup>2</sup>). Общая средняя биомасса зоопланктона в озере в этот же период увеличилась от 0.44 до 0.86 г/м<sup>3</sup>. Значительные изменения произошли и в видовом составе фито- и зоопланктона. В фитопланктоне с середины 1950-х гг. в составе пелагического комплекса появилось около 20 новых видов водорослей. В структурном составе фитопланктона все большую роль стали играть сине-зеленые водоросли. Начиная с 1964 г. в озере ежегодно стало наблюдаться их «цветение». В зоопланктоне произошло увеличение в 15 раз средней биомассы коловраток, дафний – в 2.5 раза, копеподы – в 1.7 раза. В последние годы произошла смена доминантов с *Daphnia longispina* на *Diaphanosoma brachyurum* (Крылов и др., 2007).

Озерная ихтиофауна Севана представлена эндемичными видами: севанской форелью (*Salmo ischchan*), усачом (*Barbus goktshaikus*), и храмулей (*Varicorhinus capoeta*), а также вселенцами: ладожским сигом (*Coregonus lavaretus*), золотым карасем (*Carrasius auratus*). Наряду с рыбами в озере обитают 4 вида амфибий и 18 видов рептилий (Babayan et al., 2003).

До начала спуска воды рыбное хозяйство оз. Севан было построено преимущественно на вылове форели, несколько меньшее значение имела хромюля. Общая рыбопродуктивность озера в естественных условиях составляла около 9 кг/га. С началом спуска воды начались изменения во всей экосистеме озера, цепная реакция воздействовала и на ихтиофауну. По мере эвтрофирования, к 1970 г. Рыбопродуктивность озера сначала увеличилась до 14 кг/га, однако в рыбном сообществе произошли существенные изменения - доминантными видами стали вселённые сиги (до 70-75 %), в то время как численность форели сократилась



### Уловы рыбы, оз Севан



**Рис. 6.20.** Изменение урожайности рыб в оз. Севан в связи со сработкой уровня, 1926-1991 гг. по данным Института гидрологии и ихтиологии Национальной Академии Наук Армении.

настолько, что она была объявлена заповедным видом (рис. 6.20). К сожалению, в последующие годы произошло сокращение и популяции сиговых рыб. Массовая гибель сига наблюдалась в озере с 1993 по 1995 гг. и была связана с сокращением кормовой базы на фоне изменений общей экологической ситуации в экосистеме озера. По данным Института гидрологии и ихтиологии Национальной Академии Наук Армении за последние два десятилетия популяция сига сократилась примерно на 95%, упав до 170 тонн, тогда как еще в начале 1980-ых годов она составляла около 30 тыс. тонн. В связи с этим в 2010 г. был введен долгосрочный запрет на вылов форели и сига, призванный восстановить их сокращающуюся популяцию. Предполагается, что мораторий на вылов рыбы продлится минимум около трех лет.

Оз. Севан всегда отличалось богатством орнитофауны, представленной 210 видами из которых 36 были внесены в Красную Книгу Армении. Оно являлось важным центром популяции армянской чайки (*Larus armenicus*), американского лебедя (*Cygnus columbianus*), пiskuльки (*Anser erythropus*), красноногого и белоглазого нырка (*Netta rufina*, *Aythya nyroca*), и Черноголового хохотуна (*Larus ichthyaetus*). Кроме того, около озера обитали каменная и серая куропатки (*Alectoris graeca*, *Perdix perdix*), кряква (*Anas platyrhynchos*), огарь (*Tadorna ferruginea*), разные виды чаек, гусь, белокрылый турпан (*Melanitta leucoptera*), бело-

головая утка (*Aix leucophrys*), лысуха (*Fulica atra*), пеганка (*Tadorna tadorna*), чернокрылый ходулончик (*Himantopus*). В период перелетов на озере отдыхали пеликаны, фламинго, лебеди, большой и малый баклан и др. С падением уровня озера его орнитофауна понесла значительный ущерб, гнездовые популяции многих птиц в начале 1960-х годов исчезли. Сокращение макрорастительности, осушение болот оз. Гилли и интенсификация неорганизованного туризма привели к тому, что из 90 видов водно-болотных птиц гнездившихся раньше на озере, в настоящее время гнездятся только 4 (Бабаян, Агабабян, 2008). Сократилось и количество птиц, использующих озеро на пути миграции.

#### **Экономические характеристики антропогенной активности в бассейне**

Площадь водосбора озера Севан составляет в настоящий момент, с учетом перебросок, 4891 км<sup>2</sup> (Оганесян, 1994). В бассейне проживает около 280 тыс. человек (2001 г.), при этом города и деревни расположены преимущественно вокруг побережья. Основное занятие населения – сельское хозяйство и рыбная ловля. Главные культуры - пшеница, ячмень и картофель, также активное развитие в регионе имеет такая традиционная отрасль, как животноводство. Промышленность развита достаточно слабо, ее основные центры – города Севан и Гавар, в которых в советское время работали заводы по производству электролитических конденсаторов, электростеклоизо-

ляции, предприятия приборостроения, легкой и пищевой промышленности. После провозглашения независимости Армении в начале 1990-х гг. доля промышленного сектора в экономике резко снизилась.

Оз. Севан известно находящимися на его побережье памятниками культуры и рекреационными ресурсами. Как экосистема оз. Севан играет существенную роль в создании более умеренного климата в целом регионе. Озеро рассматривается как зона курорта, источник ирригации, рыболовства, энергии, и потенциальной питьевой воды.

### ***Основные проблемы, связанные с антропогенной деятельностью***

За период падения уровня оз. Севан его бассейн претерпел сильные изменения: в несколько раз увеличилось проживающее здесь население (в основном городское), получили развитие такие отрасли хозяйства, как промышленность, строительство, транспорт, сельское хозяйство, животноводство и др. В результате антропогенный пресс на водоем значительно вырос. Существенно увеличился объем коммунальных, промышленных и сельскохозяйственных стоков, богатых биогенными веществами, солями тяжелых металлов, различными ядохимикатами. Загрязнение озера происходило также сточными водами пансионатов, домов отдыха и санаториев, расположенных по его берегам (Бабаян, Агабабян, 2008). Только в 1970-90 е гг. в озеро ежегодно сбрасывалось в среднем 7000 т азота, 400 т фосфора, около 13 т ядохимикатов и 135 т тяжелых металлов. Немаловажное значение в ухудшении экологического состояния озера имел интенсивный и неконтролируемый забор воды из притоков, который привел к их значительному обмелению, особенно в весенне-летний период.

В результате активного антропогенного вмешательства и семидесятилетнего падения уровня оз. Севан в нем возникла масса отрицательных последствий. С начала понижения уровня значительно повысилось содержание биогенных веществ в воде, приведшее к быстрому эвтрофированию водоема. Его первыми признаками явилось "цветение" воды, зафиксированное в 1964 г. и вызванное развитием сине-зеленых водорослей. В дальнейшем эвтрофирование прогрессировало, происходила олиготрофно-эвтрофная сукцессия, сопровождавшаяся дестабилизацией всех процессов в экосистеме оз.

Севан, следствием чего явилось значительное ухудшение качества озерной воды (Оганесян, 1994). Из олиготрофного водоема Севан превратился в мезотрофный, постепенно приближающийся к эвтрофному уровню. Эвтрофирование сопровождалось перестройкой всего биологического сообщества, и в результате озеро достаточно быстро превратилось из форелевого водоема в сиговое, дальнейшее повышение трофности приводит к замене сигов и форелей на карповых рыб. Предпринятые с начала 2000-х гг. меры и введенный в 2010 г. запрет на вылов сигов может привести к положительным результатам, однако многие специалисты очень сомневаются в возможности восстановления сигового сообщества в полном объеме.

В связи со снижением уровня воды, наряду с возрастающей эвтрофированностью, перед озером стоит серьезнейшая опасность утраты гипolimниона, исчезновение придонного холодного слоя воды с наибольшей плотностью и достатком кислорода, который изолировал диффузию веками накопленных на дне органических веществ в верхние слои, регулировал биогеохимический круговорот веществ. К началу 2000-х гг. объем гипolimниона сократился в Малом Севане на 50% (с 13 до 6 км<sup>3</sup>) и практически полностью исчез в Большом Севане (Нац. доклад, 2002). Возникшее в озере в связи с утратой гипolimниона увеличение интенсивности горизонтальных и вертикальных водных течений привели к увеличению в несколько раз количества взвешенных и растворенных органических веществ с аллохтонным и автохтонным генезисом, которые до того были изолированы придонным холодным слоем воды (Оганесян, 1994). При этом нарушенная защитная зона озера - пояс макрофитов, ограничивающий и нейтрализующий воды озера от ядовитых сливов и загрязнений, при повышении поступления биогенных веществ со дна не может более выполнять своих прямых функций.

Увеличение количества взвешенных и растворенных органических веществ более чем в пять раз уменьшили прозрачность воды в три раза (Гаспарян, 2006). В результате окисления вошедших в круговорот придонных органических веществ концентрация кислорода в озере снизилась с 8.0 мг/л до 3.0 мг/л, а в придонных слоях приблизилась к аналитическому нулю (Оганесян, 1994). Концентрация биогенных элементов, особенно - азота, увеличилась 30

раз (с 0.01 до 0.32 г/м<sup>3</sup>), стимулируя массовый рост и размножение водорослей. Нарушились процессы диффузии и седиментации, окислительно-восстановительные процессы придонных слоев. Как следствие перечисленных, а также других изменений физико-химических процессов, в трофических цепях экосистемы озера произошли многочисленные, а в некоторых их звеньях и необратимые биологические перестройки. Биомасса высших водных растений сократилась с 900000 до 8000 тонн. Поглощая весь азот, находящийся в озере, они ранее тормозили массовый рост и размножение одноклеточных водорослей, для которых на настоящий момент возникли условия максимального благоприятствования. Из-за увеличения количества азота, а также потери биомассы высших водных растений биомасса одноклеточных водорослей в 1 кубическом метре увеличилась в 20 раз - с 0.3 до 5-6 г. Видовые и количественные изменения озерной флоры привели к глубоким взаимосвязанным качественным и количественным изменениям бактериопланктона и многоклеточных беспозвоночных животных или их сообществ.

Исчезновение береговых зарослей оз. Севан, осушение болот озера Гилли, рост неорганизованного туризма привели к практически полному исчезновению нерестелищ, кормовых угодий рыб и гнездовой водоплавающих птиц (Оганесян, 1994).

#### ***Описание мер, предпринятых для улучшения экосистемы озера***

С целью охраны уникальной природы региона в 1978 году в Севанском бассейне был создан национальный парк «Севан» с четырьмя заповедниками и десятью заказниками. Включая буферные зоны, под охраной парка находится 150100 гектаров, из которых лишь 24800 га – земной поверхности (Babayan et al., 2003). Кроме того, озеро Севан с 1993 г. отнесено к Рамсарским охраняемым территориям.

В 1996-1998 гг. для улучшения состояния озера Севан была разработана программа «Восстановление экологического равновесия озера Севан», включающая мероприятия по усовершенствованию и созданию законодательства, вопросов управления, поднятия уровня озера, очистки сточных вод на территории водосборного бассейна, управления хозяйственными и промышленными отходами, пре-

дотвращения неточечного загрязнения, охраны и воспроизведения рыбных запасов, охраны биоразнообразия. Учитывая важное значение оз. Севан для республики в 2001 г. Национальное Собрание Республики Армения приняло закон «Об озере Севан», согласно которому озеро определяется как экологический, хозяйственный, социальный, научный, историко-культурный, эстетический, здравоохранительный, климатический, рекреационный и духовный объект, имеющий стратегическое значение как источник питьевой воды. Были разработаны и приняты «Ежегодные и комплексные программы мероприятий по экосистеме, восстановлению, охране, воспроизведению и использованию озера Севан».

Наиболее важным шагом в деле охраны озера Севан является прекращение забора воды для производства энергии. Второй шаг заключается в финансировании кругового коллектора стоков или местной водоочистительной станции. Важнейшей задачей по оздоровлению Севана является восстановление его гипolimниона. Если в 1990-х гг. предполагалось добиться повышения уровня воды на 6 метров, на 2 м выше того уровня, при котором началось цветение воды, то теперь ученые отказались фиксировать какую-то определенную цифру. Они пришли к выводу, что говорить о нормальном состоянии озера можно будет только после восстановления гипolimниона. Начиная с 2003 г. финансовую поддержку социальных программ в Армении, а также программы по восстановлению озера Севан оказывают Глобальный Экологический Фонд и Мировой Банк. Согласно плану по восстановлению озера в течение 30 лет его уровень должен быть повышен на 6.5 метров и достигнет значения, наблюдавшегося в 1957 г. Подъем уровня уже начался и достаточно быстрыми темпами. Однако, при быстром повышении уровня остается проблема дополнительного биогенного загрязнения озера за счет залива земель, которые к настоящему времени находятся под искусственным лесом. В этой связи проводятся работы по расчистке от леса заливаемых земель, однако уже сейчас ясно, что их темпы оказываются недостаточными. Кроме сведения леса необходим также демонтаж зданий, построенных в последние десятилетия на территории, которую ранее занимало озеро.