
ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ
БОЛЬШИХ ОЗЕР
СССР
И ВЕРОЯТНЫЕ
ИХ ИЗМЕНЕНИЯ



АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ ОЗЕРОВЕДЕНИЯ

ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ БОЛЬШИХ ОЗЕР СССР И ВЕРОЯТНЫЕ ИХ ИЗМЕНЕНИЯ

Ответственный редактор
чл.-кор. АН СССР О. А. АЛЕКИН

4200



ЛЕНИНГРАД
«НАУКА»
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
1984



Природные ресурсы больших озер СССР и вероятные их изменения/ Ин-т озероведения АН СССР. - Л.: Наука, 1984. - 286 с.

В монографии по единой программе решена задача обоснования изменения и использования природных ресурсов восьми больших озер нашей страны - Ладожского, Онежского, Чудско-Псковского, Ильменя, Белого, Балхаша и Иссык-Куля. Наряду с общим описанием современного состояния озер дан прогноз изменения их ресурсов до 2000 г. Оценены возможные вариации их тепло- и влагообеспеченности. Уточнены водные балансы по основным характеристикам приходно-расходной части в современный период и в последующем, до 2000 г.

Для оценки антропогенного влияния собраны сведения, позволяющие судить о состоянии и предполагаемом развитии озер. Установлены корреляционные связи между выносом общего фосфора с водосборов и его содержанием в озерах в настоящее время. Наряду с общей гидробиологической оценкой каждого озера даны характеристики их общей продуктивности и отдельных биоценозов (фитопланктон, зоопланктон, макрофиты, перифитон). Рассмотрена гидрохимия озер, оценено качество их воды. Приведены краткие сведения об ихтиофауне и состоянии рыбного хозяйства водоемов. Для каждого озера даны предложения по улучшению состояния его природных ресурсов. Ил. - 38, табл. - 117, библи. - 165 назв.

Р е ц е н з е н т ы:

И.С. КОПЛАН-ДИКС, В.В. МЕНШУТКИН

Наша страна обладает большим количеством крупных озер, среди которых 19 имеют площадь свыше 1000 км². Из 33 крупнейших озер мира (площадью свыше 5000 км²) 7 находится в пределах СССР.

Роль озер в водных ресурсах нашей страны сейчас, когда проблема рационального использования и охраны водных ресурсов приобретает все возрастающее значение, несомненно велика. Большие озера широко используются в различных отраслях народного хозяйства: для водного транспорта, энергетики, велика их роль для рыбного хозяйства, бытового и промышленного водоснабжения, орошения и многого другого.

За послереволюционный период в нашей стране в изучении больших озер достигнуты значительные успехи. По результатам этих исследований опубликована большая литература. Однако до сих пор нет работы с оценкой изменения природных ресурсов озер. Между тем бурное развитие производительных сил в нашей стране за последние годы, определившее рост промышленности и сельского хозяйства, несомненно будет отражаться в ближайшем будущем на состоянии природных ресурсов озер, особенно на их рыбных ресурсах.

Задача этой работы заключалась прежде всего в рассмотрении возможных изменений природных ресурсов (водных и биологических) ряда больших озер к 2000 году под влиянием естественных условий и антропогенного влияния. Одновременно на основе новых материалов освещено современное состояние больших озер в качестве первого этапа при решении основной задачи.

Объектами исследований явились 8 крупнейших озер площадью свыше 1000 км², расположенных на территории СССР и имеющих наибольшее народнохозяйственное значение, — Ладожское, Онежское, Ильмень, Чудско-Псковское, Белое, Чаны, Балхаш, Иссык-Куль (табл. 1). Не были включены озера Таймыр, Ала-Коль и Ханка, пока еще малоизученные. Не включен также Байкал, размеры и значение которого требуют индивидуального рассмотрения.

При написании работы были использованы материалы, собиравшиеся в соответствии с заданием по координационному плану Государственного комитета по науке и технике при Совете Министров СССР на 1976–1980 гг.: „Разработать прогноз изменения природных ресурсов больших озер СССР на период до 2000 г. с учетом антропогенных факторов.“ Головным учреждением по этому заданию был Институт озераведения АН СССР, а соисполнителями явились Лимнологический институт СО АН СССР, Институт гидробиологии АН Киргизской ССР, а также шесть институтов рыбохозяйственного профиля: Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства (ГосНИОРХ), Всесоюзный научно-ис-

4 Таблица 1

Морфометрические характеристики озер, хозяйственное использование

Озеро	Площадь озера, км ²	Объем озера, км ³	Глубина, м		Отметка уровня, м Б.С.	Коэффициент условного водообмена	Минерализация воды, мг/л	Основное использование природных ресурсов
			средняя	максимальная				
Ладожское	17670	908	51	228	4.57	0.08	62	Водоснабжение, транспорт, рыбный промысел
Онежское	9690	292	30	120	33,00	0.06	36	Транспорт, рыбный промысел, водоснабжение
Ильмень	1200	3.5	3.4	5.0	18,43	4.3	130	Рыбный промысел, транспорт
Чудско-Псковское	3570	24.4	6.9	15.2	29.90	0.35	220	Рыбный промысел, водоснабжение, энергетика
Белое	1280	5.2	4.1	5.5	113.10	0.73	123	Транспорт, рыбный промысел
Чаны	1570	3.0	1.9	8.5	106.10	0.14	6500	Рыбный промысел
Балхаш	18400	107	5.8	27.0	342.10	0.13	1780	Рыбный промысел, водоснабжение
Иссык-Куль	6240	1740	278	668	1608.0	0.03	5800	Рыбный промысел

следовательский институт прудового рыбного хозяйства (ВНИПРХ), Северный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт рыбного хозяйства (Северьбниипроект), Сибирский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства (Сибрьбниипроект), Восточно-Сибирский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт рыбного хозяйства и Казахский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства (КазНИИРХ).

В данной работе, кроме того, использованы материалы, собранные экспедициями Института озероведения АН СССР за последние годы, опубликованные сведения по исследуемым объектам, материалы по ихтиофауне институтов-соисполнителей по заданию и других организаций.

Прогностический характер данной работы ограничил ее объем и сузил полноту приводимых сведений. В ней преобладают осредненные общие показатели и в меньшей мере - сведения режимного характера, особенно касающиеся пространственных неоднородностей озера. Различие в полноте приводимого материала по отдельным озерам объясняется неодинаковой степенью их изученности и индивидуальными особенностями каждого из них.

Работа выполнялась большим коллективом сотрудников перечисленных научных организаций. Авторами-составителями отдельных глав были сотрудники Института озероведения АН СССР И.М. Распопов (глава 1), Н.Н. Давыдова (глава 2), В.А. Кириллова (глава 3), Г.В. Назаров (глава 4), Т.И. Малинина (глава 5), Н.П. Смирнова (глава 6), А.И. Давыдова (глава 7), А.В. Шнитников и Д.В. Севастьянов (глава 8). За соответствующие разделы всех глав ответственными были: по гидрологии - Т.И. Малинина, по гидрохимии - Е.А. Стравинская, Б.Л. Гусаков и Г.В. Позднякова (оз. Балхаш), по гидробиологии - И.М. Распопов и по ихтиологии - М.Я. Широкова. В составлении этих разделов также принимали участие сотрудники Института озероведения В.Н. Адаменко, Д.Н. Александрова, С.В. Басс, М.Ф. Веселова, А.Ф. Изотова, В.А. Кириллова, Н.А. Петрова, М.А. Рычкова, В.Н. Разумихина, Т.Д. Слепухина, Т.С. Смирнова.

Ихтиологические материалы, использованные в отдельных главах, представили следующие учреждения: ГосНИОРХ и его отделения (Л.А. Кудерский, Г.В. Федорова, В.А. Веткасов, Г.Я. Дорожкина, Ю.С. Водоватов; главы 1 - 5), Северьбниипроект (Л.П. Рыжков, А.М. Гуляева; глава 2), Сибрьбниипроект (К.И. Константиади, О.П. Парамонов; глава 6), КазНИИРХ (Д.А. Амангалиев, Ю.М. Колломин; глава 7), Биологическая станция АН КиргССР (А.О. Конурбаев, А.Б. Жадин; глава 8).

Общее руководство заданием и научное редактирование осуществлено О.А. Алекиным. Редактирование выполнено Т.А. Татариновой и В.А. Кирилловой.

В монографии для озер Ладожского, Ильмень, Чудско-Псковского, Онежского, Белого, Чаны, Балхаш и Иссык-Куль приводятся современные сведения о физико-географических условиях, гидрологическом режиме, химическом составе воды, гидробиологии и ихтиологии. Рассматриваются возможные изменения природных ресурсов (водных, качество воды, биоресурсы и рыбное хозяйство) к 2000 году.

Общепринятых количественных методов прогноза всех характеристик озера до сих пор не существует. Сложность природных условий, воздействующих на озеро, с одной стороны, и недостаточная изученность количественных взаимодействий между физическими, химическими и биологическими процессами — с другой, затрудняют решение этого вопроса, имеющего несомненно большой практический интерес.

Кроме естественных факторов большое значение при прогнозировании природных процессов и состояния некоторых озер имеют антропогенные факторы. Антропогенное воздействие на природные ресурсы озера проявляется в основном в четырех видах:

1) в искусственном изменении морфометрии или водного баланса озера, что в большинстве случаев оказывает положительное влияние на его водные ресурсы, но очень часто отрицательно сказывается на качестве воды и биоресурсах;

2) в загрязнении, которое влияет на качество воды и биоценоз только отрицательно;

3) в притоке со стоком биогенных веществ, вызывающих эвтрофирование, меняющее состав биоценоза озера и ухудшающее качество его воды;

4) в направленном изменении численности и видового состава организмов, обитающих в озере (вылов, вселение, разведение рыб).

Следовательно, для того чтобы составить прогноз, надо сделать заключение об изменениях, которые могут произойти в цепи звеньев, последовательно зависящих друг от друга: в гидрологическом режиме озера, связанном с климатическими колебаниями, в химическом составе воды озера, во всем биоценозе от первичной продукции, создаваемой фотосинтетической деятельностью фитопланктона, до продукции бентоса, которые в совокупности определяют характер водоема и его трофию. И, наконец, учитывая все это, сделать вывод о возможном изменении ихтиоценоза — конечном звене трофической цепи водных организмов.

При прогнозировании ожидаемых изменений состояния озера были приняты определенные методические положения.

Рассматривая ход элементов водного баланса озера за длительный промежуток времени, можно установить циклический характер колебаний, связанных с изменением циркуляционных процессов в атмосфере. Смена типов циркуляции и их взаимосочетание в холодную

и теплую части года обуславливают развитие различных фаз увлажненности, которые в свою очередь определяют формирование различных фаз водности озер.

Для европейской части СССР за последнее столетие А.В. Шнитниковым (1966, 1976, 1979) установлено несколько внутривековых циклов колебаний общей увлажненности бассейнов продолжительностью 25–28 лет. Каждый цикл увлажненности состоит из двух фаз – многоводной и маловодной, различающихся по водности на 15–35%. Внутривековые циклы увлажненности развиваются на фоне регрессивной ветви многовекового цикла, вследствие чего основные элементы водного баланса за каждый последующий цикл уменьшаются на 3–5%, а каждая следующая маловодная фаза имеет более длительное развитие.

Установленная цикличность в характере колебаний элементов водного баланса, определяемая колебанием общей увлажненности бассейнов, была положена в основу определения тенденций водных балансов озер до 2000 г. У разных озер, расположенных в зонах избыточного увлажнения, границы циклов и фаз могут несколько сдвигаться в зависимости от местных условий, однако общая тенденция циклического колебания увлажненности во всех бассейнах сохраняется. Начавшееся в конце 70-х годов повышение стока на некоторых реках, вероятно, можно рассматривать как начало формирования многоводной фазы нового цикла. Эта фаза продлится 10–12 лет, в начале, а на некоторых озерах в середине 90-х годов ожидается формирование маловодной фазы продолжительностью около 12–15 лет. В соответствии с этим процессом 2000 год на всех озерах Северо-Запада СССР будет приходиться на маловодную фазу. Средняя величина основных элементов водных балансов озер в конце XX столетия будет на 13–15% меньше средней многолетней величины за полный цикл.

Для озер, расположенных в других географических зонах, намечаются несколько иные тенденции изменения климатических условий и тепло-влажнообеспеченности. Современная тенденция изменения общей увлажненности Средней Азии и Казахстана направлена на дальнейшее снижение ее уровня, вследствие чего нет оснований ожидать улучшения водного баланса озер этой зоны в конце текущего столетия.

Прогноз качества воды¹ больших озер составлялся с учетом изменения естественных условий и развития хозяйственной деятель-

¹ Несмотря на широкое распространение, термин „качество воды“ нельзя считать удачным, так как он в строгом смысле слова должен применяться только к определенному виду водопользования. В данном случае имеется в виду качество воды с позиций санитарно-питьевого и рыбохозяйственного водопользования. Оно характеризуется совокупностью определенных физических, химических и биологических показателей.

ности на водосборах. Качество воды определяется совокупностью ряда химических и биологических показателей, количественное же прогнозирование разработано лишь для немногих из них. При составлении прогноза состояния больших озер на 2000 г. учитывались возможные изменения только двух показателей - минерализации воды и концентрации общего фосфора.

Первый из этих показателей - величина минерализации воды - является важнейшей характеристикой качества воды озер, особенно зоны недостаточного увлажнения. Прогноз минерализации воды выполнялся путем расчета химического баланса озер на основе прогнозируемого водного баланса, учитывающего изменение естественной увлажненности и планируемые гидротехнические мероприятия.

Вторым показателем качества воды является концентрация общего фосфора. Его содержание в озерах зоны избыточного увлажнения имеет более существенное значение, чем минерализация. Сами по себе соединения фосфора при малых концентрациях не вызывают опасения и поэтому не лимитируются ГОСТом. Однако концентрация общего фосфора в большинстве озер определяет уровень трофии, создаваемый в настоящее время преимущественно антропогенным влиянием. В результате качество воды снижается за счет вторичных процессов: накопления и разложения автохтонного органического вещества, ухудшения газового состава, выделения в воду вредных продуктов жизнедеятельности организмов и распада водорослей (особенно синезеленых), ухудшения органолептических свойств воды и пр.

Количественная связь между содержанием первичной продукции и общего фосфора разработана Р. Фоленвайдером (Vollenweider, 1975) и для озер гумидной зоны подтверждена рядом исследователей. Она позволяет связать уровень трофии озера с концентрацией общего фосфора в воде, с общим количеством фосфора, поступающим с водосбора, и, следовательно, что существенно для прогноза, с интенсивностью обогащения фосфором природных вод за счет различных его источников на водосборном бассейне.

Связь между фосфорной нагрузкой на озеро и среднегодовой концентрацией фосфора в озере по П. Диллону и Ф. Риглеру (Dillon, Rigler, 1974) определяется следующими выражениями:

$$[P] = \frac{(1 - R_p)L}{\bar{z}\rho}, R_p = 0.426^{-0.271} q_s + 0.574e^{-0.00949 q_s}, q_s = \frac{Q}{S},$$

где P - среднегодовая концентрация общего фосфора в воде озера, мкг/л; L - фосфорная нагрузка на озеро, г/м² в год; \bar{z} - средняя глубина озера, м; R_p - коэффициент удержания фосфора в озере; ρ - проточность озера, 1/год; q_s - водная нагрузка, м³/м² в год; Q - сток в озеро, м³ в год; S - площадь озера, м².

Экспериментальным путем были установлены коэффициенты выноса фосфора с территорий в зависимости от источников его поступления. Применимость их подтверждена в ряде работ, в том числе отечественных, для условий зоны избыточного увлажнения (Шилькрот,

1981). Они хорошо подтвердились на примере Ладожского озера, для которого проводилось сравнение косвенного подсчета с фактически наблюдаемым поступлением фосфора. Для озер Онежского, Чудско-Псковского и Ильмень проверка проводилась по фосфору, вносимому в озера за год отдельными притоками, и дала удовлетворительные результаты.

Прогноз повышения уровня трофии озер составлялся с учетом сведений о количестве фосфора, выносимого с водосборного бассейна в настоящее время, с предполагаемым выносом фосфора в 2000 г. при изменившихся источниках фосфора на его территории. Подобный прием требовал большой и трудоемкой работы по сбору сведений об антропогенных факторах (рост населения, объем сточных вод, количество вносимых удобрений, поголовье скота и пр.), действующих в настоящее время и планируемых на 2000 г. При этом учитывались варианты изменения водного баланса под влиянием гидротехнических сооружений. Для озер аридной зоны прогноз уровня трофии приходилось ориентировать только на предполагаемое развитие хозяйственной деятельности в их бассейнах, поэтому он носит, скорее, качественный характер.

Одним из важных показателей качества воды является также содержание в ней веществ, не свойственных природным водам (нефтепродукты, ядохимикаты, соли тяжелых металлов и т.д.). Прогнозирование их концентраций в водоеме затруднено, так как наличие этих веществ в воде в количествах, превышающих величины ПДК, обусловлено неудовлетворительной работой очистных сооружений, несоблюдением санитарных норм и пр. Однако в отдельных главах приводятся данные о возможном загрязнении за счет сброса стока отдельных предприятий.

Биологические сообщества анализировались с точки зрения их продуктивности и видового состава. Прогнозирование первичной продуктивности озер основано на зависимости этой величины от концентрации общего фосфора в воде. Показателем первичной продукции фитопланктона при этом считается среднеелетнее содержание хлорофилла „а“, соотносимое с весенней или со среднегодовой концентрацией общего фосфора. Расчет производился по методу П. Диллона и Ф. Риглера (Dillon, Rigler, 1974) на основании следующей зависимости:

$$\lg [Chl „a”] = 1.46 \lg P - 1.14.$$

Для больших озер ЕТС Н.А. Петровой получено следующее аппроксимированное выражение этой связи:

$$\lg [Chl „a”] = 1.43 \lg P - 1.64.$$

Коэффициент корреляции при этом составляет 0,93.

Сопоставление наблюдавшихся в озере соотношений между интенсивностью фотосинтеза и содержанием в планктоне хлорофилла „а“ позволяет определить среднюю фотосинтетическую активность едини-

цы хлорофилла „а“ (так называемое суточное ассимиляционное число) и перейти от концентрации хлорофилла к величинам первичной продукции.

Прогнозирование изменения величины первичной продукции фитопланктона позволяет оценить возможные изменения других компонентов трофической цепи в водоеме — зоопланктона и бентоса.

При изучении рыбного хозяйства озер и его прогноза на 2000 г. основное внимание уделялось:

- 1) обобщению материалов по современному состоянию рыбопродуктивности озер и анализу факторов, их определяющих;
- 2) исследованию тенденций изменения состава ихтиофауны озер при современном характере ее хозяйственного использования;
- 3) оценке влияния других антропогенных факторов на рыбопродуктивность отдельных озер в современный период;
- 4) разработке зависимости развития рыбного хозяйства озер от климатических и антропогенных факторов.

Поскольку развитие рыбного хозяйства зависит от биотических, абиотических и антропогенных факторов, для оценки изучаемых озер к 2000 г. были рассмотрены три наиболее вероятных варианта возможного развития рыбного хозяйства на этих озерах.

В первом варианте проанализированы возможные изменения рыбопродуктивности озер к 2000 г. в зависимости от климатических факторов. Методическим обоснованием для разработки этого варианта являются установленные зависимости между рыбопродуктивностью озер и климатической ситуацией. На основании оценки ожидаемых изменений водности в бассейнах озер к 2000 г. и установленных зависимостей между уловами и уровнем водности на каждом конкретном озере составлен прогноз рыбопродуктивности изучаемых озер.

При рассмотрении второго варианта развития рыбного хозяйства предусматривалось более рациональное использование рыбных ресурсов в будущем. Методической основой для создания подобных схем являлась гипотеза о полном использовании биопродуктивности озер к 2000 г.

Третий вариант возможного изменения уловов к 2000 г. составлен с учетом влияния на рыбопродуктивность озер антропогенных факторов. Среди них ведущее место занимают водохозяйственное строительство и антропогенное эвтрофирование.

Л и т е р а т у р а

- Ш и л ь к р о т Г.С. О возможности использования эмпирических зависимостей для прогноза эвтрофирования озер. — Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1981, № 1, с. 41–51.
- Ш н и т н и к о в А.В. Внутривековая изменчивость общей увлажненности бассейна Ладожского озера. — В кн.: Гидрологический режим и водный баланс Ладожского озера. Л., 1966, с. 5–57. (Тр. Лабор. озеровед. АН СССР; Т. 20).

- Шнитников А.В. Большие озера Среднего региона и некоторые пути их использования. - В кн.: Озера Среднего региона. Л., 1976, с. 5-133.
- Шнитников А.В. Историческая изменчивость общей увлажненности и перспективы преобразования водных ресурсов. - В кн.: Охрана окружающей среды. Л., 1979, с. 63-83.
- Dillon P.L., Rigler F.H. The phosphorus-chlorophyll relationship in lakes. - *Limnol. and Oceanogr.*, 1974, vol. 9, N 5, p. 767-773.
- Vollenweider R.A. Input-output models with special reference to the phosphorus loading concept in limnology. - *Schweiz. Z. Hydrol.*, 1975, Bd 37, Hft 1, S. 53-84.

1.1. Современное состояние озера

Физико-географические условия и морфометрия

Крупнейший внутренний водоем Европы, Ладожское озеро расположено на северо-западе европейской части СССР. Оно занимает площадь 18 130 км², причем 460 км² приходится на долю островов, наибольшими из них являются Риеккалансари (55,3 км²), Мантсинсари (39,4 км²). Длина береговой линии озера без учета длины береговой линии островов составляет 1570 км, а коэффициент изрезанности берегов - 2.1 (Черняева, 1966). Объем водной массы составляет 908 км³, средняя глубина озера равна 51 м. Максимальная глубина - около 230 м - отмечена в северо-западной части озера. Наиболее мелкой является южная часть озера, где средняя глубина равна 13 м.

Ладожское озеро лежит на стыке Балтийского кристаллического щита и Русской платформы. Бассейн озера, общая площадь которого составляет 258 600 км² и простирается с севера на юг более чем на 1000 км, а с запада на восток - почти на 600 км, имеет сложную геологическую историю, включающую два этапа: 1) дочетвертичный и 2) четвертичный (ледниковый и послеледниковый). Котловина озера - впадина тектонического происхождения, возникшая в третичное время (Архангельский, 1948).

Северная часть Ладоги находится на окраине Балтийского кристаллического щита, сложенного дислоцированными породами архейского и протерозойского возраста, представленными гранитами, гнейсами, пегматитами, слюдястыми сланцами. По мере движения к югу возрастает мощность четвертичных отложений. Происходит постепенное погружение склонов щита под мощные толщи палеозойских осадков Русской платформы (Бискэ, 1959).

Различия в геологическом строении бассейна Ладожского озера отражаются на строении его котловины и берегов. Рельеф дна северной части озера сложный - глубоководные впадины чередуются с мелководными участками, наоборот, в южной части озера дно ровное.

Берега северо-западной и северной частей Ладожского озера, сложенные кристаллическими породами, высокие и сильно расчлененные. Побережье окаймлено многочисленными островами различной величины, разделенными между собой проливами. Сочетание остро-

вов и проливов и глубоко врезаемых в сушу заливов создает своеобразный шхерный район Ладожского озера.

Западное побережье (к югу от г. Приозерска) равнинное, сложено послеледниковыми отложениями и изрезано слабо. На большом протяжении западный берег образован каменистыми россыпями, лежащими на плотной серой ледниковой глине.

Восточный берег, как и западный, изрезан слабо и на значительном протяжении обрамлен песчаными пляжами шириной до 50 м и более.

Побережье южной части озера представляет собой низменную равнину. В прибрежной части озера довольно широко распространены песчаные и каменистые косы и скопления валунов. Южную часть Ладоги образуют три крупных мелководных залива: бухта Петрокрепость, глубина 4 м, губы Волховская — 7 м и Свирская — 3 м.

В Ладожском озере можно выделить 7 типов донных отложений: 1) глыбы, 2) валуны, 3) галька и гравий, 4) песок разной крупности, 5) крупноалевритовый ил, 6) мелкоалевритовый ил, 7) глинистый ил (Семенович, 1966).

Глыбы характерны для прибрежий северной части озера, сложенных кристаллическими породами, которые уходят под поверхность воды. Валуны широко распространены в прибрежной части озера, где они чередуются с песчаными грунтами. Скопления валунов в южной половине озера встречаются не только у берегов, но и на значительном удалении от уреза воды, где они образуют банки и гряды. Такие образования широко распространены вдоль западного берега, в губах Петрокрепость и Волховской, а также на всей площади южного мелководья. В местах размыта морены вдоль юго-восточного берега отдельные участки дна по всей площади покрыты валунами. Галька и гравий встречаются в виде отдельных скоплений по всей площади южного мелководья, вдоль западного и восточных берегов, перемежаясь с песчаными грунтами и мелкими валунами. В районе Валаамского архипелага и Баевых островов гравий и галька покрывают подстилающие их глины и глинистые илы. Пески разной крупности покрывают всю площадь южного мелководья и тянутся полосой вдоль западного и восточного берегов. Неоднородны по составу пески в губе Петрокрепость и на участке между губами Петрокрепость и Волховской. В самой Волховской губе наряду с песчано-алевритовыми отложениями широко распространены пески разной крупности, часто с примесью гравия. В Свирской губе преобладают песчано-алевритовые отложения. Крупно- и мелкоалевритовые илы занимают переходную зону от мелководных участков к глубоководной области и имеют ограниченное распространение.

Глубоководная область центральной и северной частей озера сложена глинистыми илами. В шхерном районе также преобладают илистые отложения. Илы Ладожского озера большей частью по своей консистенции являются полужидкими и мягкими, вязкими и обладающими рыхлой структурой. В ряде мест на дне озера обнажаются гидрослоистые плотные плохо размокающие в воде глины. Мягкие, пластичные глины встречаются значительно реже.

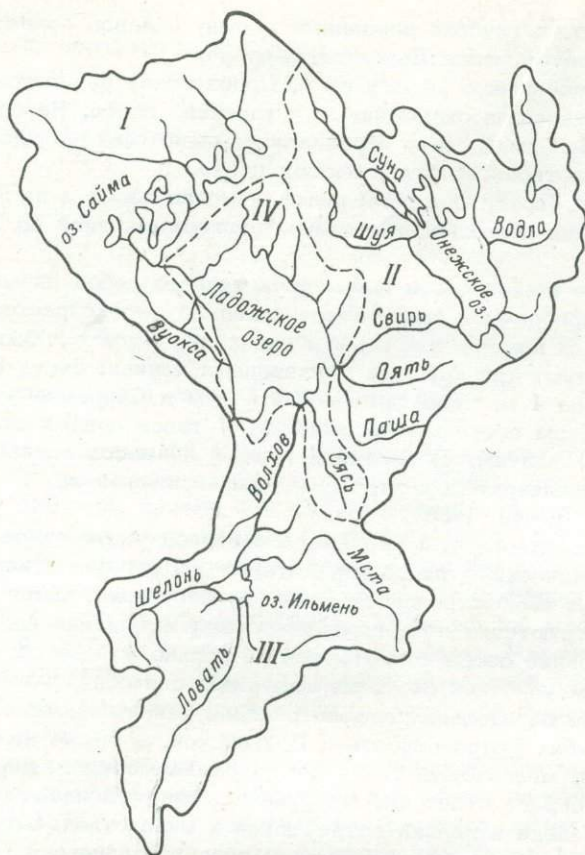


Рис. 1. Схема бассейна Ладожского озера.

I – Саймо-Вуоксинский; II – Онежско-Свирский; III – Ильмень-Волховский; IV – частный бассейн.

Н.И. Семенович, изучавший современные темпы седиментации, пришел к выводу, что слой консолидированного осадка составляет в год 0,09 мм (Семенович, 1966).

Грунты Ладожского озера бедны органическим веществом. Средние величины содержания гумуса и органического углерода составляют (в %): в песках соответственно 0,56 и 0,33, в крупноалевритовом иле – 0,95 и 0,55, в мелкоалевритовом иле – 3,37 и 1,96. Количество органического вещества в донных отложениях возрастает от района южного мелководья к глубоководной части озера.

Обширный водосборный бассейн Ладожского озера включает 4 вторичных бассейна: Онежско-Свирский (площадь 83,2 тыс. км²), Ильмень-Волховский (80,2 тыс. км²), Саймо-Вуоксинский (66,7 тыс. км²)

и частный бассейн Ладожского озера (28,4 тыс. км²), каждый из них имеет сложную гидрографическую сеть, состоящую из большого числа озер и ручьев (рис. 1). Всего в бассейне Ладожского озера насчитывается около 50 тыс. озер, занимающих 17% водосборной площади, много болот и малых рек общей протяженностью до 45 тыс. км (Нежиховский, 1981).

Бассейн Ладожского озера находится в зоне умеренного климата со сравнительно теплым и влажным летом, холодной и облачной зимой. Формирование климата происходит под воздействием морских воздушных масс атлантического происхождения и континентальных масс умеренных широт с частым вторжением арктического воздуха. Известное влияние на климатические условия района оказывает и само озеро (Веселова, Кириллова, 1966).

Гидрологический режим

Основными элементами водного баланса Ладожского озера служат приток и сток, составляющие в его приходной и расходной частях около 86 и 92% соответственно. Главными реками, питающими озеро, являются Вуокса, Свирь и Волхов, дающие 86% общего поступления в него поверхностных вод. В силу их естественной и искусственной зарегулированности внутригодовое распределение общего притока отличается равномерностью. Весенний приток составляет 27% годового, летний - 15%, осенний - 23% и зимний - 25%. Наибольший приток в озеро отмечается в мае, наименьший - в марте. Сток из озера происходит по р. Неве равномерно в течение года и составляет в среднем 24-29% за сезон и только летом сокращается до 20% годовой величины.

Малая величина отношения стока из озера к объему его водной массы (коэффициент условного водообмена равен 0,08) свидетельствует о замедленном внешнем водообмене озера и большой консервативности озерной системы.

Изменение годового притока и стока из озера по годам служит хорошим показателем колебаний общей увлажненности Ладожского бассейна, носящих циклический характер и представляющих последовательную смену многоводных и маловодных фаз (Шнитников, 1966). На интегральных кривых модулей годового стока р. Невы и уровня Ладожского озера выделяются три цикла колебаний общей увлажненности территории (рис. 2).

Средний приток в озеро за последний цикл составил 70,7 км³, сток - 75,5 км³ в год. Эта величина оказалась близкой к данным, полученным Т.И. Малининой для 1932-1958 гг., когда приток и сток соответственно были равны 69,1 и 73,7 км³ в год (Малинина, 1966). Сходные величины были получены А.Г. Прониным для 1881-1960 гг. (Пронин, 1970). Величины притока и стока, полученные Р.А. Нежиховским, отличались большими значениями - 75,5 и 80,0 км³ в год - ввиду того, что рассматриваемый им период (1859-1956 гг.) включал наиболее многоводный цикл 1899-1922 гг. (Нежиховский, 1957).

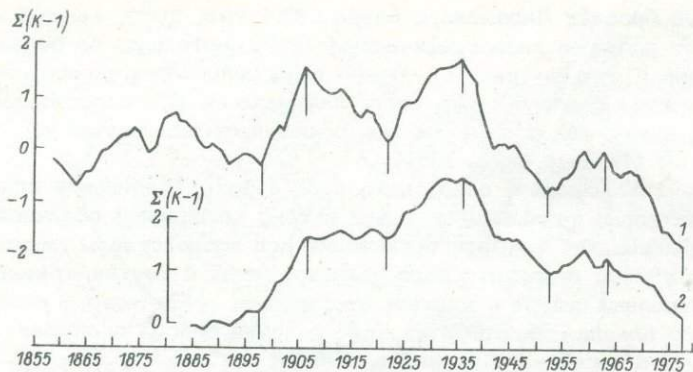


Рис. 2. Интегральные кривые модульных коэффициентов годового стока р. Невы (1) и уровней Ладожского озера (2).

Водный баланс Ладожского озера, составленный для последнего цикла (1953–1978 гг.), хорошо отражает особенности внутривековых изменений его элементов по фазам водности.

Как видно из табл. 2, наиболее существенные колебания проявились в притоке и стоке из озера, сократившихся в маловодную фазу на 18% по сравнению с многоводной. Изменение осадков и испарения составило 4–7% (табл. 2). Максимальный приток в озеро, равный $99,6 \text{ км}^3$ в год, был отмечен в 1962 г., минимальный – в 1940 г. и составил $42,6 \text{ км}^3$ в год.

Колебания уровня воды Ладожского озера в течение года зависят от соотношения приходной и расходной частей водного баланса. Минимальные уровни на озере наблюдаются в январе. С середины апреля начинается значительное повышение уровня, связанное с началом половодья на реках. Весенний подъем уровня на Ладоге плавный и в среднем составляет 48 см. Это объясняется как огромными размерами самого озера, так и неодновременным прохождением весеннего половодья на реках, питающих озеро. В июне уровень достигает максимальных значений, а с июля и до конца года он плавно понижается. Средняя годовая амплитуда уровня равна 69 см, колебания ее составляли от 21 см в маловодном 1940 г. до 126 см в многоводном 1962 г. Средний многолетний уровень Ладоги за период 1885–1978 гг. равен 4,80 м Б.С. Амплитуда колебаний уровня за весь период инструментальных наблюдений составляет 3,16 м при максимальной отметке уровня 6,64 м Б.С. в июне 1924 г. и минимальной 3,48 м Б.С. в феврале 1942 г. Максимальная годовая отметка уровня в 1924 г. равнялась 6,20 м Б.С., минимальная в 1940 г. составляла 3,64 м Б.С. Было замечено, что с увеличением притока уровень воды в Ладожском озере изменяется медленно. Высокое стояние уровня может наблюдаться лишь после 2–3 следующих друг за другом многоводных лет, а наступлению низких уровней должен предшествовать ряд маловодных лет (Малинина, 1966а).

Т а б л и ц а 2

Водный баланс Ладожского озера
за отдельные фазы водности и цикл

Элементы баланса	Многоводная фаза, 1953-1959 гг.		Маловодная фаза, 1960-1978 гг.		Цикл, 1953-1978 гг.	
	м ³ ·10 ⁶	%	м ³ ·10 ⁶	%	м ³ ·10 ⁶	%

П р и х о д

Приток	80859	86,7	66982	85,2	70718	85,9
Осадки	11225	12,0	11667	14,8	11548	14,0
Сработка	1131	1,3	-	-	33	0,1
И т о г о	93215	100	78649	100	82299	100

Р а с х о д

Сток	86764	93,1	71348	90,7	75498	91,7
Испарение	6451	6,9	6930	8,8	6801	8,3
Аккумуляция	-	-	371	0,5	-	-
И т о г о	93215	100	78649	100	82299	100

Кроме годовых колебаний, связанных со сменой сезонов, ход уровня отражает внутривековые колебания общей увлажненности Ладожского бассейна. На протяжении последних трех циклов отмечается тенденция к снижению уровня озера с 508 до 463 см (рис. 3).

Годовой термический цикл озера складывается из четырех периодов: весеннего нагревания (середина марта-середина июля), летнего прогревания (середина июля-конец августа), осеннего охлаждения (начало сентября - конец декабря) и зимнего охлаждения (конец декабря-середина марта). В периоды весеннего нагревания (с начала мая) и осеннего охлаждения (с начала ноября) до окончания периодов в озере существует термический бар за счет конвергенции и смещения вод с температурой выше и ниже наибольшей плотности (4°C). Фронт термического бара располагается вдоль береговой линии и постепенно смещается к глубоководной области. Термобар разделяет озеро на две водные массы, отличающиеся друг от друга по физико-химическим характеристикам. К началу гидрологического лета отмечается наибольшее различие (до 20°C) в температуре воды верхнего слоя. С исчезновением термобара в озере образуется купол плотной воды с вершиной над глубоководным районом, устанавливается прямая термическая стратификация со слоем температурного скачка по всему водоему. Наибольших значений средняя

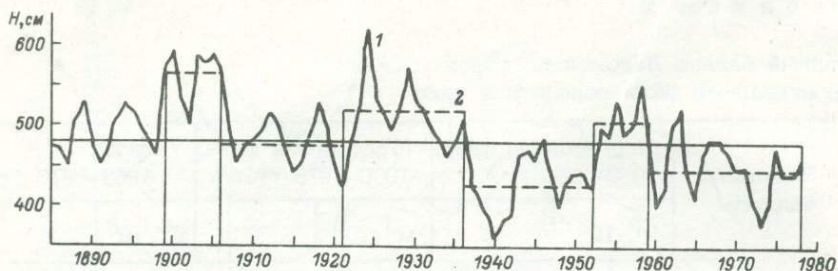


Рис. 3. Годовые уровни Ладожского озера и их средние отметки по фазам водности.

1 - средний многолетний уровень; 2 - средний уровень за фазу.

температура верхнего слоя воды (16°C) и температура водной массы ($7,5^{\circ}\text{C}$) достигают в августе. Минимальная температура воды приходится на середину марта ($0,6^{\circ}\text{C}$). Лед на озере устанавливается от прибрежной зоны в соответствии с нарастанием глубин. Озеро полностью покрывается льдом в среднем около 15 февраля, однако раз в 4–5 лет его центральная часть не замерзает. Средняя толщина льда в марте составляет 50–60 см. Полностью озеро очищается ото льда около 5–10 мая (Тихомиров, 1966, 1968).

Течения в Ладожском озере по своему генезису неоднородны и зависят как от сезонных, так и от синоптических факторов.

Весной после очищения ото льда озеро представляет собой достаточно однородную по плотности водную массу, движения в которой определяются в основном ветровым воздействием. С началом интенсивного прогревания в озере возникают значительные горизонтальные температурные градиенты, в результате чего формируется фронт термического бара, делящий озеро на две области, существенно неоднородные как по термическому, так и по динамическому режимам (Тихомиров, 1959). Для теплоактивной области, расположенной на внешней стороне фронта, в мелководных районах характерно существование плотностных течений, которые при слабых и умеренных ветрах преобладают над ветровыми (Охлопкова, 1966). Скорости течений могут достигать 30 см/с. В теплоинертной области, ограниченной фронтом термического бара, течения обусловлены незначительными температурными градиентами и ветровым воздействием. Скорости течений малы.

Летом наличие горизонтальной термической неоднородности определяет существование плотностных течений. Наиболее развиты они во вдольбереговых районах, где градиенты достигают максимальных значений. В периоды штормов преобладающими становятся ветровые течения. Осенью по мере охлаждения геострофическая составляющая вектора течений уменьшается, доминирующими становятся ветровые течения. Для зимнего режима данных натуральных инструментальных наблюдений практически нет, однако можно предполагать, что пере-

нос осуществляется стоковыми течениями, средние скорости которых очень малы. В остальные сезоны года эти течения ощутимы только в приустьевых районах в штилевых ситуациях.

Следует отметить, что ввиду большой акватории и существенной неоднородности рельефа дна течения носят сложный характер. Плотностные течения представлены вдольбереговыми потоками и циркуляционными образованиями в центральной части озера. Для ветровых течений характерно наличие макровихрей, причем в большинстве случаев северная часть озера обособлена от центральной.

Перенос речных вод определяется господствующей системой течений. Весной характерен меридиональный перенос. Летом направление движения этих вод зависит от синоптической ситуации. По исследованиям А.Ю. Тержевика, в случае малых скоростей ветра воды притоков в верхнем квазиоднородном слое перемещаются под действием циклональной плотностной циркуляции. В условиях шторма перенос речных вод осуществляется в пределах той системы течений, которая формируется господствующим направлением ветра. В губах речные воды, согласно исследованиям А.Н. Охлопковой (1966), перемещаются вдоль берегов (чаще всего восточных).

Ладожское озеро по условиям развития ветрового волнения, его высоте и продолжительности приближается к морским акваториям. Повторяемость высот волн 1%-ной обеспеченности, превышающих 2 м, за безледоставный период составляет более 10%. По данным волнографных наблюдений в 1957-1962 гг., измеренная высота волн составляла 4,6 м, длина - 50-60 м. Максимальная измеренная высота волн в открытом озере достигала 5,8 м (Воронцов, 1966).

Воздействием ветра обусловлены стогно-нагонные колебания уровня, в большинстве случаев не превышающие 10 см, и сейши. На озере наблюдались сейши с девятью различными периодами - от 10-12 мин до 5 ч 40 мин и с амплитудой от 5 до 30 см (Малинина, 1966).

Химический состав воды

Главная роль в формировании химического состава воды Ладожского озера принадлежит речному стоку, который дает свыше 95% приходной части химического баланса озера. Доля трех основных притоков - Свири, Вуоксы и Волхова - в водном и солевом балансе далеко неодинакова (табл. 3). По объему водного стока они близки между собой, а в ионном стоке вследствие более высокой минерализации воды первое место (табл. 4) принадлежит р. Волхову (Соловьева, 1967).

Воды Ладожского озера по ионному составу относятся к гидрокарбонатному классу кальциевой группы и имеют индекс C^{Ca} . Озеро характеризуется однородностью состава и минерализации воды, которая выражается величинами 58-65 мг/л при средней величине 62 мг/л (табл. 5). Концентрация растворенного кислорода в открытой части озера колеблется от 9 до 15 мг/л, относительное содер-

Т а б л и ц а 3

Среднегодовая минерализация и состав воды основных притоков Ладожского озера

Река	Единица измерения	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	$\Sigma_{\text{и}}$
Свирь	мг/л	22,5	3,3	1,6	5,6	1,9	1,2	36,1
	экв. %	76,4	14,3	9,3	57,8	32,3	9,9	
Вуокса	мг/л	10,6	7,6	1,8	4,6	1,1	1,6	27,3
	экв. %	45,4	41,3	13,3	59,8	23,5	16,7	
Волхов	мг/л	63,3	8,8	15,6	20,6	3,0	9,6	120,9
	экв. %	62,5	11,0	26,5	61,9	14,0	23,2	

жание - от 90 до 120%; в южных губах в летний период интенсивное развитие окислительно-восстановительных процессов периодически приводит к снижению относительного содержания кислорода до 80-90% (Расплетина и др., 1967).

Реки являются основными поставщиками соединений фосфора. Максимальной концентрацией фосфора характеризуются воды Волхова, где содержание его значительно больше, чем в двух других притоках (табл. 6). С водами притоков в озеро поступает 6140 т фосфора, 63% выносятся водами р. Волхов. Причинами высокого содержания фосфора в р. Волхов являются как особенности литологического состава пород в бассейне, так и приуроченность к этой части водосбора Ладожского озера наиболее развитых в хозяйственном отношении районов. Свыше 50% волховского прихода фосфора дают стоки Волховского алюминиевого завода (ВАЗ), где сырьем для получения алюминия служат апатито-нефелиновые руды, в которых соединения фосфора составляют 50%. Фосфор, очевидно, не полностью утилизируется, и часть его уходит в стоки. Концентрация фосфора в стоках ВАЗа варьирует от 50 до 250 мг/л.

Концентрация общего фосфора в Ладожском озере в весенне-летний период изменяется от 8 до 225 мкг/л (при средних величинах, в различных его районах составляющих 21-83 мкг/л весной и 21-65 мкг/л летом). Средняя годовая концентрация общего фосфора в Ладожском озере равна 27 мкг/л, причем средние значения для озера в весенний и летний периоды почти одинаковы (28 и 26 мкг/л), максимальные отмечаются в Волховской губе и у г. Сортавала в шхерном районе (табл. 7).

В весенний период 40-60% общего фосфора составляет минеральный, летом в трофогенном слое - вследствие ассимиляционной деятельности фитопланктона почти во всем озере - доля минерального фосфора снижается до 8-18%, в гипolimнионе он составляет 22-40%. Только в Волховской губе за счет постоянного притока речных вод, обогащенных фосфором, сезонный ход в соотношении минерального и органического фосфора практически не выражен.

Т а б л и ц а 4

Соотношение водного и ионного стока основных притоков озера

Река	Сток, в % от общего притока	
	водный	ионный
Свирь	34	20
Вуокса	27	16
Волхов	23	53
Остальные реки	16	11

Вторым важным компонентом, определяющим биологическую жизнь в озере, является азот.

Ладожское озеро всегда в достаточной степени было обеспечено соединениями минерального азота ($N_{\text{мин}}$), главным образом в форме нитратов, которых в открытом озере содержится от 0,02 до 0,35 мг/л, а в Волховской губе – до 0,50 мг/л. Средняя годовая концентрация нитратного азота равна 0,25 мг/л. В период прямой стратификации отчетливо выражен вертикальный градиент с четким минимумом нитратов в трофогенном слое.

В Ладожском озере постоянно присутствует аммонийный азот (0,01–0,30 мг/л).

Средняя концентрация общего азота в озере составляет 0,6 мг/л с пределами колебаний в открытой части озера 0,4–0,9 мг/л, в Волховской губе ее верхняя граница возрастает до 1,4 мг N/л весной и до 1,5–2,0 мг N/л зимой.

За последние 15–20 лет четко выражена тенденция роста содержания фосфора и азота в воде озера. Среднее содержание $P_{\text{мин}}$ по сравнению с 1959–1962 гг. в центральном и северном районах возросло в 4–5 раз, а в южном и восточном – в 3 раза. Примерно на 50% возросло содержание нитратов.

В противоположность фосфору и азоту содержание кремния за тот же период несколько снизилось вследствие более интенсивного развития диатомовых водорослей. Концентрация растворенного кремния летом достигает 0,10–0,20 мг/л, а зимой не превышает 0,5 мг/л.

Цветность воды находится в пределах 25–40°. В прибрежных районах она несколько выше (до 50°), а в Волховской губе может временно достигать 140°.

Перманганатная окисляемость в открытой части озера составляет в среднем 8 мг O₂/л (7–10 мг O₂/л), бихроматная – 23 мг O₂/л (18–36 мг O₂/л). В Волховской губе вследствие поступления большого количества аллохтонного органического вещества с речным стоком верхние пределы перманганатной и бихроматной окисляемости возрастают соответственно до 22 и 35–50 мг O₂/л.

Содержание органического углерода в открытом озере составляет 7,6–9,6 мг/л, в Волховской губе – 10,0–18,8 мг/л.

Т а б л и ц а 5

Средняя годовая минерализация и ионный состав основной водной массы Ладожского озера

Год	Единица измерения	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	$\Sigma_{\text{и}}$
1960	мг-экв.	0.488	0.131	0.138	0.434	0.181	0.148	-
	мг/л	29.8	6.3	4.9	8.7	2.2	3.7	55.6
1978	мг-экв.	0.469	0.237	0.152	0.437	0.214	0.216	-
	мг/л	28.6	11.4	5.4	8.7	2.6	5.4	62.1

Т а б л и ц а 6

Концентрация фосфора (мкг/л) в воде главных притоков озера

Река	Концентрация минерального фосфора			Концентрация общего фосфора		
	средняя	минимальная	максимальная	средняя	минимальная	максимальная
Свирь	9	2	20	25	8	62
Вуокса	11	1	16	36	13	66
Волхов	142	31	630	231	77	670

Т а б л и ц а 7

Пределы колебаний и средняя концентрация фосфора (мкг/л) в Ладожском озере за 1976-1978 гг.

Район озера	Концентрация минерального фосфора						Концентрация общего фосфора					
	весна (У-У1)			лето (УII-УIII)			весна (У-У1)			лето (УII-УIII)		
	сред- няя	мини- маль- ная	макси- маль- ная	сред- няя	мини- маль- ная	макси- маль- ная	сред- няя	мини- маль- ная	макси- маль- ная	сред- няя	мини- маль- ная	макси- маль- ная
Южный												
озерная часть	13	1	42	6	<1	26	35	14	74	34	8	62
Волховская губа	39	8	120	31	1	117	83	22	223	65	10	215
губа Петрокрепость	5	1	14	2	<1	9	21	16	48	23	10	40
Восточный	13	2	35	6	1	15	35	12	58	28	14	52
Центральный	15	8	24	6	<1	16	25	16	48	25	14	52
Западный	8	7	10	2	<1	11	28	11	34	21	8	56
Северный												
озерный	14	10	20	7	<1	11	27	16	63	24	14	44
шхерный	10	6	18	12	<1	43	31	16	92	27	11	98
Озеро в целом	13	1	120	7	<1	117	28	11	223	26	8	215

Т а б л и ц а 8

Характеристика сточных вод крупных промышленных предприятий, расположенных в бассейне Ладожского озера (по материалам СЗУ ГКС)

	Объем сточных вод, тыс.м ³ /сут	Взвешенные вещества, мг/л	БПК, мг О/л	ХПК, мг О/л	Нефтепродукты, мг С/л	Окисляемость, мг О/л	Очистка
ПДК вредных веществ в воде водоемов рыбохозяйственного значения		Превышение менее чем на 0.75 мг/л по сравнению с природным содержанием	3.0	3.0	0.05	10	
Приозерский ЦБК	167	398	427	3363	-	3162	Механическая
Сясьский ЦБК	200	71	39	700	0.6	700	Биологическая
Питкярантский ЦБЗ	84	40	94	212	-	100	Локальные очистные сооружения
Ляскульский ЦБЗ	38	788	38	3100	-	850	Механическая
Светогорский ЦБК	261	723	375	-	-	-	Биологическая
Камнегорская бу- мажная фабрика	5	600	71	-	-	-	Нет
ПО "Азот", г. Новгород	104	101	12	82	0.4	-	Биологическая
ВАЗ	77	204	40	64	6.0	25	Локальные очистные сооружения
Волховский комбинат строительных конст- рукций	785	204	-	-	31.8	-	Механическая

П р и м е ч а н и е. Объем сточных вод перечисленных предприятий равен 1720 тыс. м³/сут, что составляет около 75% всех промышленных стоков.

Т а б л и ц а 9

Содержание растворенных нефтепродуктов (мг/л)

в Ладожском озере

Район	Весна (V-VI)	Лето (VII-VIII)	Осень (IX-X)
Южный			
озерная часть	0,03-0,13	<0,03	0,03
Волховская губа	<0,03-0,08	<0,03-0,013	-
губа Петрокрепость	0,03-0,11	0,06-0,27	-
Центральный	<0,03-0,15	<0,03-0,10	-
Северный			
озерный	<0,03-0,4	<0,03-0,15	-
шхерный	0,03-0,25	0,03-0,08	-
(Якимварский залив)			

На побережье Ладожского озера и в пределах его водосборного бассейна расположен ряд промышленных предприятий, сточные воды которых, часто недостаточно очищенные, поступают в Ладожское озеро, загрязняя его (табл. 8).

В поверхностных водах Ладожского озера в 1975-1977 гг. почти постоянно присутствовали растворенные нефтепродукты. Наиболее часто встречающиеся содержания лежат в пределах 0,03-0,08 мг С/л (табл. 9). Наиболее загрязненные воды наблюдаются в районах интенсивного судоходства: превышение ПДК в 2-5 раз отмечено в северной части Ладожского озера, в губе Петрокрепость и в Волховской губе. В 1978 г. растворенные нефтепродукты в воде озера не были обнаружены (0,03 мг С/л), однако данные аэросъемок свидетельствуют о постоянном и значительном распространении поверхностной нефтяной пленки.

По наблюдениям СЗУ ГКС, в истоке р. Невы в некоторые сроки отмечается присутствие фенолов в концентрациях, в несколько раз превышающих ПДК, - от 0 до 0,10 мг/л, в отдельные сроки - до 0,20-0,30 мг/л.

Гидробиологическая характеристика

Состав фауны и флоры Ладожского озера в настоящее время отличается большим видовым разнообразием - всего зарегистрировано около 400 видов животных и около 600 видов растений. Это отражает значительное разнообразие биотопов в водоеме и хорошую изученность его животного и растительного мира.

По видовому составу, закономерностям распределения основных популяций и сообществ Ладожское озеро соответствует крупным глубоководным озерам умеренных широт (таежная зона). Его специфические черты отражают не столько видовой состав, сколько количественное соотношение видов и структура основных экологических комплексов.

Т а б л и ц а 10

Продукционные показатели летнего фитопланктона
Ладожского озера в период 1976–1978 гг.
(по интегральным показателям для трофогенного слоя 0–10 м)

Район	Хлорофилл „а“, мкг/л		Первичная продукция фитопланктона, мкг С/л в сутки	
	сред- ний	макси- мальный	сред- няя	макси- мальная
Южный				
озерная часть	3.5	5.8	211	345
Волховская губа	4.0	6.4	340	622
губа Петрокрепость	1.4	8.2	123	267
Восточный	1.1	3.8	17	259
Центральный	3.0	6.3	260	1078
Западный	1.3	2.4	88	99
Северный				
озерный	2.6	38.9	133	173
шхерный	3.7	11.0	299	1390
Среднее по озеру	2.5		224	

В планктоне Ладожского озера насчитывается свыше 400 видов, разновидностей и форм водорослей. По числу преобладают диатомовые (*Bacillariophyta*), синезеленые (*Cyanophyta*) и зеленые (*Chlorophyta*) водоросли. К первым двум названным отделам относится большинство массовых форм. Другие систематические отделы представлены менее разнообразно, массовые формы среди них единичны (Петрова, 1968).

С начала 60-х годов произошло значительное общее увеличение верхнего предела численности большинства массовых форм фитопланктона. Так, если в 1956–1962 гг. только 3 вида в период максимального развития достигали численности 1 млн. кл/л, то в 1975–1978 гг. таких видов было 15.

По современным продукционным показателям фитопланктона – суточной первичной продукции и содержанию хлорофилла „а“ – озеро уже может считаться мезотрофным (табл. 10). Максимальные для летнего планктона величины суточной продукции в периоды массового развития синезеленых водорослей (июль–август) приближаются к уровню эвтрофных водоемов, причем они характерны не только для обогащенной фосфором южной части озера, но и для центрального и шхерного районов. Однако самым продуктивным районом по фитопланктону в настоящее время является Волховская губа.

Увеличение продуктивности фитопланктона по мере эвтрофирования озера происходит за счет смены менее продуктивных планктонных комплексов более продуктивными.

В обростаниях (перифитоне), по данным Т.Д. Жаковщиковой, встречено 195 видов, разновидностей и форм водорослей, из них диатомовых, которые доминируют в обростаниях, — 100 (51.3%), синезеленых — 45 (23.1%), зеленых — 44 (22.6%). Массового развития из синезеленых водорослей достигают лишь *Aphanizomenon flos-aquae* (Lyngb.) Bref. и *Phormidium ambiguum* Gom. Все массовые виды зеленых водорослей принадлежат порядку *Ulotrichales* и *Zygnemales*.

Анализируя территориальное распределение группировок перифитона в Ладожском озере, мы видим, что в Волховской губе благодаря наличию значительных по площади и разнообразных по видовому составу зарослей макрофитов отмечается и большое видовое разнообразие водорослей обростания. С.Л. Басова определила, что биомасса группировок в этом районе достигает 160–425 г сырого веса на 1м². Содержание хлорофилла „а“ колеблется в пределах 0.18–5.46 мг/м² субстрата.

В Свирской губе в перифитоне доминируют *Oedogonium* sp., *Tabellaria flocculosa*, *T. fenestrata* и *Pediastrum boryanum*.

Содержание хлорофилла „а“ в этих группировках колеблется от 0.34 до 0.50 мг/м².

На восточном берегу озера песчаные берега, отсутствие макрофитов и прибой не создают благоприятных условий для развития перифитона.

На северо-западном и северном берегах на каменистых субстратах в чистых водах доминирует группировка *Ulotrix zonata*. Биомасса группировки достигает 550–660 г/м² (сырой вес).

В районах крупных населенных пунктов в перифитоне доминируют нитчатки *Mougeotia*, *Zygnema*, *Spirogyra*, *Oedogonium*, а также протококковые и десмидиевые водоросли. В местах сброса сточных вод целлюлозных комбинатов обростания обычно отсутствуют.

Флора высших водных растений Ладожского озера насчитывает 62 вида, из них 26 видов воздушно-водных, 16 видов растений с плавающими листьями и 20 видов погруженных растений, которые образуют 81 ассоциацию. В зарастании господствуют группировки воздушно-водных растений. Тростник (*Phragmites australis* (Trin.) Cav. ex Steud.) образует 14 ассоциаций, хвощ приречный (*Equisetum fluviatile* L.) — 8 ассоциаций, камыш озерный (*Scirpus lacustris* L.) — 4 ассоциации.

По характеру высшей водной растительности Ладожское озеро можно разделить на 3 геоботанических района: шхерный (включая и Валаамский архипелаг), район открытых берегов и район южных губ. Зарастание литорали в различных геоботанических районах характеризуется следующими величинами: шхерный район — 0.75%, район открытых берегов — 0.05%, район южных губ — 2.2%. В целом

Т а б л и ц а 11

Вертикальное распределение численности (тыс. экз./м³) и биомассы (г/м³) зоопланктона в Ладожском озере 12-13 августа 1976 г. (в скобках - номера разрезов)

Глубина, м	5(I)		5(II)		5(III)	
	численность	био-масса	численность	био-масса	численность	био-масса
0-5	111.6	0.62	118.9	1.20	82.2	0.62
5-10	238.2	1.24	16.5	0.43	86.6	0.63
10-25	16.5	0.35	2.0	0.12	6.3	0.32
25-50	7.1	0.40	0.7	0.05	0.8	0.03
50-дно	0.6	0.05	-	-	-	-

заросли макрофитов занимают площадь около 10.5 тыс. га, т.е. около 0.6% площади озера (Распопов, 1968).

Годовая продукция макрофитов, выраженная в органическом угле, составляет около 240 тыс. ц, или 1.32 г/м². Ниже приведены величины продукции макрофитов в различных геоботанических районах (в г С/м²): шхерный - 1.90, открытых берегов - 0.17, южных губ - 5.20. Следует подчеркнуть, что в южном районе создается 77% первичной продукции.

Линеиды создают более 90% органического вещества, а элодеиды, главным образом рдест пронзеннолистный (*Potamogeton perfoliatus* L.), дают 8.6% продукции. Средняя для озера величина воздушно-сухой фитомассы линеидов составляет около 650 г/м², а элодеидов - около 130 г/м².

В хозяйственном отношении высшая водная растительность используется слабо. Трудно ожидать и заметного участия ее в самоочищении Ладожского озера.

В состав зоопланктона Ладожского озера входят обычные для Северо-Запада СССР озерные виды, широко распространенные в водоемах умеренной зоны северного полушария. В Ладожском озере обнаружено 378 видов и подвидов планктонных животных, из них Protozoa - 90 (24%), Rotatoria - 200 (53%), Cladocera - 61 (16%), Copepoda - 27 (7%). Обращает на себя внимание большее разнообразие коловраток (*Rotatoria*), численность которых также довольно высока, а так как одной из массовых форм является крупная *Asplanchna priodonta* Gosse, то доля их в биомассе планктона существенна - от 5 до 27%. Однако основную часть биомассы зоопланктона составляют ракообразные: копеподы - от 35 до 46%, клadoцеры - от 27 до 60% (Деньгина, Соколова, 1968).

Организмы распределяются по вертикали очень неоднородно. Основная часть зоопланктона сосредоточена в наиболее прогретом слое воды - эпилимнионе, где развивается теплолюбивый комплекс.

Менее многочисленные холодолюбивые виды, к которым относятся и ладожские реликты — *Mysis oculata* var. *relicta*, *Limnocalanus macrurus*, *Cyclops strenuus*, сосредоточиваются в гипolimнионе. Общая численность зоопланктона в верхнем 10-метровом слое летом более чем в 10 раз превышает численность организмов в более глубоких слоях (табл. 11).

По обилию зоопланктона Ладожское озеро относится к мезотрофному типу, причем в разных районах численность и величина биомассы зоопланктона варьируют в широком диапазоне.

Наиболее продуктивными по зоопланктону районами являются южный и юго-западный, где биомасса зоопланктона колеблется от 0,5 до 2–3 г/м³, а в отдельных случаях даже до 6 г/м³. Зоопланктон западного и восточного районов беднее. Биомасса его колеблется от 0,3 до 0,6 (2,0) г/м³. В центральном районе биомасса планктона наиболее низкая, в разных слоях воды варьирует от 0,05 до 0,6 г/м³, в поверхностном слое она достигает 1,0 г/м³. В шхерах биомасса зоопланктона в период наблюдений колебалась от 0,07 до 2,5 г/м³.

Изменений в видовом составе ладожского планктона с начала XX столетия не наблюдается. За последние 15 лет немного изменилось соотношение видов и повысилась биомасса, однако пока колебания этих показателей не превышают межгодовых различий, наблюдавшихся ранее.

Как указывалось ранее, растущая биогенная нагрузка на водоем приводит к смене массовых форм фитопланктона и увеличению первичной продукции. Однако зоопланктон способен утилизировать лишь незначительную долю органического вещества фитопланктона. Им потребляется тем меньшая доля образованной фитопланктоном органики, чем дальше зашел процесс эвтрофирования водоема. При этом роль зоопланктона в минерализации фосфора уменьшается.

В Ладожском озере, согласно С.В. Герду (1946), выявлено 408 видов и форм бентических беспозвоночных (по данным Г.А. Стальмаковой (1968), 385 видов и форм). Столь большое видовое богатство зообентоса в этом водоеме определяется в основном разнообразием биотопов литорали, в сублиторали и профундали обитает только 15% видового состава.

Особенно бедна фауна в северной глубоководной части озера (ниже изобаты 50 м). Биомасса бентоса в глубоководном районе варьирует от 0,1 г/м² до нескольких граммов на квадратный метр. Максимальная биомасса создается гаммаридами. На песчаных и заиленных грунтах южной более мелководной части озера отмечена разнообразная по составу фауна олигохет, хирономид, моллюсков и гаммарид. Средняя биомасса бентоса на песках около 2 г/м², на заиленных песках сублиторали — около 6 г/м², максимальные ее значения (в Волховской губе) — 20–28 г/м².

В зообентосе Ладожского озера большую роль играют реликтовые ракообразные: *Pontoporeia affinis*, *Pallasea quadrispinosa*, *Mysis oculata* var. *relicta* и *Mesidothea entomon*, из них массовым видом является *Pontoporeia affinis* — наибо-

Т а б л и ц а 12

Некоторые данные о развитии *Pontoporeia affinis* на станциях с численностью >1 тыс. экз./м²

Номер станции	Глубина, м	Грунт	Численность, экз./м ²	Биомасса, г/м ²
12	26	Заиленный песок	6500	10.0
8 II	26		5080	10.6
10	25		4140	15.34
5 южн.	33	Песок	2480	7.6
6 пит.	30	Ил	1960	5.24
11	32	Заиленный песок	1680	5.24
14	23		1560	10.9
9	17		1240	1.6

лее пластичный вид, встречающийся в широком диапазоне глубин, — от 3 до 200 м, на всех типах грунтов. Максимальные концентрации *P. affinis* наблюдались на илах и заиленных песках на глубинах 17–32 м (табл. 12).

По экологическому составу и продуктивности беспозвоночных на дне Ладожского озера выделяются очаги повышенной активности процесса евтрофирования, например Волховская и Свирская губы, средние численность и биомасса зообентоса в этих районах возросли за последние 10 лет в 2–4 раза.

В ряде районов, где отмечено значительное загрязнение озера стоками городов либо целлюлозных комбинатов, как, например, у г. Питкяранта, Сортавала и Приозерск, происходит не только резкое изменение уровня продуктивности зообентоса, но и смена его видового состава. На загрязненных участках дна близ Приозерска бентос отсутствует. В районе г. Питкяранта отмечены виды, обычные для евтрофного озера, — *Chironomus f.l. plumosus*, *Cryptochironomus gr. conjugens*, *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Chaoborus crystallinus*. Последний вид в списках беспозвоночных Ладожского озера ранее не указывался. У г. Сортавала бентос состоит исключительно из олигохет. В массе развивается один — *Tubifex tubifex*, биомасса которого достигает 19 г/м² (полисапробная зона по Пантле и Буку (Pantle, Buck, 1955)).

Состав и продуктивность фауны в центре глубоководной части озера за последние годы не претерпели существенных изменений. Однако средние данные для каждого типа грунтов на различных глубинах в целом по озеру повысились за счет изменений в бентосе, о которых сказано выше. Биомасса бентоса на сером глинистом иле, по данным Г.А. Стальмаковой (1968), составляла в 60–

годы $0,5 \text{ г/м}^2$, по нашим материалам 1975–1978 гг. биомасса в среднем была $1,2\text{--}1,8 \text{ г/м}^2$, при этом в центральной части озера она варьировала от 0 до $0,65 \text{ г/м}^2$.

Различные районы Ладожского озера сильно отличаются по обилию микроорганизмов в воде (Родина, Кузьмицкая, 1963, 1968). Центральный район озера беден микроорганизмами. Общая численность бактерий (горизонт 0–5 м) в среднем составляет $0,27 (0,22\text{--}0,38)$ млн. кл./мл воды, сапрофитных бактерий, растущих на мясоептонном огаре (МПА), насчитывается единицы и десятки клеток на миллилитр воды (редко сотни), что характерно для олиготрофных водоемов. Северный озерный район по всем бактериальным показателям практически не отличается от центрального. Сравнительно невысокие показатели численности бактерий характерны для восточного района (включая Свирскую губу). Средняя численность микроорганизмов в период наблюдений составляла здесь $0,44 (0,16\text{--}0,94)$ млн. кл./мл, а сапрофитов – $120 (32\text{--}234)$ кл./мл. Остальные районы озера – шхерный, западный и южный – подвержены большому антропогенному влиянию, что отражается на численности микробов.

В шхерном районе вблизи городов Сортавала, Питкяранта и Лахденпохья, а также у расположенных на берегах поселков численность сапрофитных бактерий выражалась сотнями и тысячами и равнялась в среднем $799 (19\text{--}4184)$ кл./мл при общей численности микробов $0,26\text{--}3,18$ млн. кл./мл, что говорит о загрязненности вод в этой части озера.

Западный район находится под влиянием вод, спускаемых Приозерским ЦБК, которые под воздействием циклонального течения распространяются на юг, к губе Петрокрепость. Численность бактерий варьирует здесь в пределах $1,12\text{--}4,36$ млн. кл./мл и резко повышается в зал. Щучьем (до $47,4$ млн. кл./мл) – месте сброса сточных вод Приозерского ЦБК в озеро, причем сточные воды погружаются в толщу вод и на глубине 30 м отмечается численность бактерий, равная $10,6$ млн. кл./мл, не наблюдаемая в других районах озера. Количество сапрофитов, растущих на МПА, колеблется от 71 до 2400 кл./мл (в открытых частях) и возрастает до 14 тыс. (в зал. Щучьем).

Южный район Ладожского озера, в который входят губы Волховская и Петрокрепость, находятся под влиянием рек Волхов и Сясь (Волховская губа) и вод центрального и западного районов (губа Петрокрепость). Численность бактерий в Волховской губе колеблется от 0,15 до $2,56$ млн. кл./мл, в губе Петрокрепость – от 0,22 до $1,04$ млн. кл./мл, а численность сапрофитов соответственно составляет 20–372 и 5–250 кл./мл. В целом по южному району численность бактерий в среднем равна $0,44$ млн. кл./мл, а сапрофитов, растущих на МПА, – $347\text{--}424$ кл./мл.

Оценивая состояние бактериопланктона Ладожского озера в целом, можно отметить, что вода в его центральной части сохранила черты олиготрофии, однако в ряде районов, судя по микробиологическим показателям, наблюдается более высокий уровень трофии и значительное загрязнение озера (табл. 13). Анализ показывает, что числен-

Т а б л и ц а 13

Сравнительная характеристика микробиологических показателей
(числитель - пределы колебаний, знаменатель - среднее значение)

Район	1960-1962 гг.		1975-1979 гг.	
	общее количество, млн кл./л	на МПА, кл./мл	общее количество, млн кл./л	на МПА, кл./мл
Южный	$\frac{0,06-0,30}{0,17}$	$\frac{4-53}{14}$	$\frac{0,14-2,56}{0,44}$	$\frac{10-3720}{385}$
Восточный	$\frac{0,07-0,45}{0,22}$	$\frac{1-40}{14}$	$\frac{0,16-0,94}{0,44}$	$\frac{6-234}{88}$
Центральный	$\frac{0,06-0,29}{0,16}$	$\frac{2-890}{62}$	$\frac{0,22-0,38}{0,27}$	$\frac{5-552}{82}$
Западный	$\frac{0,14-0,95}{0,38}$	$\frac{1-4985}{378}$	$\frac{0,35-10,56}{1,70}$	$\frac{22-2400}{455}$
Северный шхерный	-	-	$\frac{0,26-3,18}{1,13}$	$\frac{19-4184}{568}$
озерный	-	-	-	$\frac{1-220}{57}$

ность бактерий с 1960-1962 по 1975-1979 гг. во всех районах озера: в среднем возросла в 1,5-2 раза, а в западном районе - почти в 5 раз.

Общее количество бактерий в самом поверхностном слое донных отложений колеблется от 314 ± 50 до 1963 ± 392 млн. кл./г сырого грунта. В распределении бактерий в грунтах существует тенденция увеличения их общей численности и численности сапрофитов с юга на север. Такое распределение бактерий находится в тесной связи с механическим составом донных отложений и с содержанием в них органического вещества.

В южной части озера и вдоль восточного берега в песках и крупноалевритовых илах отмечена наиболее низкая для озера концентрация бактерий - от 314 ± 50 до 628 ± 88 млн. кл./г сырого грунта. В центральном районе количество бактерий в поверхностном слое донных отложений повышается до 785 ± 100 - 1648 ± 330 млн. кл./г. Самая высокая концентрация бактерий отмечена в зоне максимальных глубин у о-ва Валаам в буром иллке.

Распределение сапрофитов, растущих на МПА, в общих чертах повторяет распределение общей численности бактерий. Их концентрация изменяется от 100 до 10 млн. кл./г сырых осадков, причем

максимальная концентрация отмечена в центральной части озера. Повышена численность сапрофитов также в районе городов Сортавала (4,5 млн. кл./г), Приозерск (1,2–7,9 млн. кл./г), к юго-западу от о-ва Валаам (2,6 и 3,2 млн. кл./г) и к северу от устья р. Свирь (2,3 и 3,3 млн. кл./г).

Биомасса бактерий колеблется от $0,142 \pm 0,021$ до $1,66 \pm 0,27$ мг/г сырых осадков. Наибольшие величины биомассы соответствуют району повышенной численности микроорганизмов.

Сравнивая данные о численности бактерий в поверхностном слое донных отложений за 1960–1961 и 1978 гг., следует отметить, что за 18 лет существенных изменений в численности бактериобентоса не произошло, хотя предел численности повысился с 57 до 314 ± 50 млн. кл./г. Особо обращает на себя внимание загрязнение вод в районе г. Приозерска, где общая численность бактерий возросла в 4 раза (с 322 до 1727 ± 215 млн. кл./г), а сапрофитов – с 48 тыс. кл./г до $7,9 \pm 1,1$ млн. кл./г.

В заключение сравним показатели общей численности микроорганизмов в поверхностном слое донных отложений в больших озерах СССР (в млн. кл./г): Ладожское – 314–1962,5, Онежское – 50–1070,0, Байкал – 20,1–967,5. Ладожское озеро имеет самую высокую численность бактерий, что является следствием интенсивного антропогенного воздействия.

Ихтиофауна

Ихтиофауна Ладожского озера представлена 46 видами рыб. По природным условиям это лососево-сиговый водоем. Однако в настоящее время наиболее многочисленными, имеющими промысловое значение, являются сиги (лудога, ладожский, озерный, черный), корюшка, ряпушка, рипус, судак, окунь, плотва, ерш, налим. Численность же лососевых (лосось, форель, палия) крайне низка. Лосось попадает в уловах, но промышленный лов его прекращен (Титенков, 1968).

Подавляющее большинство рыб Ладожского озера являются озерными и озерно-речными формами и только некоторые совершают сезонные миграции из Балтийского моря.

Попытки вселения (с целью акклиматизации) в Ладогу байкальского и ленского осетров, пеляди, сазана и байкальского омуля следует признать неудачными.

Промысловые уловы за последние 20 лет колебались от 19 (1956 г.) до 64 (1974 г.) тыс. ц. Многолетние данные по общим уловам и их видовому составу приведены в табл. 14 и 15.

Ладожское озеро является также излюбленным водоемом любительского рыболовства. По данным ГосНИОРХа и Севзапрыхвода, годовой улов любителей ориентировочно оценивается в 20 тыс. ц. Основными объектами этого вида рыболовства являются окунь, плотва, щука, лещ.

Т а б л и ц а 14

Динамика промысловых уловов (тыс. ц) рыб Ладожского озера

Год	Улов	Год	Улов	Год	Улов	Год	Улов
1960	24,9	1966	28,7	1972	54,2	1978	59,3
1961	25,9	1967	38,9	1973	52,9	1979	62,8
1962	24,5	1968	41,0	1974	63,9		
1963	21,1	1969	36,0	1975	56,7		
1964	29,0	1970	42,1	1976	49,1		
1965	34,2	1971	47,8	1977	49,0		

Рыбопродукция Ладожского озера, рассчитанная по величине промысловых уловов, составляет 6,6 кг/га, а с учетом любительского рыболовства - 9 кг/га.

По характеру питания наибольшее значение в ихтиофауне Ладожского озера имеют планктофаги - 66%, бентофаги составляют 21% и хищники - 13%.

Расчет ихтиомассы и прогноз возможного вылова промысловых видов рыб Ладожского озера проводится ГосНИОРХом по методу П.В. Тюрина. Фактические данные о величине промыслового запаса отдельных видов приведены в табл. 16.

Для сохранения оптимального состава ихтиофауны на Ладоге осуществляется регулирование промышленного рыболовства путем установления промысловой меры на рыб, лимитирования вылова ценных промысловых видов - сига и судака, ограничения их промысла в нерестовый сезон, а также путем биологической мелиорации - активного отлова так называемых сорных рыб: ерша, окуня и др. Определенное значение имеет и техническая мелиорация, проводимая на Ладожском озере, - расчистка подходов к нерестилищам, выкос растительности.

В результате указанных мероприятий по регулированию рыболовства в настоящее время уровень продуцируемой ихтиомассы позволяет поддерживать на Ладоге достаточно высокие и стабильные уловы. Однако в последние годы резко упали запасы и уловы лососевых (лосось, форель) и проходных сига (волховского, свирского и вуоксинского). Это связано с нарушением условий их воспроизводства в реках в связи с постройкой плотин Волховской и Свирской ГЭС и с неуклонным ростом промышленно-бытовых стоков и стоков животноводческих комплексов. Кроме того, запасы лосося были подорваны в 1951-1956 гг. в результате их чрезмерной промышленной эксплуатации.

С 1961 г. промысловый лов ладожского лосося запрещен. Его отлов разрешается только для целей рыбоводства в нерестовый период и для научных исследований в самом озере. Проходные сиги практически также исчезли из уловов. По данным ГосНИОРХа, потери, которые понесло рыбное хозяйство Ладожского озера в связи

Т а б л и ц а 15

Видовой состав уловов (тыс. ц) Ладожского озера по данным 1977 и 1978 гг.

Вид	1977 г.	1978 г.
Лосось	0.06	0.05
Сиги	5.7	6.0
Ряпушка, рипус	8.7	9.9
Корюшка	13.0	20.3
Судак	7.7	8.8
Лещ	1.8	2.3
Щука, налим	1.2	1.5
Прочие виды	10.84	10.45
И т о г о	49.0	59.3

Т а б л и ц а 16

Промысловый запас рыб (тыс. ц) Ладожского озера

Вид	Промысловый запас	Возможное изъятие при современной базе лова	Возможный вылов
Сиги	16.6	6.2	6.2
Судак	17.3	8.6	8.6
Корюшка	65.3	16.0	49.0
Рипус	7.5	3.0	3.0
Ряпушка	26.5	7.5	18.0
Лещ	10.0	2.6	7.0
Налим	8.0	1.0	4.0
Щука	5.8	1.6	3.0
Плотва	20.4	6.0	15.0
Окунь	27.0	8.0	20.0
Ерш	8.0	2.3	6.0
И т о г о	212.4	62.8	139.8

с подрывом запасов лососевых, составляют 2.8 тыс. ц в год, а проходных сегов - 5 тыс. ц в год. К 1978 г. общий ущерб товарной продукции по этим видам достиг 252 тыс. ц. Для увеличения численности лососевых и сеговых видов рыб ежегодно в Ладожское озеро выпускается молодь этих рыб.

Инкубация икры лососевых и подращивание лосося до покнатного состояния осуществляются на Свирском, Невском и Нарвском рыбо-

водных заводах. По данным 1975 г., на них было выращено и выпущено в естественные водоемы области около 200 тыс. годовиков покатного лосося, 150 тыс. двухлеток и около 7 тыс. двухгодовиков.

На Свирском заводе выращивается озерная форель, которая выпускается в притоки Ладоги. Посадочный материал составляет около 30 тыс. двухлеток.

Сеголетки сиговых выращиваются на Волховском рыбозаводе, на Новолодожском и Невском рыбокомбинатах. Продукция этих комбинатов (по данным 1975 г.) составила 4.7 млн. сеголеток волховского сига, сига-лудоги, пеляди и др. Часть молоди выращивается до товарной навески.

1.2. Возможные изменения природных ресурсов

Водные ресурсы

Для оценки изменения водного баланса Ладожского озера в 2000 г. был проведен анализ многолетних рядов гидрологических и гидрометеорологических наблюдений, отражающих циклические колебания общей увлажненности территории. Выделенные из интегральной кривой модулей годового стока р. Невы (дер. Новосаратовская) за период 1899-1978 гг. три внутривековых цикла имеют продолжительность от 24 до 30 лет, а фазы водности - от 7 до 18 лет.

Как показывают средние данные, наибольший приток в озеро наблюдался в многоводную фазу 1899-1906 гг. и достигал 93.0 км^3 в год (табл. 17). В многоводные фазы последующих циклов имело место сокращение притока речных вод в озеро. В 1923-1936 гг. приток, снизившись на 12% по сравнению с предыдущей многоводной фазой, составил 82.1 км^3 , а в 1958-1959 гг. - 80.9 км^3 , т.е. сократился всего на 1,5%. Подобное явление наблюдалось и в режиме стока из озера. Сток в 1923-1936 гг. был на 11% меньше, чем в многоводную фазу 1899-1906 гг. предыдущего цикла, и равен стоку из озера в аналогичную фазу последующего цикла.

Наступление маловодных фаз в режиме озера характеризуется снижением притока и стока воды в среднем на 20-25% по сравнению с многоводными фазами. Наиболее маловодной была фаза 1937-1952 гг., когда средний приток в озеро составил 62.0 км^3 в год. К этому периоду относится минимальное значение притока, равное 42.6 км^3 в год (1940 г.). В современную маловодную фазу, являющуюся наиболее продолжительной, средний приток в озеро составил 67.0 км^3 в год. Минимальный приток наблюдался в 1973 г. - 47.9 км^3 в год. На фоне маловодной фазы выделился 1962 г. с максимальным притоком в озеро, равным 99.6 км^3 в год.

Изменения притока и стока из озера по фазам различной водности хорошо проявляются в ходе уровня, представляющем результат взаимодействия элементов водного баланса озера (табл. 17).

Т а б л и ц а 17

Характеристика фаз водности

	Многовод- ная фаза 1899- 1906 гг.	Маловод- ная фаза 1907- 1922 гг.	Цикл 1899- 1922 гг.	Многовод- ная фаза 1923- 1936 гг.	Маловод- ная фаза 1937- 1952 гг.	Цикл 1923- 1952 гг.	Многовод- ная фаза 1953- 1959 гг.	Маловод- ная фаза 1960- 1978 гг.	Цикл 1953- 1978 гг.
Продолжитель- ность фаз и циклов	8	16	24	14	16	30	7	19	26
Модульный коэффициент стока р. Невы	1.20	0.92	1.01	1.10	0.85	0.97	1.10	0.91	0.96
Приток в озеро, км ³	93.0	68.6	76.7	82.1	62.0	71.4	80.9	67.0	70.7
Сток, км ³	97.2	71.7	80.2	86.8	66.1	75.7	86.8	71.3	75.5
Осадки, км ³	10.31	9.49	9.76	10.45	10.32	10.38	11.22	11.66	11.55
Испарение, км ³	6.17	6.26	6.23	6.33	6.03	6.17	6.45	6.93	6.80
Уровень озера, см Б.С.	566	479	508	518	427	469	509	447	464

В изменениях среднего притока и стока по циклам отмечается незначительная тенденция к снижению этих элементов водного баланса. Приток изменялся с 76.7 км^3 в цикл 1899–1922 гг. до 70.7 км^3 в цикл 1953–1978 гг., сток соответственно – с 80.2 до 75.7 км^3 в год. Однако разница в этих элементах за два последних цикла не превышала 1%. Учитывая продолжительность циклов и фаз внутривековых колебаний увлажненности Ладожского бассейна, можно считать, что в середине 80-х годов произойдет переход от современной маловодной к многоводной фазе очередного цикла, которая продлится, вероятно, до середины 90-х годов. В таком случае 2000 г. придется на следующую маловодную фазу, характеристики водности которой можно принять близкими к современной фазе.

Качество воды

Для предсказания изменения качества воды Ладожского озера к 2000 г. основные гидрохимические показатели были разбиты на три группы.

Первая группа – консервативные компоненты, на которые практически не влияют внутриводоемные процессы, а небольшие изменения их концентрации под влиянием антропогенного воздействия не оказывают какого-либо влияния на качественные характеристики воды озера. К этим показателям относится ионный состав воды.

За последние 10 лет намечается тенденция к повышению электропроводности, а следовательно, и минерализации воды озера, что связано, по всей вероятности, с поступлением в озеро стоков промышленных предприятий. Балансовые расчеты показали, что в целом за рассматриваемый период – при различных внутривековых колебаниях водного баланса – минерализация воды не должна увеличиться более чем на 10% по сравнению с современным уровнем, что для Ладожского озера не имеет существенного экологического значения.

Вторая группа компонентов, напротив, очень тесно связана с жизнью озера и определяется в первую очередь процессами, происходящими в нем. При прогнозировании режима этих показателей можно наметить лишь тенденцию их изменения. К ним относятся кислородный режим водоема, величина рН, содержание в озере органического вещества.

К третьей группе относятся биогенные компоненты, поступающие с водосборного бассейна озера. Как показывает опыт, для большинства озер наибольшую опасность в современных условиях представляет процесс антропогенного эвтрофирования, связанный с обогащением озерных вод фосфором и азотом. Особого внимания заслуживает фосфор – важнейший биогенный элемент, лимитирующий развитие фитопланктона в водоемах.

Круглогодичные наблюдения на притоках Ладожского озера и его акватории в 1975–1979 гг. позволили составить современный баланс фосфора, который послужил основой для дальнейших прогностических расчетов (табл. 18). Всего в Ладожское озеро в настоящее время

Баланс фосфора Ладожского озера

Составляющие баланса	Средняя концентрация $P_{\text{общ}}$, мкг/л	Годовой сток $P_{\text{общ}}$, т	Процент от прихода и расхода
П р и х о д			
Волхов	230	3894	57.0
Вуокса	36	704	10.3
Свирь	25	521	7.6
Остальные реки	65	915	13.4
Атмосферные осадки	32	370	5.4
Приозерский ЦБК	} 2670	427	6.3
Сясьский ЦБК			
Питкярантский ЦБК			
		6831	100
Р а с х о д			
Нева	27	2030	30
Аккумуляция в озере		4793	70

поступает около 6800 т фосфора в год, 3590 т (52%) составляет минеральный фосфор. Основными поставщиками фосфора в озеро являются реки, дающие 6034 т фосфора в год (88,3% от общего прихода), 57% от общего поступления приходится на р. Волхов, с водами р. Свири озеро получает всего 7,6% фосфора. На долю атмосферных осадков приходится 5,4% фосфора, поступающего в озеро. Вынос фосфора из озера водами р. Невы равен 2030 т. В результате процессов внутреннего кругооборота в озере происходит аккумуляция фосфора. В среднем за год в озере задерживается 70% поступающего в него фосфора. Среднегодовая величина поступления фосфора на единицу площади (фосфорная нагрузка - L) для Ладожского озера в настоящее время равна $0,39 \text{ г/м}^2$ в год.

Хотя прямой расчет фосфорной нагрузки методом химического баланса бесспорно является наиболее репрезентативным, однако учет поступления фосфора со стоком рек дает интегральную характеристику водосбора и не выделяет антропогенную составляющую в общем приходе. Для оценки развития озера в будущем необходимо количественно оценить вклад отдельных хозяйственных отраслей в общую сумму поступления фосфора в озеро (табл. 19).

Для оценки выноса фосфора, поступающего с городскими и сельскими стоками, а также с поверхностным смывом с городских территорий, приняты коэффициенты, предложенные Гидрохимическим институтом.

Т а б л и ц а 19

Поступление общего фосфора в Ладожское озеро за год из разных источников в современный период и к 2000 г.

Источник поступления	1975 г.		2000 г.	
	сумма выноса, т	% от суммы	сумма выноса, т	% от суммы
Население*	870	13.2	1680	21.0
Промышленность (исключая ВАЗ)	660	10.0	710	8.8
Волховский алюминиевый завод (ВАЗ)	2000	30.5	2000	25.0
Сельское хозяйство**	125	2.0	205	2.6
Неосвоенные территории	1170	17.8	1170	14.6
Поступления из оз. Ильмень***	1190	18.1	1500	18.8
Поступления из Онежского*** озера	210	3.2	370	4.6
Атмосферные осадки	340	5.2	370	4.6
Сумма	6565	100	8005	100

* Включая смыв $P_{\text{общ}}$ с городских территорий.

** При расчетах предполагалось соблюдение оптимальной технологии.

*** Вынос $P_{\text{общ}}$ с водосборов рассчитан отдельно.

При оценке выноса фосфора с удобряемых сельскохозяйственных территорий и животноводческих ферм использовались коэффициенты, предложенные Фолленвейдером, которые, как и коэффициенты выноса фосфора с неосвоенных земель, приведены в работе Г.С. Шилькрот (1975). Данные о содержании фосфора в сточных водах некоторых крупных предприятий, а также в атмосферных осадках получены из непосредственных наблюдений.

Все эти материалы позволили рассчитать вынос фосфора с водосбора Ладожского озера от различных источников. Для водосбора озер Онежского и Ильмень сделан отдельный расчет по той же методике, и сумма поступлений с учетом потерь в самих озерах отнесена к истокам Свири и Волхова.

Вынос фосфора в озеро от различных источников в современный период, полученный в результате косвенного расчета, равен 6600 т, что на 5% меньше, чем приходная часть баланса фосфора, полученная по прямым наблюдениям (табл. 19).

Т а б л и ц а 20

Расчет изменения содержания фосфора и первичной продукции фитопланктона в Ладожском озере к 2000 г. (выполнен Б.Л. Гусаковым)

Показатели	Современное состояние	К 2000 г.
Поступление общего фосфора в озеро, т/год	6900	8000
Фосфорная нагрузка, г/м ² /год		
реальная	0,39	0,45
критическая	0,44	0,44
Средняя концентрация общего фосфора в воде озера, мкг/л	27	31
Среднее содержание хлорофилла "а" в летнем планктоне, мкг/л	2,5	3,1
Средняя первичная продукция летнего планктона, мкг С/л/сут	224	279
Средняя первичная продукция трофогенного слоя, г С/м ²	2,2	2,8
Средний прирост первичной продукции фитопланктона, % от соврем.	100	124
Среднее количество кислорода, необходимое для окисления органического вещества фитопланктона, г О ₂ /м ² /сут	5,9	7,5

Хорошая сходимость прямого и косвенного методов расчета поступления фосфора в озеро позволила на основе перспективного плана экономического развития региона рассчитать поступление фосфора в Ладожское озеро к 2000 г.

Значительным антропогенным источником поступлений фосфора в озеро являются хозяйственно-бытовые стоки населенных пунктов, в первую очередь городов (13%). Вынос фосфора с сельскохозяйственных площадей в общей сумме поступлений невелик – около 2%.

Около 18% от общей суммы поступлений фосфора приходится на неосвоенные территории. Это означает, что хозяйственная деятельность на водосборе Ладожского озера в настоящее время приблизительно в 5 раз увеличивает поступление фосфора, хотя освоенность бассейна составляет всего около 12%.

К 2000 г. общая сумма поступлений фосфора возрастет более чем на 1000 т, причем основная доля прироста произойдет за счет численности городского населения. Вынос фосфора с хозяйственно-бытовыми стоками увеличивается на 800 т в год, а доля его в общей сумме возрастает до 21%.

Увеличится к 2000 г. поступление фосфора в Ладогу из озер Онежского и Ильмень, что также связано с ростом городского населения на их водосборах.

Следовательно, основное количество поступающего в озеро фосфора в настоящее время и в будущем приходится на промышленные и хозяйственно-бытовые стоки городов. Эти точечные источники сброса позволяют, во-первых, контролировать содержание в них фосфора, а, во-вторых, при введении дополнительной очистки освободить эти стоки от фосфора.

В настоящее время Ладожское озеро по уровню продуктивности оценивается как мезотрофный водоем. По графику связи между фосфорной нагрузкой и продуктивностью водоема с учетом средней глубины и водообмена (Vollenweider, 1975) интервал величин фосфорной нагрузки, при которой озеро остается на уровне мезотрофии, лежит в пределах $0.20-0.44 \text{ г/м}^2$ в год. При фосфорной нагрузке выше 0.44 г/м^2 в год (эта величина называется критической фосфорной нагрузкой) можно ожидать перехода озера к эвтрофному состоянию.

Фосфорная нагрузка на Ладожское озеро в современный период составляет 0.39 г/м^2 в год (по косвенному расчету - 0.37 г/м^2 в год). К 2000 г. развитие хозяйственной деятельности в бассейне Ладожского озера приведет к тому, что фосфорная нагрузка достигнет величины 0.45 г/м^2 в год (табл. 20), т.е. превысит критическое значение, и озеро окажется под угрозой перехода к эвтрофному состоянию.

Для Ладожского озера среднегодовая концентрация общего фосфора, рассчитанная косвенным методом, равна 26 мкг/л ; рассчитанная по фактическим данным, как средневзвешенная по объему за трехлетний период наблюдений на озере, она составила 27 мкг/л . Сходимость результатов делает правомочным расчет среднегодовой концентрации фосфора в озере на перспективу. Исходя из величины фосфорной нагрузки, можно принять, что среднегодовая концентрация общего фосфора в озере к 2000 г. достигнет 31 мкг/л (табл. 20). В маловодный период среднегодовая концентрация общего фосфора в озере возрастет до 33 мг/л , в многоводный - вследствие ускорения водообмена - снизится до 28 мг/л .

Возможное изменение водного баланса озера повлечет за собой изменение баланса фосфора и его концентраций в озерной воде.

Основным источником поступления фосфора в озеро, как указано выше, является р. Волхов. Поэтому уменьшение по той или иной причине приходной части водного баланса озера и относительное увеличение в ней доли р. Волхова вызовет увеличение концентрации фосфора в воде озера. Особенно это относится к случаю уменьшения стока р. Свири. Дальнейшее увеличение концентрации фосфора в воде Ладожского озера повлечет за собой интенсификацию фотосинтетической активности фитопланктона.

Биоресурсы

Расчет первичной продукции водоема в соответствии с содержанием в его воде общего фосфора был предложен Диллоном и Риглером, опиравшимися на полученные ранее данные Сакамото.

Показателем первичной продукции планктона считается средне-летнее содержание хлорофилла „а“, соотносимое с весенней или среднегодовой концентрацией общего фосфора в воде озера.

Среднее содержание хлорофилла „а“ в период развития летних планктонных комплексов водорослей в Ладоге составляло в период 1976–1978 гг. 2,5 мкг/л. В соответствии с изменением концентрации фосфора к 2000 г. содержание хлорофилла „а“ должно возрасти до 3,1 мкг/л при сохранении гидрологического режима водоема и до 4,0 мкг/л – при максимальном варианте искусственного изменен- ний водного баланса.

Сопоставление наблюдавшихся в озере соотношений между интен- сивностью фотосинтеза и содержанием в планктоне хлорофилла „а“ позволило определить среднюю фотосинтетическую активность едини- цы хлорофилла „а“, так называемое суточное ассимиляционное число (САЧ).

Для летнего планктона Ладоги в среднем по озеру первичная продукция в 1976–1978 гг. составляла 224 мкг С/л в сутки, при этом САЧ оказалось равным 90.

Допуская, что прирост продукции фитопланктона будет соответ- ствовать возросшей концентрации фосфора, можно рассчитать, что к 2000 г. он составит 124% современного. При изменении гидроло- гического режима водоема, связанного с объемом стока р. Свири, и более высоких в связи с этим концентрациях фосфора эвтрофиро- вание пойдет примерно вдвое быстрее, и в экстремальном варианте первичная продукция превысит современный уровень по средним ве- личинам на 60%. Это значит, что в озере будет создаваться все большее количество автохтонного органического вещества, процесс окисления которого потребует значительных затрат кислорода.

Рост продукции и интенсификация фотосинтетической деятельно- сти фитопланктона приведет к увеличению относительного содержания кислорода в летний период в трофогенном слое до 130% и более, при этом величина рН в верхних горизонтах воды по всему озеру периодически может достигать значений 8,9–9,0. В то же время в слое гипolimниона при возрастающем потреблении кислорода на раз- ложение и минерализацию органического вещества содержание кис- лорода может заметно снизиться, а в наиболее продуктивных райо- нах (Волховская губа, северные шхеры) это может привести к де- фициту кислорода в придонных слоях в летний период и к значитель- ному снижению его концентраций в зимний период.

Под воздействием процесса антропогенного эвтрофирования озера следует ожидать обеднения видового разнообразия перифитона, так как постепенно будут исчезать олигосапробы. Интенсивное развитие в перифитоне видов *Cladophora*, обычных представителей эвтро- фированных вод, будет сдерживаться динамикой вод и их низкой температурой, ибо установлено, что оптимальные для развития кла- дофоры условия лежат в диапазоне 15–30°.

Из-за динамики водных масс и подвижности песчаных грунтов группировки перифитона вдоль восточного берега будут по-прежнему отсутствовать. В хорошо прогреваемых заливах шхерного района и

в губах южного берега следует ожидать наибольших изменений в развитии перифитона. Более интенсивно будут развиваться комплексы из синезеленых, зеленых нитчатых и протококковых водорослей (виды родов *Cladophora*, *Spirogyra*, *Oedogonium*, виды *Aphanizomenon flos-aquae*, *Gloeotrichia piscum* и др.). Увеличится и биомасса группировок обрастаний. Снижение уровня воды озера – в связи с тем что конец нынешнего столетия падает на маловодную фазу – вызовет перемещение существующих ныне границ распространения перифитона в сторону открытой части водоема.

Высшая водная растительность, не играющая в настоящее время существенной роли в продукционных процессах, протекающих в озере, вряд ли подвергнется существенным преобразованиям к 2000 г. Следует ожидать лишь некоторого повышения биомассы макрофитов в южных губах озера и в шхерном районе.

По мере увеличения продукции фитопланктона часть ее, потребляемая зоопланктоном, будет уменьшаться несмотря на увеличение биомассы планктонных животных. Таким образом, все меньшей будет доля „полезной“ первичной продукции, вовлекаемой в пищевую цепь водоема. Как было показано при характеристике уже происшедших под влиянием эвтрофирования озера изменений фитопланктона, увеличение первичной продукции идет за счет смены состава массовых форм в летний период, чаще всего в результате возрастающей роли синезеленых водорослей. Таким образом, летнее массовое развитие синезеленых водорослей будет для Ладоги постоянным явлением, и в штилевую погоду они могут вытеснить все остальные группы водорослей.

Биомасса зоопланктона по мере увеличения трофии озера будет расти, а состав планктонных животных меняться. Однако прогнозировать скорость перестройки зоопланктона в настоящее время невозможно.

В сообществах зообентоса процесс антропогенного эвтрофирования и увеличивающееся загрязнение озера, сопровождающиеся все возрастающим дефицитом кислорода у дна и расширением уже существующих локальных заморных зон, приведут к постепенной гибели оксифильных организмов и к замене их беспозвоночными-убиквистами на все больших площадях. В число оксифильных организмов входят крупные реликтовые ракообразные, составляющие основу кормовой базы рыб. Перестройка бентофауны причинит, таким образом, значительный ущерб рыбному хозяйству озера.

Рыбное хозяйство

Перспективы развития рыбного хозяйства на Ладожском озере до 2000 г. зависят от ряда биотических и абиотических факторов, а также от стратегии в отношении выбора оптимального пути развития рыбного хозяйства этого озера при сохранении его в естественном состоянии и при возможном изменении его водного баланса.

Т а б л и ц а 21

Возможные уловы на озере к 2000 г. (тыс. ц)

Вид рыбы	Вылов	
	общий	от рыбоводческих мероприятий
Лосось	7.0	7.0
Сиги	23.0	16.0
Ряпушка	12.0	-
Корюшка	14.0	-
Крупный частик	10.0	-
Мелкий частик	21.0	-
И т о г о	87.0	23.0

При сохранении Ладожского озера в естественном состоянии промысловый запас рыб к 2000 г. (до середины 90-х годов) будет формироваться в период повышенной увлажненности и уменьшения величины приходящей солнечной радиации. Это позволяет предположить, что величина продуцируемой ихтиомассы к 2000 г. не должна значительно уменьшиться по сравнению с современным периодом. По данным Г.В. Федоровой (ГосНИОРХ), к 2000 г. при определенной реорганизации промысла и наращивании производственной базы рыбоводящих организаций возможно увеличение уловов на Ладожском озере до 122 тыс. ц. Однако при определении наиболее рационального направления развития рыбного хозяйства на Ладожском озере на период до 2000 г., по данным ГосНИОРХа, необходима система акклиматизационных и рыбоводно-мелиоративных мероприятий, направленных на развитие Ладожского озера как лососево-сигового водоема.

Биопродукционные возможности озера позволят создать ихтиомассу лососевых и сиговых, которая поможет довести промысловое изъятие лососей до 7 тыс. ц, а сиговых - до 23 тыс. ц (в том числе за счет искусственного воспроизводства - до 16 тыс. ц). Для этого необходимо восстановление естественных условий воспроизводства и нагула этих видов, а также расширение масштабов их искусственного заводского воспроизводства. Разработаны рекомендации по реконструкции существующих (Свирский и Волховский) и строительству новых (на Паше и Ояти) рыбоводных заводов в соответствии с современной биотехникой лососеводства и сиговодства. Мощность лососевых заводов должна быть доведена до 1,7 млн. пократной молодежи. Для получения промыслового возраста только 6 тыс. ц волховского сига необходимо выращивание 1,5 млн. сеголетков весом 20 г.

Осуществление разработанной ГосНИОРХом схемы указанных мероприятий позволит получить к 2000 г. уловы на Ладожском озере в размере 87 тыс. ц (табл. 21).

В условиях же роста хозяйственной деятельности на водосборе Ладожского озера и намечаемых изменений в водном балансе озера к 2000 г. перспективы развития рыбного хозяйства на этом водоеме изменятся и оно понесет значительные убытки.

Как было показано выше, под влиянием антропогенных факторов уже в настоящее время Ладожское озеро может быть с достаточным основанием отнесено к мезотрофным водоемам: увеличился приток биогенов, наблюдается снижение прозрачности воды и увеличение продукции начальных звеньев трофической цепи. На этом этапе эвтрофикация пока положительно сказывается на приросте ихтиомассы рыб Ладоги, в том числе и на сиговых, поскольку в мезотрофных водоемах ухудшаются условия воспроизводства реофильных рыб, но улучшаются условия нагула, роста и созревания. Однако к 2000 г., если темп эвтрофирования Ладоги возрастет, создастся реальная угроза превращения озера в эвтрофный водоем.

Увеличение первичной продукции Ладожского озера ожидается за счет смены состава массовых форм в летнем планктоне в результате возрастающей роли синезеленых водорослей. По данным ГосНИОРХа, только перестройка пищевой цепи на этом уровне приведет к снижению уловов рыб планктофагов на 3 тыс. ц в год.

Численность озерных сигов также может значительно сократиться, так как нарушатся условия их воспроизводства в связи с усилением процесса образования детрита и заиления грунтов. Ухудшатся условия размножения и обитания всех рыб в зоне гиполимниона в связи с ожидаемым развитием дефицита кислорода и расширением заморных зон. Только за счет уменьшения ихтиомассы озерных сигов рыбная промышленность ежегодно может терять 6 тыс. ц. При переходе Ладожского озера в эвтрофный водоем численность сиговых сможет поддерживаться на прежнем уровне только за счет их интенсивного искусственного воспроизводства, а это потребует огромных капитальных вложений.

Природные условия, ожидаемые на озере к 2000 г. в связи с ростом эвтрофирования водоема, будут способствовать постепенному переходу южной и юго-восточной его частей от сигово-корюшкового водоема к корюшко-карпово-окуневому. А общий ущерб, который понесет в связи с этим рыбное хозяйство Ладожского озера, будет составлять ежегодно около 15-17 тыс. ц ценных видов рыб.

1.3. Выводы и предложения

1. Ладожское озеро имеет и будет иметь в будущем громадное значение как основной источник водоснабжения г. Ленинграда. Озеро является важной водной транспортной магистралью, входящей в состав Волго-Балтийского и Беломорско-Балтийского путей, общий

объем грузовых и пассажирских перевозок которой ежегодно возрастает.

2. Ладожское озеро – ценный рыбохозяйственный объект, в котором обитает 46 видов рыб, где годовой улов достигает 60 тыс. ц (1979 г.) и в значительной степени представлен озерными сигадами, корюшкой, ряпушкой, судаком.

3. Воды Ладожского озера загрязняются промышленными, транспортными и коммунально-бытовыми сточными водами, количество которых достигает 2 млн. м³ в сутки.

4. Большую опасность для качества воды представляет антропогенное эвтрофирование, связанное с обогащением воды биогенными элементами, и в первую очередь фосфором. Концентрация общего фосфора за 15 лет (1965–1980 гг.) выросла в среднем с 6–7 до 27 мкг/л. Учет роста населения, сельского хозяйства и промышленности позволяет считать, что к 2000 г. концентрация общего фосфора в озере достигнет 31 мкгР/л.

5. К 2000 г. можно ожидать увеличения первичной продукции фитопланктона по сравнению с современной (2,2 гС/м² в сутки) на 24%. Увеличение первичной продукции пойдет за счет смены видового состава массовых форм водорослей и возрастания роли сине-зеленых. С 1978 г. в озере наблюдается интенсивное „цветение“ водорослей, которое при дальнейшем развитии эвтрофирования ухудшит качество воды.

6. Для предотвращения вредных последствий антропогенного эвтрофирования необходимо изъятие общего фосфора, поступающего в Ладожское озеро в количестве не менее 2,5 тыс. т в год, что примерно соответствует поступлению фосфора со сточными водами Волховского алюминиевого завода.

7. Необходимо осуществление системы акклиматизационных и рыбоводно-мелиоративных мероприятий, направленных на развитие Ладожского озера как лососево-сигового водоема. Мощность лососевых заводов должна быть доведена до 1,7 млн. покотной молоди в год, а мощность сиговых – до 16 млн. сеголеток.

8. Сохранение природных ресурсов Ладожского озера, так же как и других озер СССР, требует одновременной реализации широкого комплекса мероприятий, утвержденных в постановлениях партии и правительства в области охраны природы, а именно:

- полного прекращения сброса неочищенных сточных вод (промышленных, коммунальных, сельскохозяйственных) непосредственно в озеро и в пределах водосборного бассейна;

- строгого государственного контроля за составом сточных вод с целью соблюдения норм ПДК загрязняющих веществ для рыбохозяйственных водоемов;

- совершенствования методов очистки сточных вод от загрязняющих веществ; особое внимание должно быть направлено на удаление соединений фосфора из промышленно-бытовых и сельскохозяйственных стоков для предотвращения антропогенного эвтрофирования озера;

- максимально возможного развития систем обратного водоснабжения;
- решения проблемы утилизации отходов и централизованной очистки сточных вод с животноводческих комплексов промышленного типа в государственном масштабе;
- учитывая большую водоохранную и почвозащитную роль лесов, прекращения лесозаготовок и усиления лесовосстановительных работ в бассейне озера;
- прекращения молевого сплава леса на всех притоках озера, очистки рек, по которым велся молевой сплав, от остатков древесины;
- принятия радикальных мер по сбору подсланевых вод, отработанных масел на всех типах судов, курсирующих по озеру, и установления за этим строгого контроля;
- создания научно обоснованных схем рекреационного и бальнеологического использования и освоения озера, ограничения неорганизованного туризма;
- в бассейне озера, где значительные площади заняты сельскохозяйственными угодьями, серьезное внимание должно быть уделено наиболее рациональному использованию удобрений: склады минеральных удобрений, ядохимикатов, пестицидов должны быть надежно защищены от воздействия паводковых, атмосферных и грунтовых вод;
- целесообразно выводить коллекторы мелиоративных систем непосредственно в озеро.

9. Для успешного развития рыбного хозяйства на озере необходимо:

- а) усиление в государственном масштабе борьбы с браконьерством и реорганизация принципов любительского рыболовства, повсеместное введение платного любительского рыболовства на все ценные виды рыб и передача этих средств на расширение рыбоводно-мелиоративных работ;
- б) дальнейшее обоснование биологических основ теории рыболовства, а также конкретных правил промышленного лова на озере;
- в) усиление законодательства в отношении возмещения ущерба, наносимого рыбному хозяйству озера со стороны других водопользователей.

10. Для сохранения природных ресурсов Ладожского озера, так же как и других озер СССР, необходима реализация широкого комплекса мероприятий, утвержденного постановлениями партии и правительства в области охраны природы.

Л и т е р а т у р а

- Архангельский А.Д. Геологическое строение и геологическая история СССР. М.; Л., 1947, т. 1. 415 с. М.; Л., 1948, т. 2. 372 с.
- Бискэ Г.С. Четвертичные отложения и геоморфология Карелии. Петрозаводск, 1959. 307 с.

- В е с е л о в а М.Ф., К и р и л л о в а В.А. Климатические особенности Ладожского озера. - В кн.: Гидрологический режим и водный баланс Ладожского озера. Л., 1966, с. 81-103.
- В о р о н ц о в Ф.Ф. Волнение на Ладожском озере. - В кн.: Гидрологический режим и водный баланс Ладожского озера. Л., 1966, с. 247-264.
- Г е р д С.В. Обзор гидробиологических исследований озер Карелии. - В кн.: Тр. Карело-Финск. отд. ВНИОРХ. Петрозаводск, 1946, с. 26-140.
- Д е н ь г и н а Р.С., С о к о л о в а М.Ф. О видовом составе зоопланктона Ладожского озера. - В кн.: Биологические ресурсы Ладожского озера (зоология). Л., 1968, с. 117-130.
- М а л и н и н а Т.И. Водный баланс Ладожского озера. - В кн.: Гидрологический режим и водный баланс Ладожского озера. Л., 1966а, с. 182-203.
- М а л и н и н а Т.И. Сейши Ладожского озера. - В кн.: Гидрологический режим и водный баланс Ладожского озера. Л., 1966б, с. 229-246.
- Н е ж и х о в с к и й Р.А. Река Нева и Невская губа. Л., 1981. 112 с.
- О х л о п к о в а А.Н. Течения Ладожского озера. - В кн.: Гидрологический режим и водный баланс Ладожского озера. Л., 1966, с. 265-278.
- П е т р о в а Н.А. Фитопланктон Ладожского озера. - В кн.: Растительные ресурсы Ладожского озера. Л., 1968, с. 73-130.
- П р о н и н А.Г. Изменчивость элементов водного баланса крупных озер Северо-Запада европейской части СССР. - В кн.: Режим озер. Вильнюс, 1970, с. 303-312 (Тр. Всесоюзн. симпози.; Т. 1).
- Р а с п л е т и н а Г.Ф., У л ь я н о в а Д.З., Ш е р м а н Э.Э. Гидрохимия Ладожского озера. - В кн.: Гидрохимия и гидрооптика Ладожского озера. Л., 1967, с. 60-122.
- Р а с п о п о в И.М. Высшая водная растительность Ладожского озера. - В кн.: Растительные ресурсы Ладожского озера. Л., 1968, с. 16-72.
- Р о д и н а А.Г., К у з ь м и ц к а я Н.К. Численность и распределение бактериопланктона в Ладожском озере. - Микробиология, 1963, т. 32, вып. 2, с. 288-295.
- Р о д и н а А.Г., К у з ь м и ц к а я Н.К. Содержание бактерий в воде и грунтах Ладожского озера. - В кн.: Растительные ресурсы Ладожского озера. Л., 1968, с. 200-228.
- С е м е н о в и ч Н.И. Донные отложения Ладожского озера. М.; Л., 1966. 124 с.
- С о л о в ь е в а Н.Ф. Гидрохимия притоков Ладожского озера и р. Невы. - В кн.: Гидрохимия и гидрооптика Ладожского озера. Л., 1967, с. 5-59.
- С т а л ь м а к о в а Г.А. Зообентос Ладожского озера. - В кн.: Биологические ресурсы Ладожского озера (зоология). Л., 1968, с. 4-70.

- Т и т е н к о в Н.С. Рыбы и рыбный промысел Ладожского озера. - В кн.: Биологические ресурсы Ладожского озера (зоология). Л., 1968, с. 130-173.
- Т и х о м и р о в А.И. О термическом баре в Якимварском заливе Ладожского озера. - Изв. ВГО, 1959, т. 91, № 5, с. 424-438.
- Т и х о м и р о в А.И. Расчет средних месячных температур поверхности воды Ладожского озера. - В кн.: Гидрологический режим и водный баланс Ладожского озера. Л., 1966, с. 279-323.
- Т и х о м и р о в А.И. Температурный режим и запасы тепла Ладожского озера. - В кн.: Тепловой режим Ладожского озера. Л., 1968, с. 144-217.
- Ч е р н я е в а Ф.А. Морфометрическая характеристика Ладожского озера. - В кн.: Гидрологический режим и водный баланс Ладожского озера. Л., 1966, с. 58-80.
- Ш и л ь к р о т Г.С. Причины антропогенного эвтрофирования водоемов. - В кн.: Общая экология, биоценология, гидробиология. Т. 2. Антропогенное эвтрофирование водоемов. М., 1975, с. 61-99.
- Ш н и т н и к о в А.В. Внутривековая изменчивость общей увлажненности бассейна Ладожского озера. - В кн.: Гидрологический режим и водный баланс Ладожского озера. Л., 1966, с. 5-57.
- P a n t l e R., B u c k H. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. - Gas und Wasserfach, 1955, Bd 96, No. 18, S. 604.
- V o l l e n w e i d e r R.A. Input-output models, with special reference to the phosphorus loading concept in limnology. - Schweiz. Z. Hydrol., 1975, Bd 37, Hft 1, S. 53-84.

2.1. Современное состояние озера

1. Физико-географические условия и морфометрия

Онежское озеро – второй по величине водоем Европы – занимает площадь, равную 9940 км², причем на водную поверхность приходится 9690 км², остальное – на острова; объем его водной массы – 292 км³, средняя глубина – 30 м, максимальная – 120 м. Протяженность береговой линии без островов 1810 км, из них 580 км принадлежит контуру основного плеса и 1230 км – северным заливам и губам. Площадь водосборного бассейна озера – 52 970 км², большая часть его входит в Карельскую АССР и лишь незначительная – в Ленинградскую и Вологодскую области.

В озеро впадают 52 реки длиной более 10 км. Суммарный сток рек Шуи, Суны и Водлы составляет около 60% общего притока в озеро. Сток из озера происходит по р. Свирь (рис. 4). По соотношению годового речного притока и объема водной массы озеро относится к водоемам со слабым водообменом (коэффициент условного водообмена равен 0.06; Молчанов, 1946).

Бассейн озера находится на стыке Балтийского кристаллического щита и Русской платформы. Северная часть бассейна сложена породами кристаллического фундамента, которые в южной части перекрыты коренными осадочными породами палеозойского возраста. Северная часть озера имеет изрезанную береговую линию, расчлененную поверхность дна, обилие островов, банок, гряд; максимальные глубины здесь более 100 м. Южная часть характеризуется плавными очертаниями береговой линии, немногочисленными островами, глубины здесь не превышают 50 м (Бискэ и др., 1971).

Донные отложения озера в мелководных районах представлены всеми типами осадков – от глинистых илов до песков, а также гравием, галькой, россыпями валунов. Встречаются выходы коренных кристаллических пород. В глубоководных районах озера распространены тонкие глинистые илы, занимающие 49% донной поверхности. Содержание органического вещества в них составляет в среднем 9% (максимально – 15%), органического углерода – 2,9%, азота – 0,25%, валового фосфора – 0,23% P₂O₅, аутигенного кремния – 10,5%. Мощность илового слоя различна и достигает трех и более метров. Процесс илообразования начался 8 тыс. лет назад (Семенович, 1972; Палеолимнология..., 1976).

Климату района свойственны продолжительная зима и короткое прохладное лето. Средняя годовая температура воздуха для различ-

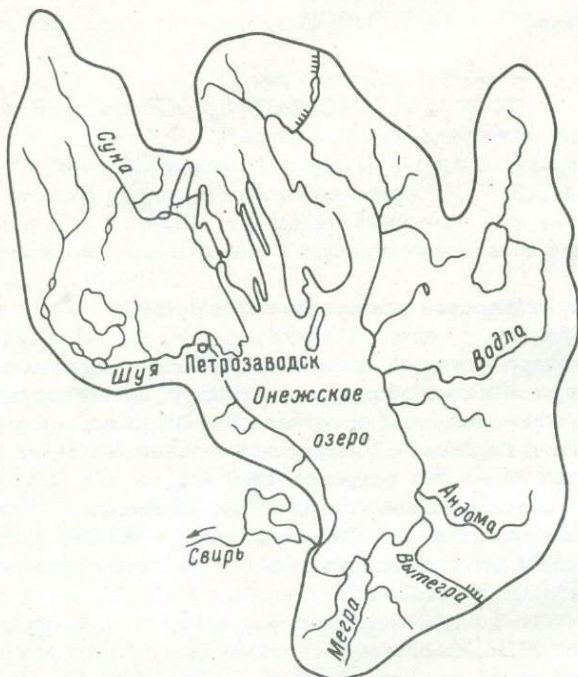


Рис. 4. Схема бассейна Онежского озера.

ных станций (по данным за 1948–1967 гг.) составляет 1,7–2,8°. В Медвежьегорске средняя температура февраля – 11,4°, в Петрозаводске – 10,3°, в Вознесенье – 9,9°. Средняя месячная температура июля в Медвежьегорске, Вознесенье и на о-ве Василисин соответственно 15,7, 16,1 и 14,9°. Среднее годовое количество осадков 600–700 мм, большая часть их (61–68%) выпадает в теплый период года. В течение года в открытом озере (о-в Василисин) преобладают южные ветры. Минимальные скорости ветра на береговых станциях наблюдаются в августе, на озерных – в июне–июле. Наибольшие скорости ветра на всех станциях регистрируются в осенне-зимний период (Изотова, 1982).

Гидрологический режим

Уровенный режим Онежского озера до 1951 г. формировался в естественных условиях. Годовой ход уровня характеризовался одним максимумом в июне и минимумом в конце марта. Подъем уровня начинался в апреле и заканчивался в конце июня, затем следовало плавное падение уровня, прерываемое дождевыми паводками. Средняя многолетняя годовая амплитуда уровня была равна 61 см, аб-

Т а б л и ц а 22

Водный баланс Онежского озера за 1932-1974 гг.

Элементы баланса	Приход			Элементы баланса	Расход		
	м ³ ·10 ⁶	мм	%		м ³ ·10 ⁶	мм	%
Приток	15535	1610	74,9	Сток	17440	1808	84,1
Осадки	5196	539	25,1	Испарение	3292	341	15,9
С у м м а	20732	2149	100	С у м м а	20732	2149	100

солотная - 198 см. Изменение средних годовых значений уровня в естественных условиях за период с 1883 г. по 1951 г. составило 129 см.

После ввода в строй Верхне-Свирской ГЭС озеро превратилось в водохранилище, что сказалось на режиме уровня, поднятого примерно на 30 см.

Средняя годовая амплитуда колебания уровня за период 1953-1977 гг. достигла 65 см, абсолютная - 132 см. Разность средних годовых отметок уровня за этот период уменьшилась и составила 84 см. Зарегулированность режима проявилась и в сроках наступления экстремальных уровней: максимум сместился на июль, минимум - на апрель.

В годовом режиме наблюдается снижение уровней в среднем на 14 см в предпаводочный период за счет более интенсивной его сработки и повышение на 31-34 см в летне-осенний период (Устинов, Рубушкова, 1977).

В приходной части водного баланса Онежского озера, составленного для 1932-1974 гг. (с использованием данных А.А. Секачева) и 1932-1967 гг., на долю речного притока приходится 75%, или 15,5 км³ в год, а на осадки - 25%, или 5,2 км³ в год. Основными расходными элементами являются сток по Свири - 84% и испарение - 16% (табл. 22). В многоводные годы доля притока возрастает до 80%, а осадков и испарения сокращается на 5-6%. В маловодные годы заметно возрастает значение осадков - до 30% от приходной части баланса и испарения - до 25% от его расходной части.

Объем приходной части водного баланса в многоводный год (1962) возрастает в 1,5 раза по сравнению со средней многолетней величиной, а в маловодный (1960) уменьшается примерно на одну треть.

Постоянные течения в виде общей циркуляции вод циклонального типа выражены слабо. В открытой части Онежского озера весной и летом наблюдается устойчивая плотностная циркуляция вод циклонального характера, типичная для глубоководных водоемов. Осенью возрастает роль ветровой составляющей в суммарных течениях. В глубоководных заливах северной и северо-западной частей озера

(Повенецком, Кондопожской и Лижемской губах), как и в открытой части, в весенне-летний период вокруг глубоководной области возникает плотностная циклональная циркуляция. Осенью преобладают ветровые течения. При несильных (до 5 м/с) и устойчивых ветрах возникает антициклональная циркуляция. В неглубоких заливах основными являются ветровые течения стгонно-нагонного характера. Влияние стоковых течений сказывается только в узкой прибрежной зоне в поверхностном слое воды. Наибольшее распространение имеет стоковое течение от р. Шуи, впадающей в Петрозаводскую губу (Динамика водных масс..., 1972).

Сгонно-нагонные колебания уровня осенью достигают 15–20 см, предельно 40 см. Сейшевые колебания уровня имеют периодичность 4 ч 30 мин, 2 ч 15 мин и 1 ч 8 мин, амплитуда их достигает 20 см.

В течение 6–6,5 месяцев (XII–У) озеро полностью или частично покрыто льдом. В безледный период теплосодержание вод весьма неоднородно. Весной (в мае–июне) и осенью (в октябре) образуется термобар, отделяющий более прогретые (весной) или более охлажденные (осенью) воды мелководной зоны от вод глубоководной части озера. В период гидробиологического лета образуется вертикальная термическая стратификация. В это время верхний слой (эпилимнион) прогревается до 12–16°, нижний (гиполимнион) – лишь до 5–6°. Начало весеннего прогревания водной толщи в среднем приходится на 1 апреля. Образование термического бара наблюдается в конце мая в районах с глубинами 20 м, исчезает термобар 20–25 июня. В июле температура воды в эпилимнионе достигает 18–20°, в наиболее теплые годы она равна 23–24°. Со второй половины августа начинается осеннее охлаждение озера, в ноябре может наблюдаться осенний термический бар. Замерзание озера отмечается в ноябре–декабре. Полное очищение ото льда происходит в среднем к 18 мая (Тепловой режим..., 1973).

Химический состав воды

Общая особенность химического состава поверхностных вод водосборного бассейна Онежского озера, формирование которых протекает в условиях избыточного увлажнения, – очень низкая минерализация, гидрокарбонатно-кальциевый состав, малое содержание минеральных соединений азота и фосфора и повышенное – растворенных органических веществ (Гидрохимия..., 1973).

Химический баланс Онежского озера по ионному составу можно считать уравновешенным, невязка между приходной и расходной частями составляет около 6% (табл. 23).

Онежское озеро является одним из наименее минерализованных озер мира, общая минерализация воды в нем составляет 34–36 мг/л. Доминирующим в анионном составе является гидрокарбонатный ион, в катионном – ион Ca^{2+} . В среднем за год в Онежское озеро с по-

Т а б л и ц а 23

Солевой баланс Онежского озера на основе водного баланса озера за 1952-1974 гг.

Составляющие баланса	Приход			Составляющие баланса	Расход		
	км ³	мг/л	ионный сток, тыс. т		км ³	мг/л	ионный сток, тыс. т
Речной приток	16.72	35.3	588.12	Свирь	18.70	35.9	671.33
Атмосферные осадки	5.21	8.7	45.32	Испарение	3.23	-	-
С у м м а	21.93		633.44	С у м м а	21.93		671.33

верхностным стоком поступает 184 тыс. т органического углерода, продукция его в процессе фотосинтеза озерного планктона составляет 476 тыс. т.

Онежское озеро - водоем олиготрофного типа, кислородный режим его определяется главным образом физическими факторами. Максимум абсолютного содержания кислорода, равный 13-14 мг/л, совпадает с минимумом температур. Поступление кислорода в процессе фотосинтеза очень мало и не может повлиять на динамику кислорода на большей части акватории (табл. 24). Содержание растворенной двуокиси углерода в воде Онежского озера невелико, активная реакция среды близка к нейтральной. В глубоководных районах озера (Основной плёс, Повенецкий залив) содержание CO_2 изменяется от 0.1 до 3.0 мг/л, рН - от 7.0 до 7.8, редко достигая 8.0.

В заливах и мелководьях содержание CO_2 варьирует от аналитического нуля до 5.0-7.0 мг/л, рН - от 6.4 до 8.6. Воды Онежского озера обладают небольшой агрессивностью, которая понижается в летний период и повышается в осенне-весеннее время.

Концентрация общего фосфора в воде Онежского озера изменяется от 0.002 до 0.030 мг P/л, средняя за год - 0.012 мг P/л. В прибрежных районах, находящихся под непосредственным влиянием речного стока или в зоне поступления промышленных или хозяйственно-бытовых стоков (Кондопожская и Петрозаводская губы), концентрация общего фосфора в отдельные периоды может возрасти до 0.05-0.06 мг P/л. Концентрация минерального фосфора изменяется от 0.002 мг/л до аналитического нуля.

Для 1965-1966 гг. Н.Ф. Соловьевой рассчитано поступление фосфора в озеро в целом (табл. 25).

Для современного периода по косвенным показателям рассчитано общее поступление фосфора с водосбора из различных источников.

Т а б л и ц а 24

Пределы изменения цветности, окисляемости и БПК воды в различных районах озера

Район	Цветность, град.			Окисляемость перманганатная, мг O ₂ /л			Окисляемость бихроматная, мг O ₂ /л			БПК ₀ , мг O ₂ /л			БПК ₂₀ , мг O ₂ /л		
	мини-маль-ная	макси-маль-ная	сред-няя	мини-маль-ная	макси-маль-ная	сред-няя	мини-маль-ная	макси-маль-ная	сред-няя	мини-маль-ная	макси-маль-ная	сред-няя	мини-маль-ная	макси-маль-ная	сред-няя
Петрозавод-ская губа	29	96	44	5.8	13.7	8.4	14.9	32.2	21.5	0.4	4.0	1.1	1.2	6.2	2.5
Кондопожская губа	29	65	35	7.0	31.9	12.1	17.0	69.8	27.2	0.5	5.8	1.6	0.7	6.7	2.6
Большое Онего	25	32	29	6.0	18.3	10.6	15.9	26.8	17.4	0.4	2.3	1.0	1.0	4.0	2.1
Центральная часть Основ-ного плёса	20	32	27	4.9	7.5	6.0	12.7	23.3	17.4	0.4	2.8	1.0	1.2	5.1	2.9
Повенецкий залив	16	24	19	5.1	8.4	6.6	11.2	24.8	15.1	0.3	3.8	1.2	1.0	4.5	2.3

Поступление фосфора (т/год) в озеро в 1965–1966 гг.

Источник поступления	$P_{\text{мин}}$	$P_{\text{орг}}$	$P_{\text{общ}}$
Река Водла	29,2	157,0	186,2
Река Шуя	22,6	81,8	104,4
Река Суна	8,8	85,5	94,4
Остальные реки	55,8	203,7	259,5
Атмосферные осадки	72,9	83,4	156,3
И т о г о	189,0	611,0	800,0

Можно отметить некоторое увеличение поступления фосфора в озеро за прошедшее десятилетие (табл. 26). Средняя концентрация общего фосфора в воде озера, рассчитанная по формуле Диллона–Риглера при коэффициенте удержания, равном 0,754, составила для 60–х годов 0,011 мг P/л, а для современного периода – 0,012–0,013 мг P/л, что хорошо согласуется с натурными наблюдениями и показывает тенденцию увеличения содержания общего фосфора в воде озера за последние годы, связанную с антропогенным влиянием. Заметных изменений в содержании минерального фосфора за прошедшие десять лет в воде озера не наблюдается. Содержание общего азота в открытой части озера изменяется от 0,43 до 0,81 мг N/л, NH_4^- – от 0 до 0,24, NO_3^- – от 0,08 до 0,30, $\text{N}_{\text{орг}}$ – от 0,19 до 0,59 мг/л. Концентрация органического азота в Петрозаводской губе достигает 0,80 мг N/л, в Кондопожской – 0,77 мг N/л. Летом в районах сброса сточных вод Кондопожского ЦБК содержание органического азота составляет 1,10 мг N/л. Наименьшие его концентрации обнаружены в центральном плёсе (0,25–0,52 мг/л). Превалирующей формой минерального азота в водах Онежского озера являются нитраты.

Концентрация кремния в 1964–1967 гг. в большинстве районов озера находилась в пределах 0,4–0,9 мг Si/л. В настоящее время верхний предел содержания кремния в летне–осенний период составляет 0,7 мг Si/л при регулярно наблюдающихся величинах 0,4–0,5 мг Si/л. Это связано, по-видимому, с тем, что наблюдениям последних лет предшествовал маловодный период, когда с речным стоком поступало меньшее его количество. При низкой водообменности озера (16 лет) этот недостаток кремния еще не компенсирован.

Растворенное железо приносится в озеро речными водами в основном виде органико–минеральных соединений. При смешении речных вод с озерными значительная часть железа выпадает из раствора, поэтому в воде озера растворенное железо содержится в незначительных количествах. В центральных районах максимальная его концентрация не превышает 0,02 мг Fe/л, представлено оно пре-

Поступление фосфора в Онежское озеро
из различных источников в 1975 г.

Источник поступления	Сумма за год, т	Процент от суммы
Городское население	390	46,5
Сельское население	19	2,3
Промышленность*	78	9,3
Сельское хозяйство	15	1,8
Неосвоенные территории	180	21,5
Атмосферные осадки	156	18,6
С у м м а	838	100

* Вместе с промышленными стоками учтены стоки с городских территорий.

имущественно в закисной форме. В районах воздействия речного стока верхний предел содержания железа повышается до 0,07–0,09 мг Fe/л.

Поступление в озеро всех биогенных элементов (за исключением нитратного азота) значительно превышает сток их из озера. Расчет показал, что в озере аккумулируется около 80% общего фосфора и железа, свыше 60% кремния; гораздо меньше задерживается в озере минерального азота – около 25%.

Основная масса вод Онежского озера – его центральный плёс, Повенецкий залив, Уницкая и Лижемская губы по главным показателям пригодности для бытового и промышленного использования содержат воды хорошего качества. Цветность воды Онежского озера в центральном плёсе 20–25°, а в Повенецком заливе 13–19°. Хотя эти показатели заметно выше, чем у вод Байкала и Телецкого озера, для питьевых целей вода центрального плёса Онега (в пределах примерно 20–30-метровой изобаты) может быть использована с относительно небольшими затратами на обесцвечивание (ее показатели – на пределе ГОСТа питьевых вод) или совсем без таковых (вода открытой части Повенецкого залива). Воды Петрозаводской и Кондопожской губ, а также мелких губ Повенецкого залива под влиянием сильно окрашенных вод притоков и разного рода загрязнений имеют более высокую цветность (23–80°) и требуют значительной очистки при использовании для питьевых целей. Содержание в воде кислорода и pH удовлетворяет требованиям ГОСТа для питьевой воды. Судя по исследованиям, проведенным в Повенецком заливе, в воде Онежского озера понижено (по сравнению с нормой) содержание фтора.

Цветение воды, вызываемое массовым развитием планктонных организмов, почти во всем центральном плёсе озера и в Повенецком заливе отсутствует в течение круглого года. Локально такое явление может наблюдаться в мелководных заливах и у берегов открытого озера весной (со второй половины мая до конца июня), а также в очень жаркую погоду летом, в июле-августе.

Главные источники загрязнения Онежского озера нефтепродуктами - водный транспорт и сточные воды предприятий, работающих с применением нефтепродуктов. Озеро загрязняется такими нефтепродуктами, как мазут, соляр и бензин. Во все сезоны года крупные заливы, губы и южный район загрязнены больше, чем центральная часть озера. Максимальные концентрации нефтепродуктов обнаружены в Большой губе и в Повенецком заливе (участок главной трассы Беломорско-Балтийского канала). В среднем содержание нефтепродуктов в озере выше летом, но максимальные концентрации характерны для начала навигационного периода, что объясняется вымыванием нефтепродуктов из донных отложений, где они накапливаются за зиму. Содержание нефтепродуктов в Повенецком заливе выше ПДК для рыбохозяйственных водоемов (0,05 мг/л). Содержание СПАВ в Онежском озере не превышает норм ПДК (0,5 мг/л) воды для питья. Наибольшие средние величины СПАВ в период открытой водной поверхности характерны для центральной части озера. В период смыва с берегов и поступления паводковых вод их содержание несколько выше, чем во время летней стагнации.

Механические взвеси и мутность воды Онежского озера в целом очень невелики, для очистки вод в питьевых целях требуются минимальные затраты, за исключением мелководной зоны, особенно около устьев рек, где отмечена древесина, поступающая с лесопильных заводов, ЦБК и от лесосплава. Посторонние запахи в воде Онежского озера, не загрязненной промышленными и бытовыми стоками, отсутствуют. Средние величины, характеризующие количество взвешенных веществ в различных районах озера, приведены в табл. 27. Преобладают в озерных водах взвеси органического происхождения (70-100%).

Воды Онежского озера и его притоков загрязняются древесными отходами от лесосплава и деревообрабатывающей промышленности. В наибольшей степени загрязнены воды Кондопожской и Петрозаводской губ, некоторые районы Повенецкого залива, особенно Челмужская и Оров-губа (в основном древесиной).

В Кондопожскую губу поступают промышленные стоки ЦБК в течение 50 лет (с 1929 г.). В связи с этим здесь происходит прогрессирующее накопление органических и других веществ, что приводит к ухудшению естественных свойств воды, проследиваемому в настоящее время по всей губе до о-ва Суйсари, а в некоторые периоды и дальше в сторону озера.

Притоки Онежского озера, используемые для лесосплава, засорены древесиной, имеют повышенное содержание гумуса и разного рода экстрагируемых веществ. Засоренность нерестилищ проходных рыб, гидротехнические сооружения, ухудшение физико-химических

Средние величины взвешенных веществ (мг/л)
в различных районах Онежского озера
в разные периоды 1977-1978 гг.

Район	У1	УII	X	III-У
Центральный плёс	2.0	0	0.1	0.2
Повенецкий залив	2.2	0	0.3	0.05
Южная часть	2.6	0.1	0	0
Кондопожская губа	2.8	-	0.6	1.0
Петрозаводская губа	4.9	0.5	0.3	0.1
Среднее по озеру	2.9	0.2	0.2	0.2

свойств вод притоков и плотины на них - все это причины резкого сокращения стада проходных рыб, особенно лосося. Хотя в настоящее время лесосплав на некоторых реках прекращен, отрицательные последствия прежней засоренности рек будут сказываться длительное время, если не будет произведена очистка дна от топляков, коры и щепы. Резко снизились уловы почти во всех реках, и особенно в такой прежде рыбной реке, как Водла.

Гидробиологическая характеристика

Видовой состав флоры и фауны Онежского озера выявлен к настоящему времени с большой полнотой. В озере обитает 880 видов водорослей, 121 вид цветковых растений, в зоопланктоне встречен 271 вид, донные биотопы озера населяет 530 видов бентосных беспозвоночных.

Макрофиты, водные цветковые растения, образуют в озере 65 ассоциаций. Во всех районах озера господствующее положение в мелководной зоне принадлежит группировкам тростника (*Phragmites australis* (Cav.) Trin ex Steud.). Довольно широкое распространение имеют группировки кубышки (*Nuphar lutea* (L.) Smith) и горца земноводного (*Polygonum amphibium* L.).

В целом группировки водных растений занимают площадь около 2360 га, что составляет 0.24% площади озера. Процент зарастания отчлененных и мелководных губ выше, чем в среднем для озера (табл. 28, 29).

Чистая продукция высших водных растений Онежского озера, выраженная в энергетических единицах, исчисляется $2.7 \cdot 10^{10}$ ккал ($11.3 \cdot 10^{10}$ кДж) или 28 ккал на 1 м^2 поверхности озера, что соответствует 0.28 гС/м^2 . Если учесть, что органическое вещество продуцируется макрофитами в пределах литоральной зоны и большей

Заращение литоральной зоны различных районов
Онежского озера

Район	Площадь акватории, тыс. га	Площадь литоральной зоны		Процент зарастания	
		общая, тыс.га	зарастающая макрофитами, га	от общей площади акватории	от площади литоральной зоны
Основной плёс	544.4	58.03	102	0.02	0.18
Залив Большое Онего	117.1	13.50	190	0.11	1.4
Заливы Малое Онего и Заонежский	156.3	46.13	260	0.17	0.6
Повенецкий залив	87.17	31.42	1023	0.90	3.3
Великая губа и Кижские шхеры	16.48	16.02	412	2.50	2.6
Уницкая губа	14.31	8.67	206	1.50	2.3
Лижемская губа	11.38	3.80	42.5	0.37	1.1
Кондопожская губа	22.11	6.45	126	0.50	2.0
Озеро в целом	969.25	184.0	2361.5	0.24	1.3

частью здесь же вступает в биотический круговорот, то продукция макрофитов в этой зоне составит 1.5 гС/м^2 в год (Растительный мир..., 1971).

В перифитоне встречено 506 видов, разновидностей и форм водорослей, принадлежащих к шести отделам (табл. 30).

Наиболее широкое распространение в озере имеют следующие группировки: *Tabellaria flocculosa* с другими диатомовыми, *T. flocculosa*-*T. fenestrata*, *T. flocculosa*-*Synedra ulna*, *T. flocculosa*-*Cymbella ventricosa* и *Ulothrix zonata*. На каменистых субстратах открытой части озера группировки образуют *Ulothrix zonata*, *Synedra ulna* и *S. vaucheriae*, виды родов *Achnanthes*, *Cymbella*, *Gomphonema*, *Didymosphenia*, *Spirogira*. На песчаной литорали вдоль южного и восточного берегов обрастания практически отсутствуют.

Нижняя граница распространения водорослей обрастаний совпадает с 5-метровой изобатой. Максимальное развитие их наблюдается в верхнем метровом горизонте. Максимальная численность водорослей перифитона - 5-8млн. кл./см², биомасса, равная 3.66-

Чистая годовая продукция макрофитов Онежского озера

Растение	Абсолютно-сухой вес, т	Органический углерод, т	Продуцируемое органическое вещество, %
Тростник обыкновенный	4654,8	2137,8	75
Лисохвост равный	1,3	0,6	-
Виды рода осока	378,5	173,6	6,0
Рогоз узколистный	9,6	4,1	-
Хвощ приречный	68,0	26,2	-
Камыш озерный	288,0	130,4	4,6
Ситняг болотный	15,2	6,5	-
Стрелолист обыкновенный	0,1	0,04	-
Виды рода ежеголовник	15,2	5,8	-
Горец земноводный	86,4	38,1	-
Кубышка желтая	349,2	139,5	-
Виды рода кувшинка	76,4	31,4	10
Рдест плавающий	124,8	51,7	-
Рдест пронзеннолистный	96,0	37,6	-
Рдест блестящий			
Виды рода шелковник	48,2	18,3	-
Виды рода уруть	2,6	1,1	2,4
Элодея канадская	1,0	0,4	-
С у м м а	6215,5	2803,14	100

4.11 мг абсолютно-сухого веса на 1 см², отмечается в августе-сентябре.

Продукция перифитона составляет 7,6-7,9 ккал или 0,7-0,8 гС/м² площади озера. В зоне, ограниченной 5-метровой изобатой, где обычно развиваются водоросли обрастаний и макрофиты, продукция их составляет соответственно 42 и 16% в приходной части баланса органического вещества; таким образом, перифитон имеет большое значение в формировании прибрежных биоценозов (Литоральная зона..., 1975).

В планктоне озера обитает 383 вида и разновидностей водорослей: 38% приходится на диатомовые, 32% - на зеленые, 21% - на синезеленые, 9% составляют представители других групп водорослей. Отличительная черта фитопланктона Онежского озера - преобладание диатомовых водорослей, которые доминируют в планктоне в течение всего вегетационного периода (табл. 31). С начала 60-х годов произошли некоторые изменения в составе фитопланктона и в его количественном развитии (табл. 32). Средняя численность планктона в центральном районе в слое 0-10 м возросла со 119 до 276 тыс. кл./л. В 60-е годы биомасса фитопланктона в среднем за

Состав перифитона Онежского озера

Водоросли	Число видов	Число родов	Процент
Диатомовые	303	38	60
Зеленые	144	49	28
Синезеленые	52	19	10
Пирофитовые	2	1	1
Желтозеленые	2	1	1
Золотистые	3	2	1

сезон для озера составляла 30–300 мг/м³, при этом наиболее продуктивным был западный прибрежный район с Петрозаводской губой, где биомасса в весеннее время составляла 1000 мг/м³. Возросли и продукционные показатели (табл. 33). В 50-е годы величина первичной продукции не превышала 70 мг С/м³ и, как и концентрация хлорофилла (до 1,88 мг/м³), соответствовала олиготрофному характеру водоема. Материалы изучения биомассы и уровня первичной продукции планктона, полученные в 70-е годы, показали, что основная акватория озера по-прежнему остается олиготрофным водоемом, а район Кижских шхер, Петрозаводская и Кондопожская губы в некоторые годы приближаются к мезотрофным водоемам. Повышенный уровень трофии Петрозаводской и Кондопожской губ связан с процессами антропогенного воздействия – с поступлением в озеро сточных и промышленных вод г. Петрозаводска и вод г. Кондопоги и Кондопожского ЦБК.

Уровень развития бактериопланктона в озере различен в разных частях акватории (табл. 34). По показателям численности бактерий основной плёс озера относится к олиготрофному типу водоемов, тогда как отдельные губы по количеству бактерий приближаются к мезотрофным озерам. Так, в Петрозаводской губе общая численность бактерий достигает 4 млн. кл./мл, коли-индекс – до 24 тыс. кл./л, для Кондопожской губы эти цифры соответственно равны 600 тыс. кл./мл и 2,4 тыс. кл./л. При сильных ветрах вода этих губ поступает в озеро. Так, в зоне максимальных глубин у о-ва Климецкого бактерии коли были обнаружены осенью от поверхности до дна в количестве 23 кл./л. Из Петрозаводской губы поток загрязненных и зараженных вод идет вдоль западного берега озера.

Интенсивность микробиологических процессов в иловых отложениях озера, особенно в поверхностном слое, более значительна, чем в водной толще; общее содержание бактерий в поверхностном слое ила в основном плёсе достигает 300–450 млн.кл./г в Большом Онего – 500–980 млн. кл./г, в Великой губе – более 1000 млн. кл./г и связано с количеством органического вещества:

Сезонные комплексы фитопланктона Онежского озера

Биологический сезон	Доминанты	Субдоминанты
Весна	<i>Melosira islandica</i> subsp. <i>helvetica</i> O. Müll., <i>M. distans</i> var. <i>alpigena</i> Grun.	
Поздняя весна	То же	<i>Melosira italica</i> (Ehr.) Kütz. var. <i>italica</i> , <i>M. italica</i> subsp. <i>subarctica</i> O. Müll., <i>Asterionella formosa</i> Hass., <i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngb.) Kütz. var. <i>fenestrata</i> , <i>Tribonema affine</i> West.*
Лето	<i>Asterionella formosa</i> Hass., <i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngb.) Kütz. var. <i>fenestrata</i> , <i>Dinobryon divergens</i> Gmh.	<i>Dinobryon cylindricum</i> var. <i>palustre</i> Lemm., <i>D. sociale</i> var. <i>stipitatum</i> (Stein.) Lemm., <i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chool., <i>Anabaena hassalii</i> (Kütz.) Wittr., <i>A. lemmermannii</i> P. Richt., <i>Oscillatoria tenuis</i> Ag.*
Осень	<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngb.) Kütz. var. <i>fenestrata</i> , <i>Asterionella formosa</i> Hass., <i>Melosira islandica</i> subsp. <i>helvetica</i> O. Müll., <i>M. distans</i> var. <i>alpigena</i> Grun.	<i>Woronichinia naegeli-ana</i> (Ung.) Elenk.

П р и м е ч а н и е. Звездочкой отмечены виды, не вошедшие в число массовых в период 1964-1967 гг.

Т а б л и ц а 32

Биомасса фитопланктона (мг/л) пелагиали Онежского озера
(слой 0-10 м)

Планктонный комплекс	Район	1964-1967 гг.		1976-1977 г.	
		сред- няя	макси- мальная	сред- няя	макси- мальная
Весенний	Глубоководный	0.22	1.35	0.66	2.15
	Западный	0.73	2.82	-	1.69*
	Восточный	0.29	1.91	-	-
	Мелководных губ	-	0.80	-	-
	Повенецкий	0.05	0.34	-	-
Летний	Глубоководный	0.06	0.39	0.17	0.77
	Западный	0.09	0.20	0.83	1.40
	Восточный	0.13	0.53	-	-
	Мелководных губ	0.10	0.41	-	0.21*
	Повенецкий	0.03	0.23	0.09	0.10

П р и м е ч а н и е. Звездочкой отмечены единичные наблюдения.

Т а б л и ц а 33

Продукционные показатели фитопланктона пелагиали озера
(слой 0-10 м)

Планктонный комплекс	Район	Хлорофилл „а“, мкг/л		Суточная продукция, мкгС/л	
		1967- 1968 гг.	1976- 1977 гг.	1966 г.	1976- 1977 гг.
Весенний	Глубоководный	0.7	0.1-1.2	5-14	5-11
	Западный	-	1.3	7-47	-
	Восточный	0.5	-	-	-
	Мелководных губ	-	-	-	-
	Повенецкий	0.5	-	-	-
Летний	Глубоководный	0.5-1.0	0.1-1.3	16-40	7-35
	Западный	0.7-0.8	1.0	-	-
	Восточный	0.6-0.7	-	7-17	-
	Мелководных губ	0.9-1.7	0.2-1.1	6-53	-
	Повенецкий	0.5	0.2-0.9	-	-

Численность бактерий в различных районах Онежского озера

Район	Общая численность бактерий, тыс. кл./мл	Численность сапрофитов, кл./мл
Основной плёс	300	130
Повенецкий залив	410	240
Заонежский залив	480	200
Великая губа	600	170
Петрозаводская губа	720	940
Лижемская губа	340	130
Уницкая губа	490	220
Кондопожская губа	730	820

уровень развития бактерий определяется легкоразложимой фракцией органики, которая присутствует в загрязняющих озеро бытовых сточных водах. Высокие концентрации бактерий в илах Кондопожской, Петрозаводской и Великой губ обусловлены загрязнением этих районов озера. Показательна при загрязнении высокая численность сапрофитов в воде этих губ (Микробиология..., 1973).

В зоопланктоне озера насчитывается 271 вид, из них 96 видов простейших, 79 – коловраток и 96 – ракообразных. В руководящем комплексе пелагиали озера преобладают копеподы. Биомасса зоопланктона различна в различных районах озера (табл. 35). По величине биомассы глубоководный район озера (табл. 36) соответствует уровню олиготрофных озер, заливы близки к мезотрофным, на отдельных участках – к эвтрофным водоемам. Продукция мирного зоопланктона в литоральной зоне составляет 56,24 г/м² за сезон, хищного – 14,94 г/м². В глубоководной зоне эти величины соответственно равны 19,27 и 3,43 г/м². Руководящий комплекс зоопланктона озера представлен копеподами *Limnocalanus macrurus* Sars, *Eudiaptomus gracilis* Sars, *Eurytemora lacustris* (Poppe), *Heterocope appendiculata* Sars, *Mesocyclops oithonoides* Sars, *M. leuckartii* Claus, *Cyclops abyssorum* Sars, клadoцерами *Bosmina obtusirostris lacustris* Sars, *Daphnia cristata* Sars, *Holopedium gibberum* Zaddoch., *Leptodora kindtii* (Focke) и коловратками *Kellicottia longispina* (Kellicott), *Asplanchna priodonta* (Gosse), *Conochilus unicornis* Rousselet.

Из 530 видов и форм донных беспозвоночных 80% встречено в прибрежных районах Онежского озера. В илах глубоководной части обитают: олигохеты *Lamprodrilus isoporus*, *Pelosclex ferox*, *Isochaetides newaensis* (Mich.), реликтовый комплекс ракообразных – *Gammaracanthus loricatus* Sars, *Pon-*

Т а б л и ц а 35

Биомасса зоопланктона (г/м^3) в заливах и губах озера в летний период

Район	Средняя	Пределы колебаний
Повенецкий залив	0.4	0,1-1,6
Заонежский залив	0,8	0,5-2,0
Уницкая губа	1,2	0,6-1,8
Великая губа	0,5	0,3-1,0
Кондопожская губа	0,4	0,3-1,9
Петрозаводская губа	-	0,4-5,3

Т а б л и ц а 36

Биомасса зоопланктона (г/м^3) основного плёса Онежского озера (средняя по 20-30 станциям с учетом площадей и глубин) в летний период 1964-1966 гг.

Год	Июль	Август	Средняя
1964 .	5.6	4.8	5.2
1965	11.8	8.4	10.1
1966	9.0	8.1	8.5

toporeia affinis Lindst., *Pallasea quadrispinosa* Sars, *Mysis oculata* var. *relicta* Loven, хирономиды *Polypedilum breviantennatum* Tschern., *Trissocladius parataticus* (Tschern.)

Биомасса зообентоса литорали Онежского озера в 1967-1970 гг. достигала на различных грунтах следующих величин (в г/м^2):

Каменистый субстрат	2.1
Гравийно-галечные отложения	0.6
Крупнозернистые пески	0.3
Среднезернистые пески	1.0
Мелкозернистые пески	1.1
Заиленные пески, песчанистые илы	1.1
Рудоносные пески	0.1
Ледниковые глины с рудой	0.3
Илы	1.4

Продуктивность донных сообществ соответствует олиготрофному состоянию озера. Уровень продуктивности в 70-е годы по сравнению с 40-60-ми годами в центральной части озера не изменился.

Вылов рыбы (ц) в Онежском озере за 1960-1979 гг.

Виды рыб	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969
Лосось	170	69	72	109	132	93	77	64	36	43
Форель	8	4	1	4	5	-	2	2	6	11
Паляя	117	161	52	57	64	90	120	86	19	49
Сиг	485	338	419	578	830	666	577	597	514	610
Хариус	6	3	-	-	-	-	-	-	-	-
Ряпушка	5491	6640	5549	6479	3210	7254	11627	9845	5789	5524
Корюшка	7497	4847	9720	9480	7073	6906	5888	7255	6706	4337
Налим	360	880	924	810	910	816	363	1019	962	797
Судак	288	312	453	538	550	479	405	470	410	598
Лещ	369	346	286	204	446	285	247	200	183	204
Шука	317	349	238	289	357	236	206	192	143	137
Язь-синец	12	7	11	10	5	1	2	252	-	-
Окунь	189	306	96	173	145	267	178	172	316	270
Плотва	233	239	135	270	210	238	121	386	278	331
Ерщ	-	27	31	66	58	53	91	80	48	57
Смесь	1647	1755	1611	1306	1753	1267	2638	2544	1275	1550
Итого	17189	16283	19958	20313	15748	18645	22542	23164	16685	14518

Очаги загрязнения имеют в озере локальный характер. Они хорошо изучены в Повенецком заливе в районах горрдов Повенца и Медвежьегорска, где отмечено существенное сокращение видового состава донной фауны и резкое снижение ее биомассы. Бентос представлен олигохетами, обитателями мезосапробной зоны водоемов.

Ихтиофауна

Онежское озеро - ценный рыбохозяйственный водоем Карелии. В состав его ихтиофауны входит 47 видов и подвидов рыб, принадлежащих 13 семействам.

Промысловые уловы за последние 20 лет колебались от 14 до 24 тыс. ц (табл. 37). Наибольшее значение в промысле имеют ряпушка и корюшка. Основным промысловым районом является северо-восточная часть озера: Голвуйское, Кузарандское и Пялемское Онего, в центральной части озера - это район Шелтозера, Шалы, на юге - Сви́рское Онего, районы Петропавловского мыса,

	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	Средний	
											ц	%
	33	98	145	126	111	160	167	104	124	131	113	0,6
	3	2	5	4	1	3	-	-	2	5	4,7	-
	65	27	60	41	35	30	34	40	50	58	65	0,3
	444	408	758	912	1271	1089	1036	1272	1069	1015	730	3,7
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8	-
	7230	4177	5311	6849	4840	4396	7728	6354	7348	8206	63,54	32,4
	10940	6044	3629	7769	10045	11271	9505	8336	7699	9016	7711	39,3
	878	1321	1269	1241	1292	1709	1330	1372	1039	1097	985	5,0
	277	353	321	497	590	671	536	578	447	294	411	2,4
	163	193	199	309	539	539	416	456	466	321	345	1,8
	123	101	83	134	167	151	224	232	128	139	223	1,1
	3	10	13	2	6	1	-	2/205	58	6	19/9	0,1
	162	183	182	217	485	531	177	241	234	216	236	1,2
	142	268	350	266	237	668	126	138	153	165	253	1,3
	-	102	166	259	379	-	-	603	406	288	151	0,8
	1537	1205	1518	1836	2655	2629	2836	1706	1272	742	1926	9,8
	22000	14592	14009	20462	22653	23848	24115	21638	20495	21701	19597	100

Вытегры, Андомы. Промысел рыбы на Онежском озере проводится во все сезоны года, но можно выделить два пика лова - весенний период (май, июнь - 47,6% годового вылова) и осенний (октябрь-ноябрь - 23,3%). Весенний промысел базируется на концентрациях корюшки, судака и леща, а осенний - ряпушки и сига. По характеру питания в ихтиофауне озера преобладают планктофаги - 80% (корюшка, ряпушка), бентофаги составляют 10% (преобладает сиг), хищники - также 10% (преобладают налим и судак).

Онежское озеро является лососево-сиговым водоемом с преимущественным развитием сиговых (сиги, ряпушка).

Промысловая рыбопродуктивность озера незначительна и, по данным официальных промысловых уловов, составляет около 2 кг/га. Если принять во внимание любительский вылов и так называемые неучтенные потери организованного промысла, то ежегодный фактический вылов рыбы на Онежском озере может быть оценен не менее чем в 30 тыс. ц.

Оценка запасов основных промысловых рыб Онежского озера приводится по материалам Севрыбниипроекта и методике П.В. Тюрина (табл. 38). Эти данные свидетельствуют о том, что при ра-

Промысловые запасы рыб Онежского озера, их фактическое изъятие и возможный вылов в настоящее время (ц; без учета рыбоводных мероприятий)

Виды рыб	Промысловый запас	Фактический вылов в 1957-1978 гг.	Максимально возможный вылов
Лосось	600	113	200
Форель	100	4,7	35
Паляя	450	65	100
Сиг	4000	730	1200
Хариус	50	0,8	15
Ряпушка	35000	6354	10500
Корюшка	33500	7711	10000
Налим	4000	985	1200
Судак	2500	471	550
Лещ	2700	345	600
Щука	1700	223	500
Язь	100	19	30
Синец	50	9	20
Окунь	2500	236	800
Плотва	1200	253	400
Ерш	2500	151	800
Смесь	9500	1296	3050
И т о г о	1000450	19597	30000

циональном использовании ихтиомассы уловы на озере могут быть увеличены до 30 тыс. ц. Исследования кормовой базы планктофагов и бентофагов и степени ее использования рыбами позволили сделать вывод о недоиспользовании кормовой базы озера. В связи с этим была обоснована возможность проведения ряда рыбоводно-акклиматизационных работ на Онежском озере, что позволит получить промысловый возврат в размере 16 тыс. ц товарной продукции (табл. 39).

2.2. Возможные изменения природных ресурсов

Водные ресурсы

В основу прогноза водности Онежского озера к 2000 г. положен анализ многолетних наблюдений за стоком р. Свири (1881-1978 гг.) и уровнем озера с 1885 г.

Т а б л и ц а 39

Перечень объектов, включенных в схему
рыбоводно-акклиматизационных работ на Онежском озере

Объекты рыбо- водства и аккли- матизации, воз- растные стадии	Ориентировоч- ный район по- лучения поса- дочного мате- риала	Количество выпускаемо- го материа- ла за 1981-1990 гг.	Промысловый возврат	
			%	тыс. ц

В е с е н н е р е с т у ю щ и е в и д ы

Лещ, икра	Промысловые уловы	1 млрд ежегодно	0.006 от икры до товара	0.07
Судак, икра	Промысловые уловы	600 млн. ежегодно	0.006	0.6
Щука, икра	Промысловые уловы в пе- риод нереста	4,6 млн. ежегодно	20 от икры до личинки	0.46

О с е н н е р е с т у ю щ и е в и д ы

Ряпушка, сеголетки	Питомные озера	15 млн.	10 от сеголетка до товара	0.18
Сиги, сеголетки	Питомные озера	1,45 млн.	То же	0.34
Лосось, форель, паляя, покатники	Бассейны, пруды, садки	200 тыс.	8	1.08

А к к л и м а т и з и р у ю щ и е с я в и д ы

Пелядь, сего- летки	Питомники	15-20 млн.	8-10	3,2-6,4
Омуль, сего- летки		6 млн.	-	8,0

Общая увлажненность и ее отдельные компоненты, такие как сток рек, уровни озера и другие, подвержены циклическим много-вековым и внутривековым колебаниям. В ходе этих элементов наблюдается чередование многоводных фаз, для которых характерно преобладание лет с повышенной водностью рек, и маловодных, характеризующихся значениями стока и уровня ниже средних много-летних (рис. 5, 6).

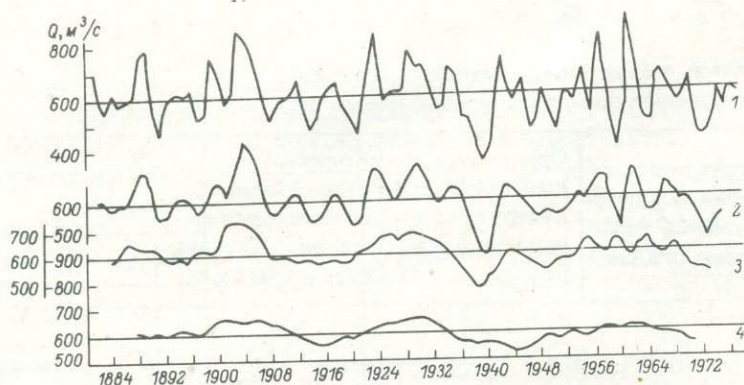


Рис. 5. Внутривековая изменчивость стока воды из Онежского озера.

1 - годовой сток; 2 - 3-летние скользящие; 3 - 6-летние скользящие; 4 - 13-летние скользящие.

В ходе уровня озера и стока р. Свирь удалось выделить два полных цикла колебаний, состоящих из маловодной и многоводной фаз, и третий цикл с незакончившейся маловодной фазой, наметить границы и продолжительность фаз и циклов и определить годы наступления максимальных и минимальных значений. Средняя продолжительность многоводной фазы составляет 13 ± 2 года, маловодной - 16-17 лет, а полный цикл охватывает около 30 лет.

Среднее годовое количество воды, поступающее в озеро в многоводные фазы, составляет $16,8-18,5 \text{ км}^3$, что на 2-13% выше среднего значения за весь ряд наблюдений, а в маловодные фазы сокращается до $15,5-14,7 \text{ км}^3$, что на 11-6% ниже средних многолетних величин. Аналогичные изменения происходят и со стоком из озера (табл. 40).

Внутри полных циклов увлажненности изменения водности от многоводной фазы к маловодной достигают более существенных различий. Объем притока и стока в многоводную фазу первого цикла (1896-1922 гг.) превышал те же величины за маловодную фазу на 19%, а во втором цикле (1923-1953 гг.) сток в многоводную фазу был на 24% выше стока в маловодную фазу.

Средний уровень озера за период 1885-1952 гг. соответствовал отметке 32,82 м, а за период 1953-1978 гг. - 33,03 м. Изменение его средних значений за цикл от цикла к циклу до 1953 г. незначительно (3 см), а разница в отметках уровня за многоводную и маловодную фазы составляет 19 и 26 см, что соответствует приблизительно $1,8$ и $2,5 \text{ км}^3$. Подъем уровня воды после 1953 г. вызван строительством плотины на р. Свирь. За период наблюдений максимальный уровень достигал отметки 33,45 м, а минимальный - 32,10 м, абсолютная амплитуда средних годовых значений уровня озера составила 1,35 м.

Т а б л и ц а 40

Характеристика фаз водности

Элементы	Много- водная фаза 1896- 1906 гг.	Маловод- ная фаза 1907- 1922 гг.	Полный цикл 1896- 1922 гг.	Много- водная фаза 1923- 1936 гг.	Маловод- ная фаза 1937- 1953 гг.	Полный цикл 1923- 1953 гг.	Много- водная фаза 1954- 1968 гг.	Маловод- ная фаза 1969- 1984 гг.	Полный цикл 1954- 1984 гг.
Продолжи- тельность фаз и циклов, годы	11	16	27	14	17	31	15	(16)	(31)
Модульный коэффициент стока р. Свирь	1.13	0.94	1.02	1.11	0.89	0.99	1.02	(0.84)	(0.93)
Приток в озеро, км ³	18.5	15.5	16.7	18.2	14.7	16.3	16.8	(13.8)	(15.0)
Сток из озера, км ³	20.3	17.0	18.4	20.0	16.1	17.9	18.5	(15.2)	(16.5)
Осадки, км ³				5.78	4.76	4.94	5.60		
Испарение, км ³				3.12	3.35	3.25	3.23		
Уровень озера, м Б.С.	32.93	32.74	32.82	32.99	32.73	32.85	33.06	(32.84)	(32.95)

П р и м е ч а н и е. В скобках приведены прогнозируемые величины.

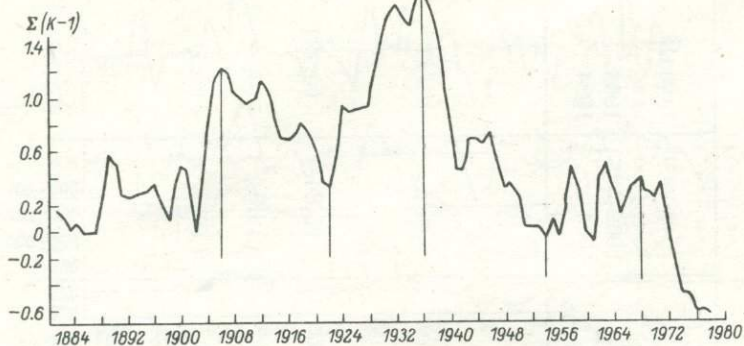


Рис. 6. Интегральная кривая модульных коэффициентов годового стока р. Свирь.

Колебание уровня незначительно сказывается на изменении площади озера; при максимальном уровне площадь озера равна 9764 км^2 , при минимальном — 9517 км^2 .

В изменении водности по циклам хорошо заметен направленный процесс уменьшения средних характеристик водности за полный цикл, снижения максимальных и минимальных величин за отдельные фазы каждого цикла, что вызвано колебаниями вековой изменчивости увлажненности климата, регрессивная фаза которой сейчас продолжается.

Учитывая естественную тенденцию к понижению водности и считая, что интенсивность снижения сохранится в будущем, полагаем, что конец маловодной фазы последнего (третьего) цикла придется на первое пятилетие 80-х годов (1983–1984 гг.). Средний годовым объем притока в озеро составит тогда около 14 км^3 , стока — около 15 км^3 в год, что на 16% ниже многолетней величины за период 1881–1978 гг. Исходя из средней продолжительности фаз, можно ожидать, что следующая многоводная фаза с максимумом в 1990–1992 гг. начнется в середине 80-х годов и закончится в конце 90-х годов, тогда 2000 г. придется на маловодную фазу 1998–2013 гг., минимум которой наступит в 2003–2005 гг. Судя по тенденции снижения водности, приток в озеро в следующем цикле составит 14.4 км^3 в год, в многоводную фазу — 15.9 км^3 , в маловодную — 13.1 км^3 .

Качество воды

При оценке возможного изменения гидрохимического режима озера основные гидрохимические показатели можно разделить на 3 группы.

Т а б л и ц а 41

Поступление фосфора с водосбора Онежского озера из различных источников к 2000 г.

Источник поступлений	Поступление фосфора	
	т/год	% от суммы
Городское население	823.3	58.2
Промышленность	82.3	5.8
Сток с городских территорий	82.3	5.8
Сельское население	12.3	1.0
Сельское хозяйство	52.9	3.8
Неосвоенные территории	180.3	12.6
Атмосферные осадки	182.0	12.8
С у м м а	1415.4	100

Первая группа показателей – ионный состав, на который практически не влияют внутриводоемные процессы, а небольшие их изменения под влиянием антропогенного фактора за рассматриваемый период несущественны. Изменение общей минерализации онежской воды при возможных вариантах изменений объема притока незначительно.

Вторая группа компонентов, очень тесно связанная с жизнью озера, определяется в основном внутриводоемными процессами, количественно прогнозировать которые в настоящее время не представляется возможным, можно только наметить тенденцию их изменений. К ним относится кислородный режим, величина рН, БПК, содержание органического вещества. В целом по озеру заметных изменений в кислородном режиме и в значениях рН воды до 2000 г. не ожидается. В вершинах некоторых заливов и губ (особенно Петрозаводской и Кондопожской) под влиянием промышленных и бытовых сточных вод можно ожидать некоторого уменьшения содержания растворенного кислорода в придонных слоях.

Третья группа элементов – биогенные вещества, определяющие в известной степени трофический уровень озера. Для большинства озер умеренной зоны наибольшую опасность в современных условиях представляет процесс антропогенного эвтрофирования водоема, от которого зависит и качество воды. Поэтому при прогнозе основное внимание уделено важнейшему биогенному элементу – фосфору, лимитирующему развитию фитопланктона. Увеличение концентрации фосфора в воде озера вызывает рост продуктивности первичных продуцентов на основе количественной зависимости между поступлением в озеро общего фосфора, концентрацией его в озерной воде и содержанием хлорофилла „а“.

Поступление фосфора в озеро в значительной степени зависит от хозяйственной деятельности на водосборе и может быть учтено в прогностических оценках. Ограничительных нормативов на содержание фосфора в сточных водах в настоящее время не существует, и его поступление в водоем не контролируется.

Развитие хозяйства в бассейне озера приведет к увеличению поступления фосфора в водоем к 2000 г. приблизительно на 600 т в год по сравнению с современным периодом (1975 г.; табл. 41). Основной прирост поступления фосфора произойдет за счет укрупнения городов на побережье озера – роста городского населения, увеличения стока с городских территорий, развития промышленности. Интенсификация сельского хозяйства на водосборе за рассматриваемый период даст прибавку в поступлении фосфора около 40 т. Таким образом, фосфорная нагрузка на озеро к 2000 г. заметно возрастет – 0.15 г/м^2 в год по сравнению с 0.09 г/м^2 в современный период.

Среднегодовая концентрация общего фосфора в Онежском озере к 2000 г. составит 0.021 мг/л , что почти вдвое превысит концентрацию общего фосфора в современный период (0.012 мг/л).

Биоресурсы

Предполагаемое изменение содержания биогенных элементов в воде Онежского озера скажется в первую очередь на фитопланктоне и повлечет за собой перестройку планктонного сообщества и увеличение уровня продуктивности водоема в целом.

Процесс антропогенного эвтрофирования Онежского озера уже начался. Наблюдаемые изменения позволяют предположить, что он идет тем же путем, что и в Ладожском озере. Среди массовых форм фитопланктона усиливается роль синезеленых водорослей и *Tribonema affine* – видов, формирующих в настоящее время наиболее продуктивные комплексы Ладожского озера (табл. 42).

С ростом эвтрофирования Онежского озера не следует ожидать больших изменений в видовом составе, численности и биомассе основных группировок перифитона. Диатомовые по-прежнему будут оставаться доминирующей группой в обрастаниях. Можно ожидать уменьшения видового разнообразия олигосапробов. Летом наиболее интенсивно станут развиваться синезеленые водоросли. Вдоль открытых берегов озера на каменистых субстратах по-прежнему будут широко распространены почти чистые ценозы *Ulothrix zonata*, способные выдержать силу прибой. Вдоль южного и восточного берегов на песчанной литорали обрастание будет отсутствовать из-за динамичности водных масс и подвижности грунтов. Развитие *Cladophora*, несмотря на увеличение в воде биогенов, будет сдерживаться низкими температурами воды.

В изолированных от волнения заливчиках, губах и проливах, на побережье которых и в дальнейшем будет проводиться мелиорация сельскохозяйственных угодий и иметь место расширение поселков

Т а б л и ц а 42

Изменение продуктивности фитопланктона Онежского озера при среднем САЧ для летнего планктона, равном 47

Состояние озера	Концентрация $P_{\text{общ}}$, мкг/л	Концентрация хлорофилла "а", мкг/л	Продукция фитопланктона, мкг С/л в сутки
Современное	12	1.0	36
К 2000 г.	21	1.7	80

сельского типа, можно ожидать увеличения флористического разнообразия сообществ высших водных растений и повышения их продуктивности. Однако эти явления сохраняют локальный характер и общей картины зарастания не изменят. Сообщества макрофитов по-прежнему будут занимать небольшую площадь и не окажут заметного влияния на процессы самоочищения водоема.

Приток биогенных элементов к 2000 г. увеличит поступление автохтонного органического вещества в озеро, в связи с чем пропорционально увеличится концентрация бактерий в центральных районах озера.

Увеличение к 2000 г. фосфорной нагрузки и повышение содержания биогенных элементов несомненно должно вызвать некоторое повышение продуктивности как зоопланктона, так и зообентоса. Существенных отклонений в видовом составе и количественных показателях зоопланктона не ожидается. Предполагаемое изменение уровня озера отразится на условиях в узкой прибрежной зоне, а роль зоопланктона этих прибрежных участков ничтожно мала по сравнению с зоопланктоном пелагиальной и литоральной зон открытого озера.

С возрастанием к 2000 г. фосфорной нагрузки и содержания биогенных элементов в бентосе центральной части озера следует ожидать постепенного увеличения уровня продуктивности без смены видового состава сообществ. Однако, по-видимому, возрастет роль таких пластичных видов, как *Pontoporeia affinis* и *Isoclaetides newaensis*. В загрязненных губах и заливах при дальнейшем ухудшении условий обитания бентоса может произойти полная деградация биоценозов.

Рыбное хозяйство

Уровень рыбопродуктивности, а в связи с этим и перспективы развития рыбного хозяйства Онежского озера к 2000 г. будут в значительной степени определяться экологическими условиями, которые сложатся в бассейне озера в этот период.

В.Н. Адаменко (Адаменко и др., 1981) установил характер барико-циркуляционных процессов и определяемых ими погодных условий, которые сопутствуют экстремальным уловам рыб на Онежском озере.

Наиболее яркой чертой основных переносов воздушных масс в годы аномально больших уловов (более 21 тыс. ц) является преобладание адвекции в течение всего года и особенно в летнее время на южной периферии циклонических образований на территории Севера Европы и Среднего региона. Особенности адвекции воздушных масс обуславливают в холодное время года относительно теплую и многоснежную погоду с повышенной облачностью фронтально-го происхождения, в период прогрева озер и в летнее время — относительно прохладную ветреную погоду с преобладанием ветров западных румбов. Особенности барико-циркуляционных условий определяют характер радиации и освещенности. Повышенная облачность и влажность воздуха теплых секторов циклонов, проходящих над акваториями озер Северо-Запада СССР, приводит к дефициту поступления прямой радиации, понижению освещенности и фотосинтетической активности в годы повышенных уловов рыбы. Преобладание циклонических образований как в теплое время года, так в целом и в течение года обуславливает повышенную увлажненность, понижение затрат тепла и потерь на испарение. Увеличенный безледный период, уменьшение толщины льда — другие особенности гидрологических условий в годы экстремально больших уловов.

Существенно отличается среднее барическое поле в годы пониженных уловов, для него характерно развитие обширной области преобладания антициклонических образований с вероятностью в среднем за год около 70%, а за летнее время более 80%. Наиболее яркой чертой основных переносов воздушных масс в годы аномально малых уловов является резкое возрастание меридиональной составляющей в их перемещении. Особенности адвекции воздушных масс в целом за год обуславливают поступление и трансформацию в антициклональных полях арктического воздуха в холодное время года, что определяет холодный характер зим, пониженную снежность, способствует усилению процессов льдообразования, уменьшению продолжительности периода открытой воды. Наблюдается преобладание процессов радиационного выхолаживания зимой, а летом радиационное прогревание с избытком поступления прямой радиации, повышенной освещенностью и увеличением поступления фотосинтетически активной радиации. Для летнего периода года характерна повышенная засушливость, дефицит влаги, пониженная увлажненность, повышенные затраты тепла и потери на испарение.

Наиболее вероятно, что к 2000 г. сложатся условия, сопутствующие формированию сравнительно низкой численности рыб. Уловы не превысят 14–18 тыс. ц (при сохранении современной интенсивности промысла). Однако при рациональном ведении рыбного хозяйства следует ожидать промысловые уловы в размере 46 тыс. ц. Как было указано выше, для этого необходима интенсификация промысла ряда видов рыб (ряпушки, корюшки и т.д.) с получением

промышленных уловов в объеме 30 тыс. ц. Кроме того, рыбоводно-акклиматизационные работы по предложенной Севрыбниипроектom программе должны быть начаты не позднее 11 пятилетки. Только в этом случае к 2000 г. следует ожидать планируемый промысловый возврат (16 тыс. ц).

2.3. В ы в о д ы и п р е д л о ж е н и я

1. Онежское озеро – резервуар чистой высококачественной воды, олиготрофный водоем, имеющий важное транспортное и рыбохозяйственное значение.

2. В настоящее время главными источниками ухудшения качества воды озера являются хозяйственно-бытовые и промышленные стоки, нефтепродукты, СПАВ, древесные отходы. Многие притоки озера засорены древесиной. В итоге, по оценке Севрыбниипоекта, в современный период рыбное хозяйство Онежского озера от различного рода антропогенных факторов теряет ежегодно 5,5 тыс. ц рыбы при ежегодном промышленном вылове 24 тыс. ц.

3. Анализ многолетних изменений общей увлажненности территории Северо-Запада СССР показывает, что 2000 г. придется на маловодную фазу (1998–2013 гг.) с минимумом в 2003–2005 гг.

4. Рост населения и развитие народного хозяйства в водосборном бассейне озера приведет к увеличению поступления к 2000 г. биогенов: фосфорная нагрузка на озеро возрастет до 0.15 г/м^2 в год по сравнению с 0.09 г/м^2 в современный период; концентрация общего фосфора в воде озера почти удвоится, что приведет к повышению его трофического уровня. Процессы эвтрофирования наиболее сильно будут проявляться в мелководной прибрежной зоне, особенно вблизи городов и промышленных объектов.

5. Являясь крупнейшим сигово-корюшковым водоемом, Онежское озеро имеет большое рыбохозяйственное значение. При рациональном ведении рыбного хозяйства прирост ихтиомассы позволит планировать на 2000 г. уловы в размере 46 тыс. ц.

6. Для сохранения уникальных природных особенностей Онежского озера, учитывая его большое рыбохозяйственное значение, необходимо:

а) строго контролировать работу водного транспорта, не допускать загрязнения озера нефтепродуктами, усилить постоянный санитарный контроль за состоянием воды в Петрозаводской губе у г. Петрозаводска, в Большой губе у г. Повенца и г. Медвежьегорска, в пос. Вознесенье и Вытегре, в г. Кондопоге;

б) расчистить русла в прошлом сплавных рек и не допускать захламления древесиной рек и участков озера, где осуществляется лесосплав;

в) построить лососево-сиговый завод мощностью 300 тыс. штук покатника лосося, 2 млн. штук сеголеток сиговых и 100 млн. штук молоди весенне-нерестующих рыб;

г) осуществить строительство двух озерных товарных рыбных хозяйств общей мощностью 5 тыс. ц ценных видов рыб.

7. Для сохранения природных ресурсов Онежского озера, так же как и других озер, необходима реализация широкого комплекса мероприятий, утвержденного постановлениями партии и правительства в области охраны природы.

Л и т е р а т у р а

- А да мен ко В.Н., Гу ля е ва А.М., И зо то ва А.Ф., К лю й ко ва Н.П. Уловы рыбы в Онежском озере и изменчивость гидрометеорологических условий. — В кн.: XI Сессия по проблеме „Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера.“ Тез. докл. Петрозаводск, 1981, с. 13-14.
- Б и ск э Г.С., Л ак Г.Ц., Лу каш ов А.Д., Гор ю - нова Н.Н., И ль ин В.А. Строение и история котловины Онежского озера. Петрозаводск, 1971. 73 с.
- Г и д р о х и м и я Онежского озера и его притоков. Л. 1973. 240 с.
- Д и н а м и к а водных масс Онежского озера. Л., 1972. 205 с.
- И зо то ва А.Ф. Турбулентный тепло- и влагообмен больших озер. Л., 1982. 144 с.
- Зо о п л а н к т о н Онежского озера. Л., 1972. 326 с.
- Л и т о р а л ь н а я з о н а Онежского озера. Л., 1975. 243 с.
- М и к р о б и о л о г и я и первичная продукция Онежского озера. Л., 1973. 168 с.
- М о л ч а н о в И.В. Онежское озеро. Л., 1946. 207 с.
- О н е ж с к о е о з е р о как объект хозяйственного использования. Л., 1970. 243 с.
- П а л е о л и м н о л о г и я Онежского озера. Л., 1976. 201 с.
- Р а с т и т е л ь н ы й м и р Онежского озера. Л., 1971. 191 с.
- С е к а ч е в А.А. Водный баланс Онежского озера. — В кн.: Сборник работ Ленинградской и Петрозаводской ГМО. Л., 1970, вып. 6, с. 3-44.
- С е м е н о в и ч Н.И. Донные отложения Онежского озера. Л., 1972. 102 с.
- Т е п л о в о й р е ж и м Онежского озера. Л., 1973. 326 с.
- У с т и н о в Г.Н., Р у б у ш к о в а Л.Д. Уровенный режим Онежского озера в естественном и зарегулированном состоянии. — В кн.: Сборник работ Ленинградской ГМО. Л., 1977, вып. 11, с. 54-66.

3.1. Современное состояние озера

Физико-географические условия и морфометрия

Озеро Ильмень расположено на юго-западе Новгородской области, на территории обширной Приильменской низины. Его котловина представляет собой прогиб в девонских отложениях, более чем на 90% заполненный осадочными породами. Озеро мелководное, с плоским дном, сложенным 9–10-метровой толщей ила с незначительным содержанием органического вещества. Характерная особенность озера, отличающая его от других крупных водоемов Северо-Запада, — значительная изменчивость его размеров, обусловленная большой амплитудой колебания уровня воды в нем. При минимальной отметке уровня (16,5 м Б.С.) площадь зеркала составляет 770 км², объем водной массы — 1,5 км³, а наибольшая глубина — 3 м, при максимальном положении уровня (23,4 м Б.С.) озеро разливается на площади 2100 км², объем его водной массы увеличивается до 11,6 км³, максимальная глубина возрастает до 10 м. Средняя площадь озера равна 1200 км², объем — 3,5 км³, длина — 45 км, ширина — 35 км, коэффициент условного водообмена — 4,3 (смена воды происходит 4 раза в год).

Озеро Ильмень дренирует площадь в 67 200 км² (рис. 7). Рельеф его водосборного бассейна на низких участках представляет аккумулятивные равнины, сложенные ленточными глинами и песками, а на высоких — абразионные моренные равнины. Колебания высот местности составляют от 10 до 100 м над уровнем моря. В оз. Ильмень впадает 19 рек длиной более 10 км и несколько сотен ручьев. Наиболее крупные из рек — р. Мста с годовым расходом воды 170 м³/с, на долю которой приходится 38% общего поверхностного притока в озеро, р. Ловать (30%), р. Пола (13%), р. Шелонь (13%), среди малых притоков наиболее значительна р. Веронда (1%). Реки имеют смешанное питание с преобладанием снегового. Доля грунтового питания составляет от 8 до 14–20%, дождевого — от 20 до 30% годовой величины стока.

Климат, в условиях которого происходит формирование режима озера, характеризуется относительно теплым летом и продолжительной с частыми оттепелями зимой. Средняя температура января $-8\div-10^{\circ}$, июля $17-18^{\circ}$. Ильменский водосбор относится к зоне избыточного увлажнения. Количество осадков в прибрежных районах озера составляет 670 мм в год, около 70% годовой суммы приходится на апрель–октябрь. Годовая абсолютная влажность воздуха около

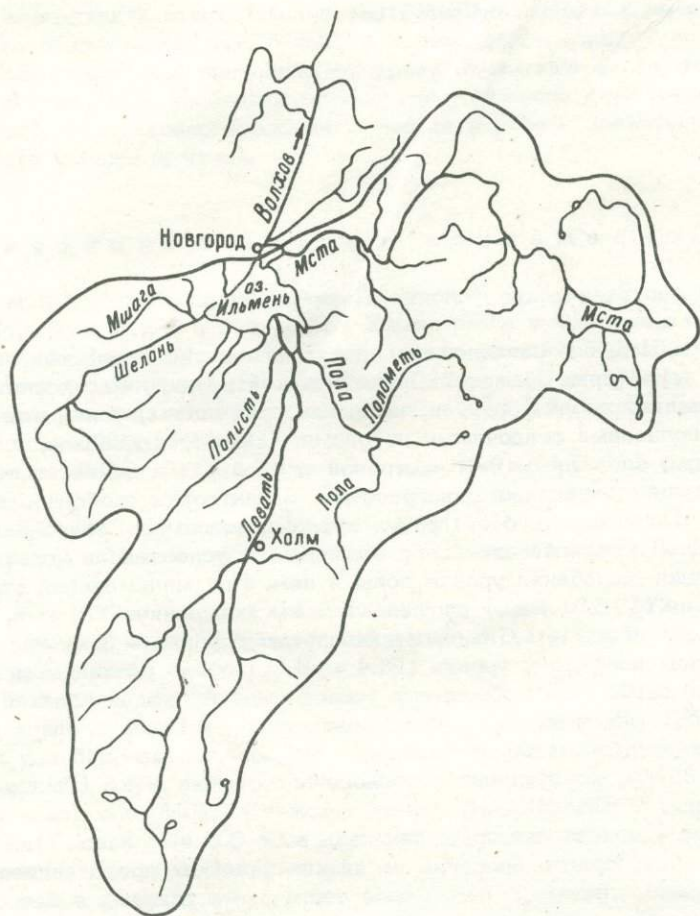


Рис. 7. Схема бассейна оз. Ильмень.

8 мбар. В течение года преобладают юго-западные и южные ветры. Наибольшая скорость ветра в осенне-зимний период отмечается на побережье озера, в среднем за месяц - 5-6 м/с (Ресурсы..., 1972).

По характеру лесной растительности северная и северо-восточная части бассейна оз. Ильмень относятся к подзоне южной тайги, вся остальная территория принадлежит подзоне смешанных лесов. Леса занимают в среднем около 40% территории. К наиболее зазеленным районам относится бассейн р. Мсты (62%), к менее зазеленным - бассейн р. Шелони (26%). Для бассейна характерно преобладание глинистых, суглинистых, супесчаных грунтов. Широко распространены дерновые и суглинистые почвы, на заболоченных участках - торфяно-подзолисто-глеевые, в низовьях южных и запад-

ных притоков озера - сильно и среднеподзолистые супесчаные почвы (Гембель, 1963).

Формирование подземного стока рек на большей части территории водосборного бассейна оз. Ильмень (южные и восточные районы, включающие водосборы рек Мсты, Полы, Ловати) происходит в условиях свободного обмена вод в пределах верхнедевонского водоносного комплекса, представленного песками и глинами с редкими мало-мощными прослоями известняков, доломитов и мергелей.

Гидрологический режим

Характерная особенность оз. Ильмень - большая амплитуда колебания его уровня. По материалам наблюдений на п. Войцы за период 1931-1977 гг. она составила 650 см. Причина значительных изменений уровня заключается в соотношении площадей зеркала озера и питающего его бассейна, т.е. в величине показателя удельного водосбора. Если у больших озер Северо-Запада СССР показатели удельного водосбора составляют от 5,3 до 14,8, то у оз. Ильмень он равен 56, отчего амплитуда колебания уровня воды в нем в 2-3 раза превышает колебания уровня озер Ладожского, Онежского, Псковско-Чудского.

Годовой ход уровня озера характеризуется интенсивным весенним подъемом. Нарастание уровня происходит в течение 1-1,5 месяцев, начиная с первых чисел апреля, и заканчивается в мае, когда уровень достигает максимальных отметок. За это время вода в озере поднимается обычно на 3 м над зимним меженим уровнем, после чего происходит ее спад в течение трех месяцев, завершающийся короткой меженью, приходящейся на сентябрь-октябрь. В ноябре происходит незначительный подъем воды от дождей, сменяющийся снижением, характерным для зимнего периода. Максимальные уровни наблюдаются обычно в первой половине мая, минимальные - в третью декаду марта. В соответствии с сезонными колебаниями уровня происходит значительное изменение размеров озера в течение года. Наибольшая площадь зеркала отмечается в мае и составляет в среднем 1600 км², наименьшая - в марте - 980 км².

Помимо сезонных факторов существенное влияние на многолетние колебания уровня озера оказывают циклические внутривековые изменения общей увлажненности территории. Анализ многолетних колебаний годового уровня оз. Ильмень показал, что по крайней мере за последние 60 лет (1920-1977 гг.) в режиме озера наблюдались две многоводные и две маловодные фазы, соответственно составившие два цикла колебания общей увлажненности территории (Шнитников, 1966, рис. 8). В многоводную фазу 1922-1936 гг. средний годовой уровень был равен 382 см, в сменившую ее маловодную фазу 1937-1952 гг. он снизился до 322 см. В последующие фазы он менялся с 393 см (1953-1962 гг.) до 305 см (1963-1977 гг.).

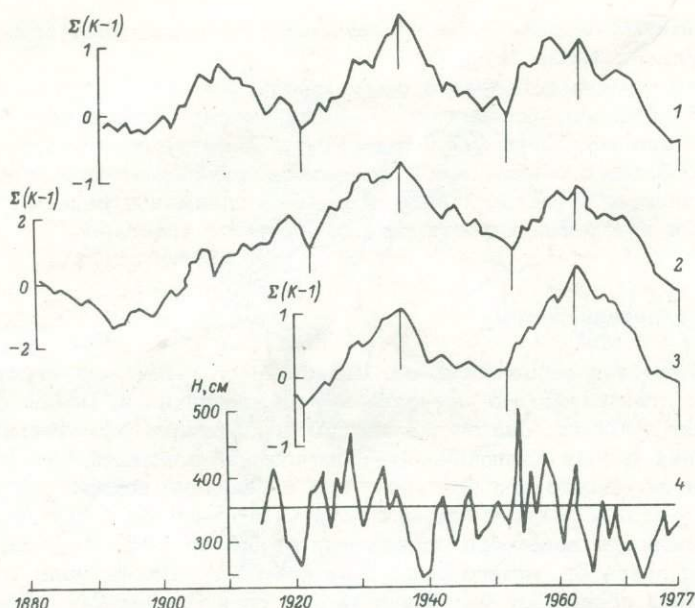


Рис. 8. Внутривековая изменчивость элементов режима оз. Ильмень.

1 - осадки теплого периода; 2 - годовой сток р. Волхов; 3 - годовые уровни озера; 4 - фактические уровни озера.

Т а б л и ц а 43

Средние сезонные уровни оз. Ильмень

в разные фазы водности и в экстремальные годы
внутривекового цикла 1953-1977 гг. (см над „0“ графика)

Период	Весна, IУ-УI	Лето, VII-УIII	Осень, IX-XI	Зима, XII-III	Среднее за год
1953-1962 гг., многоводная фаза	514	405	350	327	393
1963-1977 гг., маловодная фаза	432	308	252	249	305
1953-1977 гг., цикл	465	347	291	280	340
1953 г., многоводный год	558	489	536	439	501
1972 г., маловодный год	323	260	227	202	248

Отличия в высоте уровней в разные по водности фазы сохраняются во все сезоны (табл. 43).

Т а б л и ц а 44

Водный баланс оз. Ильмень за два цикла колебания
общей увлажненности

Элементы баланса	1922-1952 гг.			1953-1977 гг.		
	м ³ ·10 ⁶	мм	%	м ³ ·10 ⁶	мм	%

П р и х о д

Приток в озеро	14824	12251	95	14160	12207	95
Осадки	829	685	5	768	662	5
С у м м а	15653	12936	100	14928	12869	100

Р а с х о д

Сток из озера	15147	12518	97	14360	12379	96
Испарение	506	418	3	568*	490*	4
С у м м а	15653	12936	100	14928	12869	100

П р и м е ч а н и е. Звездочкой отмечены данные, рассчитанные А.Ф. Изотовой.

Расчеты водного баланса оз. Ильмень, выполненные В.П. Нехайчиком (1964) и В.А. Кирилловой для двух циклов колебания увлажненности, показали, что приток в озеро за этот период сократился с 14,8 до 14,2 км³, а сток - с 15,1 до 14,4 км³ в год (табл. 44). Атмосферные осадки на озеро уменьшились на 23 мм, а испарение с озера возросло почти на 70 мм. Экстремальные значения притока-стока достигали 24 км³ (1953 г.) и 6 км³ (1972 г.) в год.

Основную долю в водном балансе оз. Ильмень, как и большинства водоемов Северо-Запада СССР, составляет поверхностный приток и сток - 95-97%, на осадки приходится 5%, на испарение - 3-4%. Более половины речного притока в озеро приходится на весну - 57,2%, на лето - 7,7%, на осень - 18,5%, на зиму - 16,6%. Сток из озера весной составляет 47% годового, летом - 15,9%, осенью - 17,9%, зимой - 19,2%.

Термический режим озера определяется его мелководностью и характеризуется значительным прогреванием водной толщи. Средняя месячная температура поверхности воды озера по многолетним данным в летнее время составляет 18-19°. Температурная стратификация наблюдается только в период длительной штилевой погоды, разность между поверхностной и придонной температурой в отдельные дни достигает 8-10°. При сильных и средних ветрах наблюдается

равномерное прогревание воды по всей глубине. Начиная с августа, термическая стратификация озера не превышает 1-2°. В период ледостава под влиянием теплоты, выделяющейся при биохимических процессах, происходящих в толще иловых отложений озера, температура воды в придонных слоях достигает 4-5°. Замерзает озеро в третьей декаде ноября, а вскрывается в конце апреля. Средняя продолжительность ледостава составляет 134 дня, возможны колебания от 59 до 160 дней (Ресурсы..., 1972).

Натурных исследований течений в оз. Ильмень до последнего времени не проводилось. Опыт изучения ряда мелководных озер Северного края позволяет составить общую схему течений применительно к данному водоему (Охлопкова, 1977). Перенос водных масс в оз. Ильмень в основном осуществляется ветровыми течениями. Плотностные течения ввиду мелководности водоема и хорошего перемешивания вод до дна, а следовательно, отсутствия устойчивой температурной стратификации не развиваются. Стоковые течения носят локальный характер и выражены вблизи устьев рек - притоков озера - на расстоянии не более 4 км. Преобладание в данном районе ветров с западной составляющей, в основном юго-западных, вызывает перенос вод преимущественно на север и северо-восток. Расчеты, выполненные А.Ю. Тержевиком на математической модели, основанной на теории полных потоков (Фельзенбаум, 1960), показали, что циркуляционные зоны интегральных течений на оз. Ильмень отмечаются в слое 0.5-1.5 м. На поверхности течение направлено по ветру, у дна развивается компенсационное течение. Скорости поверхностных течений в большинстве случаев не превышают 10 см/с при ветре 5 м/с, скорости компенсационных течений не более 5 см/с.

При ветрах с западной составляющей в южной части озера формируется циркуляционная зона, захватывающая район впадения р. Ловати.

В лаводочный период интегральный перенос становится направленным к истоку р. Волхов, скорости течений усиливаются на 2-3 см/с, в то время как циркуляционные движения на юге озера ослабевают.

Среди динамических процессов значительная роль в перемешивании водной массы озера принадлежит сейшам. При сгонно-нагонной денивеляции, которая часто наблюдается на озере, следует ожидать довольно высокой амплитуды сейш. При амплитуде сейш в 10 см сейшевое течение может достигать 15 см/с. По расчетным данным, период одноузловой сейши при среднем уровне озера составит 4 ч 13 мин, при высоком уровне - 3 ч 09 мин, при низком - 5 ч 19 мин (Малинина, 1970).

Химический состав воды

Минерализация и ионный состав воды оз. Ильмень подвержены значительным колебаниям, отражающим изменения водных ресурсов бассейна озера и состава вод притоков. Среди основных притоков

Т а б л и ц а 45

Колебания минерализации и ионного состава вод оз. Ильмень
и его основных притоков (мг/л) в течение года

Объект	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	$\Sigma_{\text{и}}$	
							пределы	средняя
П р и т о к и								
Шелонь	95,7-366,1	8,4-159,6	8,0-203,4	26,2-111,4	4,3-29,3	0,8-98,2	121,6-775,2	252,1
Ловать	35,4-228,0	4,8-31,1	1,0-11,5	12,8-58,1	2,1-13,5	9,5-12,8	61,8-346,3	153,7
Пола	28,2-238,0	5,5-19,0	0,4-14,9	6,9-64,7	0,5-11,9	0,2-25,8	39,4-335,2	157,1
Мста	43,3-134,2	3,0-8,6	3,2-6,8	13,6-34,5	3,2-8,9	0,2-6,8	56,0-239,0	70,2
О з е р о								
1952-1958 гг.	21,0-137	1,1-24,2	0,6-38,8	12,3-42,3	0,2-5,6	1,1-24,2	42,3-220,0	128,4
1963-1970 гг.	30,5-123	5,8-32,3	3,3-74,8	9,4-37,7	1,3-10,8	4,2-58,2	54,6-303	167,7
1978 г. (лето)	62,6-68,2	13,7-15,1	15,5-18,5	20,5-23,8	5,2-5,9	6,6-7,6	126,3-136,7	131,0

наиболее минерализована вода р. Шелони (сумма ионов равна 122-775 мг/л; табл. 45). Максимальные величины минерализации отмечаются в конце зимы (март), минимальные - в паводочный период. Заметным изменениям в течение года подвержен и ионный состав воды р. Шелони. При аномально высоком содержании хлоридных ионов в течение всего года в весенне-летний период в анионной части преобладают гидрокарбонатные ионы (более 60 экв-%). В зимний период, когда увеличивается роль грунтовых вод, содержание хлоридных ионов возрастает, и к концу зимы при минерализации 500-600 мг/л они преобладают в анионном составе (до 55 экв-%). Среди катионов доминируют ионы кальция (45-80 экв-%), однако при повышении минерализации доля ионов натрия приближается к доли ионов кальция.

Река Ловать имеет меньшую минерализацию (62-346 мг/л) и меньшее содержание хлоридных ионов. Максимальных значений сумма ионов достигает в зимнюю межень. Воды р. Ловати характеризуются значительным преобладанием ионов HCO_3^- (70-95 экв-%) в анионной части и ионов Ca^{2+} (64-88 экв-%) в катионной. Содержание сульфатных и хлоридных ионов не превышает 14-16 экв-%.

Река Пола по ионному составу и величине минерализации близка к р. Ловать.

Вода р. Мсты минерализована менее, чем рек Ловать и Пола, хотя в зимний период сумма ионов достигает в ней 239 мг/л, а в половодье падает до 50-60 мг/л. В анионном составе преобладают ионы HCO_3^- (74-96 экв-%), в катионном - ионы Ca^{2+} (62-86 экв-%). Содержание хлоридов невелико.

Высокий водообмен оз. Ильмень определяет величину минерализации озерной воды, близкую к средней за год минерализации основных притоков. В разные годы сумма ионов в озерной воде колеблется в течение года от 42 до 303 мг/л. Наибольшие величины минерализации отмечаются в конце зимней межени, наименьшие - в период половодья при максимальных уровнях. Особенность ионного состава озерной воды - повышенное содержание хлоридных ионов, превышающее содержание сульфатных ионов, что для маломинерализованных озер гумидной зоны является крайне редким. В половодье хорошо выражено преобладание ионов HCO_3^- (64-82 экв-%). В летнюю и зимнюю межень относительное содержание ионов HCO_3^- лишь незначительно превышает содержание ионов Cl^- и составляет в среднем 50-56 экв-%. Относительное содержание ионов Cl^- в меженные периоды возрастает до 36-48 экв-% (в 1949 г. - до 52 экв-%). Среди катионов преобладают ионы кальция, хотя ионы натрия по относительному содержанию близки к ним.

Общее поступление солей в оз. Ильмень с притоками составляет 1906 тыс. т в год при средней минерализации вод притоков 130 мг/л.

В поверхностных слоях воды озера насыщение кислородом в безледный период близко к 100%. В весенне-летний период за счет фотосинтетической деятельности фитопланктона в поверхностном слое наблюдается перенасыщение кислородом до 140-150%, причем

Расчетная и измеренная концентрация общего фосфора (мг/л)
в воде главных притоков оз. Ильмень

Концентрация	Река Мста	Река Ловать	Река Шелонь
Расчетная	0,085	0,080	0,074
Измеренная	0,041–0,124	0,764–0,097	0,040–0,112

в штилевую погоду перенасыщение может превышать 200%, в то время как в придонных слоях отмечается дефицит кислорода. Массовое развитие фитопланктона и его дальнейшее разложение может приводить на отдельных участках озера к заморным явлениям (август 1968 г., устье р. Шелони). При наступлении педостава содержание кислорода в поверхностных слоях снижается до 90–60% насыщения, а в придонных – до 30–10%. В суровые многоснежные зимы в озере наблюдаются заморные явления (1956 г.).

Величина рН в летний период изменяется в пределах 7,6–8,6, повышаясь в периоды массового цветения водорослей до 9,2; зимой величина рН снижается до 7,0–7,2.

Режиму общего фосфора из-за его роли в биологических процессах и формировании качества воды было уделено особое внимание. Была произведена оценка всех источников поступления фосфора с водосбора. Расчеты проводились по бассейнам трех главных притоков озера – Мсты, Ловати (с Полой) и Шелони, водный сток которых составляет около 94% всего притока. Для оценки правильности проведенных расчетов годовой вынос фосфора с водосбора каждой из рек относили к ее среднегодовому водному стоку, считая результат среднегодовой расчетной концентрацией общего фосфора в воде этих рек. Полученные величины сравнивались с результатами определения концентрации общего фосфора в воде притоков за 1978–1979 гг. (табл. 46). Хорошая сходимость измеренных и расчетных величин показывает, что расчет выноса фосфора с водосбора методом косвенных оценок в целом удовлетворителен. Все основные результаты расчета приведены в табл. 47; из табл. 47 видно, что основное поступление фосфора в водоем приходится на сточные воды городов.

Величина поступления фосфора в водоем за год, отнесенная к средней площади зеркала и называемая фосфорной нагрузкой на озеро, дает возможность рассчитать концентрацию общего фосфора в водоеме по формуле Диллона–Риглера. Фосфорная нагрузка на оз. Ильмень, рассчитанная по аналитическим определениям на 1975 г. (Агаркова и др., 1979), составила 0,84 г/м² в год, а вычисленная по формуле Диллона–Риглера средняя концентрация общего фосфора в воде озера – 0,030 мг/л. По наблюдениям 1978–1979 гг., средняя годовая величина концентрации общего фосфора в оз. Ильмень составляет 0,070 мг/л, причем преобладающей формой фосфора

Т а б л и ц а 47

Поступление общего фосфора (т/год) в оз. Ильмень
с водосбора из различных источников

Источник поступлений	Водосбор			Сумма	Про- цент от суммы
	р. Мсты	р. Ло- вати (с По- лой)	р. Ше- лони		
Городское население	153,2	244,3	43,0	440,5	44,6
Сельское население	9,7	33,5	14,3	57,5	5,8
Смыв с городских терри- торий	12,4	17,5	6,4	36,3	3,7
Промышленность	15,3	24,4	4,3	44,0	4,4
Сельское хозяйство	19,1	75,5	39,9	134,5	13,6
Неосвоенные территории	70,0	140,8	40,0	250,8	25,4
С у м м а				963,6	
Атмосферные осадки на зеркало озера				25,0	
Всего поступило за год (1975 г.)				988,6	

П р и м е ч а н и е. Здесь и в табл. 51 при расчете учиты-
валась только половина фосфора, выносимого с водами р. Мсты,
поскольку по рекогносцировочным данным около 50% ее годового
стока поступает по Сиверсову каналу непосредственно в исток
р. Волхова, минуя озеро.

в озерной воде является взвешенная. Взвеси оз. Ильмень - это
взмучиваемый верхний слой донных отложений (пелаген). Содержа-
ние взвеси в воде обусловлено ветровой деятельностью, поэтому
зимой оно сильно снижается. Среднегодовая величина содержания
взвеси фосфора равняется 0,035-0,040 мг/л; в летнее время оно
составляет 0,06-0,07 мг/л. Содержание растворенного общего фос-
фора в течение года довольно устойчиво и равно 0,030-0,035 мг/л,
что очень хорошо сходится с рассчитанной концентрацией (0,030 мг/л).
При увеличении фосфорной нагрузки содержание растворенного обще-
го фосфора в воде озера будет увеличиваться, в то время как вели-
чина взвесей фосфора при сохранении современного уровня ре-
жима будет практически постоянной.

Концентрация минерального фосфора в воде озера изменяется в
течение года от 0,038 мг/л до аналитического нуля и в сильной
степени зависит от развития планктонных организмов.

В озере постоянно присутствуют минеральные и органические соединения азота. Концентрация аммонийного азота изменяется от 0,08 до 0,14 мг N/л, а нитратного – от 0,10 до 0,17 мг N/л. Содержание органического азота гораздо выше и достигает 0,60–0,80 мг N/л в зимнее время и 0,30–0,70 мг N/л – в летнее.

Вода оз. Ильмень отличается высоким содержанием органического вещества. Величина цветности озерной воды постоянно выше 60° и временами достигает 120°. Перманганатная окисляемость изменяется от 8 до 20 мг O₂/л, бихроматная – от 20 до 70 мг O₂/л. Отношение перманганатной окисляемости к бихроматной, равное 2,2–4,5, характерно для высокопродуктивных (эвтрофных) озер.

Гидробиологическая характеристика

По составу фауны и флоры и уровню продуктивности водных сообществ оз. Ильмень в настоящее время имеет черты высокопродуктивного водоема.

В фитопланктоне оз. Ильмень по сведениям, приведенным в литературе, и данным ГосНИОРХа к настоящему времени насчитывается 197 видов и разновидностей водорослей, в том числе синезеленых – 27, пиропитовых – 10, диатомовых – 80, золотистых – 6, желтозеленых – 7, эвгленовых – 11, зеленых – 56. Наиболее широко распространены в планктоне диатомовые, дающие в мае до 90% общей численности водорослей. В июле–августе большое значение приобретают синезеленые, составляющие в этот период до 80% общей численности фитопланктонов. Зеленые водоросли особенно интенсивно развиваются в июне–июле и могут давать до 35%, а в отдельные годы (1976 г.) даже до 85% общей численности фитопланктонов.

В сезонном развитии фитопланктона выделяются два пика: весенний, связанный с преобладанием диатомовых водорослей и приходящийся на май, и летний – в августе, в период наибольшего флористического разнообразия планктонного сообщества. Биомасса фитопланктона весной достигает 7,5 мг/л, летом – 3 мг/л. Ведущая роль в создании биомассы принадлежит диатомовым, остальные группы дают не более 13% общей биомассы. Доля синезеленых водорослей в биомассе даже в период их массового развития не превышает 2%.

Данные о содержании хлорофилла в планктоне озера, полученные экспедицией Института озераведения АН СССР, немногочисленны (17 станций) и относятся к июлю–августу 1979 г. В этот период среднее содержание хлорофилла „а” составляло 3,2 мкг/л (от 1,2 до 5,0 мкг/л), а суммарного („а”, „в”, „с”) – 8,9 мкг/л (от 4,1 до 13,4 мкг/л). Эти величины заставляют отнести оз. Ильмень к мезотрофным озерам.

В перифитоне оз. Ильмень, исследование которого также было проведено летом 1979 г., встречено 173 вида, разновидности и формы водорослей, из них синезеленых – 9, золотистых – 1, пиропито-

вых - 1, диатомовых - 136, зеленых - 26. Среди диатомовых, составляющих 78% общего числа видов, наиболее многочисленны роды *Achnanthes*, *Cymbella*, *Fragilaria*, *Gomphonema*, *Navicula*, *Nitzschia* и *Synedra*. Среди зеленых наиболее разнообразны роды *Cosmarium* и *Pediastrum*.

Биомасса группировок перифитона, рассчитанная на 1 см² субстрата, варьировала в широких пределах - от 0,001 до 472,4 мг сырого веса. Максимальную биомассу дают группировки, образованные *Gloeotrihia intermedia*, когда численность ее достигает 3-4 колоний на 1 см² субстрата. При доминировании диатомовых биомасса составляет 3-40 мг сырого веса на 1 см² субстрата.

Высшая водная растительность в оз. Ильмень развита хорошо - около 8,4% площади водоема покрыто макрофитами. В зарастании оз. Ильмень участвуют 32 вида растений, в том числе 19 видов воздушно-водных, 7 - с плавающими листьями, 6 - погруженных. Растения входят в состав 20 ассоциаций, образующих растительный покров оз. Ильмень. Главенствующая роль принадлежит группировкам 4 видов макрофитов - рдестам пронзеннолистному и блестящему (*Potamogeton perfoliatus* и *P. lucens*), горцу земноводному (*Poligonum amphibium*) и камышу озерному (*Scirpus lacustris*).

Зарастает оз. Ильмень неравномерно. Мелководные заливы северной, северо-восточной и восточной частей озера зарастают очень интенсивно - на 70-100%, причем в их центральных частях развиты более разреженные группировки рдеста пронзеннолистного по сравнению с сомкнутыми зарослями, расположенными в прибрежных частях. На долю заливов (площадь которых составляет 93 км²) приходится 6,5% общей площади зарастания оз. Ильмень. Основной плёс озера зарастает на 2,1% в основном двумя вышеупомянутыми видами рдеста. Группировки рдестов пронзеннолистного и блестящего протягиваются полосой от истока р. Волхова вдоль северного берега озера. Вдоль юго-восточного берега фитоценозы рдеста пронзеннолистного оконтуривают дельту р. Ловати, хорошо развиты они и в устье р. Шелони.

Наиболее детально изучен зоопланктон оз. Ильмень. По данным М.Б. Эггерт (1961), в его составе выявлено 86 видов и разновидностей. Самой многочисленной по видовому составу группой являются коловратки. Микрозоопланктон (инфузории) почти не изучен.

Из ракообразных массовыми видами являются *Mesocyclops leuckarti* Claus, *Eudiaptomus graciloides* Lilljeborg, *Heterocope appendiculata* Sars, а также *Daphnia cristata* Sars, *D. cucullata* Sars, *Leptodora kindtii* Focke. Среди коловраток преобладают виды родов *Keratella* и *Poliarthra*.

В зимнем зоопланктоне наряду с холодноводными видами коловраток и ракообразных присутствуют и некоторые умеренно тепловодные виды, в том числе циклопы. Численность зоопланктона в зимний сезон, по М.Б. Эггерт, составляет от 190 до 69 000 экз./м³, биомасса - от 11 до 159 мг/м³.

В весеннем зоопланктоне в массе развиваются коловратки и циклопы. Численность зоопланктона в весенний сезон по годам весьма разнообразна: в 1954 г. она составила 160 тыс. экз./м³, а в 1956 г. — 20 тыс. экз./м³.

Преобладающими видами летнего зоопланктона из коловраток являются *Conochilus unicornis* Rousselet, из ракообразных — *E. graciloides*, *M. leuckarti*, *H. appendiculata*, *Daphnia cucullata*, *D. cristata*, *Chydorus sphaericus* O.F. Müller.

Отмеченные в 50-е годы колебания средней летней численности зоопланктона составляли от 155.1 до 504.9 тыс. экз./м³, среднемесячная биомасса летом изменялась от 1 до 10 г/м³, наибольшая достигала 14.4 г/м³.

Летом 1978 и 1979 гг. обилие зоопланктона находилось на уровне среднеурожайных лет. Численность зоопланктона в июле 1978 г. составила 114 тыс. экз./м³ (15.6–140 тыс. экз./м³), биомасса — 2.2 г/м³ (0.4–3.0 г/м³), в июле 1979 г. эти величины были соответственно равны 156.8 тыс. экз./м³ (20–340 тыс. экз./м³) и 1.8 г/м³ (0.4–2.4 г/м³).

В осеннем зоопланктоне преобладают виды родов *Bosmina*, *Eudiaptomus*, *Mesocyclops*, *Cyclops*, *Kellicottia*, *Keratella*. По мере охлаждения воды численность и биомасса зоопланктона неуклонно растут.

Определенная Л.А. Степановой (1972) в среднем за 1969–1970 гг. годовая продукция зоопланктона составила: фильтраторы — 61 г/м², хищники — 12 г/м². Чистая продукция зоопланктона не превышала 30 г/м², или 15 ккал/м².

Зообентос озера изучен сравнительно хорошо. Однообразие грунтов и прибрежной растительности обусловили однообразие состава зообентоса оз. Ильмень. По данным В.П. Лукьяновой (1974), на илах открытой части озера преобладают хирономиды (*Chironomus f.l. plumosus-reductus* Lipina составляет до 35% биомассы хирономид), олигохеты и моллюски занимают второе и третье места. Всего в этой зоне отмечено 28 видов бентосных организмов. Величина средней биомассы пелофильного бентоса составила 11.3 г/м².

На илисто-песчаном грунте роль хирономид снижается. Руководящими формами биоценоза становятся сфериды (*Pisidium heuslowianum* Sheppard, *P. amnicum* Müller, *P. casertanum* Poli). Видовой состав псаммопелофильного биоценоза довольно разнообразен, отмечен 41 вид донных беспозвоночных, средняя биомасса бентоса составила здесь 10.0 г/м².

В литоральной зоне на песке моллюски также занимают первое место, всего в псаммофильном биоценозе было отмечено 69 видов беспозвоночных, средняя биомасса бентоса составила 6.0 г/м².

Обнаружен 71 вид фитофилов, средняя биомасса бентоса равна 6.4 г/м².

В 1968–1972 гг. средняя биомасса бентоса оз. Ильмень составила 10.17 г/м². Приведенные величины позволяют отнести озеро к высококормным водоемам.

Средняя численность бактериопланктона в оз. Ильмень равна 1,3 млн. кл./л (от 0,5 до 1,8 млн. кл./л). Бактериопланктон распределен равномерно по всей толще озера, только у дна наблюдается незначительное снижение количества бактерий. Равномерное распределение микроорганизмов связано с небольшой глубиной озера и с интенсивным перемешиванием его водных масс. Наибольшая численность бактерий (1,7-1,8 млн. кл./л) отмечена в центральной части озера и в устье р. Шелонь. Средний объем бактериальной клетки в водной толще озера равен 0,87 мг/л (от 0,34 до 1,25 мг/л). Время генерации бактерий примерно одинаково в центральной части озера и в устьевых участках рек - в среднем оно составило по озеру 36 ч, только в заливе, из которого вытекает р. Волхов, оно было несколько меньше - 25 ч. Там же наблюдалась и более высокая продукция биомассы бактерий, чем в остальном озере. Продукция бактериопланктона равна здесь 1,67 мг/л. Средняя же продукция бактерий по озеру составляет 0,63 мг/л. Средняя величина гетеротрофной ассимиляции углекислоты равна 0,009 мг С/л в сутки (от 0,006 до 0,015 мг С/л в сутки).

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что по уровню развития микробиологических процессов оз. Ильмень следует отнести к водоемам мезотрофного типа.

Ихтиофауна

Ихтиофауна оз. Ильмень и его притоков представлена 26 видами рыб, из них 16 являются промысловыми. Наибольшей численности в настоящее время достигает снеток, пещ, щука, синец, чехонь, судак, жерех, язь. Все представители ихтиофауны являются озерными и озеро-речными формами. По характеру питания (по материалам 1970-1973 гг.) преобладают планктофаги - в уловах они составили 55%, бентофаги - 33%, хищники - 12%.

Озеро Ильмень является высокопродуктивным рыбохозяйственным водоемом. В последние 20 лет уловы здесь составили 21-34 тыс. ц (табл. 48, 49). Промысел на озере в настоящее время осуществляется тремя рыболовецкими колхозами и одной РТФ, на промысле занято около 300 рыбаков. Основными орудиями лова являются ставные сети, мережи, ризцы ставные снетковые.

С 1968 г. на озере проводятся работы, направленные на реконструкцию ихтиофауны путем увеличения добычи малоценных в промысловом отношении рыб и лимитирования вылова леща, судака и щуки. Проводимые мероприятия позволили увеличить общий вылов по озеру за последнее десятилетие в среднем до 30,4 тыс. ц в год, что при среднемежном уровне составило около 30 кг/га. При этом крупный частик (лещ, судак, щука) составляет в уловах более 33%, а наиболее ценные виды из мелкого частика (синец, чехонь) - около 40%.

Т а б л и ц а 48

Промысловые уловы (тыс. ц) в оз. Ильмень

Год	Улов	Год	Улов	Год	Улов	Год	Улов
1960	24.5	1966	26.0	1972	34.8	1978	33.3
1961	22.9	1967	28.6	1973	30.2	1979	23.1
1962	24.4	1968	30.1	1974	30.2		
1963	25.7	1969	31.3	1975	31.4		
1964	31.9	1970	31.5	1976	21.0		
1965	23.9	1971	32.4	1977	31.0		

Т а б л и ц а 49

Видовой состав уловов (тыс. ц) в оз. Ильмень в 1977 и 1978 гг.

Виды рыб	1977 г.	1978 г.
Судак	0.9	0.5
Лещ	10.5	5.5
Щука	2.7	2.5
Снеток	3.5	11.2
Язь, жерех	0.2	0.2
Синец, чехонь	4.4	3.4
Прочие виды	8.9	10.0
Всего по озеру	31.1	33.3

Уловы любительского рыболовства ориентировочно оцениваются в 10 тыс. ц.

3.2. Возможные изменения природных ресурсов

Водные ресурсы

Приведенные на с. 85 данные за два цикла внутривековых колебаний общей увлажненности свидетельствуют о том, что существенных изменений в элементах водного баланса озера не произошло. Хотя основные составляющие баланса — приток и сток — имели тенденцию к снижению, разница между циклами не превышала 5%. Более заметные изменения в водном балансе наблюдаются в разные фазы водности. Расчеты показали, что приток в озеро в многоводные фазы составлял 17.8 (1922–1936 гг.) и 17.7 км³ (1953–1962 гг.), в маловодные фазы он сократился до 12.0 (1937–1952 гг.) и 11.8 км³.

Характеристика фаз водности

Элементы	Многовод- ная фаза 1922-1936 гг.	Маловод- ная фаза 1937-1952 гг.	Цикл 1922-1952 гг.	Многовод- ная фаза 1953-1962 гг.	Маловод- ная фаза 1963-1977 гг.	Цикл 1953-1977 гг.
Продолжительность фаз и цик- лов, годы	15	16	31	10	15	25
Модульный коэффициент стока р. Волхов	1.20	0.81	0.98	1.20	0.79	0.96
Приток в озеро, км ³	17.8	12.0	14.8	17.7	11.8	14.2
Сток из озера, км ³	18.3	12.2	15.1	17.8	12.1	14.4
Осадки, км ³	0.955	0.710	0.829	0.889	0.687	0.768
Испарение, км ³	0.481	0.530	0.506	0.630	0.527	0.568
Уровень озера, м Б.С.	18.76	18.22	18.52	18.93	18.05	18.40
Площадь, км ²	1280	1140	1210	1310	1105	1160
Объем, км ³	3.80	3.10	3.45	3.95	2.90	3.30
Коэффициент условного водооб- мена	4.7	3.9	4.3	4.5	4.1	4.3

(1963–1977 гг.; табл. 50). Судя по этим данным, в однозначные фазы разница между указанными элементами не превышает 2%, а в фазы, противоположные по водности, возрастает до 33%. Отклонения от величин, средних за цикл, равны $\pm 20\%$.

В соответствии с изменением водного режима озера по фазам изменяются и основные его морфометрические характеристики: площадь – на 10–15%, объем – на 20–25%.

Учитывая среднюю продолжительность циклов и фаз водности, можно предположить, что с середины 80-х годов начнется многоводная фаза, а период с конца 90-х годов до конца первого десятилетия 2000-х годов придется на маловодную фазу. Количественные характеристики основных элементов водного баланса нового цикла можно считать близкими к характеристикам прошедших циклов.

Качество воды

Возможные изменения величины минерализации под влиянием естественных и антропогенных факторов, как показывают расчеты, лежат в пределах, не вызывающих опасения за качество воды в озере. Более существенны изменения в результате эвтрофирования водоема.

Для большинства озер умеренной зоны наибольшую опасность в современных условиях представляет процесс антропогенного эвтрофирования водоема, тесно связанный с поступлением в озеро промышленных, сельскохозяйственных и коммунально-бытовых сточных вод. Поэтому основное внимание при прогнозе было уделено фосфору – важнейшему биогенному элементу, лимитирующему развитие фитопланктона и, следовательно, увеличивающему рост продуктивности водоемов. Поступление фосфора в озеро в значительной степени зависит от хозяйственной деятельности на водосборе и может быть учтено в прогностическом расчете.

Развитие хозяйства в бассейне озера приведет к увеличению поступления фосфора в водоем к 2000 г. приблизительно на 350 т в год по сравнению с современным (табл. 51). Основное увеличение поступления фосфора в озеро (около 200 т в год) произойдет за счет роста городского населения. Интенсификация сельского хозяйства (увеличение доз вносимых минеральных удобрений, рост поголовья скота) внесет дополнительно в водоем около 130 т. фосфора в год. Фосфорная нагрузка на озеро к 2000 г. возрастет до $1,14 \text{ г/м}^2$ в год. Это приведет к увеличению концентрации растворенного фосфора, рассчитанной по формуле Диллона-Риглера, до $0,040\text{--}0,050 \text{ мгР/л}$ (табл. 52).

Концентрация общего фосфора в воде озера рассчитывалась при условии, что содержание фосфора во взвеси сохранится таким же, какой наблюдается в современный период.

Прогнозируемые величины содержания общего фосфора в воде озера весьма велики и указывают на дальнейшую тенденцию эвтрофирования водоема. Интенсивность процесса эвтрофирования будет

Т а б л и ц а 51

Поступление общего фосфора (т/год) в оз. Ильмень
с водосбора из различных источников, рассчитанное на 2000 г.

Источник поступлений	Водосбор			Сумма	Процент от суммы
	р. Мсты	р. Лова- ти (с Полой)	р. Ше- лони		
Городское население	237.6	342.3	69.2	649.1	49.3
Сельское население	4.7	17.8	10.2	32.7	2.5
Смыв с городских территорий	24.0	34.0	7.0	65.0	4.9
Промышленность	24.0	34.0	7.0	65.0	4.9
Сельское хозяйство	43.4	147.2	72.3	262.9	20.1
Неосвоенные террито- рии	69.0	135.4	36.6	241.0	18.3
С у м м а				1315.7	
Атмосферные осадки на зеркало озера				29.0	
Всего поступило за год				1344.7	

Т а б л и ц а 52

Содержание фосфора (мгР/л) в воде оз. Ильмень на 2000 г.

Фосфор	Среднее за цикл	Маловодная фаза	Многоводная фаза
Общий	0.084	0.090	0.080
Растворенный	0.044	0.050	0.040
Взвешенный	0.040	0.040	0.040

сдерживаться такими гидрофизическими факторами, как интенсивное волнение и малая прозрачность озерной воды (в ветреную погоду менее 0.5 м). В летне-осенний период при установлении тихой штилевой погоды в озере будет регулярно возникать массовое развитие фитопланктона (цветение воды), что будет приводить к перенасыщению кислородом поверхностных слоев воды и к резкому его дефициту в придонных слоях. Увеличится вероятность возникновения заморных явлений как в летнее, так и в зимнее время за счет боль-

ших затрат кислорода на окисление новообразующегося органического вещества фитопланктона.

Минерализация и степень гумификации озерных вод к 2000 г. существенно не изменятся.

Биоресурсы

Расчет соотношения первичной продукции водоема в соответствии с содержанием в его воде общего фосфора показывает, что при изменении содержания растворенного общего фосфора в воде озера к 2000 г. до 44 мкг/л среднее летнее содержание хлорофилла „а“ должно составить 5,0 мкг/л.

По условиям развития фитопланктона мелководное оз. Ильмень, характеризующееся значительной мутностью воды, должно быть близко к озерам Воже и Лача. Концентрация общего фосфора в воде всех трех водоемов также близка. Нами были получены величины интенсивности фотосинтеза в расчете за единицу хлорофилла „а“, так называемые суточные ассимиляционные числа (САЧ) для летнего планктона озер Воже и Лача (соответственно 187 и 181). Приняв среднюю из этих величин (184) в качестве реальной для оз. Ильмень, можно рассчитать, что первичная продукция летнего планктона к 2000 г. составит здесь 920 мкг/л в сутки. Это значит, что оз. Ильмень приблизится к границе перехода в эвтрофную стадию.

Заметных изменений в зарастании оз. Ильмень макрофитами, выходящих за рамки межгодовых колебаний, которые могут наблюдаться в современных условиях, не ожидается, так как ограничивающим фактором в настоящее время является не трофический, а динамический и сопутствующие ему процессы.

Так как основные факторы, сдерживающие развитие перифитона, — динамика водных масс, мутность воды и значительные колебания уровня в течение вегетационного сезона — остаются без изменений, то не следует ожидать и существенных изменений в видовом составе, численности и биомассе группировок перифитона. Остается прежним и характер распределения водорослей обрастаний по акватории озера.

Для оз. Ильмень самыми мощными регуляторами годовых колебаний в развитии планктона являются режим уровней, а также температура и ветер (Эггерт, 1961). Поскольку в прогнозируемый период в морфометрии озера и в климатических условиях существенных изменений не ожидается, то и в развитии зоопланктона можно предположить варьирование обилия в пределах, отмеченных в предыдущие годы (колебания эти, будучи обусловленными значительными межгодовыми колебаниями гидрологических показателей, довольно существенны). Однако в связи с тем что увеличение фосфорной нагрузки и содержания растворенного общего фосфора в воде озера вызовут значительное увеличение продукции фитопланктона, следует ожидать, что и обилие зоопланктона к 2000 г. также в целом возрастет. Однако уменьшение проточности озера и развитие в отдель-

ные периоды заморных явлений будут отрицательно влиять на жизнедеятельность зоопланктона, угнетая его развитие.

Учитывая увеличение фосфорной нагрузки на озеро к 2000 г., следует ожидать повышения продуктивности его зообентоса. В настоящее время, как отмечалось выше, по содержанию в воде хлорофилла оз. Ильмень считается мезотрофным, по продуктивности зообентоса — это уже эвтрофный водоем. Мутность воды и интенсивное перемешивание ее до дна являются факторами, ограничивающими развитие водорослей. Для зообентоса повышенная динамика вод служит положительным фактором, обеспечивающим хороший кислородный режим в придонном слое. Благодаря этому повышение фосфорной нагрузки до 46 мкг/л не вызовет ухудшения газового режима и благоприятно скажется на продуктивности донных беспозвоночных. Об этом можно судить уже сейчас, ибо анализ межгодовых колебаний биомассы бентоса в многоводные (1946 и 1952–1956 гг.) и маловодные (1937, 1968–1972) годы показал, что интенсивное развитие зообентоса приходится на годы с высоким уровнем воды, так как в этот период увеличивается приток органики и биогенных элементов (Лукьянова, 1977).

При увеличении фосфорной нагрузки и соответственно увеличении продуктивности фитопланктона уровень микробиологических процессов в оз. Ильмень приблизится к условиям эвтрофных водоемов.

Рыбное хозяйство

Исследования по динамике численности рыб оз. Ильмень и его притоков проводятся Новгородской лабораторией ГосНИОРХа. С 1974 г. для оценки численности и ихтиомассы ряда промысловых рыб использовался так называемый метод прямого количественного учета. В табл. 53 приведены данные о величине ихтиомассы отдельных видов рыб оз. Ильмень, а также о расчетной величине их возможного промыслового изъятия.

Учитывая ихтиомассу вышеуказанных видов рыб, общую продукцию, рассчитанную через Р/В-коэффициенты, и потери за счет естественной смертности, было рекомендовано увеличение уловов на оз. Ильмень на 3–5 тыс. ц за счет ерша, окуня и густеры.

Исследованиями на реках Волхов, Мста, Ловать и Шелонь установлено, что запасы рыб в этих реках позволяют добывать ежегодно около 2 тыс. ц. В настоящее время в них вылавливается 0,3–0,4 тыс. ц.

Увеличение рыбопродуктивности оз. Ильмень возможно также за счет повышения продуктивности озера путем акклиматизации кормовых организмов рыб и проведения ряда мелиоративных работ.

С 1972 г. в озеро вселяются ракообразные: мизиды (*Paramusis kowalewskyi* и *P. intermedia*) из устья Дона и байкальские соровые гаммариды (*Imelinoides fasciatus*, *Gammarus lacustris*). По данным Новгородской лаборатории ГосНИОРХа, продукция этих видов позволит получить к 2000 г.

Ихтиомасса и возможное промысловое изъятие основных видов рыб оз. Ильмень (тыс. ц)

Виды рыб	Ихтио- масса	Общая продукция	Возможный вылов	Фактический вылов
Лещ	50,7		10,3	10,0
Судак	13,8		2,8	1,1
Ерш	20-25	10,0-12,5	3,9-4,9	1
Окунь	5-6	1,8-2,1	1,5-1,8	1
Плотва	8-10	3,6-4,5	1,5-1,8	2
Густера	10-12	3,0-3,6	2,4-2,9	2

прирост ихтиомассы и обеспечит дополнительную рыбопродукцию в размере 4,5-6 тыс. ц ежегодно.

Численность промысловых видов рыб оз. Ильмень в значительной мере определяется условиями их нереста и в особенности условиями нагула и ската молоди рыб из поймы в основной водоем. Пойма оз. Ильмень почти не мелиорируется. Особенно остро стоит вопрос мелиорации дельты Ловати. Протоки дельты настолько заилились, что в летний период глубина их доходит до 20 см. Это препятствует естественному скату молоди из большинства пойменных озер, где она гибнет во время зимних заморов. Дельта Ловати является основным нерестовым участком, где сосредоточено более 50% всех нерестовых площадей озера. Проведение мелиоративных работ значительно улучшит условия нереста, нагула и беспрепятственного ската молоди в озеро. По предварительным расчетам Новгородской лаборатории ГосНИОРХа, проведение мелиоративных работ позволит получить к 2000 г. промысловый возврат в размере 2,7-4,5 тыс. ц.

Рыбоводные мероприятия на оз. Ильмень имеют весьма ограниченные возможности. Проведенные гидробиологические и ихтиологические исследования показали, что кормовая база рыб - планктофагов и бентофагов - довольно полно используется. Искусственное зарыбление озера может привести к усилению конкурентных пищевых взаимоотношений и не дать положительного экономического эффекта. Кроме того, в бассейне оз. Ильмень затруднены строительство и эксплуатация гидротехнических сооружений рыбноводных предприятий из-за большой амплитуды колебания уровня (до 7 м) озера.

Таким образом, если к 2000 г. будут осуществлены все перечисленные рекомендации, то уловы в оз. Ильмень к этому периоду составят 43-47 тыс. ц. При сохранении же современных тенденций в режиме рыболовства рыбопродуктивность оз. Ильмень к 2000 г. будет определяться исключительно экологическими факторами. П.В. Тюрин (1967), анализируя влияние климатических условий на рыбопродуктивность крупных озер Северо-Запада СССР, одним из основных факторов считал ровный режим в весенне-летний пери-

од. Он отмечал, что в многоводные годы в сочетании с благоприятными температурными условиями формируются урожайные поколения рыб. С.А. Веткасовым (Новгородская лаборатория ГосНИОРХа) установлена тесная корреляционная зависимость и составлены прогностические уравнения между уровнем оз. Ильмень в конце июля и численностью (по промысловому возврату) большинства рыб этого водоема. Только у судака наблюдалась отрицательная связь, т.е. при пониженных уровнях промысловый возврат увеличивался. Это вполне объяснимо особенностями биологии этого вида. Лещ, щука и большинство других рыб оз. Ильмень нерестится на залитых весенним паводком поймах. Здесь же нагуливается их молодь, питаясь обильно развивающимся в зоне залитой растительности планктоном. Поэтому, чем выше паводок и (особенно) чем дольше остается под водой пойма, тем лучше условия для нагула молоди и тем большая численность формирующегося поколения. Судак же нерестится в самом озере. Молодь его сравнительно быстро переходит с питания планктоном на хищное питание личинками рыб, и в первую очередь снетка. При пониженных уровнях и ускоренном скате личинок рыб повышается их концентрация в озере, и молодь судака попадает в лучшие кормовые условия. Это и объясняет отрицательную коррелятивную связь численности поколений судака с уровнем озера. С.А. Веткасовым были определены также оптимальные для формирования численности рыб уровни оз. Ильмень, они составляют 18,9-19,0 м Б.С.

Согласно гидрологическому прогнозу, со второй половины 90-х годов начнется маловодная фаза увлажненности климата. В связи с этим к 2000 г. ожидается снижение естественной рыбопродуктивности оз. Ильмень и сокращение уловов до 27 тыс. ц.

Рассмотрим возможные изменения рыбопродуктивности оз. Ильмень в связи с ростом влияния антропогенных факторов на этот водоем. С 1968 г. для обеспечения нужд сельского хозяйства утвержден новый график режима работы Волховской ГЭС, направленный на более быстрый сброс паводковых вод с ильмень-волховской поймы. По данным Новгородской лаборатории ГосНИОРХа, ущерб от введения этого режима составит 12,4% годового улова рыбы, т.е. около 4 тыс. ц.

Далее, по схеме развития мелиорации и водного хозяйства Новгородской области, составленной Ленгипроводхозом, предусматривается создание к 1990 г. в пойме оз. Ильмень польдерных систем. При этом из хозяйственного использования будет исключено 13 тыс. га, которые в настоящее время являются нерестилищами ихтиофауны озера и районами нагула молоди. Изъятие 13 тыс. га нерестовой площади приведет к снижению уловов на оз. Ильмень на 16,7 тыс. ц.

3.3. В ы в о д ы и п р е д л о ж е н и я

1. В условиях естественного режима формирование водного баланса оз. Ильмень к 2000 г. будет происходить в соответствии с внутривековыми колебаниями общей увлажненности климата и, по

всей вероятности, его значения не выйдут за пределы изменений, характерных для маловодных фаз, наблюдавшихся в прошлые годы.

2. Дальнейшее развитие хозяйственной деятельности на территории Ильменского бассейна будет способствовать увеличению поступления фосфора в озеро. Фосфорная нагрузка возрастет до 1 г P/m^2 , что приведет к повышению уровня первичной продукции озера к 2000 г. почти вдвое и приблизит озеро к границе перехода в эвтрофную стадию. Под влиянием этих факторов следует ожидать повышения продуктивности зоопланктона и бентоса озера.

3. В настоящее время оз. Ильмень является ценным рыбопромысловым водоемом со среднегодовыми уловами около 30 тыс. ц. При рациональном ведении рыбного хозяйства уловы на озере могут к 2000 г. возрасти до 47 тыс. ц в год.

4. Изменение водного баланса озера, связанное с уменьшением притока и глубины озера, отрицательно скажется на рыбопродуктивности водоема и может привести к потере его рыбохозяйственного значения.

5. Для сохранения природных ресурсов оз. Ильмень, так же как и для других озер, необходима реализация широкого комплекса мероприятий, утвержденного постановлениями партии и правительства в области охраны природы.

Л и т е р а т у р а

- А г а р к о в а С.П., Г у с а к о в Б.Л., Р а с п л е т и н а Г.Ф. Фосфорная нагрузка на оз. Ильмень. — В кн.: Матер. VI Всесоюзн. симп. по соврем. пробл. самоочищ. водоемов и регулир. качества воды. III секция. Ч. 1. Таллин, 1979, с. 50–52.
- Г е м б е л ь А.В. Природа Новгородской области. Л., 1963. 139 с.
- Л у к ь я н о в а В.П. Донная фауна оз. Ильмень (по данным 1968–1971 гг.). — Изв. ГосНИОРХа, 1974, т. 86, с. 46–53.
- Л у к ь я н о в а В.П. Продукция бентоса профундали оз. Ильмень. — Изв. ГосНИОРХа, 1977, т. 116, с. 153–159.
- М а л и н и н а Т.И. О сейшах на оз. Ильмень. — В кн.: Природа и хозяйственное использование оз. Ильмень и Ильмень-Волховского бассейна: Матер. науч. конф. Новгород, 1970. Л., 1970, с. 51, 52.
- Н е х а й ч и к В.П. Влияние колебаний увлажненности территории на водный баланс озер. — Вестн. ЛГУ. Сер. геол. и геогр., 1964, вып. 4, № 24, с. 115–121.
- О х л о п к о в а А.Н. Течения и внутренний водообме. — В кн.: Озеро Кубенское. Ч. I. Гидрология. Л., 1977, с. 130–154.
- Р е с у р с ы поверхностных вод СССР. Л., 1972. Т. 2, Ч. 1. 526 с.
- С т е п а н о в а Л.А. Зоопланктон оз. Ильмень и его продукция: Автореф. канд. дис. Л., 1972. 19 с.

- Т ю р и н П.В. Влияние климатических условий на периодические колебания запасов промысловых рыб в озерах Ладожском, Ильмень, Псковско-Чудском, Белом. - Тр. ВНИРО, 1967, т. 62, с. 289-309.
- Ф е л ь з е н б а у м А.И. Теоретические основы и методы расчета установившихся морских течений. М., 1960. 127 с.
- Ш н и т н и к о в А.В. Внутривековая изменчивость общей увлажненности бассейна Ладожского озера. - В кн.: Гидрологический режим и водный баланс Ладожского озера. Л., 1966, с. 5-57.
- Э г г е р т М.Б. Планктон оз. Ильмень. - Тр. Всесоюзн. гидробиол. об-ва, 1961, т. 11, с. 82-104.

4.1. Современное состояние озера

Физико-географические условия и морфометрия

Чудско-Псковское озеро – третий по площади водоем Европы – на севере и западе примыкает к Эстонской ССР, на юге и востоке – к Псковской области. Озеро состоит из трех плёсов (частей): Чудского озера, площадь которого составляет 2680 км², средняя глубина 8 м, максимальная 12.4 м, Псковского озера, площадь которого 716 км², средняя глубина около 4 м, максимальная 6 м и Теплого озера, площадь которого 170 км², а средняя глубина 3 м. В этой части озера проходит узкая впадина с максимальной глубиной 15.2 м, которая является наибольшей для всего Чудско-Псковского озера.

Общая длина озера – 143 км, максимальная ширина – 48.8 км, средняя глубина – 6.9 м. Площадь водной поверхности при среднем многолетнем уровне 3570 км², объем водной массы озера – 24.4 км³.

Берега озера преимущественно низкие, заболоченные, ежегодно затопляемые в половодье. При максимальном уровне затопляется прибрежная территория, площадь которой составляет 762 км² (Куллус, Мерила, 1966).

Площадь водосбора озера составляет 47 800 км². В административном отношении это вся западная часть Псковской области (водосборы рек Великой, Черной, Желчи и др.), восточная часть Эстонской ССР (бассейны Эмайыги, Выханду, Пиузы, Авийыги и др.) и сравнительно небольшая территория северо-востока Латвийской ССР (рис. 9).

В озеро впадает 30 рек. Густота речной сети в бассейне значительная и составляет 40–50 км на 100 км². Питание рек преимущественно снеговое (40–50%). Самые крупные реки, впадающие в озеро, – Великая и Суур-Эмайыги.

Площадь водосбора р. Великой 25 420 км², что составляет 54,7% водосбора Чудско-Псковского озера. Лесистость водосбора р. Великой равна 36%, озерность и заболоченность – 4%, площадь лугов и пашен – 60%. Средний годовой расход воды – 124 м³/с, максимальный – 1140 м³/с.

Площадь водосбора р. Суур-Эмайыги 9960 км², что составляет 22,5% площади водосбора Чудско-Псковского озера. Лесистость ее водосбора – 51%, под пашней и лугами находится 28%, озерность и заболоченность составляют соответственно 4 и 17%.

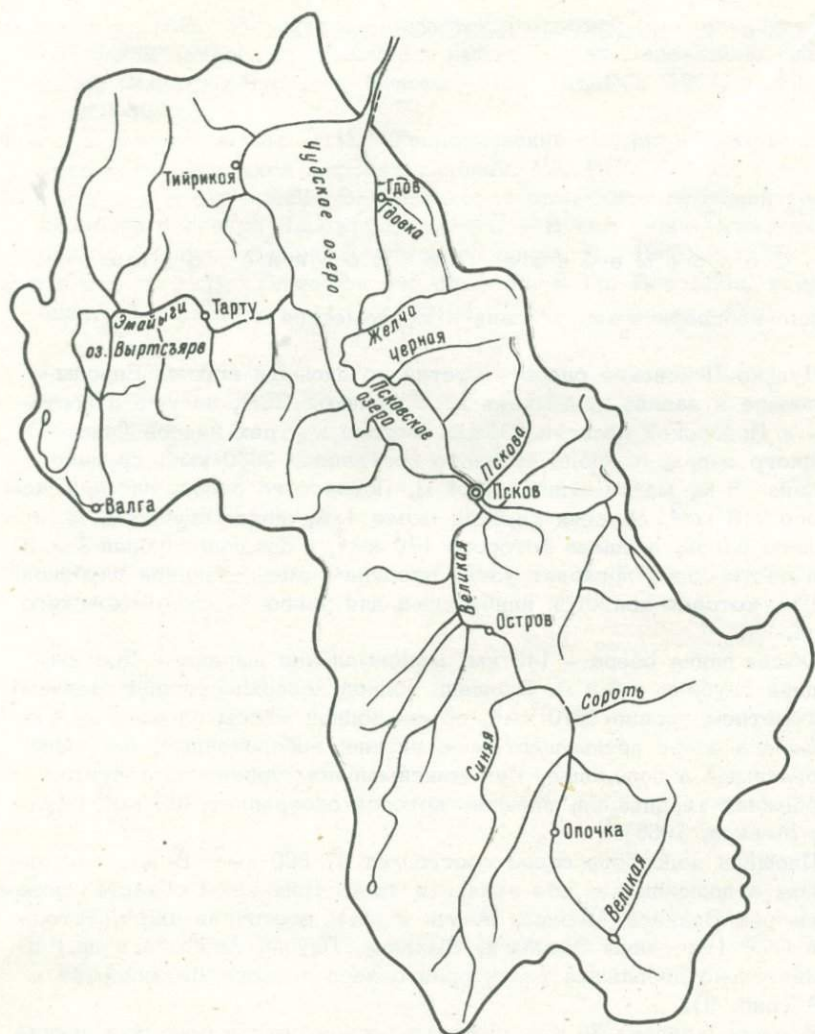


Рис. 9. Схема бассейна Чудско-Псковского озера.

Водосборы рек Выханду и Желчи, впадающих в Теплое озеро, составляют 6.4% площади водосбора Чудско-Псковского озера.

Среднее годовое количество осадков в бассейне озера 650–750 мм. В теплое время года выпадает 65–70% годовой суммы. На западном побережье осадков выпадает на 50–70 мм меньше, чем на восточном.

В течение года преобладают ветры южного, юго-западного и западного направлений. В теплый период преобладают западные ветры, весной – северные. Средняя годовая скорость ветра над озером – 5 м/с.

Величина удельного водосбора Чудско-Псковского озера составляет 13,4, что обуславливает в среднем слой притока в озеро, равный 3,2 м. Максимальное значение слоя притока составляет 4,6 м (1957 г.), минимальное - 2,3 м (1940 г.). Коэффициент условного водообмена - 0,47, т.е. в среднем весь объем воды замещается водами рек, впадающих в озеро, в течение немногим более двух лет. Поэтому по классификации Б.Б. Богословского Чудско-Псковское озеро относится к транзитно-аккумулятивной группе.

По термической классификации озеро относится к типу тепловодных. Летом оно характеризуется прямой стратификацией, зимой - обратной. Летом слой температурного скачка существует, но недолго. Перемешивание водных масс озера почти до дна вследствие его мелководности способствует гомотермии.

Гидрологический режим

Г.Л. Куллус (1974) рассчитал водный баланс озера за период 1930-1969 гг. Основной составляющей приходной части водного баланса является речной приток (табл. 54), доля которого достигает 80,4%, 19,2% приходится на осадки. В расходной части водного баланса доминирует сток из озера (82,7%), а испарение составляет 17,3%. Общий объем прихода воды в озеро и расхода из него составляет 11,6 км³.

Величины элементов водного баланса в течение расчетного периода характеризуются значительной изменчивостью, коэффициент вариации годового притока равен 0,24. Максимальная величина речного притока в озеро, наблюдавшаяся за период 1930-1969 гг., составляла 4088 мм (1962 г.), минимальная - 1382 мм (1964 г.). Максимальный сток из озера достигал 3820 мм (1957 г.), минимальный - 1462 мм (1940 г.). Коэффициент вариации - 0,20.

Колебания годовых сумм атмосферных осадков происходят в пределах 842 (1966 г.)-422 мм (1939 г.), а величины испарения - в пределах 778 (1938 г.)-417 мм (1953 г.).

Наиболее многоводным за рассматриваемый период был 1957 г. с абсолютной отметкой уровня воды 30,36 м, превысившей среднюю многолетнюю на 46 см. В тот год отмечено возрастание (по сравнению со средними многолетними значениями) всех составляющих водного баланса, кроме испарения. Объем речного притока в приходной части увеличился на 44%, осадки - на 14,5%. В расходной части баланса сток из озера возрос на 44%, а величина испарения уменьшилась на 2,5%. Все это привело к тому, что суммарный приход воды в озеро превысил средний многолетний на 5,3 км³ и составил 16,9 км³. Помимо возрастания абсолютных величин элементов баланса изменилось их процентное соотношение как в приходной, так и в расходной частях. Роль притока и стока несколько повысилась, доля осадков упала до 15,3%, испарения - до 12,2% (табл. 55).

В маловодном 1940 г. наблюдалось резкое сокращение величин составляющих баланса. Речной приток составил 69% средней много-

Т а б л и ц а 54

Средний многолетний баланс Чудско-Псковского озера
за 1930-1969 гг.

Элементы баланса	км ³	мм	%	Элементы баланса	км ³	мм	%
П р и х о д				Р а с х о д			
Приток	9,30	2575	80,4	Сток	9,56	2647	82,7
Осадки	2,22	617	19,2	Испарение	2,01	558	17,3
Конденсация	0,05	13	0,4				
С у м м а	11,57	3205	100	С у м м а	11,57	3205	100

Т а б л и ц а 55

Водный баланс озера в экстремальные годы

Элементы баланса	мм	%	Элементы баланса	мм	%
М а л о в о д н ы й 1940 г.					
Приток	1784	76,4	Сток	1462	57,9
Осадки	523	22,4	Испарение	624	24,7
Конденсация	27	1,2	Приращение уровня	440	17,4
С у м м а	2334	100	С у м м а	2526	100
			Невязка баланса	-192	

М н о г о в о д н ы й 1957 г.

Приток	3888	84,2	Сток	3820	85,6
Осадки	707	15,3	Испарение	544	12,2
Конденсация	23	0,5	Приращение уровня	100	2,2
С у м м а	4618	100	С у м м а	4464	100
			Невязка баланса	154	

Т а б л и ц а 56

Водный баланс Чудско-Псковского озера за отдельные фазы

Элементы баланса	мм	%	Элементы баланса	мм	%
М а л о в о д н а я ф а з а (1936-1948 гг.)					
Приток	2319	78.9	Сток	2330	79.2
Осадки	555	18.9	Испарение	611	20.8
Конденсация	11	0.4			
Сработка уровня	56	1.8			
С у м м а	2941	100	С у м м а	2941	100
М н о г о в о д н а я ф а з а (1949-1963 гг.)					
Приток	2925	81.4	Сток	2971	82.5
Осадки	656	18.2	Испарение	527	14.6
Конденсация	17	0.4	Аккумуляция	100	2.9
С у м м а	3598	100	С у м м а	3598	100

летней величины, количество осадков сократилось на 15%, объем суммарного притока в озеро уменьшился на 27% и достиг 8,2 км³. В расходной части баланса сток из озера упал до 5,1 км³ (уменьшился на 47%), а испарение увеличилось на 66 мм (12%). Средний годовой уровень воды снизился до отметки 29,26 м Б.С.

Относительная величина притока и стока в маловодные годы падает до 76,4 и 57,9% соответственно, доля же атмосферных осадков возрастает до 22,4, испарения — до 24,7%.

По колебаниям суммарного прихода и расхода воды в течение рассматриваемого периода на озере выделяются две фазы водности продолжительностью 12-15 лет: с 1936 по 1948 г. — маловодная фаза, с 1949 по 1963 г. — многоводная (табл. 56).

В многоводную фазу наблюдаются более прохладные и влажные погодные условия, в связи с чем испарение в этот период уменьшилось в среднем на 31 мм, а атмосферные осадки увеличились на 39 мм. Возрастание суммы осадков в бассейне привело к увеличению речного притока по сравнению со средними многолетними значениями на 14%. Суммарный приход воды в озеро в среднем оказался больше средней многолетней его величины на 393 мм (12%). Сток из озера также возрос на 12%, а испарение уменьшилось на 5,5%. Для данного периода было характерно ежегодное преобладание суммарного прихода над расходом из озера, что привело к аккумуляции воды в озере и повышению его уровня.

В маловодную фазу поступление воды в озеро сокращается. Расход воды из озера становится больше прихода, и уровень озера падает, достигая наинизшей отметки в конце периода. Речной приток в среднем за фазу уменьшился на 9,9%, осадки – на 10% по сравнению со средней многолетней величиной. В целом объем приходной части баланса в маловодную фазу сократился на 10%. Расход воды из озера уменьшился на 8%, тогда как величина испарения увеличилась на 53 мм (9,5%).

В разные фазы водности соотношение элементов баланса меняется, но проявляется это менее резко, чем в экстремальные годы. В многоводную фазу роль притока в приходной части баланса возрастает до 81,4%, а роль стока в расходной части не меняется. Доля осадков уменьшается до 18,2%, испарения – до 14,6%. В маловодный период происходит уменьшение доли притока и стока из озера при возрастающей роли испарения (до 20,8%).

Уровень Чудско-Псковского озера, находясь в зависимости от соотношения приходной и расходной частей водного баланса, имеет достаточно четкий сезонный ход, при котором минимальные значения наблюдаются зимой (январь-март), а максимальные – в мае; после медленного спада устанавливается летняя межень (август-октябрь), сменяющаяся осенним паводком. Подъем уровня весной невелик и составляет 63 см над зимней меженью.

За период наблюдений максимальный уровень был отмечен в мае 1924 г. (31,75 м Б.С.), а минимальный – в ноябре 1964 г. (28,72 м Б.С.). Таким образом, абсолютная амплитуда колебания уровня составляет 303 см. При уровне больше 30,04 м начинается затопление берегов. Уровни выше средних бывают в течение 165 дней, т.е. 5,5 месяцев берега озера бывают затоплены (Куллус, Мерила, 1966).

Особенность уровня режима Чудско-Псковского водоема состоит в том, что существует постоянная разница (8 см) в отметках на северном и южном концах озера, т.е. уклон в сторону ст. Нарва. Из-за этого во время образования паводочной волны от поступивших вод р. Великой ее высота на 8 см больше уровня остальной части озера (Куллус, Мерила, 1966).

Химический состав воды

Гидрохимический режим Чудско-Псковского озера в большой мере определяется химическим составом воды главных притоков – рек Великой и Суур-Эмайыги, на долю которых приходится около 80% общего поступления поверхностных вод.

Минерализация воды Псковского озера в безледный период изменяется от 111 до 323 мг/л при средних величинах 190–207 мг/л. Воды Чудского озера минерализованы несколько больше (150–340 мг/л) при средней величине минерализации в период открытой воды 207–253 мг/л.

Т а б л и ц а 57

Поступление общего фосфора (т/год)
с водосбора Чудско-Псковского озера в 1975 г.

Источник поступления	Псковское озеро	Чудское озеро (без водосбора Псковского озера)
Население	423	243
Промышленность	76	42
Сельское хозяйство	383	142
Неосвоенные территории	115	53
Атмосферные осадки	18	50
Поступление из Псковского озера	-	572
С у м м а	1015	1102

П р и м е ч а н и е. В расчетах использованы коэффициенты выноса, принятые в отечественной и зарубежной литературе (Шилькрот, 1975).

Воды Чудско-Псковского озера относятся к гидрокарбонатному классу группы кальция. Ионный состав стабилен в течение многих лет. Величина pH воды обычно изменяется в пределах 7,4–8,4 и редко превышает эти значения (Каськ, 1971; Костюченко и др., 1974).

Для оценки современного уровня трофии озера и получения представления о тенденциях его изменения существенны сведения о режиме биогенных элементов, и прежде всего фосфора. Именно за счет увеличения концентрации последнего происходит рост биопродуктивности водоемов, испытывающих антропогенное воздействие. Поступление фосфора в Псковское и Чудское озера несколько различно, а так как водообмен между этими частями озера затруднен и основным направлением движения воды является из Псковского в Чудское, то, сделав допущение об отсутствии двустороннего водообмена, мы приводим расчеты отдельно для каждого из этих озер (оз. Теплое рассчитано вместе с Псковским).

Главными источниками поступления общего фосфора в Псковское озеро являются стоки городов, поселков, промышленных и сельскохозяйственных предприятий, а также вымывание удобрений с полей (табл. 57). Эти источники поставляют около 90% общего фосфора, приносимого в водоем. С неосвоенных территорий и за счет осадков, выпадающих на зеркало озера, в него поступает лишь 10% фосфора.

Фосфорная нагрузка на Псковское озеро, по данным 1975 г., составляла 1.14 г/м^2 в год, а вычисленная через нее средняя концентрация общего фосфора – 0.059 мг/л . Последняя величина лежит

внутри диапазона изменений концентрации $P_{\text{общ}}$ в воде Псковского озера, определенной путем натуральных наблюдений (0,032–0,080 мг/л).

При расчете фосфорной нагрузки на Чудское озеро было сделано допущение, что воды Псковского озера являются одним из источников поступления фосфора в Чудское озеро, о чем было сказано выше. Исходя из водного баланса всего озера, было рассчитано, что из Псковского озера поступает более 50% общего фосфора, приносимого в Чудское озеро. На долю антропогенных источников приходится менее 40%.

Поскольку в Псковском озере происходит частичная седиментация фосфора, поступающего с его водосбора, в Чудское озеро попадает меньшее количество фосфора по сравнению с тем, которое могло бы в него поступать, если бы весь водоем был единым, со свободным водообменом между плёсами. По этой причине фосфорная нагрузка на Чудское озеро намного меньше, чем на Псковское, и составляет (на 1975 г.) $0,41 \text{ г/м}^2$ в год. Соответственно меньшее значение имеет и концентрация общего фосфора в воде Чудского озера (0,032 мг/л). Эта величина также согласуется с результатами натуральных наблюдений (0,008–0,060 мг/л), правда, определений общего фосфора выполнено мало.

Более высокому содержанию общего фосфора в воде мелководного Псковского озера соответствует и более высокий уровень его биопродуктивности (Псковское озеро – эвтрофное, а Чудское – мезотрофное).

Концентрация минерального фосфора в воде Чудско-Псковского озера изменяется от аналитического нуля до 0,040 мг/л, изредка превышая верхний предел. Содержание фосфатов в прибрежной зоне и вблизи устьев рек обычно выше, чем в открытых частях озера. Закономерных различий между Псковским и Чудским озерами нет (Костюченко и др., 1974).

Среди минеральных форм азота преобладающей является аммонийная. Содержание ионов аммония в среднем изменяется от 0,01 до 0,80 мг N/л. Наименьшие значения приходятся на лето и начало осени, в это время в отдельные сроки отмечалось полное отсутствие аммонийного азота в поверхностных водах открытой части озера. Максимальные величины, достигающие в отдельных точках 3,0 мг N/л, приходятся на весну и начало лета.

Концентрация нитратных ионов изменяется от 0,001 до 0,460 мг N/л, причем максимальные величины приходятся на апрель, май и октябрь (зимних наблюдений нет), летом иногда отмечается полное потребление нитратов. Нитратные ионы периодически обнаруживаются в озере в концентрациях, не превышающих 0,011 мг/л (Капутерко, 1975, 1976).

Оценить динамику минеральных соединений азота и фосфора довольно трудно из-за разноречивых данных, полученных разными исполнителями. Сведения о зимнем режиме биогенных элементов крайне скудны. Полностью отсутствуют данные о содержании в воде озера общего азота, но, исходя из содержания минеральных форм азота, уровня развития хозяйства на водосборе и ряда других кос-

венных факторов, можно предположить, что оно должно быть довольно высоким (0,5–2,0 мг/л).

Расчет баланса органических веществ Чудско–Псковского озера показал, что преобладающей формой в воде озера является автохтонное вещество (Бессонов, Васильев, 1975). Содержание аллохтонных органических веществ невелико (10% приходной части баланса). Об этом свидетельствует также невысокая цветность воды, равная в среднем 25–35°. Перманганатная окисляемость воды озера изменяется в пределах 2–19 мг О/л. Наименьшие величины отмечались зимой. Более низкие величины (до 0,7 мг О/л), приведенные в указанной работе, возможно, относятся к талой воде, находившейся подо льдом.

Кислородный режим озера в настоящее время можно считать нормальным. В поверхностных слоях воды концентрация растворенного кислорода постоянно близка к насыщению и составляет в среднем в Псковском озере 8,1–13,5 мг O_2 /л (72–108% насыщения); а в Чудском – 7,9–12,0 мг O_2 /л (80–110%). В периоды цветения отмечается перенасыщение воды кислородом, достигающее временами 120–145% (Баранов, Карташова, 1974; Костюченко и др., 1974; Капутерко, 1975).

Высокое содержание кислорода характерно и для придонных слоев воды, несмотря на сравнительно высокий уровень трофии озера. Это объясняется интенсивным ветровым перемешиванием в период открытой воды. Однако в отдельные сроки при штилевой погоде и во время ледостава наблюдалось снижение содержания кислорода в придонной воде Псковского озера до 1% и Чудского – до 3% насыщения. Важно отметить, что даже в конце ледостава не отмечалось полного потребления кислорода в гиподимнионе.

Большое влияние на качество воды озера оказывают сточные воды. В настоящее время в реки водосбора Чудско–Псковского озера поступает в сутки около 150 тыс. м³ сточных вод, из них около половины приходится на территорию Эстонии. Около 60% сточных вод Эстонии подвергается очистке, в РСФСР этот процент гораздо ниже. Это приводит к тому, что в воды р. Великой – главного притока Чудско–Псковского озера – поступает большое количество загрязняющих веществ – нефтепродуктов, фенолов, солей тяжелых металлов, жиров, взвешенных веществ и т.д., – по концентрации значительно превышающих допустимые (ПДК). Значительное разбавление стоков водой р. Великой и процессы самоочищения в большой степени снижают указанные концентрации.

По материалам СЗУ ГКС, загрязненность р. Великой нефтепродуктами достигает в нижнем течении 3–4 баллов. Кроме того, активно загрязняются нефтепродуктами донные отложения. Нефтепродукты, поступая в Псковское озеро, могут покрывать нефтяными пленками огромные площади. По материалам авиасъемок СЗУ ГКС, интенсивность поверхностного загрязнения нефтепродуктами Чудско–Псковского озера с 1974 г. в целом не снижается и достигает иногда 2,6 балла. Установлено, что поверхностное нефтяное загрязнение, начиная с трех баллов, оказывает влияние на кислородный режим водоемов и вызывает ряд других отрицательных явлений, в частнос-

ти нарушение нормального развития икры на нерестилищах рыбы, нарушение жизненного цикла ряда видов зоопланктона и резкое снижение физических и органолептических показателей качества воды.

В целом можно заключить, что в настоящее время воды Чудско-Псковского озера загрязняются. Особую тревогу вызывает загрязнение их нефтепродуктами. В будущем на экологический режим озера могут влиять токсиканты. Необходимо строго контролировать все промышленные и хозяйственно-бытовые стоки и требовать от соответствующих предприятий выполнения нормативов очистки. В противном случае Чудско-Псковское озеро может в значительной степени потерять свое рыбохозяйственное значение, а его воды при использовании для питьевых целей необходимо будет подвергать специальной очистке.

Гидробиологическая характеристика

Биологические исследования Чудско-Псковского водоема имеют большую историю, а их результаты отражены в обширной литературе. В последние 2-3 десятилетия биологические исследования на Чудско-Псковском водоеме развернулись в более широком плане и выполняются большим коллективом гидробиологов Академии наук Эстонской ССР (в основном Выртсъярвской лимнологической станцией), ГосНИОРХа (в основном его Псковским отделением) и Псковского педагогического института. Главные итоги последнего этапа исследований отражены в ряде сборников, материалы которых позволяют составить основную характеристику современного биологического режима Чудско-Псковского водоема.

В гидробиологической литературе на протяжении всей истории исследования этого водоема (около 100 лет) отмечаются интенсивные цветения воды в летний сезон, вызываемые в основном сине-зелеными водорослями, что свидетельствует о высоком уровне биологической продуктивности Чудско-Псковского озера не только в настоящее время, но и в прошлом. По составу и биомассе в фитопланктоне преобладают диатомовые и синезеленые водоросли.

Проведенные по современной методике исследования интенсивности фотосинтеза показали следующее: средняя величина первичной продукции в Псковском и Теплом озерах составляет около $2 \text{ мг } O_2 / \text{л}$ в сутки, а в Чудском — около $1 \text{ мг } O_2 / \text{л}$ в сутки, что отвечает водоемам эвтрофного и мезотрофного уровня соответственно. В некоторые годы средняя величина первичной продукции по всем трем водоемам составляет около $2 \text{ мг } O_2 / \text{л}$ в сутки.

Величины первичной продукции и деструкции значительно колеблются по годам. Так, в 1973 г. в пересчете на всю водную массу продукция составляла $2.122 \cdot 10^3$ т, а в 1971 г. — $2.869 \cdot 10^3$ т; деструкция соответственно была равна $2.476 \cdot 10^3$ и $7.325 \cdot 10^3$. Следовательно, в эти годы деструкция органического вещества превышала продукцию в 1,5-2 раза (Бессонов, 1976).

В зоопланктоне разными авторами выявлено от 84 до 99 видов, причем подробно определены лишь ракообразные (по инфузориям исследований не было, а коловратки изучены не полностью). Самыми массовыми являются виды, характерные для эвтрофных водоемов: *Eudiaptomus gracillis*, *Mesocyclops leuckarti*, *Bosmina coregoni coregoni*. Средняя биомасса зоопланктона варьирует от 0.57 г/м³ по Чудскому озеру до 1.4 г/м³ по Псковскому с незначительными колебаниями по годам. По данным А.Х. Мяземтс (1966), в летний сезон (июль-август) биомасса зоопланктона колебалась от 2.59 до 6.11 г/м³ в 1962 г. и от 1.92 до 5.01 г/м³ в 1963 г. По уровню биомассы зоопланктона Псковское и Теплое озера являются эвтрофными, Чудское - мезотрофным (Яковлева, 1975).

Биомасса зообентоса колеблется по годам в более широких пределах. Например, в 1972 г. она составляла от 5.8 до 13.2 г/м² с максимумом 80 г/м² (осенью). В 1973-1975 гг. наблюдалось снижение биомассы зообентоса, что, по Н.М. Бессонову (1976), можно объяснить ухудшением газового режима в придонном слое: минимальное содержание кислорода в указанный период составляло 60% и менее, а в 1969-1970 гг. - 80-70%. Это один из показателей возрастающего антропогенного влияния на Чудско-Псковское озеро.

Высшая водная растительность в озере развита довольно слабо. Псковское озеро зарастает на 5%, Теплое - на 2.5%, а Чудское - на 1.7%. В Чудском озере преобладают заросли погруженных растений - 77% площади водной растительности; группировки воздушно-водных растений занимают 11% площади, а плавающих - около 2%. В Псковском озере воздушно-водная и погруженная растительность занимает равные площади - примерно по 50%, группировок плавающих растений - менее 1%. В целом площадь зарастания Чудско-Псковского водоема составляет 84 км², а годовая продукция - 340 тыс. ц воздушно-сухого вещества, что в пересчете на площадь озера дает 9.3 г/м², а на его объем - 1.3 мг/л (Недоспасова, 1974).

Ихтиофауна

Ихтиофауна Чудско-Псковского озера представлена 37 видами рыб. По природным условиям это снетково-лещевый водоем. Наибольшей численности в настоящее время достигают снеток, окунь, плотва и ерш, а также ряпушка, лещ, чудской сиг, судак, налим и щука. Второстепенными промысловыми рыбами являются уклея, язь, сырть, жерех, густера, линь, карась, угорь.

Попытки акклиматизации в озере амурского сазана, кубенской нельмы и ленского осетра ощутимых успехов не принесли.

Все представители ихтиофауны являются озерными и озерно-речными формами. Следует упомянуть, что запасы угря в озере пополняются из оз. Выртсьярв и группы озер Саадьярви, которые регулярно зарыбляются его стекловидными личинками.

Промысловые уловы (тыс. ц) в Чудско-Псковском озере

Год	Улов	Год	Улов	Год	Улов	Год	Улов
1960	81,7	1966	103,4	1972	141,1	1978	98,4
1961	87,0	1967	111,6	1973	128,1		
1962	79,5	1968	116,3	1974	102,1		
1963	95,8	1969	132,2	1975	102,0		
1964	104,9	1970	122,8	1976	113,6		
1965	82,8	1971	116,3	1977	110,2		

Экологические условия Псковского и Чудского озер значительно отличаются. Это обусловило и различия в видовом составе их ихтиофауны и в величине рыбопродуктивности. В Чудском озере обитают более холододлюбивые виды – ряпушка, чудской сиг, налим. В Псковском озере они сравнительно малочисленны, здесь же нагуливаются и зимуют лещ, судак и окунь. Представители более теплолюбивой ихтиофауны – щука, плотва и другие – предпочитают Псковское озеро. Снеток, экологически сравнительно более пластичный вид, распространен по всему озеру.

По характеру питания наибольшей численности в Чудско-Псковском озере достигают планктофаги (~40–50%), в первую очередь снеток и ряпушка, бентофаги не превышают 30% (из них сиг и лещ – 5–13%), хищники составляют 10–20%.

Среди водоемов Северо-Запада Чудско-Псковское озеро отличается высокими уловами. За последние 20 лет они составляли 80–140 тыс. ц (табл. 58, 59). Промысловый лов осуществляется рыболовецкими колхозами Псковской области и Эстонской ССР. В последние годы на промысле занято около 840 рыбаков. Основными орудиями лова являются заклы частиковые и ряпушковые, механизированные мутники, неводы, сети частиковые, ризцы.

Значительная часть ихтиомассы изымается рыбаками-любителями. По данным Псковской и Чудской инспекции рыбоохраны, годовой улов рыбаков-любителей составляет 10–15 тыс. ц.

Рыбопродуктивность озера, рассчитанная по величине промысловых уловов, за последние 10 лет колебалась в Чудском озере от 16 до 32 кг/га, а в Псковском – от 20 до 93 кг/га.

Расчет ихтиомассы и прогнозирование возможных уловов промысловых рыб Чудско-Псковского озера на 2000 г. осуществляются Псковским отделением ГосНИОРХа по методике П.В. Тюрина.

Как указывалось, наибольшую ихтиомассу в водоеме имеет снеток, а его уловы в современный период достигают 90 тыс. ц. Однако численность этого вида подвержена значительным колебаниям и обуславливается в основном гидрометеорологическими условиями в период размножения и развития его личинок и молоди. Резкое снижение численности снетка (вплоть до полного исчезновения из уловов) наблюдается в маловодные (1972–1975) годы.

Т а б л и ц а 59

Видовой состав уловов (тыс. ц) в Чудско-Псковском озере в 1977 и 1978 гг.

Виды рыб	1977 г.	1978 г.
Снеток	21.1	19.6
Ряпушка	18.0	17.2
Сиг	0.5	0.4
Щука	2.0	2.5
Лещ	5.0	3.2
Судак	0.1	0.2
Окунь 1 гр.	6.6	21.1
Мелочь II гр.	8.9	8.2
Мелочь III гр.	46.6	34.6
Налим	1.3	1.3
Прочие	0.1	0.1
И т о г о	110.2	98.4

Высокая ихтиомасса, особенно в те периоды, когда в озере снижаются запасы снетка, продуцируется малопенными в промышленном отношении видами - окунем, плотвой, ершом и др. Они в значительной степени заняли экологические ниши таких видов, как лещ, щука, судак. Этому в значительной степени способствовала селективность промышленного рыболовства, которая имеет уже полуторавековые традиции и связана с чрезмерным изъятием крупного частика, к которому относятся лещ, щука, судак. Это привело к тому, что с 40-50-х годов к 70-м годам уловы леща снизились с 5-15 до 1.5 тыс. ц, щуки - с 2.8-5.4 до 2.2 тыс. ц, судака - с 2.6-4.4 до 0.2 тыс. ц.

Следовательно, ущерб, который нанесен в настоящее время рыбному хозяйству Чудско-Псковского водоема таким мощным антропогенным фактором, как промышленное рыболовство, составляет ежегодно около 15 тыс. ц ценных промысловых видов. Для повышения запасов этих видов рыб с 1960 г. был введен лимит на вылов леща, судака и сига, а с 1976 г. - и на вылов щуки. Кроме того, с 1971 г. в Чудско-Псковское озеро производится выпуск подрощенной молоди сига, пеляди, судака, карпа и личинок щуки (табл. 60).

Однако, по данным Псковского отделения ГосНИОРХа, ни лимитирование уловов ценных промысловых видов, ни современные масштабы рыбоводных работ не привели к существенным изменениям в составе ихтиофауны озера и в величине ихтиомассы ведущих видов.

Современный уровень антропогенного эвтрофирования и загрязнения не наносит пока существенного ущерба рыбному хозяйству этого водоема. Однако уже сейчас серьезные опасения вызывает рост сброс-

Т а б л и ц а 60

Выпуск молоди ценных видов рыб (тыс. шт.)
в Чудско-Псковское озеро за 1971-1978 гг.

Виды рыб	1971 г.	1972 г.	1973 г.	1974 г.	1975 г.	1976 г.	1977 г.	1978 г.
Сиг	250	857	177	536	91	816	460	3415
Пелядь	230	-	316	538		320	579	261
Судак		100	0,8	22		-	-	-
Щука (личинки)		175	753	81	88	4086	1567	-
Карп	100	520	207	530			186	354

сов неочищенных промышленно-бытовых стоков в р. Великую. В связи с этим в первую очередь могут сократиться участки, пригодные для нереста снетка.

4.2. Возможные изменения природных ресурсов

Водные ресурсы

В основу прогноза водности Чудско-Псковского озера до 2000 г. был положен анализ имеющихся многолетних наблюдений за стоком и уровнем озера, представленных в виде модульных интегральных кривых (рис. 10).

При совместном анализе графиков ежегодных расходов р. Нарвы, вытекающей из Чудско-Псковского озера, уровней озера и расходов р. Великой выявлены два полных цикла колебаний водности, включающих многоводную и маловодную фазы.

Продолжительность циклов, определенная по различным элементам, изменяется от 26 до 29 лет. Разница вызвана тем, что продолжительность рядов наблюдений недостаточна для того, чтобы судить об устойчивости этих значений. Кроме того, не исключено, что уровень озера имеет свои циклы водности, поскольку он определяется не только притоком и осадками, но и испарением.

Циклы и фазы, их продолжительность, годы наступления максимумов и минимумов были выбраны по более длинному ряду наблюдений за стоком р. Нарвы.

Первый цикл колебания водности продолжительностью 30 лет охватывает период с 1921 по 1950 г. и включает многоводную фазу 1921-1932 гг. и маловодную 1933-1950 гг. Возможно, что начало цикла пришлось на более ранние годы, совпавшие с первой мировой и гражданской войнами, когда наблюдения не проводились. Пропущенные за эти годы данные нами восстановлены.

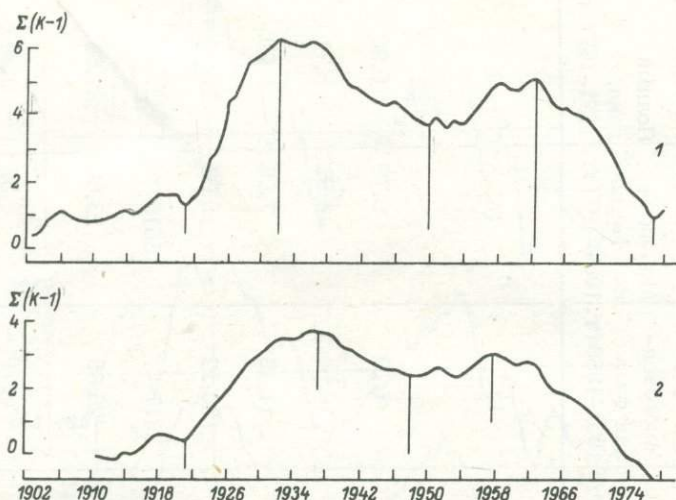


Рис. 10. Интегральные кривые модульных коэффициентов годового стока р. Нарвы (дер. Васькарнава) и уровней Чудско-Псковского озера (дер. Раскопель).

1 - р. Нарва; 2 - озеро.

Продолжительность второго цикла, начавшегося в 1951 г. и окончившегося, вероятно, в 1977 г., составляет 27 лет, из них 13 лет приходится на многоводную и 14 лет - на маловодную фазы (табл. 61).

За весь период наблюдений максимальные значения стока отмечались в 1923 и 1956 гг., минимальный сток соответствует 1940 и 1973 гг.

Средний годовой приток в многоводные фазы изменялся с 12,54 (1921-1932 гг.) до 10,64 км³ (1951-1963 гг.), а водность маловодных фаз составила 8,60 (1933-1950 гг.) и 6,92 км³ (1964-1977 гг.). Увеличение притока за многоводную фазу по сравнению со средним многолетним значением достигало 31% за первый цикл и 11% - за второй, тогда как приток за маловодную фазу был на 10 (1933-1950 гг.) и на 24% (1951-1977 гг.) меньше его многолетних значений. Средний годовой сток из озера за многоводные фазы составил 13,12 км³ в первом цикле и 11,13 км³ - во втором. Таким образом, превышение средних многолетних величин достигало 3,1 и 1,1 км³, или 31 и 11%. Объемы озера за маловодную фазу сокращались на 8,58 км² в первом цикле и до 7,09 км³ во втором, что на 14 и 29% ниже средних многолетних значений.

Различия в водности внутри отдельного цикла увлажненности выражены заметнее: сток в многоводную фазу превышает сток в маловодную на 4,5 и 4,0 км³ (53 и 57%). За весь период наблюдений максимальный сток из озера составил 19,08 км³ (1924 г.), минимальный - 5,11 км³ (1940 г.).

Т а б л и ц а 61

Характеристика фаз водности

Элементы	Весь период, 1921-1977 гг.	Многовод- ная фаза 1921-1932 гг.	Маловод- ная фаза 1933-1950 гг.	Полный цикл, 1921-1950 гг.	Многовод- ная фаза 1951-1963 гг.	Маловод- ная фаза 1964-1977 гг.	Полный цикл, 1951-1977 гг.
Продолжительность фаз и циклов, годы	57	12	18	30	13	14	27
Модульный коэффициент стока р. Нарвы	0.96	1.31	0.85	1.04	1.10	0.70	0.90
Приток в озеро, км ³	9.60	12.54	8.60	10.18	10.64	6.92	8.71
Сток из озера, км ³	9.60	13.12	8.58	10.40	11.13	7.09	9.09
Уровень озера, м Б.С.	30.05	30.59	29.98	30.23	30.22	29.58	29.89
Площадь озера, км ²	3580	3837	3550	3620	3617	3515	3527
Объем озера, км ³	25.35	27.26	25.00	25.90	25.86	23.60	24.68
Коэффициент условно го водообмена	0.38	0.46	0.34	0.39	0.41	0.32	0.36

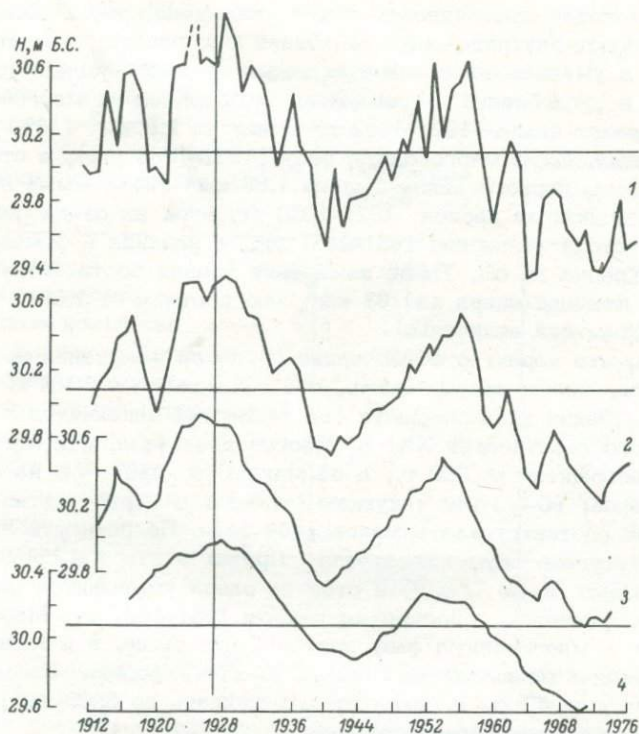


Рис. 11. Внутривековая изменчивость уровня Чудско-Псковского озера.

1 - годовые уровни; 2 - 3-летние скользящие; 3 - 5-летние скользящие; 4 - 13-летние скользящие.

Амплитуда колебаний средних годовых значений уровня озера за период с 1921 по 1977 г. по ст. Раскопель составила 158 см. Внутри полного цикла увлажненности разница отметок уровня многоводной и маловодной фаз достигала в первом цикле 61 см и во втором 64 см, тогда как уровни за многоводные фазы были выше среднего уровня за цикл на 36 и 33 см соответственно, а уровни маловодных фаз соответственно ниже на 25 и 31 см.

В многолетнем ходе средних годовых уровней отмечается направленная тенденция уменьшения водности и понижения отметок уровня, что служит проявлением процесса вековой изменчивости увлажненности климата, регрессивная фаза которой сейчас продолжается (рис. 11). Кроме того, на фоне естественного снижения водности наблюдается антропогенное влияние, выражающееся в увеличивающемся потреблении воды в сельском хозяйстве и промышленности.

Процесс вековой изменчивости общей увлажненности, на фоне которого протекают внутривековые колебания компонентов климата, проявляется в уменьшении средней водности за цикл, уменьшении максимумов и „углублений” минимумов. Так, приток за многоводную фазу первого цикла (1921–1932 гг.) был на $1,9 \text{ км}^3$ (18%) больше, чем за последнюю многоводную фазу (1951–1963 гг.), а сток маловодной фазы первого цикла был на $1,68 \text{ км}^3$ (24%) выше второго цикла. В целом за период 1921–1950 гг. сток из озера составил 114% от стока за период 1951–1977 гг., а разница в отметках уровня была равна 34 см. Такое изменение уровня соответствует уменьшению площади озера на 93 км^2 , что составляет 2,6% ее средней многолетней величины.

Учитывая, что характер и тенденция процесса изменения водности сохранятся, можно предположить, что начавшийся в 1978 г. новый цикл колебания увлажненности (по водности) закончится в середине первого десятилетия XXI в. Многоводная фаза, как мы предполагаем, завершится в 1990 г., а ее максимум придется на середину 80-х годов; 90-е годы текущего столетия и первое пятилетие XXI в. будут соответствовать маловодной фазе. По водности этот цикл будет уступать двум предыдущим. Приток в озеро в среднем за цикл составит около 7 км^3 , а сток из озера уменьшится почти на 1 км^3 по сравнению с последним циклом 1951–1977 гг. Можно ожидать, что в многоводную фазу приток будет выше, а в маловодную ниже средней величины за цикл на 20–25%. Уровень озера снизится почти на 40 см и сократит его площадь до 3500 км^2 , что на 80 км^2 меньше ее среднего значения.

В связи с дальнейшим развитием народного хозяйства в бассейне озера ожидается увеличение водопотребления в городах и рабочих поселках, что также вызовет понижение уровня озера.

Качество воды

При небольшой изменчивости ожидаемой водности озера к 2000 г. рост минерализации окажет малое влияние на качество воды. Более существенное значение будет иметь увеличение трофии озера, о котором можно судить по поступлению в водоем общего фосфора (табл. 62).

Фосфорная нагрузка на Псковское озеро возрастет до $2,42 \text{ г/м}^2$ в год, а концентрация общего фосфора в его воде увеличится до $0,142 \text{ мг/л}$ в случае многоводной фазы и до $0,170 \text{ мг/л}$ – в случае маловодной.

Уменьшение водности сократит проточность озера, поэтому даже при неизменной нагрузке концентрация общего фосфора в воде возрастет.

Фосфорная нагрузка на Чудское озеро увеличится до $0,53 \text{ г/м}^2$ в год в маловодную фазу и до $0,58 \text{ г/м}^2$ в год – в многоводную. Соответственно этому концентрация общего фосфора в воде этого

Поступление общего фосфора (т/год)
в Чудско-Псковское озеро в 2000 г.

Источник поступления	Псковское озеро	Чудское озеро (без водосбора Псковского озера)
Население	735	272
Промышленность	114	49
Сельское хозяйство	1147	225
Неосвоенные территории	115	53
Атмосферные осадки	19	58
Поступление из Псковского озера		
маловодная фаза		731
многоводная фаза		882
среднее за цикл		800
С у м м а	2130	1388-1539

озера возрастет до 0,045 мг/л в маловодную фазу и до 0,047 мг/л - в многоводную.

Эти средние прогнозируемые величины указывают на тенденцию эвтрофирования водоема. В прибрежных и приустьевых районах озера содержание общего фосфора может значительно превышать средние значения концентрации, особенно в штилевую погоду и во время ледостава.

Увеличение поступления соединений азота с водосбора также приведет к росту его концентрации в озерной воде. Все это, вызывая повышение трофии, будет ухудшать качество воды.

Биоресурсы

Рост концентрации биогенных элементов в воде Чудско-Псковского озера повлечет за собой увеличение продуктивности фитопланктона. К сожалению, определение содержания хлорофилла „а” в планктоне Псковского и Чудского озер никогда не производилось. Поэтому для прогнозирования возможного уровня продуктивности этих озер пришлось воспользоваться соотношениями между первичной продукцией, содержанием хлорофилла „а” и концентрацией общего фосфора, полученными при исследовании больших озер Северо-Запада СССР (Петрова, 1978; Расплетина, Гусаков, 1979). Для перехода от интенсивности фотосинтеза (первичной продукции) к содержанию хлорофилла „а” в планктоне используются так называемые суточные ассимиляционные числа (САЧ), представляющие собой удельную

продукцию единицы хлорофилла „а“. Величины САЧ в озерах значительно колеблются в зависимости от климатических условий, гидрологических и гидрохимических характеристик водоема и состояния планктонного сообщества. Из-за отсутствия достаточно близких аналогов среди водоемов Северо-Запада СССР рассчитанное среднее САЧ для водоемов региона в целом было принято за среднее для Чудско-Псковского озера. Средняя величина САЧ, полученная из соотношения продукции, выраженной в углероде, и хлорофилла „а“ в озерах Ладожском, Онежском, Ильмени, Белом, Воже, Лача и Кубенском, оказалась равной 131. При средней суточной первичной продукции летнего планктона Чудского озера $1.1 \text{ мг O}_2/\text{л}$ или 413 мкг С/л в сутки содержание хлорофилла „а“ в нем в настоящее время должно равняться $3,1 \text{ мкг/л}$. В Псковском озере при первичной продукции $4.0 \text{ мг O}_2/\text{л}$ или 1500 мкг С/л в сутки содержание хлорофилла должно составлять 11.4 мкг/л . В таком случае при изменении концентрации общего фосфора в воде озер к 2000 г, содержание хлорофилла „а“ должно возрасти в Чудском озере до $5,4 \text{ мкг/л}$, а в Псковском — до $30,9 \text{ мкг/л}$.

Таким образом, Чудское озеро перейдет в категорию эвтрофных водоемов и по продуктивности будет близко к современному состоянию Псковского озера. Псковское же озеро достигнет очень высокой степени эвтрофии. Аналоги высокоэвтрофных северных озер известны. Так, в оз. Левен (Шотландия, 56° с.ш.) при средней глубине $3,9 \text{ м}$ и фосфорной нагрузке на водоем 1.1 г/м^2 в год содержание хлорофилла „а“ составляет 70 мкг/л . В оз. Скаха (Канада, 49° с.ш.) при средней глубине $26,5 \text{ м}$ и нагрузке фосфора $1,4 \text{ г/м}^2$ в год содержание хлорофилла „а“ равно 31 мкг/л (Oglesby, 1977).

Рост биопродуктивности водоема за счет поступления избыточных количеств биогенных элементов повлечет за собой увеличение концентрации лабильных органических веществ в воде Чудско-Псковского озера, что скажется на величинах БПК воды. Неизбежно ухудшится кислородный режим озера, особенно придонных слоев. На отдельных участках Псковского озера во время ледостава возможно возникновение анаэробных условий у дна.

Повышение обеспеченности биогенными веществами и последствия этого, влияя на использование фитопланктона рачками-фильтраторами, могут привести к изменению состава зоопланктона.

Повышение количественного развития бентоса может произойти при увеличении содержания органического вещества более чем на 20%. Это связано с тем, что преобладающее значение в донной фауне Чудско-Псковского озера имеют мирные детритоядные формы этих животных. Количественное развитие хирономид, как правило, определяется такими формами, как представители рода *Chironomus*.

Существенных изменений в составе грунтов озера пока не замечено.

Значительные годовые и сезонные колебания биомассы бентоса и сравнительно низкий уровень развития бентоса на песчаных грунтах подтверждают правильность рекомендаций Ц.И. Иоффе (1939)

об обогащении кормовой базы рыб этого водоема мизидами и гаммарусами.

При эвтрофировании озера могут исчезнуть реликтовые виды бентосных животных. Количественные показатели хирономид начнут возрастать. С течением времени черты мезотрофии Чудского озера исчезнут. Максимум дрейсины прошел, далее ее количество убавится, так как дно водоема начнет заиляться.

В процессе эвтрофирования водоема возможен дефицит кислорода у дна за счет поглощения его донными отложениями вследствие обогащения их органическим веществом.

Рыбное хозяйство

Развитие рыбного хозяйства на Чудско-Псковском водоеме в 2000 г. при сохранении современных тенденций в структуре промышленного рыболовства и современном масштабе рыбоводных работ фактически будет определяться климатическими условиями.

С 90-х годов текущего столетия в бассейне Чудско-Псковского озера будет развиваться маловодная фаза увлаженности. В связи с этим не следует ожидать существенных изменений в составе ихтиофауны озера и уровне продуцирования ихтиомассы. По данным Псковского отделения ГосНИОРХа, общие уловы к 2000 г. ожидаются около 135 тыс. ц. В течение фазы будет постепенно снижаться ихтиомасса снетка, а также леща, щуки и судака. Будет увеличиваться ихтиомасса видов, принадлежащих к группе мелкого частика, плотвы, окуня, ерша и т.д., возрастет ихтиомасса ряпушки. Эти виды и составят основу промысловых уловов. Вылов по линии любительского рыболовства к 2000 г. ориентировочно оценен в 15-25 тыс. ц.

Работами П.В. Тюрин (1974) биологически обоснована реконструкция ихтиофауны озера, которая сводится к созданию условий для искусственной сукцессии путем подавления численности малоценных рыб хозяйственно полезными хищниками (щукой, судаком, угрем).

На первом этапе с помощью зарыбления предполагается создать оптимальную численность указанных хищников - щуки, судака, - а также увеличить численность чудского сига. Предполагается, что путем создания высокой численности полезных хищников с уловами до 25-30% будет достигнута главная цель - замещение малоценных рыб: окуня, плотвы, ерша. Конец первого этапа реконструкции ихтиофауны Чудско-Псковского озера определится периодом, когда численность малоценных видов упадет и их уловы не будут превышать 10% общих уловов рыбы в озере. В уловах будут доминировать снеток, ряпушка, лещ, сиг, щука, судак. Общая рыбопродуктивность составит 45 кг/га, а вылов достигнет 160 тыс. ц.

На втором этапе намечается поддерживать ихтиомассу хищников на достигнутом уровне, а также произвести замену снетка и ряпушки пелядью, если к этому времени будет доказана биологическая и экономическая целесообразность подобного замещения на малых озерах (в настоящее время целесообразность вселения в озеро пеляди оспа-

ривается). На втором этапе предполагается более высокая рыбопродуктивность водоема — до 70 кг/га и более.

Для осуществления указанной схемы реконструкции ихтиофауны Чудско-Псковского озера необходимо проведение большого комплекса рыбоводно-мелиоративных работ. Ежегодно необходимо выращивание посадочного материала в объеме 4,6 млн. шт. сеголеток сига, 5,2 млн. шт. сеголеток судака, 4 млн. шт. щуки, а также зарыбление озера 6 млн. шт. стекловидного угря. Для этого потребуется около 1200 га озерных и прудовых питомников.

Предполагается, что к 2000 г. будут созданы возможности для осуществления первого этапа реконструкции озера. Уловы в нем составят 160 тыс. ц, в том числе щуки 24 тыс. ц, судака 10 тыс. ц и угря 11 тыс. ц.

При создании высокой ихтиомассы хищников резко возрастет и численность бентофагов. Предполагается рост уловов леща до 21 тыс. ц, сига — до 8 тыс. ц. Ихтиомасса планктофагов — снетка и ряпушки — возрастет, но их удельный вес в уловах сохранится на современном уровне — 64 тыс. ц, т.е. составит примерно 40%.

Параллельно с рыбоводными работами для реализации реконструкции ихтиофауны озера необходимо также проведение мелиоративных и рыбоохранных мероприятий. Основными из них являются: 1) систематическое проведение дноуглубительных работ в предустьевых и устьевых участках рек, впадающих в Чудско-Псковское озеро; 2) выкос жесткой растительности, упорядочение любительского рыболовства, для чего целесообразно ввести лицензионный лов рыбы; 3) дальнейшее ограничение лова рыбы механизированными мутниками; 4) разработка новых орудий лова, исключаящих прилов молоди ценных видов рыб; 5) усиление контроля за санитарным состоянием вод озера и рек, впадающих в него.

Теперь рассмотрим возможные изменения в составе ихтиофауны к 2000 г. в связи с ростом антропогенного эвтрофирования. Как было показано выше, Чудское озеро перейдет в категорию эвтрофных и по продуктивности будет близко к современному состоянию Псковского озера. Псковское же озеро достигнет очень высокой степени эвтрофии. Учитывая, что к 2000 г. ожидается маловодная фаза цикла увлажнения, фосфорная нагрузка на Чудское озеро увеличится до 0,58 г/м², а на Псковское — до 2,42 г/м². Это неизбежно повлечет за собой ухудшение условий воспроизводства (заиление нерестилищ) и изменение условий нагула сиговых и корюшковых рыб — сига, снетка и ряпушки.

Ухудшатся условия обитания и возрастет естественная смертность всех рыб в связи с ухудшением кислородного режима озера, особенно во время ледостава в придонных слоях.

Кроме того, строительство водовода Чудское озеро-Таллин и увеличение водозабора в весенний период на мелиорацию земель приведут к дальнейшему сокращению площадей нерестилищ (на 80–100 км²). Это отразится в первую очередь на численности фитофильных рыб — леща, щуки и др.

В целом снижение уловов ценных промысловых рыб в связи с ростом антропогенного эвтрофирования к 2000 г. ориентировочно составит около 12 тыс. ц ежегодно.

4.3. Выводы и предложения

1. Анализ многолетних изменений общей увлажненности, водности и хода уровня озера показывает, что в 1990 г. завершится многолетняя фаза, а ее максимум придется на середину 80-х годов, 90-е годы текущего столетия и первое пятилетие XXI в. будут соответствовать маловодной фазе.

2. По уровню трофии Псковское и Теплое озера являются эвтрофными, Чудское – мезотрофным. С ростом народонаселения и развития народного хозяйства в бассейне озера к 2000 г. увеличится поступление биогенных элементов: фосфорная нагрузка в Чудском озере возрастет до $0,58 \text{ г/м}^2$ в год по сравнению с $0,41 \text{ г/м}^2$ в 1975 г., а в Псковском озере она увеличится более чем в 2 раза и достигнет $2,42 \text{ г/м}^2$, что приведет к значительному повышению трофического уровня Чудско-Псковского озера и ухудшению качества его воды.

3. Чудско-Псковское озеро имеет большое рыбохозяйственное значение. По природным условиям это сетково-лещевый водоем. При рациональном ведении рыбного хозяйства на 2000 г. планируется улов в размере 160 тыс. ц (в 1978 г. улов составлял 98,4 тыс.ц). В связи с ростом антропогенного эвтрофирования возможно снижение уровня уловов на 12 тыс. ц.

4. Все планы перспективного экономического и социального развития на территории водосборного бассейна Чудско-Псковского озера должны включать полный комплекс мероприятий, необходимых для предотвращения загрязнения водной и воздушной среды как акватории самого озера, так и территории водосборного бассейна. Загрязнение вод озера к 2000 г. может усугубиться вследствие того, что в этот период прогнозируется наступление маловодной фазы увлажнения.

5. Для успешного развития рыбного хозяйства на Чудско-Псковском озере необходимо: в короткие сроки осуществить строительство инкубаторов и баз для сбора и выдерживания икры сига, щуки и судака в объеме 57 млн. шт.; строительство 1200 га питомных площадей и реконструкция имеющихся прудов для ежегодного выращивания около 14 млн. шт. молоди указанных видов; ежегодное зарыбление озера 6 млн. шт. стекловидного угря.

6. Для сохранения природных ресурсов Чудско-Псковского озера, так же как и других озер, необходима реализация широкого комплекса мероприятий, утвержденного постановлениями партии и правительства в области охраны природы.

Л и т е р а т у р а

- Б а р а н о в И.В., К а р т а ш о в а Т.И. Химический состав воды и грунтов Чудско-Псковского озера. - Изв. ГосНИОРХ, 1974, т. 83, с. 16-25.
- Б е с с о н о в Н.М. Основные итоги рыбохозяйственного изучения Чудско-Псковского озера в 1969-1973 гг. - Изв. ГосНИОРХ, 1976, т. 94, с. 78-84.
- Б е с с о н о в Н.М., В а с и л ь е в О.А. Предварительные результаты исследования баланса органического вещества Чудско-Псковского озера. - В кн.: Сырьевые ресурсы Чудско-Псковского озера и их рациональное использование. Псков, 1975, с. 40-47. (Тр. Псковск. отд. ГосНИОРХ; Т. 1).
- И о ф ф е Ц.И. Материалы по бентосу Чудско-Псковского водоема. - Изв. ВНИОРХ, 1939, т. 21, с. 271-290.
- К а п у т е р к о С.И. О химическом составе вод Чудско-Псковского озера. - В кн.: Сырьевые ресурсы Чудско-Псковского озера и их рациональное использование. Псков, 1975, с. 28-32. (Тр. Псковск. отд. ГосНИОРХ; Т. 1).
- К а п у т е р к о С.И. К вопросу о распределении аммонийного, нитратного азота и фосфатов в Чудско-Псковском озере. - В кн.: Влияние хозяйственной деятельности на окружающую среду Прибалтики. Вильнюс, 1976, с. 71-72.
- К а с ь к Х.А. О гидрохимическом режиме минеральных и органических веществ Чудско-Псковского озера. - В кн.: Природа и хозяйственное использование озер Псковской и прилегающих областей. Псков, 1971, с. 104-106.
- К о с т ь ч е н к о В.П., С е м е н о в а А.А., Х л о б а с т и н а Г.А. Гидролого-гидрохимическая характеристика Чудско-Псковского водоема. - В кн.: Научные основы рациональной эксплуатации рыбных запасов Чудско-Псковского озера. - Изв. ГосНИОРХ, 1974, т. 83, с. 5-15.
- К у л л у с Л.П. Водный баланс Чудско-Псковского озера и колебание его элементов. - Тр. Тартуск. ун-та по геогр., 1974, т. 11, с. 75-98.
- К у л л у с Л.П., М е р и л а Л.А. Данные по изученности гидрометеорологическому и гидрохимическому режимам Чудско-Псковского озера. - В кн.: Гидробиология и рыбное хозяйство Псковско-Чудского озера. Таллин, 1966, с. 9-35.
- М я э м е т с А.Х. О легнем зоопланктоне Чудско-Псковского озера. - Гидробиологические исследования, 1966, т. 1У, Таллин, с. 80-97.
- Н е д о с п а с о в а Г.В. Высшая водная растительность Чудско-Псковского водоема. - Изв. ГосНИОРХ, 1974, т. 83, с. 26-32.
- П е т р о в а Н.А. Фитопланктон озер Воже и Лача. - В кн.: Гидробиология озер Воже и Лача. Л., 1978, с. 34-63.
- Р а с п л е т и н а Г.Ф., Г у с а к о в Б.Л. Гидрохимия озер и их притоков. - В кн.: Гидрология озер Воже и Лача. Л., 1979, с. 176-250.

- Т ю р и н П.В. Биологические основания реконструкции рыбных запасов Чудско-Псковского водоема. - Изв. ГосНИОРХ, 1974, т. 83, с. 153-179.
- Ш и л ь к р о т Г.А. Причины антропогенного эвтрофирования водоемов. - В кн.: Итоги науки и техники. Общая экология. Биоценология. Гидробиология. Т. 2. Антропогенное эвтрофирование водоемов. М., 1975, с. 61-99.
- Я к о в л е в а Н.А. О видовом составе и количественном развитии зоопланктона Псковско-Чудского озера. - В кн.: Сырьевые ресурсы Псковско-Чудского озера и их рациональное использование. Л., 1975, с. 64-70.
- O g l e s b y R.T. Phytoplankton summer standing crop and annual productivity as function of phosphorus loading and various physical factors. - J. Fish. Res. Board of Canada, 1977, vol. 34, N 12, p. 2255-2270.

5.1. Современное состояние озера

Физико-географические условия и морфометрия

Озеро Белое расположено на западе Вологодской области в пределах обширной Белозерской впадины (рис. 12). Оно образовалось после спада вод обширного приледникового водоема, уровень которого был на 30–40 м выше современного. Следы древнего водоема сохранились в виде террас, наиболее отчетливо выраженных на южном берегу озера. Озеро имеет овальную форму с большой осью, ориентированной с северо-запада на юго-восток. Берега его низкие, заболоченные.

В геологическом отношении водосбор озера занимает северо-западную часть Русской платформы, кристаллическое основание которой сложено породами докембрийского возраста, залегающими на глубине 2 км. На кристаллическом основании сформировалась толща осадочных пород, представленная на большей части водосбора отложениями среднего и верхнего карбона. Осадочные породы повсеместно перекрыты рыхлыми четвертичными отложениями мощностью от 5–15 до 80–100 м (в низинах; Пахтусова, 1969). Основные черты рельефа бассейна оз. Белого, сформировавшиеся еще в доледниковое время, впоследствии были подвержены действию ледника, роль которого проявилась в „выпахивании“ коренных пород, сглаживании уступов и перераспределении огромного количества материала, принесенного ледником. Белозерская равнина пересечена полосами холмисто-рядового рельефа в виде двух прерывистых дуг, которые являются краевыми образованиями ледника. В геоморфологическом отношении в пределах бассейна озера можно выделить 5 различных районов (Савинов, 1961), от холмистых, высотой до 300 м, до аккумулятивных озерно-ледниковых равнин.

Климат бассейна оз. Белого умеренно континентальный. Ведущая роль в его формировании принадлежит циркуляционным факторам. Географическое положение бассейна благоприятствует проникновению арктических, полярных (умеренных широт) и гораздо реже – тропических масс воздуха. Вторжение арктического воздуха приносит антициклональную погоду. Континентальный воздух умеренных широт, преобладающий на рассматриваемой территории в течение года, отличается высокими температурами летом и низкими зимой. Морской воздух умеренных широт, поступающий из просторов Атлантики, зимой вызывает потепление, пасмурную погоду, обильные осадки, летом – похолодание и ветер (Борисов, 1958).

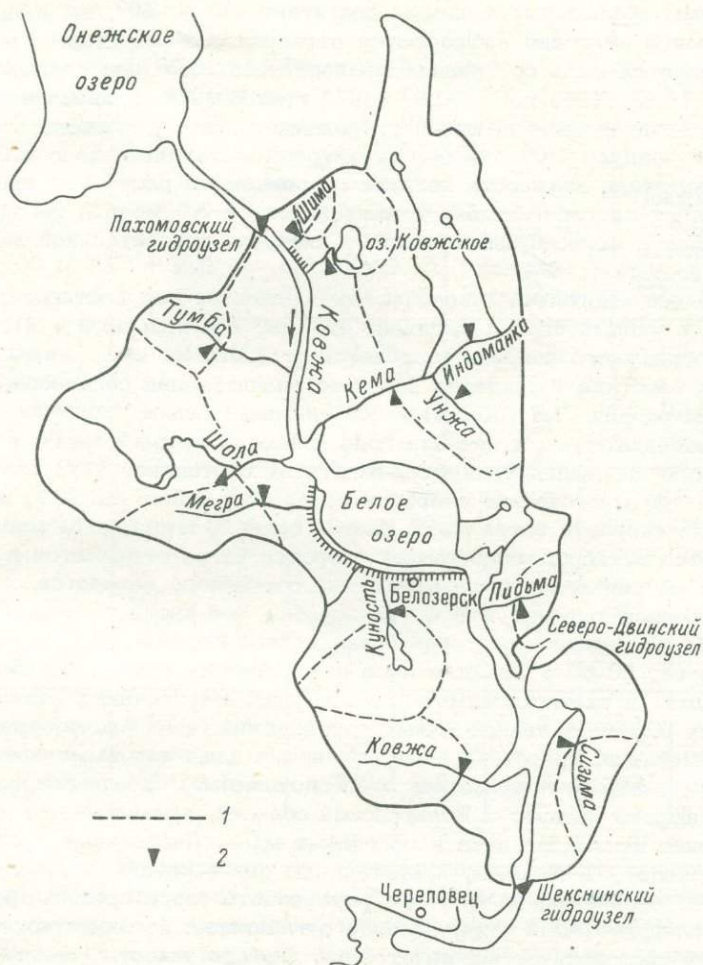


Рис. 12. Схема бассейна Шекснинского водохранилища.

1 - граница водосборов с изученным стоком; 2 - гидрологические посты.

В связи с многообразием воздушных масс на территории бассейна озера широко развиты фронтальные процессы. В среднем за год более 40% всех дней связано с прохождением фронтов. Средняя годовая температура воздуха за 1951-1973 гг. по ст. Белозерск составила $2,2^{\circ}$. Крайние значения температуры за этот период достигали $0,5^{\circ}$ (1969 г.) и $3,6^{\circ}$ (1957 г.). Самым холодным месяцем является январь (в отдельные годы - февраль) со средней месячной температурой $-11,9^{\circ}$ при крайних значениях $-4,4^{\circ}$ (1971 г.) и -20° (1968 г.). В отдель-

ные зимы абсолютный минимум достигает $-46 \div -49^{\circ}$, но наряду с этим почти ежегодно наблюдаются оттепели. Самым теплым месяцем является июль со средней температурой $16,7^{\circ}$ при крайних значениях $13,4^{\circ}$ (1956 г.) и $20,8^{\circ}$ (1972 г.). В 1972 г. дневная температура воздуха была выше 30° . Продолжительность периода с температурой воздуха $>0^{\circ}$ по ст. Белозерск составляет около 200 дней.

Абсолютная влажность воздуха в среднем за расчетный период составляет за год 7,1 мбар и изменяется от 2,6 мбар в январе до 14,3 мбар в июле. Среднее годовое значение относительной влажности достигает 80%.

Среднее многолетнее количество осадков за год составляет 630 мм, из них в теплый период выпадает 420 мм, а в холодный — 210 мм. Высота снежного покрова колеблется от 32 до 84 см.

Для бассейна характерна довольно значительная облачность, в среднем равная 7,3 (общая) и 5,5 (нижняя) балла.

Преобладающими в течение года являются ветры южного и юго-западного направлений, повторяемость их составляет 41%.

Средняя многолетняя скорость ветра составляет 4,8 м/с, максимальные скорости ветра наблюдаются осенью, штормовым месяцем считается октябрь, минимальная скорость ветра отмечается в мае.

Территория водосборного бассейна оз. Белого находится в пределах полосы средней тайги, где преобладают хвойные леса. Раньше леса покрывали всю территорию, сейчас площадь, занятая лесом, составляет 50–60%. Хвойные леса представлены темнохвойными (еловыми) и светлохвойными (сосновыми). На песчаных отложениях и сухих песчаных надпойменных террасах получили распространение сосновые леса, представленные сосняками лишайниковыми и зеленомошными, заболачивающимися и заболоченными. Заболачивание сосняков широко развито в Вологодской области, признаком его служит появление кукушкина льна и сфагновых мхов. Лиственные леса занимают около 20% площади, представлены они березняками.

Большая влажность климата, равнинность территории, затрудняющая поверхностный сток, наличие суглинистых и глинистых пород — все это способствует развитию болот. Заболоченность бассейна довольно высокая и неравномерная, в среднем по бассейну она составляет 15%. Возникновение болот связано с заболачиванием лесов или заторфовыванием водоемов.

В оз. Белое впадает около 60 рек, из них 13 имеют длину более 10 км. Средняя густота речной сети невелика — $0,36-0,40$ км/км². Самые крупные реки — Ковжа с притоком р. Шолой (длина 86 км, площадь водосбора 5000 км²) и Кема (длина 150 км, площадь водосбора 4480 км²) — дренируют 75% всей водосборной площади озера. Среди наиболее значительных притоков следует назвать реки Куность, Мегру, Мондому и др. Вытекает из озера р. Шексна, которая в настоящее время превращена в русловую часть водохранилища.

Питание рек бассейна оз. Белого осуществляется за счет талых (65%), дождевых (20%) и подземных вод (15%). Режим рек отличается значительной естественной зарегулированностью, обусловленной широким распространением на водосборных бассейнах лесов, болот,

Морфометрические характеристики оз. Белого и Шекснинского водохранилища

Водоем	Уровень (м Б.С.) при отметке			Площадь зеркала при НПУ, км ²
	НПУ	УМО	форсиро- ванный горизонт	
Озеро Белое	113.10	111.90	113.96	1284
Шекснинское водохранилище	-	-	-	1665

Водоем	Объем, км ³			Глубина при НПУ, м		Дли- на, км	Наи- боль- шая ширина, км
	при НПУ	слив- ной приз- мы	ре- зерв- ный	сред- няя	наи- боль- шая		
Озеро Белое	5.250	1.480	-	4.1	5.5	46	33
Шекснинское водохранилище	6.520	1.871	0.770	3.9	17.3	262	33

озер и карста. По особенностям внутригодового распределения стока реки района относятся к восточно-европейскому типу, характеризующемуся высоким половодьем, низкой летней и зимней меженью, повышенным стоком в осенний период. Средний модуль годового стока около 9 л/с·км², коэффициент вариации годового стока 0.25-0.28.

Озеро Белое в естественном состоянии, до ввода в строй в 1963 г. Волго-Балтийского водного пути, имело следующие морфометрические показатели: площадь - 1125 км², объем водной массы - 2.8 км³, средняя глубина - 2.3 м, длина - 43 км, ширина - 32 км (Мосевич, 1955).

После 1963 г. озеро вошло в состав Шекснинского водохранилища, уровень воды в нем был поднят почти на 2 м, что сказалось на его морфометрии (табл. 63).

Рельеф дна озера напоминает по форме глубокою тарелку. В пределах прибрежной полосы шириной 0.5-2 км дно плавно понижается. За пределами отдели глубина около 4-5 м практически не меняется по всему озеру.

Основными типами донных отложений оз. Белого являются илистые (89% площади) и песчаные (11%) осадки (Кудрин, 1960).

Илистые отложения – серые и оливково-серые – почти повсюду покрыты охристым наилком. Около половины площади дна озера глубиной 5–6 м занято глинистым илом, который на 68% состоит из пелитовых фракций, около 23% составляют алевритовые фракции и 5–10% – песчаные. Песчаные отложения озера протянулись узкой полосой вдоль всего берега, лишь в истоке р. Шексны полоса песчаных отложений расширяется и распространяется до глубины 5 м. В прибрежных участках рек встречаются каменистые грунты, состоящие из гравийного материала, перемешанного с крупнозернистым песком.

Донные отложения озера характеризуются низким содержанием органического вещества. Потери при прокаливании составляют в среднем около 5% и редко достигают 9%. Несколько повышенное содержание органического вещества в донных отложениях наблюдается в районах впадения рек Ковжи и Мегры, куда оно приносится с площадей, затопленных разливами этих рек. Карбонатной углекислоты в илах мало – 0–0,2%, лишь редко эта величина возрастает до 1,3%. Содержание в донных отложениях биогенов также низкое: фосфора (P_2O_5) всего 0,11–0,2%, аутигенного кремнезема (SiO_2) 2,9–5%.

Гидрологический режим

Озеро Белое, обладающее общими чертами с другими озерами Северо-Запада, в то же время имеет и ряд существенных различий, о которых следует упомянуть. Одна из особенностей водосбора озера состоит в том, что он расположен на водоразделе трех морей: Каспийского, Белого и Балтийского. Водосбор озера сравнительно небольшой – его площадь лишь в 10 раз превышает площадь озера, в то время как рядом расположенные озера Кубенское, Ильмень и Лача имеют водосборы, в 30–35 раз превышающие площадь самих водоемов, а этот показатель оказывает существенное влияние на водный баланс озера и его внешний водообмен.

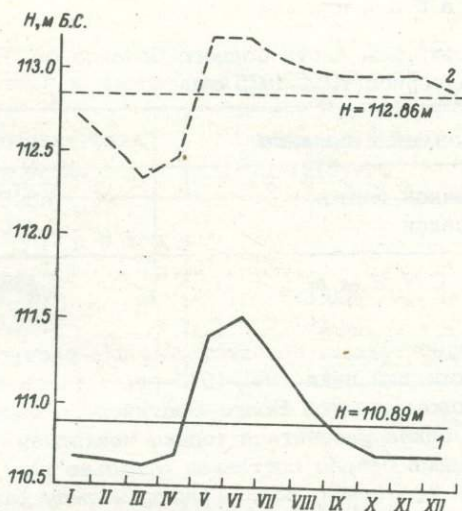
Объем приходной части баланса оз. Белого составляет за год всего около 4 м на площадь озера, в то время как на озерах Лача и Воже эта величина достигает 10–11 м, а на оз. Ильмень – 15 м. Вследствие этого внешний водообмен у него меньше, чем у других озер. Коэффициент условного водообмена оз. Белого 0,7, Кубенского и Ильмень – 4.

Вторая особенность водосборного бассейна оз. Белого – принадлежность его к переходной климатической зоне, подверженной влиянию двух климатических систем – Атлантической и Евразийской. Над бассейном озера находится центр пересечения траекторий циклонов, идущих с Северной Атлантики и со Средиземноморья, что способствует развитию высоких скоростей ветра в течение всего года, на 25–30% больших, чем над окружающей территорией.

Первые наблюдения над уровнем озера начались в 80-х годах прошлого столетия. Именно в то время оно было превращено в

Рис. 13. Ход уровня оз. Белого.

1 - в условиях естественного режима (1881-1962 гг.); 2 - в условиях водохранилища (1964-1973 гг.).



водохранилище с сезонным регулированием. Режим регулирования уровня озера Крохинской плотиной был полностью подчинен требованиям водного транспорта. Весной озеро наполнялось до отметки 110,5 м и сбрасывалось в течение навигации. К концу навигации плотина полностью открывалась. В этот период уровненный режим озера был близок к естественному, имел сезонный характер с подъемом весной, в период половодья, и плавным спадом в остальное время с минимумом в предвесенние месяцы и годовой амплитудой 2-2,5 м.

После 1963 г., когда уровень озера был поднят на 2 м и оно вошло в состав Волго-Балтийского водного пути, уровненный режим водоема значительно изменился. В настоящее время он определяется работой гидротехнических сооружений и имеет следующие характерные черты:

- 1) весенний подъем до максимальных отметок;
- 2) устойчивое стояние на отметках, близких к НПУ (113,0 м) в течение всего навигационного периода;
- 3) зимняя сработка (рис. 13).

Озеро Белое, расположенное в зоне избыточного увлажнения, по классификации Б.Б. Богословского (1971), относится к стоково-аккумулятивному типу. Основными составляющими, формирующими водный баланс озера, являются приток и сток. Анализируя длинные ряды наблюдений за стоком рек в бассейне оз. Белого, а также в соседних бассейнах, находящихся в сходных физико-географических условиях, удалось установить циклический характер колебаний элементов водного баланса водоема. На протяжении последнего столетия выделяются 3 цикла продолжительностью 25-28 лет, каждый из которых состоит из многоводной и маловодной фаз.

Несмотря на то что с конца 50-х годов значительно расширилась сеть гидрометрических наблюдений за стоком рек бассейна озера,

Приходная часть водного баланса оз. Белого
за период 1951-1975 гг.

Элементы баланса	км ³	мм
Речной приток	3.648	3050
Осадки	0.810	677
С у м м а	4.458	3727

существенным препятствием для расчета водного баланса озера за последний цикл 1951-1975 гг. явилась его реконструкция в связи с вводом в строй Волго-Балтийского водного пути. Поэтому для всего цикла рассчитана только приходная часть баланса (табл. 64), а полный баланс составлен отдельно для его многоводной и маловодной фаз (табл. 65). Граница между фазами совпадает с вводом в эксплуатацию Шекснинского гидроузла (1963 г.) и превращением озера в водохранилище.

Основными элементами водного баланса озера являются в приходной части речной приток, в расходной - сток из озера, составляющие около 80%. Доля атмосферных осадков не превышает 20%, а испарения еще меньше. В многоводную фазу приход воды в озеро возрастает примерно на 10%, причем увеличение происходит за счет речного притока, который возрастает на 16%. Атмосферные осадки при этом уменьшаются на 3%. В расходной части баланса сток из озера возрастает на 11%, а испарение - на 5%.

Многоводная фаза характеризуется почти постоянным преобладанием приходной части баланса над расходной, что приводит к подъему уровня в среднем на 9 см в год. К концу многоводной фазы уровень повысился почти на 1 м.

В маловодную фазу, которая характеризуется более засушливой и теплой погодой, поступление воды в озеро несколько сокращается. Речной приток уменьшается на 18%, а в целом приходная часть водного баланса в маловодную фазу уменьшается на 14%. Еще большее отклонение составляющих водного баланса от средних многолетних величин происходит в экстремные годы.

В многоводный 1962 г. осадков выпало на 10% больше средней многолетней величины, испарение уменьшилось на 15%, речной сток увеличился почти на 40%, что способствовало накоплению воды в озере - его уровень был на 40 см выше среднего многолетнего.

В маловодный 1972 г. объем приходной части водного баланса сократился почти вдвое. Причиной тому послужило резкое уменьшение речного притока в озеро (почти на 50%) и осадков (на 25%). Испарение в этом году увеличилось на 30%.

Существенное значение для озера имеет соотношение количества воды, поступающей в водоем (приток), с объемом его водной массы, что выражается коэффициентом условного водообмена.

Т а б л и ц а 65

Водные балансы для многоводной и маловодной фаз (км³)

Элементы баланса	Многоводная фаза 1951-1962 гг.	Маловодная фаза 1963-1975 гг.
П р и х о д		
Приток	4.257	3.005
Осадки	0.788	0.830
Изменение уровня	-	-
С у м м а	5.045	3.835
Р а с х о д		
Сток	4.415	3.087
Испарение	0.448	0.554
Аккумуляция	0.102	0.087
С у м м а	4.965	3.728
Невязка, %	+1.6	+2.8

Для оз. Белого коэффициент условного водообмена для среднего года за многолетний период равен 0.7. В многоводный 1962 год коэффициент условного водообмена составил 1.5, в маловодный 1972 год - всего 0.4.

Существенная особенность озера - его динамичность. На озере хорошо развиты течения, стогно-нагонные колебания, волнение и сейши.

Особенностью режима волнения оз. Белого является его однообразие в различных районах озера, что обусловлено простой формой котловины, малым различием глубин и режимом ветра над озером. При ветрах 50%-ной режимной повторяемости (р.п.) средняя высота волн, равная 15 см, наблюдается на 95% площади озера (табл. 66).

На озере почти постоянно наблюдаются сейши. Наибольший период сейш 3 ч 20 мин. Это одноузловая продольная сейша озера. Кроме нее наблюдаются сейши с периодами 2 ч, 1 ч 30 мин, 52 мин. Амплитуда сейш, однако, небольшая, чаще всего 5-7 см, редко достигает 15-20 см. Широко распространенные сейшевые колебания уровня приводят к возникновению сейшевых течений, наибольшие скорости которых прослеживаются в районе узловых линий сейш.

Доминирующими течениями на озере все же являются ветровые. При юго-восточных ветрах в озере образуется антициклональная циркуляция, охватывающая почти всю его водную массу. На поверх-

Т а б л и ц а 66

Распределение средних высот волн (\bar{h}) и средние по оз. Белому волновые скорости (\bar{v}) на дне

\bar{h} , 50% р.н., см					\bar{h} , 3% р.н., см				\bar{v} , 50% р.н.	\bar{v} , 3% р.н.
>12	>14	>16	>18	>20	>30	>35	>40	>45		
99	95	76	9	-	80	51	-	-	1.3	9.4

ности озера скорости течений достигают 10–15 см/с. В придонных слоях возникают компенсационные течения со скоростями 7–9 см/с. Западные и северо-западные ветры вызывают течения, направленные к истоку р. Шексны. Если скорость ветра этих направлений превышает 10 м/с, то возникает циклональная циркуляция со скоростью до 15 см/с.

Стоковые течения на озере выражены слабо.

Термический режим озера носит четко выраженный сезонный характер. После вскрытия озера, чаще всего в апреле, температура воды повышается вслед за температурой воздуха, достигая максимальных значений в июле-начале августа, затем плавно падает вплоть до замерзания озера, как правило, в ноябре.

Ниже приведены средние месячные температуры поверхности воды оз. Белого за 1951–1973 гг. ($^{\circ}\text{C}$): У – 7.0, У1 – 16.0, УII – 18.9, УIII – 17.2, IX – 11.0, X – 4.7.

Вследствие мелководности озера и почти постоянного ветрового перемешивания температурная стратификация как по глубине, так и по акватории носит кратковременный характер и наблюдается лишь в непродолжительные периоды штилевой погоды.

Большую роль в формировании термического режима воды играют донные отложения, которые летом аккумулируют тепло, а зимой отдают его водной массе, чем препятствуют промерзанию мелководного озера. Летом в донных отложениях аккумулируется 20–50% тепла, поступающего в озеро, в зимний период теплозапасы донных отложений достигают 90% и только 10% приходится на воду.

Поступление тепла в озеро за счет радиационного баланса составляет 36–40 ккал/см² за открытый период, из них 65–73% расходуется на испарение и 10–14% – на турбулентный теплообмен.

Химический состав воды

Вода оз. Белого имеет невысокую минерализацию, около 120 мг/л, и гидрокарбонатно-кальциевый состав (табл. 67; Дегтяренко, 1959; Алферовская, 1977).

Режим растворенного кислорода в озере можно считать удовлетворительным, его величины не бывают в течение года ниже 60–70%.

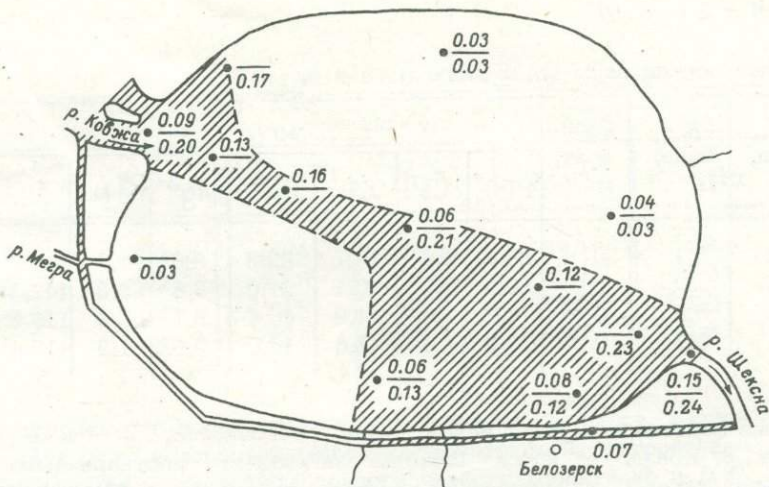


Рис. 14. Содержание растворенных нефтепродуктов в поверхностном слое оз. Белого (мг/л).

Заштрихована зона постоянного содержания растворенных нефтепродуктов выше 0.05 мг/л; числитель – данные за ноябрь 1976 г., знаменатель – данные за июль 1977 г.

В весенний период наблюдается небольшое перенасыщение кислородом. Величина рН меняется мало, от 7.2 до 7.4.

Азот и фосфор как в минеральной, так и в органической формах, постоянно присутствуют в воде озера. Концентрация минерального фосфора меняется от 0.01 до 0.04 мг/л, заметно снижается в период развития фитопланктона и несколько возрастает летом. Содержание соединений азота в воде меняется в широких пределах. Из минеральных форм в озере постоянно присутствует аммонийный азот, хотя его содержание заметно снижается в период вегетации фитопланктона. Нитратный азот наблюдается в основном в зимний период. Содержание органического вещества в озере меняется в течение года. В зимнее время вода озера имеет относительно невысокую цветность, около 28°, и перманганатную окисляемость 8–9 мг /л. Весной содержание органического вещества в воде увеличивается в несколько раз, особенно в приустьевых участках Ковжи, где цветность воды достигает 250°, а перманганатная окисляемость составляет 46 мг О/л.

Антропогенное загрязнение озера проявляется в виде растворенных нефтепродуктов в его воде. При предельно допустимой концентрации для растворенных нефтепродуктов 0.05 мг/л в оз. Белом в районах, находящихся в стороне от судовых линий, эта величина колеблется в пределах 0.03 мг/л.

Ионный состав воды оз. Белого в 1973 г.

Месяц	Глубина, м	Горизонт, м	мг/л						
			HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	Σ_n
Март	5.1	0	88.8	2.4	18.7	22.3	8.6	2.3	143.1
		5.0	86.9	2.2	20.1	21.0	8.8	3.3	142.3
Июнь	5.0	0	74.2	1.5	14.9	16.4	8.7	0.8	116.5
		0	73.6	1.6	17.3	16.0	9.0	1.9	119.4

Вся же фарватерная зона, район около Белозерска, а также устье р. Ковжи и исток Шексны загрязнены растворенными нефтепродуктами, концентрация которых достигает 0,21–0,24 мг/л (рис. 14).

Гидробиологическая характеристика

По биологическим показателям оз. Белое во многом сходно с другими крупными мелководными озерами Северо-Запада СССР, такими как Лача, Воже, Кубенское, что основано на общности географического положения, близком химическом составе их вод и ряде других физико-географических характеристик.

По структуре и интенсивности продукционных процессов – это водоем мезотрофного среднепродуктивного класса с преобладанием продукции планктона над бентосом (Николаев, 1977).

Численность бактериопланктона колеблется от 0,4 до 3,5 млн. кл./мл, количество сапрофитов, растущих на МПА, – от 8 до 1236 кл./мл, сапрофитов, растущих на МПА/10, – от 21 до 2512 кл./мл. Небольшое содержание органического вещества в озере определяет сравнительно невысокий уровень развития бактериопланктона, в среднем около 1–1,5 млн. кл./мл воды, что характерно для мезотрофных озер. Однако в отдельные годы наблюдались резкие отклонения от нормы в сторону увеличения концентрации бактерий, в среднем до 3–3,7 млн. кл./мл (максимум до 7,5 млн.), а сапрофитов – до 2,4 тыс. кл./мл (максимум до 8,8 тыс.) – численность, характерная для эвтрофных озер (табл. 68).

Распределение бактерий по акватории озера носит неоднородный характер. В центральной части их величина составляет 2–2,5 млн. кл./мл, а на прибрежных участках достигает 3 млн. кл./мл. При ветрах, когда происходит взмучивание донных отложений, количество бактерий увеличивается. Значительно обеднены бактериями донные отложения глубоководной части озера вдоль фарватера, где происходит активное движение судов.

экв-%						
HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	
76.1	3.5	20.4	58.1	37.1	4.8	
74.8	3.2	22.0	55.0	38.1	6.9	
77.6	2.6	19.8	52.3	45.7	2.0	
74.9	2.8	22.3	49.7	45.7	4.6	

В фитопланктоне в последние годы отмечено 120 видов, разновидностей и форм водорослей (Мордухай-Болтовской, Митропольский, 1959). Для всего вегетационного периода характерно преобладание диатомовых. Синезеленые водоросли, хотя и превалируют по численности во второй половине лета-начале осени, в общей биомассе большой роли не играют.

Распределение фитопланктона по акватории озера и в толще воды по вертикали довольно однородно. Численность фитопланктона в мае достигает 600 тыс. кл./л, в июне-июле не превышает 100 тыс. кл./л, а в августе, в период массового развития синезеленых водорослей, становится максимальной - до 3 млн. кл./л, а отдельные годы - до 70 млн. кл./л. В сентябре-октябре численность водорослей остается высокой за счет продолжающих развиваться синезеленых - 1-3 млн. кл./л.

Величины биомассы максимальны в период преобладания диатомовых - весной (до 4 мг/л) и осенью (до 13 мг/л). В августе биомасса может составлять от 2 до 13 мг/л в зависимости от преобладания в планктоне разных размерных групп водорослей.

Содержание хлорофилла „а“ в планктоне оз. Белого в 1976-1977 гг. составляло в среднем за безледный период 3,7-4,7 мкг/л, в августе в среднем 4,5 мкг/л.

Интенсивность фотосинтеза фитопланктона относительно невелика и колеблется в поверхностном слое в весенние и летние месяцы в пределах 0,23-1,85 мг O_2 /л в сутки. Средняя величина первичной продукции в августе 1977 г. составила 1,22 мг O_2 /л, или 458 мкг O /л в сутки. Суммарная продукция под 1 м² - 0,14-1,63 г O_2 /м² в сутки. Наибольшие ее величины приурочены к концу июля. Продукция фитопланктона в расчете на всю водную толщу на протяжении большей части вегетационного периода меньше, чем деструкция органического вещества.

В оз. Белом описано 47 видов высших растений, которые распределены по нескольким экологическим группам (табл. 69). Преобладают в озере воздушно-водные растения, относящиеся к 27 ассоциациям. Наиболее распространен горец земноводный, встречающийся в

Средние и экстремальные значения общей численности бактерий и сапрофитов

Месяц и год	Бактерии, млн. кл./мл	Сапрофиты, кл./мл	Автор
Июль 1954 г.	1,5(0,98-2,5)	2400(81-8800)	Крaшениникова, Новожилова (1959)
Июль 1955 г.	3,7(1,7-7,5)	350(40-660)	
Октябрь 1955 г.	3,5(2,6-4,5)	550(120-1160)	
Август 1961 г.	0,9(0,5-1,3)	210(150-260)	Марголина (1965)
Июнь 1963 г.	2,5(1,1-3,4)	206(80-550)	
Август 1963 г.	3,0(2,9-3,0)	395(220-570)	
Сентябрь 1963 г.	-	770(540-100)	
Октябрь 1963 г.	2,4	590	
Июль 1969 г.	1,7	160	Никифорова, Ро- маненко (1972)
Март 1973 г.	0,42(0,4-0,47)	323(18-1236)	Александрова (1981)
Август 1973 г.	1,0(0,7-1,5)	810(240-1200)	
Август 1974 г.	0,9(0,5-1,9)	119(54-226)	
Август 1975 г.	2,0(1,2-3,1)	310(69-1136)	
Июнь 1976 г.	1,6(0,8-3,0)	41(8-81)	
	1,4(1,0-1,7)	44(34-63)	
Июль 1976 г.	1,3(0,7-1,9)	160(18-480)	
Август 1976 г.	1,9(0,8-3,3)	118(62-336)	
Сентябрь 1976 г.	2,4(1,8-3,5)	158(20-240)	

18 ассоциациях. В целом высшая водная растительность занимает площадь 1320 га, что составляет немногим более 1% средней площади оз. Белого. Большая часть всей заросшей литорали находится в двух районах - вдоль западного и северо-западного берегов на участке, начинающемся немного южнее устья р. Чалексы и заканчивающемся северо-восточнее Ковжинских разливов, и в расширении у истока р. Шексны.

Основные закономерности зарастания северо-западной части озера таковы: к северу от устья р. Чалексы вдоль берега, на расстоянии 0,5-1,2 км от него, на глубине около 1 м протягивается полоса тростниковых зарослей средней шириной около 100 м, местами суживающаяся до 50 м. У устьев рек Чалексы и Мегры и к северу от о-ва Ковжа за полосой тростника параллельно урезу воды чередуются полосы воздушно-водных, плавающих и погруженных макрофитов. У самого берега на глубине до 30 см располагаются фитопенозы хвоща приречного (*Equisetum fluviatile* L.). Далее между берегом и зарослями тростника располагаются три полосы, состоящие из сменяющих друг друга фитопенозов горца земноводного и рдеста пронзеннолистного (их соотношение - 80 и 20%). Ширина полос колеблется от 200 до 300 м.

Расчеты годовой продукции макрофитов показали, что они ежегод-

Экологические группы высших растений

Экологические группы	Число видов	
	всего	в том числе эдификаторов
Мезофиты	4	—
Гигрофиты	9	3
Водно-болотные растения	1	—
Воздушно-водные растения	19	12
Гидрофиты с плавающими листьями	6	2
Гидрофиты погруженные	8	4
В с е г о	47	21

но создают немногим более 3,6 тыс. т органического углерода, 50% этого количества падает на долю тростника, 17% — на сусак, 16% — на горец земноводный, 11% — на ежеголовники. Отнесенная ко всей площади водоема продукция макрофитов составляет 2,8 гС/м², или 117 кДж/м². Однако известно, что органическое вещество, заключенное в макрофитах, после отмирания большей частью не разносится по всему озеру, а вступает в биотический круговорот в пределах зарастающих мелководий. Отнесенная к площади зарослей, величина первичной продукции макрофитов оказалась значительной — 271 гС/м², и оз. Белое по этому показателю является наиболее продуктивным среди больших литоральных озер Северо-Запада СССР.

Озеро Белое неблагоприятно для развития перифитона (водорослей обрастаний) в силу следующих обстоятельств: оно велико по площади, со слабой изрезанностью береговой линии, с интенсивной динамикой водных масс.

В озере, кроме макрофитов, практически отсутствуют субстраты, пригодные для заселения водорослями обрастаний. А наличие субстрата является одним из необходимых условий для развития перифитона. Высшие водные растения, которые служат субстратом для развития водорослей обрастаний, развиты слабо и занимают менее 1% площади озера. Погодные условия (температура воды, воздуха, уровень воды, ветры и волнение) оказывают сильное влияние на видовой состав, численность и биомассу группировок обрастаний. Для перифитона оз. Белого характерны диатомовые обрастания — виды родов *Achnanthes*, *Cymbella*, *Epithemia*, *Fragilaria*, *Navicula*, *Synedra*. Численность водорослей на 1 см² субстрата варьирует от 0 до 815 тыс. кл./см², биомасса — от 0 до 2,11 мг/см². В июле-августе при благоприятных погодных условиях в перифитоне обычно доминируют синезеленые и зеленые водоросли, численность которых достигает 1 млн. кл./см², с биомассой 2,3–2,5 мг/см².

В зоопланктоне оз. Белого отмечено 88 видов, из них 45 – коловратки, 25 – ветвистоусые, 18 – веслоногие ракообразные. Доминирующие виды принадлежат к пелагическому планктонному комплексу, свойственному озерам Северо-Запада СССР. По уровню развития зоопланктона в летний период озеро можно отнести к мезотрофным водоемам, тяготеющим к нижней границе этой группы. Численность зоопланктона в летнее время колеблется от 3,4 до 1068 тыс. экз./м³ (в среднем 33,2–466,1 тыс. экз./м³), биомасса – от 0,18 до 4,0 г/м³ (в среднем 0,53–2,63 г/м³). Средняя за сезон биомасса зоопланктона по озеру составила 0,73–1,30 г/м³.

Продукция всего зоопланктона за май–октябрь 1976 г., рассчитанная физиологическим способом, составила для мирного зоопланктона 159,2 МДж/м³ (653,6 МДж/м²), а для хищного – 25,2 МДж/м³ (104,7 МДж/м²).

В сезонном развитии зоопланктона отмечается большой подъем в конце мая–начале июня, снижение его обилия в июле и некоторое повышение биомассы к концу августа–сентябрю за счет развития крупных ракообразных. В распределении зоопланктона постоянно отмечаются минимальные биомассы в устье р. Ковжи, а максимальные – в истоке р. Шексны.

Уровень развития и характер зоопланктона в разные годы обнаруживает положительную связь с температурными условиями, с количеством тепла, полученного водоемом. Теплые годы характеризуются более обильным зоопланктоном, в холодные годы развитие планктона замедлено.

Бентос оз. Белого отличается однообразием видового состава, что связано с однообразием биотопов озера. В озере обитает 60 видов и форм беспозвоночных, преобладают хирономиды, олигохеты и моллюски (Мордухай-Болтовской, Митропольский, 1959; Стальмакова, 1977). Эти доминирующие виды составляют основу зообентоса открытой части озера.

Особенностью бентоса является реофильный облик его фауны. *Chironomus f.l. plumosus-reductus*, *Isochaetides newaensis* и другие – это виды, которые впервые были описаны в фауне равнинных рек на течении. Они характерны для биотопов, где усиленная динамика вод обуславливает достаточное снабжение придонных слоев кислородом. Кроме того, эти виды легко переносят повышенную мутность воды.

Ввиду малых площадей зарастания озера (1%) роль фитофильных сообществ незначительна. В Ковжинском разливе обитает своеобразная фауна, среди фитофилов доминируют личинки эфемерид, хирономид, кладоцеры, моллюски. На дне присутствуют организмы, устойчивые к дефициту кислорода. Вместо *Ch. f.l. plumosus-reductus* встречаются *Ch. f.l. plumosus*. Своеобразие сезонной динамики бентоса в оз. Белом состоит в том, что максимум его наблюдается не осенью, как в большинстве водоемов, а летом (табл. 70). Это объясняется особенностью жизненных циклов доминирующих видов: максимального веса личинки *Ch. f.l. plumosus* достигают в июле, после чего происходит интенсивный вылет imago.

Т а б л и ц а 70

Сезонные изменения биомассы пелофильного и псаммофильного бентоса в различные годы исследования

Год	Биомасса, г/м ²		
	весна	лето	осень
1974	<u>1,9</u>	<u>5,8</u>	<u>2,4</u>
	1,6	2,5	0,2
1975	<u>2,8</u>	<u>10,5</u>	<u>1,5</u>
	0,2	2,8	0,1
1976	<u>4,8</u>	<u>9,4</u>	<u>6,2</u>
	0,05	1,9	0,8
1977	<u>11,9</u>	<u>13,7</u>	<u>8,0</u>
	1,3	2,3	2,4

П р и м е ч а н и е. В числителе - биомасса пелофилов, в знаменателе - псаммофилов.

Размножение *Isochaetides newaensis* наблюдается также летом, после чего зрелые особи погибают.

В отличие от ряда крупных озер и водохранилищ, где области с повышенной биомассой бентоса располагаются по периферии водоема, у берегов, в оз. Белом центральная часть ложа заселена богаче периферии. Благоприятствует этому хороший кислородный режим придонного слоя воды, обеспечивающий процветание обитающих здесь видов. Содержание кислорода у дна в центральной части озера не опускается ниже 70% летом и 60% зимой. Периферийные области подвержены сильному ветровому воздействию, лишены макрофитов и отличаются бедностью фауны. Нами была рассчитана продукция зообентоса на илах и песках по формуле

$$P_r = P_M + P_x - C_x,$$

где P_r - чистая продукция бентоса; P_M - продукция мирных беспозвоночных; P_x - продукция хищников; C_x - рацион хищных беспозвоночных. Чистая продукция бентоса илов составила 846,4 МДж/м², песков - 75,4 МДж/м². Отношение рациона хищников к рациону мирных беспозвоночных равнялось 8,8% на илах и 8,3% на песках. Эти довольно высокие величины свидетельствуют о значительном прессе хищников.

По уровню развития зообентоса в настоящее время оз. Белое можно отнести к водоемам мезотрофного типа, однако ограниченность видового состава и реофильный облик фауны выделяют его из других мезотрофных озер.

Озеро Белое является ценным рыболовным водоемом. Ихтиофауна его представлена 30 видами рыб. Наибольшей численности достигают снеток, судак, берш, лещ, щука, чехонь, синец, окунь, плотва. До недавнего времени оно было уникальным водоемом, не имеющим себе равных в Европе по запасам судака. Уловы этого вида достигали 3,5 тыс. ц.

В настоящее время все представители ихтиофауны являются озерными и озерно-речными формами. Отделение в 1896 г. оз. Белого от бассейна Верхней Волги Крохинской плотиной привело к выпадению из состава его ихтиофауны проходных и полупроходных видов рыб: белуги, стерляди, осетра, сазана (Кучин, 1902; Васильев, 1955). До середины 30-х годов промысловые уловы на озере составляли 7-14 тыс. ц. Применение как пассивных (рюси, вентеря, ризцы, сети, переметы), так и активных (невода, мутники) орудий лова позволило достаточно полно освоить ихтиофауну водоема. Модернизация рыболовного флота - появление тралов в 30-х годах, замена снастей из растительных материалов на капроновые в конце 40-х годов - привела к еще большему усилению эксплуатации рыбных запасов водоема. Годовые уловы в этот период возросли до 10-14 тыс.ц. Однако интенсивность промысла превысила оптимальный уровень. Кроме того, тралами вылавливалось большое количество молоди ценных видов рыб. Это привело к подрыву запасов основных промысловых видов в озере. В 1956 г. годовой улов резко сократился, а в 1957 г. траловый лов был запрещен. Однако последствия применения тралов на оз. Белом прослеживались вплоть до установления на водоеме режима водохранилища (1963-1964 гг.). Среднегодовые уловы в этот период составляли около 5,0 тыс. ц (табл. 71, 72).

После запрещения тралового лова промысловая база на озере подверглась коренной перестройке. Основное внимание было уделено добыче ценных видов рыб. Для этого использовались крупнейшие ставные и плавные сети, отлавливающие в основном судака, леща и щуку. Весной, в период снетковой путины, выставлялись мелкочейные ризцы и курлянки. В период 1967-1972 гг. уловы вновь возросли и составляли в среднем 11,8 тыс. ц в год. Повышение продуктивности в этот период объясняется так называемым биопродукционным эффектом подпора после включения оз. Белого в состав водохранилища. Подобное повышение продуктивности наблюдается на всех речных участках и озерах в первые годы после превращения их в водохранилища.

С 1973 г. уловы на озере опять катастрофически снизились и составили в среднем 5,8 тыс. ц в год. Это объясняется нерациональным ведением промысла на водоеме (систематическое чрезмерное промысловое изъятие ценных рыб), а также тем обстоятельством, что с созданием на этом озере режима водохранилища нарушились условия воспроизводства видов рыб, которые нерестятся на твердых грунтах (в первую очередь судака). Определенный ущерб наносят и

Промысловые уловы рыб на оз. Белом (тыс. ц)

Год	Улов	Год	Улов	Год	Улов	Год	Улов
1960	10,9	1966	8,4	1972	11,7	1978	5,3
1961	3,8	1967	11,4	1973	7,7	1979	5,3
1962	5,2	1968	10,1	1974	6,6		
1963	3,7	1969	10,3	1975	5,3		
1964	2,2	1970	13,3	1976	4,1		
1965	6,0	1971	14,6	1977	5,6		

все возрастающие масштабы любительского лова. По данным Вологодской лаборатории ГосНИОРХа, этот вид рыболовства ежегодно приводит к изъятию из озера около 3 тыс. ц рыбы.

Рыбопроductивность оз. Белого по данным промысловых уловов в настоящее время (1976-1978 гг.) составляет 3,9 кг/га, а с учетом вылова рыбаками-любителями - 6,4 кг/га.

Оценку состояния запасов и прогноз оптимально возможного вылова рыбы в водоеме проводит Вологодское отделение ГосНИОРХа. Расчет величины промысловой ихтиомассы осуществляется по материалам так называемого прямого учета запасов.

В основу расчета оптимальных коэффициентов вылова положены рекомендации П.В. Тюрина (1972) о соотношении коэффициентов вылова и коэффициентов естественной смертности. В случае с бершом и щукой коэффициенты вылова завышены. Это вызвано тем, что в настоящее время в связи с резким уменьшением ихтиомассы судака существует угроза его замещения бершом и щукой.

Как видно из данных, приведенных в табл. 73, в современных условиях на уровне, близком к оптимальному, используется продуцируемая ихтиомасса леща, судака, щуки и синца. Согласно действующим на оз. Белом правилам рыболовства, вылов судака и леща лимитируется. Ихтиомасса же таких видов, как берш, чехонь, плотва, окунь, ерш и другие, не доиспользуется. Это в значительной степени определяется низкими закупочными ценами на эти виды рыб.

Следует особо обратить внимание на современное состояние запасов ведущих видов ихтиофауны оз. Белого - снетка и судака. Численность белозерского снетка, вида с коротким жизненным циклом, подвержена значительным флюктуациям. Уловы его в течение последних 20 лет колебались от 8 до 8000 ц. В настоящее время после очередной депрессии, по данным Вологодской лаборатории ГосНИОРХа, ожидается увеличение численности этого вида и в ближайшие годы уловы его должны достигнуть средней многолетней величины - 2,5 тыс. ц. Численность судака также находится на крайне низком уровне, и уловы его не превышают 500 ц. Однако ожидается вступление в про-

Т а б л и ц а 72

Видовой состав уловов (ц) в оз. Белом

Виды рыб	1977 г.	1978 г.
Снеток	240	1389
Судак	410	529
Берш	43	54
Лещ	873	679
Щука	828	639
Чехонь	694	538
Синец	1589	941
Окунь	46	84
Плотва	118	155
Жерех	1	-
Налим	15	18
Язь	17	10
Ряпушка	22	1

Т а б л и ц а 73

Промысловые запасы рыб оз. Белого, их фактическое изъятие и возможный вылов при рациональном ведении промысла по данным 1976-1978 гг.

Виды рыб	Промысловый запас 1976-1978 гг., ц	Фактический средний вылов 1976-1978 гг., ц	Фактический коэффициент вылова, %	Оптимальный коэффициент вылова, %	Максимально возможный вылов, ц
Снеток	-	633	-	-	2500
Судак	4060	445	16	22	600(1000)
Берш	350	26	3	50	500
Лещ	4080	827	18	22	1000
Щука	3600	745	20	30	1100
Синец	4850	1192	24	24	1200
Чехонь	3100	505	16	30	1000
Плотва	2800	133	4	30	1000
Окунь	1800	55	3	30	600
Ряпушка	2500	9	0,3	25	700
Ерш	3000	454	15	40	1200
Прочие виды	5200	54	1	25	1400
Итого		5018			13200

мысловое стадо сравнительно урожайных поколений 1976–1977 гг. рождения, которые позволят увеличить уловы этого вида до 1 тыс.ц.

В целом расчет промысловой ихтиомассы позволил рекомендовать уже в настоящее время при рациональном ведении промысла увеличение уловов на оз. Белом до 13,3 тыс. ц. Если учесть интересы любительского лова (3 тыс. ц), то промышленный улов должен составить 10,2 тыс. ц ежегодно (против 5 тыс. ц фактического улова в настоящее время).

5.2. Возможные изменения природных ресурсов

Водные ресурсы

В основу прогноза водности оз. Белого к 2000 г. положен анализ имеющихся многолетних наблюдений за стоком и уровнем воды, представленных в виде модульных интегральных кривых. Известно, что общая увлажненность климата, которая проявляется затем в стоке рек и уровнях озер, подвержена циклическим колебаниям: многовековым, вековым и внутривековым. Для озер Северо-Запада СССР при совместном анализе данных по стоку рек и уровню воды удалось выделить несколько внутривековых циклов общей увлажненности продолжительностью 25–27 лет, каждый из которых состоит из маловодной и многоводной фаз. Поскольку эти внутривековые циклы развиваются на спаде сверхвекового цикла, то на Северо-Западе ЕТС заметно направленное снижение стока рек (Шнитников, 1966).

Сравнивая водный баланс оз. Белого за длительный промежуток времени (1881–1963 гг.) с его водным балансом за последний цикл увлажненности (1951–1975 гг.), можно отметить уменьшение приходной части водного баланса озера на слой 240 мм, что составляет 6%. Считая, что выявленная природная особенность – наличие циклов колебания увлажненности – сохранится в будущем, мы вправе ожидать повторения следующего цикла увлажненности, который начался в середине 70-х годов. Максимум многоводной фазы, с которой началось развитие цикла, следует ожидать в конце 80-х годов, затем вплоть до 2000 г., а возможно, и несколько дольше будет развиваться маловодная фаза. Объем водного баланса за предстоящий цикл будет близок к его средней величине за период 1951–1975 гг. или несколько ниже, если ориентироваться на сверхвековую тенденцию, установленную А.В. Шнитниковым.

Для прогноза режима озера к 2000 г. следует ориентироваться на среднюю многолетнюю величину приходной части водного баланса за последний цикл увлажненности и на маловодную фазу (табл. 64, 65), развитие которой ожидается в конце столетия. В настоящее время условный водообмен озера в многоводную фазу возрастает до 1,4, в маловодную снижается до 0,6. Резкое снижение коэффициента условного водообмена в маловодную фазу

связано не столько с уменьшением стока (он уменьшился на 10–12%), сколько со значительным увеличением объема озера (почти в 2 раза) вследствие произошедшего подъема его уровня на 2 м.

Качество воды

Известно, что рост продуктивности водоемов, испытывающих антропогенное воздействие, происходит главным образом за счет увеличения концентрации биогенных элементов в воде, прежде всего фосфора. Установленная связь между поступлением в озеро общего фосфора, концентрацией его в озерной воде и содержанием хлорофилла „а“ дает основание прогнозировать продуктивность водоема исходя из предполагаемой фосфорной нагрузки на озеро.

Однако в отличие от других больших озер Северо-Запада СССР режим фосфора в оз. Белом определяется в основном не поступлением его с водосбора, а взмучиванием донных осадков. Это существенно затрудняет прогнозирование.

Поступление общего фосфора с водосбора незначительно: фосфорная нагрузка составляет в настоящее время $0,13 \text{ гР/м}^2$ в год. Эта нагрузка отражает только поступление растворимых соединений фосфора. Фосфор же, поступающий со взвесями из русла Волго-Балтийского канала (р. Ковжа), увеличивает нагрузку до $0,20\text{--}0,23 \text{ гР/м}^2$ в год. При нагрузке $0,13 \text{ гР/м}^2$ концентрация общего фосфора в воде озера должна была бы составлять $0,014 \text{ мгР/л}$. Однако, как показали экспериментальные работы на озере, реальная средняя величина в 3 раза выше: около $0,040 \text{ мгР/л}$. После сильных штормов концентрация фосфора возрастает до $0,15\text{--}0,19 \text{ мг/л}$. Преобладающими формами фосфора являются коллоидная и взвешенная. Это фосфор тонких фракций донных отложений, взмучиваемых при сильном ветровом перемешивании, длительно сохраняющийся в толще озерной воды. Взмученный фосфор находится в форме, доступной для водорослей, что подтверждается их быстрым массовым развитием летом и осенью после сильных ветров.

Расчет показал, что развитие хозяйства на водосборе оз. Белого к 2000 г. должно незначительно увеличить поступление фосфора в озеро, фосфорная нагрузка при этом достигнет $0,18 \text{ г Р/м}^2$ в год (табл. 74). Соответствующий этому прирост концентрации общего фосфора в воде озера должен составить $0,004 \text{ мг Р/л}$ в средний по водности год. На фоне современного высокого содержания фосфора и большой изменчивости его концентрации при изменении силы ветра эта прибавка невелика. Можно предположить, что к 2000 г. концентрация общего фосфора в воде озера сохранится на современном уровне с такой же широкой амплитудой изменения этой величины, как и в настоящее время.

Не произойдет существенных изменений и в содержании органического вещества в озере. В прибрежных районах в отличие от центральных значение показателей содержания органического вещества может увеличиваться в 1,5–2 раза. Значительная часть органических

Т а б л и ц а 74

Поступление общих фосфора и азота (т/год) в оз. Белое

Источник поступления	Современное поступление		Поступление к 2000 г.	
	P _{общ}	N _{общ}	P _{общ}	N _{общ}
Население	32.5	85.5	41.1	108.1
Промышленность и стоки с городских территорий	4.4	11.6	6.8	18.0
Сельскохозяйственные территории	4.2	312.6	22.9	856.4
Животноводческие фермы	4.1	359.5	5.4	481.3
Неосвоенные территории	101.6	2032.0	101.6	2032.0
Атмосферные осадки	24.0	600.0	32.0	800.0
В с е г о	170.8	3401.2	209.8	4295.8

веществ представлена взвесями, содержание которых меняется при сильных ветрах. При происходящем взмучивании донных отложений в воду поступает до 1 млн. т взвесей. По-прежнему основная часть органического вещества будет поступать в воду оз. Белого при взмучивании донных отложений.

Биоресурсы

Повышенная динамичность вод оз. Белого обусловила своеобразие его экосистемы. По ряду биологических показателей оно отличается от других мелководных озер Северо-Запада СССР.

Постоянное перемешивание воды по вертикали, хорошая аэрация придонного слоя, интенсивная минерализация органики в грунтах, частое взмучивание илов и переход биогенов в водную толщу обусловили: своеобразие в сезонном ходе развития фитопланктона (вспышки его развития после штормовой погоды, при которой водная толща обогащается биогенными элементами, высвобождающимися из взмученных донных отложений); слабое развитие придонных хидорид, нуждающихся в более высоком содержании органики в грунтах и придонном слое; преобладание в видовом составе зообентоса центральной части озера крупных реофильных олигохет *Isochaetides newaensis*, требовательных к повышенному содержанию кислорода у дна; своеобразное горизонтальное распределение бентических беспозвоночных — максимальное количество (и биомасса) бентоса обитает в центре озера, а не у его берегов.

Чрезмерно сильное воздействие волн на дно по периферии водоема привело к тому, что зарастание озера макрофитами составляет

Т а б л и ц а 75

Характеристика некоторых элементов экосистемы оз. Белого до и после строительства Череповецкого гидроузла

Характеристика	До 1963 г.	В 1975-1977 гг.
Объем, км ³	2.8	5.2
Площадь зеркала, км ²	1160	1284
Глубина средняя, м	2.3	4.1
Крутизна берегового откоса, град.	3	8
Площадь осевшего льда, %	12	3
Амплитуда уровня, м	1.9	1.4
Заливные площади, %	22	7
Внутригодовое распределение стока, %		
I-III	14.6	37.3
VII-VIII	22.8	6.5
Коэффициент внешнего водообмена	1.2	0.9
Тепловой приток, МДж/см ²	121.5	67.0
Тепловой сток, У-Х, МДж/см ²	146.6	62.8
Коэффициент мелководности	1.00	0.75
Средняя высота волн, см	16.0	18.0
Средняя длина волн, м	5.5	6.0
Горизонтальная составляющая орбитальной скорости у дна, см/с	1.3	0.3
Прозрачность, м	0.6	0.8
Содержание песчаной фракции в глинистых илах, %	2.5	5.0
Содержание органического углерода в донных отложениях, %	1.7	2.6
Минерализация воды, мг/л	-	120
Содержание Р _{мин} , мг/л	0.006	0.005
Содержание N _{NO₃} , мг/л	0.007	0.003
Содержание O ₂ , %	92	90
Заращение макрофитами, %	10	1
Биомасса зообентоса, г/м ²	3.8	9.7
Численность бактериопланктона, млн. кл./мл	0.9	1.5
Биомасса фитопланктона, мг/л	3.3	3.8

1%, в то время как в других мелководных озерах Северо-Запада СССР оно равно 40%.

Перифитон также очень обеднен. Его суммарная продукция составляет 10% продукции макрофитов, обычно - 40-50%.

Из-за сильного воздействия волн в прибрежной области зообентос у берегов также развит чрезвычайно слабо.

Таким образом, своеобразие экосистемы оз. Белого по сравнению с другими крупными мелководными водоемами района состоит в том,

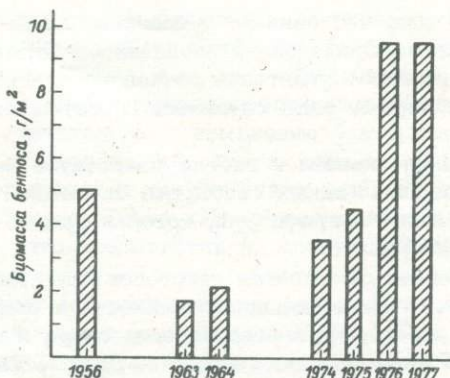


Рис. 15. Биомасса бентоса оз. Белого в разные годы.

что система эта планктотрофная, т.е. основными продуцентами органического вещества в озере являются водоросли планктона. Роль макрофитов и перифитона ничтожна.

Сочетание одних только природных условий, и прежде всего геологических и климатических, привело к формированию достаточно специфических свойств водоема, влияние же антропогенных факторов еще более усложняет характер внутренних взаимосвязей экосистемы оз. Белого.

Антропогенное воздействие на озеро осуществляется уже достаточно длительное время, более 100 лет. Еще в начале XIX столетия оз. Белое было включено в состав Мариинского водного пути, затем вдоль южного берега построили обводный канал, который отчленил часть притоков. В конце XIX в. для поддержания достаточного для судоходства уровня была сооружена Крохинская плотина в истоке р. Шексны, изменившая уровенный режим озера. Однако наиболее существенные изменения в режиме водоема произошли в 1963 г. в связи с реконструкцией Волго-Балтийского водного пути. С вводом Череповецкого гидроузла уровень озера был поднят на 2 м, оно превратилось в водохранилище и стало участком Волго-Балтийского водного пути (табл. 75).

Гидроузел, построенный на Шексне, зарегулировал уровень озера, изменил его внутригодовой ход, уменьшил амплитуду колебаний.

Повышение уровня изменило характер волнения на озере. Увеличились высота и длина волн, но в то же время уменьшилось их воздействие на дно озера вследствие уменьшения коэффициента мелководности (от 1.00 до 0.75). В свою очередь эти преобразования изменили характер седиментации. Уменьшилась степень взмучивания донных отложений, несколько повысилась прозрачность воды.

Уже в первые годы после подъема уровня произошли изменения в экосистеме озера: повысилась численность бактерий, возросла

биомасса фитопланктона, что связано с дополнительным поступлением биогенов с затопленных площадей. В зоопланктоне отмечено увеличение коловраток и некоторое угнетение рачкового планктона. Средняя биомасса бентоса в первые годы снизилась, а затем стала неуклонно расти (рис. 15).

Подъем уровня озера привел к гибели макрофитов на прежних площадях и формированию новых сообществ на затопленных местах. Площадь зарастания макрофитами, которая раньше достигала 10%, снизилась до 1%.

В донных отложениях отмечается некоторое повышение содержания органики. Усилившаяся волновая деятельность и повышение уровня воды привели к переформированию берегов озера и к дополнительному поступлению в него твердых веществ. Донные каменистые гряды, служившие ранее нерестилищами для рыб, оказались погребенными под донными отложениями, что сказалось на запасах рыбы в озере.

Изменение крутизны берегового откоса, а также уменьшение амплитуды колебания уровня привели к резкому (почти в 5 раз) сокращению весенних разливов, что также сказалось на рыбном населении озера — ухудшились условия нагула рыб.

Большое влияние на озеро оказывает все возрастающее судоходство. В результате движения судов возникает сильное взмучивание, в результате чего в судоходной зоне (а она занимает 16% площади озера) значительно снижается прозрачность воды, в 2 раза меньше, чем в других частях озера, численность бактерий и диатомового планктона, в несколько раз меньше биомасса зообентоса. В донных отложениях этой части озера значительно меньше органики по сравнению с другими районами. Все это свидетельствует об ухудшении качества воды в судоходной зоне озера. Однако наибольшее отрицательное воздействие судоходства на этот район озера выразилось в накоплении в воде и донных отложениях растворенных нефтепродуктов.

Еще одним следствием реконструкции озера при включении его в состав Волго-Балтийского водного пути и поднятии уровня явилось образование Ковжинского разлива, особой зоны озера, где происходит интенсивное илонакопление и несколько повышенное зарастание макрофитами. По-видимому, этот разлив играет немаловажную роль в постоянном пополнении озера биогенами. В то же время, несмотря на некоторое увеличение притока биогенов в озеро, содержание в его воде минерального фосфора и нитратного азота в среднем даже понизилось, что свидетельствует об интенсивном потреблении биогенов, о чем говорят и данные И.Л. Пыриной по фотосинтезу, величина которого за последние 15 лет возросла в 15 раз. Эти данные, а также неуклонный рост биомассы зообентоса, по-видимому, можно объяснить ростом антропогенного эвтрофирования водоема. Об антропогенном эвтрофировании озера можно судить по фосфорной нагрузке, которая в настоящее время составляет 0.13 гР/м^2 в год. В будущем, в связи с экономическим развитием района, фосфорная нагрузка может возрасти.

Существенных изменений в биологических показателях озера к 2000 г. не предвидится. Небольшое увеличение поступления фосфора в озеро незначительно изменит уровень развития его первичной продукции.

Сохранение уровня первичной продукции близким к современному не приведет к значительному изменению бактериального населения. Более серьезных последствий следует ожидать от усиления хозяйственной деятельности и прежде всего развития судоходства. В зоне судоходной трассы уже сейчас значительно понижена численность бактерий, что сказывается на следующем пищевом звене — микрозообентосе и т.д.

Считается, что для оптимального развития многих водных растений достаточно содержание фосфора 0,02 мг P/л, в настоящее время содержание его в воде озера составляет 0,04 мг P/л, а после штормов увеличивается до 0,15–0,19 мг P/л. Поскольку и в настоящее время фосфор не является лимитирующим фактором, то можно ожидать, что существенных изменений в видовом составе и численности группировок обрастаний не произойдет. Основными факторами, сдерживающими развитие перифитона в этом озере, являются динамика водных масс и отсутствие субстратов, пригодных для заселения водорослями обрастания. Эти факторы останутся в силе и в будущем, потому что роль перифитона в балансе органического вещества будет по-прежнему незначительной.

Поскольку интенсивность биохимических и микробиологических процессов, а также продуцирование фитопланктона зависят от поступления в озеро биогенов и органического вещества, а последние изменятся мало, нет оснований предполагать увеличения трофического уровня по бентосу.

Рыбное хозяйство

Перспективы дальнейшего развития рыбного хозяйства оз. Белого определяются рядом биотических, абиотических и антропогенных факторов. При сохранении озера к 2000 г. в современном состоянии величина продуцирования ихтиомассы будет в значительной степени определяться уровнем водности, который ожидается в его бассейне. К 2000 г. наиболее вероятно наступление маловодной фазы цикла водности. В связи с этим интенсивность продукционных процессов в озере и величина ихтиомассы не превысят современного уровня. В этом случае — при условии оптимального режима рыболовства — изъятие ихтиомассы может составить 13,3 тыс. ц, а промышленный лов целесообразно планировать в объеме 10,2 тыс. ц (3 тыс. ц — улов для рыбаков-любителей).

Однако интересы народного хозяйства требуют значительной интенсификации рыбного промысла. В связи с этим Вологодской лабораторией ГосНИОРХа разработан ряд мероприятий и выдвинут ряд требований к другим водопользователям, реализация которых будет способствовать повышению рыбопродуктивности озера.

Прежде всего должен быть изменен режим работы гидротехнических сооружений с учетом интересов рыбного хозяйства. На озере должны быть исключены резкие колебания уровней в зимний и весенний периоды. В настоящее время озеро срабатывается в зимний период примерно на 80 см от НПУ. Это приводит к оседанию льда на обширных участках мелководий, к промерзанию наиболее продуктивных слоев грунта и к гибели макрофитов и бентофауны во время отрыва льда в половодье. Такое явление наблюдалось весной 1977 г., когда биомасса бентоса на наиболее продуктивном фитомфильном биоценозе озера сократилась по сравнению с 1976 г. с 18 до 6 г/м².

В интересах рыбного хозяйства не следует также допускать роста грузооборота на озере. Уже в настоящее время в районе судовой трассы на площади около 200 км² наблюдается снижение кормовой базы рыб — планктофагов и бентофагов.

Вологодской лабораторией ГосНИОРХа проводятся многолетние комплексные наблюдения за состоянием кормовой базы рыб, за питанием и динамикой численности основных видов ихтиофауны. Результаты этих исследований позволили рассчитать годовое потребление бентоса и зоопланктона, сделать заключение о высокой степени использования кормовой базы ихтиофауной, а также установить достаточно сильные конкурентные взаимоотношения между рядом видов, неравноценных в промысловом отношении. В связи с этим повышение рыбопродуктивности оз. Белого возможно лишь при условии успешной акклиматизации ряда беспозвоночных, таких как *Gammarus lacustris*, *Paramysis kowalewskyi*, *P. ullskyi*. В случае положительного эффекта и увеличения биомассы бентоса на ряде мелководий в среднем на 1 г/м² можно будет получить прирост ихтиомассы, обеспечивающий улов в размере 750 ц.

Из интенсификационных мероприятий Вологодским отделением ГосНИОРХа предложена также обширная программа биологической и технической мелиорации озера. Это позволит улучшить условия естественного воспроизводства и нагула фитомфильных рыб. Уловы леща должны при этом составить 1,5 тыс. ц.

Запасы судака можно восстановить только за счет его искусственного воспроизводства. В связи с этим необходимо строительство нерестово-вырастного хозяйства мощностью 6 млн. сеголетков в год. Это обеспечит промысловый возврат в размере 2,5 тыс. ц.

В целом при реализации всех перечисленных предложений уловы на оз. Белом могут увеличиться до 16,5 тыс. ц, а промышленность может планировать добычу рыбы около 14,5 тыс. ц (2 тыс. ц — для любительского рыболовства).

Как известно, через оз. Белое проходит Волго-Балтийский водный путь. Движение большегрузных судов и объем грузоперевозок постоянно растут. Уже в ближайшие годы предусматривается круглогодичная эксплуатация линии. По данным Управления ВВВП, к 2000 г. интенсивность грузооборота возрастет в 2,4 раза. При этом зона пониженной продуктивности возрастет до 400 км², что составит 35% площади озера. Проведенные расчеты показывают, что

рост судоходства приведет к резкому снижению рыбопродуктивности озера, уловы в нем сократятся до 4,4 тыс. ц.

Рост народного хозяйства в бассейне озера не приведет к значительному росту эвтрофирования и загрязнения водоема компонентами промышленно-бытовых и сельскохозяйственных стоков. Усиление отрицательного влияния этой группы антропогенных факторов на рыбопродуктивность озера к 2000 г. не ожидается.

5.3. Выводы и предложения

1. Существенная особенность оз. Белого — его повышенная динамичность; здесь хорошо развиты течения, волнение, стонно-нагонные колебания уровня, сейши. Термический режим озера полностью определяется ходом температуры воздуха. Вследствие мелководности и почти постоянного перемешивания термическая стратификация как по глубине, так и по акватории наблюдается лишь в кратковременные периоды штилевой погоды.

2. На протяжении последних более чем 100 лет оз. Белое неоднократно подвергалось антропогенному воздействию. Наиболее существенные изменения в озере произошли после 1963 г., когда был построен Череповецкий гидроузел и уровень озера поднялся почти на 2 м.

3. Ощутимые изменения в озере могут произойти под влиянием хозяйственной деятельности. В настоящее время озеро используется как транзитный участок Волго-Балтийского водного пути им. В.И. Ленина, по которому осуществляется судоходство с грузооборотом в 20 млн. т, и как ценный рыбопромысловый водоем, ихтиофауна которого представлена 30 видами рыб с уловом 5 тыс. ц в год. К 2000 г. ожидается значительное развитие судоходства на озере с увеличением грузооборота более чем в 2 раза.

4. Развитие всех этих направлений использования озера одновременно невозможно. Значительное увеличение судоходства на озере резко изменит условия существования ихтиофауны, будет нанесен значительный ущерб рыбному хозяйству озера, и в конечном итоге оно потеряет свое промысловое значение.

5. Чтобы избежать этого, рекомендуется провести ряд мероприятий: а) осуществить реконструкцию Белозерского обводного канала и перенести фарватер Волго-Балтийского водного пути из озера в обводный канал; б) построить нерестово-выростное хозяйство мощностью 6 млн. сеголетков судака; в) разработать методы повышения эффективности лова рыбы, относящейся к группе мелкого частика; г) в широких масштабах провести работы по технической и биологической мелиорации Белого озера для улучшения условий естественного воспроизводства и нагула филогенных видов; д) создать очистные сооружения на животноводческих фермах промышленного типа с биологической очисткой вод; е) прекратить молевой сплав леса по рекам, впадающим в озеро; ж) не допускать попадания в воду озера растворенных нефтепродуктов, количество которых

в настоящее время растет в связи с интенсификацией судостроения.

7. Для сохранения природных ресурсов оз. Белого, так же как и других озер, необходима реализация широкого комплекса мероприятий, утвержденных постановлениями партии и правительства по охране природы.

Л и т е р а т у р а

- А л е к с а н д р о в а Д.Н. Численность и биомасса бактериопланктона. - В кн.: Антропогенное влияние на крупные озера Северо-Запада СССР. Ч. II. Гидробиология и донные отложения оз. Белого. Л., 1981, с. 5-14.
- А л ф е р о в с к а я М.М., И в а н о в Ю.М. Гидрохимический режим и химический состав грунтов оз. Белого (по материалам 1973-1974 гг.). - Изв. ГосНИОРХ, 1977, т. 116, с. 116-128.
- А н т р о п о г е н н о е влияние на крупные озера Северо-Запада. Ч. 1. Гидрология и гидрохимия оз. Белого. Л., 1980. 250 с.; Ч. 2. Гидробиология и донные отложения оз. Белого. Л., 1981. 256 с.
- Б о г о с л о в с к и й Б.Б. Классификация водных объектов по водообмену и водным массам. - Вестн. БГУ. Сер. 2, 1971, № 3, с. 75-78.
- Б о р и с о в А.А. О климатообразующих факторах природы Вологодской области. - Вестн. ЛГУ, 1958, № 18, с. 115-124.
- В а с и л ь е в П.А. Рыболовство на оз. Белом. - В кн.: Рыболовство на Белом и Кубенском озерах, Вологда, 1955, с. 54-111.
- Д е г т я р е н к о М.Д. Материалы по гидрохимии Белого озера. - Тр. Ин-та биол. водохр. АН СССР. Л., 1959, вып. 2 (5), с. 197-204.
- К р а ш е н и н н и к о в а С.А., Н о в о ж и л о в а М.И. Микробиологические исследования оз. Белого Вологодской области. - Микробиология, 1959, т. 28, с. 80-84.
- К у р д и н В.П. Грунты Белого озера. - Тр. Ин-та биол. водохр. АН СССР. Л., 1960, вып. 3 (6), с. 301-306.
- К у ч и н И.В. Рыболовство на Белом озере, Чарондском и других озерах Белозерского и Кирилловского уездов Новгородской области. - Вестн. рыбопром., 1902, № 6, с. 325-373; № 7, с. с. 385-456; № 8, с. 461-513.
- М а р г о л и н а Г.Л. Микробиологическая характеристика Череповецкого водохранилища в первый год его заполнения. - Микробиология, 1965, т. 34, вып. 4, с. 720-726.
- М о р д у х а й - Б о л т о в с к о й Ф.Д., М и т р о п о л ь с к и й Б.Н. Бентос Белого озера. - Тр. Ин-та биол. водохр. АН СССР. Л., 1959, вып. 2 (5), с. 85-102.
- М о с е в и ч Н.А. Белое озеро. - В кн.: Рыболовство на Белом и Кубенском озерах, Вологда, 1955, с. 6-20.

- Н и к и ф о р о в а Е.П., Р о м а н е н к о В.И. Численность сапрофитных бактерий в воде Рыбинского и Шекснинского водохранилищ при посевах на питательной среде различного состава. - Биол. внутр. вод. Информ. бюл., 1972, № 15, с. 5-9.
- Н и к о л а е в И.И. О некоторых типах экосистем по их трофической структуре. - Водные ресурсы, 1977, № 3, с. 84-85.
- П а х т у с о в а Н.А. Геологическое строение. - В кн.: Гидрогеология СССР. Т. 14. Архангельская и Вологодская области. М., 1969, с. 37-60.
- С а в и н о в Ю.А. Геоморфологические районы западной части Вологодской области. - Уч. зап. ЛГУ, № 298. Сер. геогр., 1961, вып. 15, с. 107-123.
- С т а л ь м а к о в а Г.А. Бентос оз. Белого Вологодской области (по наблюдениям 1973-1974 гг.). - Изв. ГосНИОРХ, 1977, т. 116, с. 128-138.
- Т ю р и н П.В. „Нормальные“ кривые переживания и темп естественной смертности рыб как теоретическая основа регулирования рыболовства. - Изв. ГосНИОРХ, 1972, т. 71, с. 71-128.
- Ш н и т н и к о в А.В. Внутривековая изменчивость общей увлажненности бассейна Ладожского озера. - В кн.: Гидрологический режим и водный баланс Ладожского озера. Л., 1966, с. 5-57.

6.1. Современное состояние озера

Физико-географические условия и морфометрия

Озеро Чаны – самый крупный естественный водоем Западно-Сибирской низменности – расположено в центральной части Барабинской степи ($54^{\circ}30' - 55^{\circ}09'$ с.ш., $76^{\circ}48' - 78^{\circ}12'$ в.д., рис. 16), в пределах Новосибирской области РСФСР.

Новейшая история осадконакопления и формирования рельефа Барабинской низменности, района впадины оз. Чаны, связана с геологическими процессами периода последней, сартанской, ледниковой стадии Западной Сибири и голоцена. Чанская депрессия сложена рыхлыми континентальными верхнетретичными отложениями, представленными глинами и песками, четвертичными осадками – глинами, суглинками, песками – и современными болотными отложениями. Новейшие прибрежные озерные отложения поднимаются над современным берегом озера на 2,5–3 м. Они представлены разнородными песками с прослоями илистых песков и суглинков, обогащенных растительными остатками, а также остатками пресноводных моллюсков, свидетельствующих о низкой степени минерализации воды и непостоянстве уровня озера. Прослеживаются две разновозрастные толщи озерных отложений, связанные с двумя этапами в режиме оз. Чаны. Наиболее высокой и длительной была древняя озерная трансгрессия, когда уровень озера находился на отметке 110 м Б.С. В суббореальный период (5–3 тыс. лет тому назад) было суше и теплее, а уровень озера – ниже современного. Время последней трансгрессии оз. Чаны относится к субатлантическому периоду голоцена (2,5 тыс. лет тому назад). Особенно высокие уровни по историческим указаниям были характерны для последнего тысячелетия, и в частности для XVII в., когда все котловины оказались занятыми озерами.

Барабинская степь, включающая и впадину оз. Чаны, – очень плоская, слабо приподнятая над уровнем моря аллювиальная равнина в центральных и восточных районах с отметками 105–120 м Б.С. и до 100 м Б.С. и меньше в западной части. Густота расчленения рельефа в районе оз. Чаны составляет 0–0,1 км/км² при глубине расчленения 0–5 м и уклонах поверхности, не превышающих 30'.

Для территории Чанской котловины характерен параллельно-грядовый гривный рельеф. Верхний покров лёссов и лёссовидных отложений сформировался в максимум позднеюрмской ледниковой стадии под влиянием эоловых и других субэриальных процессов в условиях глубокого иссушения климата (20–14 тыс. лет тому назад;

Пульсирующее оз. Чаны, 1982, гл. 1). На грядах за позднеледниковые и голоцен эоловый нанос составил 1–2 м. Все острова оз. Чаны, а их около 70, являются гривами. Для чанского типа гривного рельефа характерны высокие (6–8 м), широкие (0,5–1,5 км) и длинные гряды (1–7 км), вытянутые с северо-востока на юго-запад, чередующиеся с межгриwnыми понижениями шириной 0,5–1 км. Грунтовые воды на гривах залегают на глубинах 8–12 м, а в межгриwnых понижениях – на 0,5–3 м.

В течение года над Барабинской низменностью господствуют умеренно континентальные воздушные массы. Для континентального климата района оз. Чаны характерна малая продолжительность безморозного периода (105–120 дней), большие суточные и годовые амплитуды температуры воздуха (38°), недостаточное и неравномерное увлажнение, малоснежная, суровая и солнечная зима (ноябрь–март), поздние весенние и ранние осенние заморозки, жаркое и короткое лето.

Приток суммарной радиации за год – 3771–4190 МДж/м² с минимумом в ноябре–феврале (62,8–167,6 МДж/м²) и максимумом в июне–июле (628,5–670,4 МДж/м²). Годовой радиационный баланс составляет 1466 МДж/м² с максимумом в мае–июне.

В январе температура воздуха в среднем –19,7° (минимум –47÷–53°), в июле 18,3° (максимум 40,6°). Средняя годовая температура воздуха отрицательная, а на берегу оз. Чаны около 0°. Средняя годовая абсолютная влажность достигает 6–7 мб, относительная – 76%. Общая облачность в среднем за год – 6 баллов. Весна короткая, сухая и ветреная. Со второй половины июля–начала августа начинается понижение температуры воздуха. В конце августа уже наступает осень. Возможны ранние морозы. Зимой преобладают юго-западные ветры, а летом – еще и северные (4–5 м/с). Годовое количество осадков составляет 390–370 мм, а над экваторией озера – 350 мм. С апреля по октябрь выпадает 75% осадков, осадки преимущественно ливневого характера (зимой – 10%, весной – 20%, летом – 40% и осенью – 30%). Испаряемость по территории колеблется от 370 до 430 мм. Промерзание почвы начинается с октября и к апрелю достигает максимума, что оказывает решающее влияние на формирование весеннего стока, происходящего в конце апреля–начале мая.

Число дней со снежным покровом колеблется от 150 до 160. Снежный покров скапливается в низинах, колках, на озерах, заросших тростником. Наибольшие запасы воды в снегу достигают 100–130 мм.

Причанская депрессия находится в лесостепной и степной зонах Западной Сибири, в подзоне выщелоченных черноземов, которые к югу сменяются обыкновенными либо солонцеватыми, а затем и южными черноземами. Общий уклон территории – с северо-востока на юго-запад. Для геологически молодой Причанской депрессии характерно соответствие типов растительности и почв ранним стадиям развития (Базилевич, Курачев, 1974). Почвенный покров формируется под влиянием колебаний увлажненности, что вызывает неустойчи-

Т а б л и ц а 76

Средние запасы воднорастворимых солей в почвах (кг/м²) и площади незасоленных и засоленных почв (%) оз. Чаны (по Н.В. Мирошниченко; Пульсирующее оз. Чаны, 1982)

Часть бассейна	Площади почв при отметке 107.0 м Б.С.					Запасы солей в слое 0-20 см
	незасоленные почвы		засоленные почвы			
	всего	чернозем	всего	солонцы	прочие	
Северная, северо-восточная	55.3	24.7	44.7	40.3	4.4	1.65
Восточная, юго-восточная	14.8	14.8	85.2	18.4	66.8	2.78
Западная, юго-западная, северо-западная	11.2	11.2	88.8	21.7	67.1	4.22

вость и динамичность его водно-солевого режима. Для района характерны процессы соленакопления в условиях слабой дренированности и близкого залегания почвенно-грунтовых вод, что приводит к обогащению почв легкорастворимыми солями (табл. 76). С северо-востока на юго-запад происходит смена биогеохимических ландшафтов. В этом направлении уменьшается в них роль гидрокарбонатного и карбонатного ионов и растет роль иона хлора. Возраст почв здесь обусловлен положением в рельефе. Зональные почвы - черноземы - приурочены к вершинам грив и их склонам и являются наиболее старыми, занимают они 10-25% исследуемой территории. Наиболее распространены гидроморфные и полугидроморфные разновидности почв, связанные с минерализованной верховодкой. Скорости почвообразовательных процессов велики, эволюция почвенного покрова сопровождается утратой признаков гидроморфизма и переходом почв из болотного ряда в лугово-болотный-луговой-лугово-степной и степной. Барабинская низменность относится к провинции содового типа соленакопления, обуславливающего распространение здесь почв солонцового ряда.

По побережью оз. Чаны под зарослями тростника формируются торфяно-болотные почвы различной степени засоленности в комплексе с солонцами и солончаками.

Растительность, как и почвенный покров, отличается пестротой, сложностью, многообразием типов и сообществ. Наиболее распространена интразональная растительность. Зональные типы растительности - луговые степи (солонцово-солончаковые луга) - играют подчинен-

ную роль. Во влажные годы преобладают лугово-болотные растения, появляются ценные сенокосные угодья. В сухие годы распространение получают галофитное разнотравье и солянки.

В прошлом леса здесь занимали около 20% площади грив. Сейчас они в основном сведены и сохранились лишь в межгривных понижениях (береза бородавчатая низкорослая, искривленная).

Озеро Чаны имеет сложную конфигурацию (рис. 16). Оно состоит из двух частей — Больших Чанов (Чиняихинский, Тагадо-Казанцевский, Ярковский и Юдинский плёсы) и оз. Яркуль, соединенного с Большими Чанами двумя каналами, и оз. Малые Чаны, связанного протокой Кожурла (7 км) с Чиняихинским плёсом. Все плёсы в настоящее время, кроме Юдинского, находятся в тесной связи друг с другом. Озеро Чаны имеет большое количество островов, полуостровов, а также заливов — „отног“. Коэффициент изрезанности озера — 4,2. Системе оз. Чаны принадлежит ряд плоских депрессий, часть из них заполнена высохшими котловинами, распахиваемыми в настоящее время и ставшими лугами, а частью — солончаками.

В многоводные фазы общей увлажненности, когда обводняются многие малые озера Барабинской степи, оз. Чаны, ныне бессточное, переполняется, и избыток воды стекает в западном направлении, в р. Иртыш. Площадь озера колеблется в больших пределах (Шнитников, 1976; Пульсирующее озеро Чаны, 1982). В начале XIX в., когда в него впадали реки Карасук, Баган, Чулым, Каргат и оно двумя протоками соединялось с оз. Сартлан, площадь водного зеркала достигала 10–12 тыс. км². В наиболее многоводные годы сток из оз. Чаны в р. Иртыш происходил по древнему руслу, р. Карасук, а оз. Тандово соединялось с оз. Чаны. В XVIII в. сток р. Карасук в оз. Чаны прекратился, а на западе от него отделилась группа озер. В 30-е годы XIX в. прекратился сток из р. Баган, а озера Абышкан и Молоки стали высыхать (Шнитников, 1953, 1957, 1969, 1976).

Озеро Чаны в зависимости от характера колебаний уровня располагается в пределах высот 105–109 м Б.С. (в современных условиях — 104–106 м Б.С.). Площадь его бассейна составляет 29 935 км², удельный водосбор — 13,4. На глубины до 1 м приходится 30% площади озера, а до 3 м — 80%. Основные морфометрические характеристики оз. Чаны, полученные по карте 1961 г. и аэрофотосъемке 1977 г., представлены в табл. 77. Все измерения и вычисления выполнены на кафедре картографии Ленинградского государственного университета. Промеры были сделаны в 1966 г. Е.И. Коноплевым (1966). При получении площадей и объемов проведения границ водной поверхности в зарослях тростников, особенно в Чиняихинском плёсе и оз. М. Чаны, весьма условно.

Длина оз. Чаны — 82 км, ширина — 36 км, большая ось — 47 км. Длина береговой линии 28 самых крупных островов составляет 490 км. Глубина озера меняется в зависимости от водности. В настоящее время она не превышает 5,5 м (Ярковский плёс), и только в оз. Яркуль глубина 8,5 м. Средняя глубина всего озера — 2,1 м, а в середине прошлого столетия она достигала 6,5 м. При внутри-вековых природных подъемах уровня оз. Чаны до отметок 106,5 и

Т а б л и ц а 77

Основные морфометрические характеристики оз. Чаны

Плѣс	Прозрач- ность воды, м	Данные по карте 1961 г. при отметке уровня 106.1 м								Площадь вод- ной поверх- ности (без островов) по данным аэро- съемки 1977 г.		Длина берего- вой линии при отметке уровня 105.9 м, км	
		площадь водной поверх- ности (без островов), км ²				объем, км ³	сред- няя глу- бина, м	длина бере- говой линии, км		км ²	%	по бе- регу озера	по дам- бам
		от 0 до 2 м	глуб- же 2 м	общая пло- щадь	%			по бе- регу	по дам- бам				
Юдинский	-	265.9	433.4	699.3	30.8	1.818	2.6	177.5	45.5	413.5	24.2	120	30
Тагано- Казанцев- ский	0.3(0.6-0.2)	488.2	211.6	699.8	30.8	1.165	1.7	282.0	67.0	578.0	33.8	255	122
Ярковский	0.8(2.1-0.3)	105.2	132.8	238.0	10.5	0.744	3.1	54.0	35.5	210.6	12.3	52	38
Чиняихин- ский	0.8(1.1-0.3)	231.9	138.1	370.0	16.3	0.603	1.6	212.5	26.5	284.3	16.6	189	9
М. Чаны	0.2(0.2-0.1)	194.5	27.2	221.7	9.8	0.298	1.3	118.0	-	186.2	10.9	91	-
Яркуль	1.2(2.5-0.5)	7.2	32.8	40.0	1.8	0.206	5.1	27.8	-	35.3	2.1	22	-
В с е о з е р о	-	1292.9	975.9	2268.8	100	4.834	2.1	871.8	174.5	1707.9	100	729	199

П р и м е ч а н и е. В графе „Прозрачность воды“ в скобках приведены пределы колебаний этой характе-
ристики.

107,0 м Б.С. его площадь возрастает соответственно до 2744 и 3245 км², увеличиваясь по сравнению с площадью озера при отметке уровня 105,9 м Б.С. (август 1978 г.) соответственно на 608 и 1108 км². Объемы водной массы в оз. Чаны возрастают до 5,5 км³ (106,5 м Б.С.) и 7,1 км³ (107,0 м Б.С.). В 1971 г., при отчленении Юдинского плёса земляной плотиной, уровень в нем стал катастрофически падать. В июле 1977 г. отметка уровня достигла 104,2 м Б.С., что привело к сокращению площади на 40%.

Гидрологический режим

Для юга Западной Сибири характерны циклические колебания увлажненности (Шнитников, 1953, 1957, 1976). Существует цикличность лет маловодных и многоводных, но на фоне общего сверхвекового понижения водности территории. Циклы по максимумам или по минимумам водности во времени разделены 30-40 годами, т.е. проявляется брикнеровский цикл. В повторяемости засушливых лет наблюдается 11-летняя ритмичность (Сляднев, 1970). Каждый многоводный период по своему уровню ниже предыдущего, с меньшим объемом воды. Последняя многоводная фаза отмечена в конце 40-х годов текущего столетия. Повышение увлажненности привело к возрождению системы озер к западу от оз. Чаны, которые в настоящее время обмелели.

С конца XIX столетия проявляется влияние антропогенного фактора на развитие природных процессов: производится вырубка лесов и распашка лесостепных территорий в бассейне, а также специальные мероприятия по осушению.

С конца прошлого столетия (25 августа 1898 г.) на оз. Чаны ведутся наблюдения над уровнем. Эти наблюдения и позволили выявить в гидрологическом режиме озера внутривековую изменчивость. Общая увлажненность бассейна и гидрологический режим оз. Чаны в настоящее время находятся в фазе малой увлажненности (рис. 17), в состоянии, близком к переломному, т.е. к повышению увлажненности. Гидрологический режим оз. Чаны отражает и направленное изменение увлажненности векового или сверхвекового характера. Устойчивое понижение уровня озера весьма существенно для мелководного водоема и неблагоприятно отражается на его народнохозяйственном значении.

Основным фактором усыхания бассейна оз. Чаны является климатическое снижение общей увлажненности, что привело к резкому ухудшению состояния оз. Чаны.

Особенности гидрографии Чанской депрессии обусловлены равнинностью рельефа и климатическими особенностями. В оз. Чаны впадают реки Чулым (п. Ярки, площадь водосбора 8850 км²) и Каргат (п. Здвинск, площадь водосбора 6440 км²); воды последней по каналу направлены в р. Чулымленок и р. Чулым. Водоразделы здесь выражены слабо, а эрозионный врез мал. Общая площадь водосбора двух рек 17 900 км². Сток притоков оз. Чаны незначителен и под-

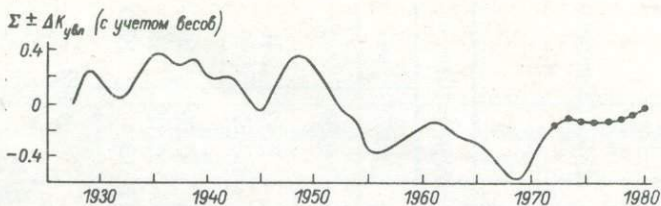


Рис. 17. Колебания общей увлажненности бассейна оз. Чаны в текущем столетии (показатели увлажненности приведены в отклонениях от средней за 1927–1972 гг.; Шнитников, 1976).

вержен резким колебаниям. Модуль годового стока в многоводные годы более $4 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$, а в маловодные – менее $0,2 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$; средний многолетний модуль стока – $0,75 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$, в южной части бассейна – $0,25 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$. В многоводные годы расход воды в реках выше среднего многолетнего в 4–6 раз, а в маловодные – в 10 раз меньше. Для рек, впадающих в оз. Чаны, характерно высокое весеннее половодье и продолжительная летне–осенняя и зимняя межень. В питании рек участвуют осадки, выпавшие в холодный период года, ливневые осадки теплого сезона не дают существенных паводков из–за малых уклонов местности ($0,09\text{--}0,04\%$) и, не успев стечь, испаряются. Коэффициент изменчивости годового стока в районе оз. Чаны составляет 1,00. Густота речной сети здесь $0,10 \text{ км/км}^2$, озерность водосбора – 0–2%, лесистость – 10–20%, заболоченность – 20–25%. В годовом стоке 91% составляет снеговое питание, 4% – дождевое и 5% – подземное. Коэффициент естественной зарегулированности стока 0,2–0,3. По сезонам сток распределяется следующим образом (%): апрель–май – 88–96, июнь–ноябрь – 5–11 и декабрь–март – 0,5 (Новосибирская область..., 1978). К концу зимы в 87% случаев реки промерзают, а в 18% летом наблюдается их пересыхание. Для составления водного баланса приток в озеро рассчитывался по расходам рек Чулым и Каргат. Средний многолетний модуль стока р. Каргат (п. Здвинск) за полный цикл изменения водности (1940–1968 гг.) принят за норму годового стока – $1,2 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$, или $7,73 \text{ м}^3/\text{с}$, а для р. Чулым (п. Ярки) соответственно – $0,72 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$, или $6,37 \text{ м}^3/\text{с}$ (Тархов, Тошакова, 1980). Площадь водосбора, не имеющего постоянного поверхностного стока, который формирует боковой приток в оз. Чаны, по данным 1977 г. составляет 4510 км^2 . Сток с этой площади и с площадей водосборов ниже водомерных постов достигает 7%. Величина среднего многолетнего бокового притока оценивается в 10 (Баева, Бережных, 1976)–16 мм (Тархов, Тошакова, 1980). В период маловодных фаз колебаний общей увлажненности небольшие речки и ручьи перестают функционировать. Сток в весенний период происходит с узкой прибрежной полосы – 500–1500 м. Величина бокового притока с этой полосы лежит в пределах ошибок измерения элементов водного баланса. На боковую приточность ока-

Т а б л и ц а 78

Водный баланс оз. Чаны

Элементы баланса	А.В. Шнитников (1976)		С.Ю. Белин- ков (1953)		З.А. Вику- лина (1973)		А.А. Баева, Т.В. Береж- ных (1976)		Е.В. Тархов, И.Н. Тоша- кова (1980)		А.А. Баева, М.Я. Куняв- ский и др. (Новосибир- ское водо- хранилище..., 1979)		Н.П. Смирнова	
	XVIII в.		1930-1945 гг.		1934-1945 гг.		1940-1970 гг.		1940-1968 гг.		1940-1968 гг.		1972-1978 гг.	
	км ³	мм	км ³	мм	км ³	мм	км ³	мм	км ³	мм	км ³	мм	км ³	мм
Осадки, x	4.80	849	1.02	350	0.94	373	0.99	360	0.85	382	0.82	370	0.54	373
Поверхностный приток, y	3.60	637	1.07	370	0.70	280	0.47	172	0.53	236	0.42	192	0.42	291
Испарение, z	6.00	1062	2.09	720	1.66	663	1.33	483	1.41	631	1.14	516	0.82	559
Изменение уровня, Δh	2.40	424	0	0	-0.02	-10	0.14	49	-0.03	-13	-0.01	-6	0.06	39
Невязка, η	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.11	52	0.10	66
% от Σ_+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.9	9.2	10.4	10.0
Площадь зер- кала, км ²	5650		2900		2500		2750		2240		2211		1462	

Водный баланс оз. Чаны за 1971/72-1977/78 гг.

Элементы баланса	Осадки по прибрежным станциям				Осадки на поверхность озера			
	без учета транспирации		с учетом транспирации		без учета транспирации		с учетом транспирации	
	км ³	мм	км ³	мм	км ³	мм	км ³	мм
Осадки, X	0,54	373	0,54	373	0,48	328	0,48	328
Поверхностный сток, y	0,42	291	0,42	291	0,42	291	0,42	291
Испарения, z	0,82	559	0,90	614	0,82	559	0,90	614
Изменение уровня, Δh	+0,06	+39	+0,06	+39	+0,06	+39	+0,06	+39
Невязка, η	+0,10	+66	+0,02	+11	+0,04	+21	-0,05	-34
% от Σ_+	10,4	10,5	2,1	1,8	4,4	3,4	-5,6	-5,4

зывают влияние дамбы и насыпи автодорог, построенные вдоль берега оз. Чаны и на его водосборе. Они преграждают сток поверхностных вод в озеро.

Водный баланс озера был исследован и рассчитан С.Ю. Белинковым (1953), З.А. Викулиной (1973), А.А. Баевой и Т.В. Бережных (1976), А.В. Шнитниковым (1976), А.А. Баевой, М.Я. Куньяским и др. (Новосибирское водохранилище..., 1979), Е.В. Тарховым и И.Н. Тошачковой (1980; табл. 78). Но все эти балансы относились к оз. Чаны до отчленения Юдинского плёса, а поскольку возник новый водоем, то и водный баланс его рассчитан впервые в 1972-1978 гг. Водные балансы составлены с учетом изменения площади и объема озера. Осадки, поверхностный приток и изменение уровня взяты по наблюдаемым данным, а испарение рассчитано по эмпирическим формулам (Указания для расчета..., 1969). Методика расчета водного баланса современного озера изложена в гл. 3 монографии „Пульсирующее озеро Чаны” (1982). При современном состоянии знаний приток грунтовых вод оценивается как остаточный член водного баланса.

В изменении уровня оз. Чаны в отклонениях от среднего за 1899-1962 гг. можно выделить подъем уровня до 1914 г. на 1,58 м; спад его с 1915 по 1937 г. на 2,80 м; подъем уровня на 1,98 м с 1937 по 1950 г.; его спад до 1971 г. - до ввода в действие плотины - на 1,80 м. После отделения Юдинского плёса уровень в восточной части оз. Чаны несколько стабилизировался. Наиболее высокие уровни за последние 40 лет наблюдались в 1948-1950 гг. Среднегодовая амплитуда колебания уровня озера составляет 0,8 м. За счет ветрового режима - стоны-нагоны - разница в отметках уровня на противоположных берегах достигает 0,7-0,8 м. Средние за год уровни в характерные годы составляют: средний многолетний - 106,16 м Б.С., средний по водности - 106,36 м Б.С. (1963 г.), маловодный - 105,50 м Б.С.

Т а б л и ц а 80

Водный баланс оз. Чаны в годы различной водности

Элементы баланса	А.В. Шнитников (1976)				А.А. Баева, М.Я. Кунявский и др. (Новосибирское водохранилище..., 1979)		Е.В. Тархов, И.Н. Тошкова (1980)		Н.П. Смирнова			
	маловодный 1934-1935 г.		многоводный 1947-1948 г.		мало- водный 1968 г.	много- водный 1948 г.	маловодный 1976-1977 г.		маловодный 1975-1976 г.		многоводный 1976-1977 г.	
	км ³	мм	км ³	мм	мм	мм	км ³	мм	км ³	мм	км ³	мм
Осадки, x	0,68	272	1,22	381	306	412	0,56	366	0,54	365	0,50	341
Поверхностный сток, y	0,70	280	2,51	784	8	709	0,53	348	0,10	65	0,50	345
Испарение, z	1,40	560	1,73	541	515	408	0,86	567	0,88	597	0,84	580
Сток из озера, y_0	0	0	0,24	75	0	0	0	0	0	0	0	0
Изменение уровня, Δh	-0,025	-8	1,76	550	-270	550	0,11	70	-0,19	-128	0,10	72
Невязка, η	0	0	0	0	69	163	0,12	77	-0,06	-39	0,05	34
% от Σ_+	0	0	0	0	21,0	14,5	11,0	10,8	-9,4	-9,1	5,0	5,0
Площадь озера, км ²	2500		3200		-	-	1520		1472		1456	

(1937 г.), многоводный - 106,97 (1948 г.)-107,48 м Б. С. (1950 г.).

В современном водном балансе оз. Чаны нами учтены эффект выпадения осадков на водную поверхность озера и влияние транспирации высшей водной растительности на величину суммарного испарения (табл. 79).

Атмосферные осадки в водном балансе составляют 53-56%, поверхностный приток - 44-47%, испарение - 84-92%, а с учетом транспирации - 90-99%. Такая же структура водного баланса получена А.В. Шнитниковым для многоводной фазы XVIII в. и З.А. Видулиной за период 1934-1945 гг. (табл. 80). В многоводные годы возрастает роль поверхностного притока (до 67%) и меньшую роль в водном балансе начинают играть атмосферные осадки (33%). В маловодные годы их соотношения следующие: поверхностный приток - 15%, атмосферные осадки - 85%.

В многоводную фазу увлажненности (XVIII в.) поступавшие в оз. Чаны воды превышали приход воды в маловодную фазу (1934-1945 гг.) в 5 раз, что свидетельствует о значительном усыхании района. Даже в самый многоводный 1947-1948 г. приход воды в оз. Чаны был в 2,2 раза меньше, чем в XVIII в. Период 1940-1968 гг. был значительно суше (см. табл. 78).

С отделением Юдинского плёса значительно улучшился водообмен озера. Если ранее отношение среднего объема притока к объему озера составляло 0,11, то в современных условиях этот коэффициент возрос до 0,17.

На оз. Чаны доминирует ветровая циркуляция. Течения в основном определяются влекущим действием ветра и морфометрическими особенностями водоема, приводящими к большим потерям энергии на трение у дна, берегов и островов. Ветровые течения в открытых частях мелководных плёсов (Тагано-Казанцевский, Чиняихинский, М. Чаны) малы (20-36 см/с июнь-август 1977-1978 г.). Они быстро развиваются, следуя в направлении ветра, и так же быстро затухают.

Кроме ветровых на акватории озера развиваются градиентные течения или смешанные - градиентно-ветровые. В юго-восточной части Чиняихинского плёса прослеживаются стоковые течения, идущие из оз. М. Чаны через протоку Кожурла, которые способствуют подтоку распределенных вод и их перемешиванию с более минерализованными. Наибольшие скорости течений приурочены к протокам и к сужениям между островами. В открытых частях плёсов из-за больших потерь энергии движущейся воды на трение скорости течений малы. Период установления ветровых течений в оз. Чаны составляет приблизительно 2-3 ч. Градиентные течения возникают после действия продолжительных и устойчивых по направлению ветров, создающих заметные перепады уровня воды у противоположных берегов озера. После прекращения действия устойчивого ветра образовавшийся градиент давления определяет градиентные течения, идущие против ветра, или после воздействия ветра нового направления - градиентно-ветровые, которые способствуют перекачке воды из

Средняя месячная температура воды (°С)
на водомерных постах оз. Чаны в 1976–1978 гг.

Пост	V	VI	VII	VIII	IX	X
Старо-Ярково	10.8	19.9	21.0	17.3	11.8	2.3
Квашнино	10.7	20.7	21.4	16.8	11.6	2.2
Таган	10.4	19.8	20.8	16.2	11.1	2.1
Сибиряк	9.9	20.3	20.9	16.9	11.5	2.5
Тюменка ¹	(12.0)	(20.5)	(20.2)	(16.2)	(9.1)	(1.2)
Яркуль	8.7	19.1	21.0	(18.6) ²	(12.6) ²	(3.1) ²
М. Чаны	12.1	20.9	21.9	17.3	11.8	2.3

¹ Наблюдения 1976 и 1977 гг.

² Отсутствует 1977 г.

одного плёса в другой, усиливая водообмен. При ветре умеренной силы в Ярковском и в Чиняихинском плёсах и в протоке Кожурла скорость течений колеблется в пределах 3–13 см/с, а при сильных ветрах достигает 30 см/с, снижаясь в придонном слое в 1.5–2 раза, течения же отклоняются как вправо, так и влево от вектора течения в верхнем слое, что является следствием взаимодействия набегающих потоков, обусловленных ветрами различных румбов, с морфологическими особенностями бассейна. Вокруг островов возникают круговые циркуляции.

Течения в протоках, соединяющих полуизолированные плёсы озера, достигают 50 см/с (о-ва Шульдиков, Лежан, Амелькина Грива).

Водообмен между плёсами незначителен. Максимальный коэффициент условного водообмена не превышает 0.1, что свидетельствует об обособленности плёсов, за исключением Тагано-Казанцевского и Чиняихинского. Эта особенность отражается на общей минерализации воды в плёсах.

Режимные характеристики волнения на оз. Чаны, полученные расчетом для ветров 50%-ной режимной обеспеченности (5.5 м/с), имеют длину разгона от 3 (оз. Яркуль) до 7.5 км (Ярковский плёс), высоту волны 0.13–0.15 м и длину в 4–4.6 км. При ветре в 14 м/с и 3%-ной режимной обеспеченности высота волны возрастает до 0.3–0.4 м, а длина – до 21 км.

Термический режим оз. Чаны описан рядом исследователей-гидробиологов и ихтиологов, но эти описания неполные и носят прикладной характер. Более полные данные приведены В.П. Власовым в книге «Озера Срединного региона» (1976), а также в монографиях «Новосибирское водохранилище и озера Верхней Оби» (1979) и «Пульсирующее озеро Чаны» (1982).

Температура поверхности воды (°С) оз. Чаны в 1972-1978 гг.

Плёс	$t_{\text{ср}}$	У	У1	УII	УIII	IX	X
Яркуль	5.1	8.6	17.3	20.3	18.0	12.3	4.5
Ярковский	3.1	10.8	18.8	20.2	17.3	11.4	3.7
Тагано-Казанцевский	1.7	10.6	18.7	20.2	17.0	11.2	3.5
Чиняихинский	1.6	10.6	19.2	21.0	17.3	11.0	2.5
М. Чаны	1.3	10.9	19.7	21.6	17.6	10.9	1.5
Средняя взвешенная температура по плёсам	2.0	10.6	18.9	20.6	17.2	11.2	3.0

На оз. Чаны температура в прибрежной зоне измеряется на 7 водомерных постах с 40-60-х годов XX в. С 1966 г. по настоящее время проводятся наблюдения на 5-7 постоянных вертикалях круглогодично, 2-3 раза в месяц. В табл. 81 приводятся средние месячные температуры воды по береговым постам.

После вскрытия озера в прибрежной полосе, да и по всему озеру, происходит быстрый нагрев водных масс (май), в июне-июле - дальнейшее прогревание воды (максимум наблюдается в июле), а в августе, что характерно для районов с континентальным климатом, наступает резкое выхолаживание, которое выравнивает температуру в береговой зоне, только в плёсах с большими глубинами этот процесс замедлен (Яркуль - сентябрь, октябрь).

Температуры, близкие к замерзанию, характерны для конца октября. Даты замерзания, как и вскрытия, зависят от характера синоптических процессов и аккумуляции тепла в летний период. Обычно очищение озера ото льда происходит в последних числах апреля-первых числах мая, а замерзание - в последних числах октября-5-7 ноября, но максимальные отклонения дат вскрытия и замерзания от средних - 25-30 дней. Ледостав длится 69-196 дней.

Из табл. 81 и 82 следует, что расхождения между средней температурой воды плёса и температурой воды у берега, как правило, не превышают 1°. При штиле разница температуры поверхности воды по акватории достигает 3°. Вследствие усиленной ветровой деятельности, мелководности, развивающихся течений и ветрового волнения происходит выравнивание температуры по глубине. Слой температурного скачка лежит на глубинах 4-6 м и прослеживается только в оз. Яркуль. На оз. Чаны происходит почти полное выравнивание температуры по глубине, что подтверждается коэффициентом

$\mu = \frac{t_{\text{ср}}}{t_{\text{пов}}}$, приближающимся к единице в июне, июле, августе, сентябре и октябре, лишь в мае и октябре в плёсах со средней глубиной более 4 м μ менее единицы.

Т а б л и ц а 83

Тепловой баланс оз. Чаны за 1972-1978 гг. (числитель - МДж/м², знаменатель - %)

Месяц	Приход					Расход					Невязка	
	B_K	ΔW	P	$Q_{пр}$	Σ_+	LE	$E_{эф}$	ΔW	P	Σ_-	Δ	% от Σ_+
У	<u>485.4</u> 98.6	-	<u>1.8</u> 0.4	<u>4.9</u> 1.0	<u>492.1</u> 100.0	<u>205.3</u> 47.2	<u>164.6</u> 37.8	<u>65.4</u> 15.0	-	<u>435.3</u> 100.0	+56.6	+11.5
VI	<u>554.3</u> 99.6	-	-	<u>3.2</u> 0.6	<u>557.5</u> 100.0	<u>290.3</u> 57.0	<u>150.8</u> 29.6	<u>66.6</u> 13.1	<u>1.2</u> 0.3	<u>508.9</u> 100.0	+48.6	+8.7
VII	<u>532.1</u> 99.7	-	-	<u>1.5</u> 0.3	<u>533.6</u> 100.0	<u>281.3</u> 61.4	<u>152.0</u> 33.2	<u>13.7</u> 3.0	<u>10.8</u> 2.4	<u>457.8</u> 100.0	+75.8	+14.2
VIII	<u>411.8</u> 94.0	<u>25.5</u> 5.8	-	<u>1.0</u> 0.2	<u>438.3</u> 100.0	<u>225.7</u> 56.8	<u>152.6</u> 38.4	-	<u>19.2</u> 4.3	<u>397.5</u> 100.0	+40.8	+9.3
IX	<u>265.8</u> 84.2	<u>49.6</u> 15.7	-	<u>0.2</u> 0.1	<u>315.6</u> 100.0	<u>154.4</u> 49.4	<u>148.4</u> 47.5	-	<u>9.6</u> 3.1	<u>312.4</u> 100.0	+3.2	+1.0
X	<u>126.9</u> 66.5	<u>63.9</u> 33.5	-	<u>0.0</u> 0.0	<u>190.8</u> 100.0	<u>105.4</u> 39.0	<u>123.3</u> 45.7	-	<u>41.3</u> 15.3	<u>270.0</u> 100.0	-80.8	-42.3
Сумма У-Х	<u>2376.3</u> 94.0	<u>139.0</u> 5.5	<u>1.8</u> 0.1	<u>10.8</u> 0.4	<u>2527.4</u> 100.0	<u>1262.4</u> 53.0	<u>891.7</u> 37.4	<u>145.7</u> 6.1	<u>82.1</u> 3.5	<u>2381.9</u> 100.0	+146.0	+5.8

П р и м е ч а н и е. B_K - поглощенная радиация; ΔW - изменение запасов тепла в водной массе; P и LE - затраты тепла на турбулентный обмен и испарение; $Q_{пр}$ - тепло, внесенное водой притоков; $E_{эф}$ - эффективное излучение.

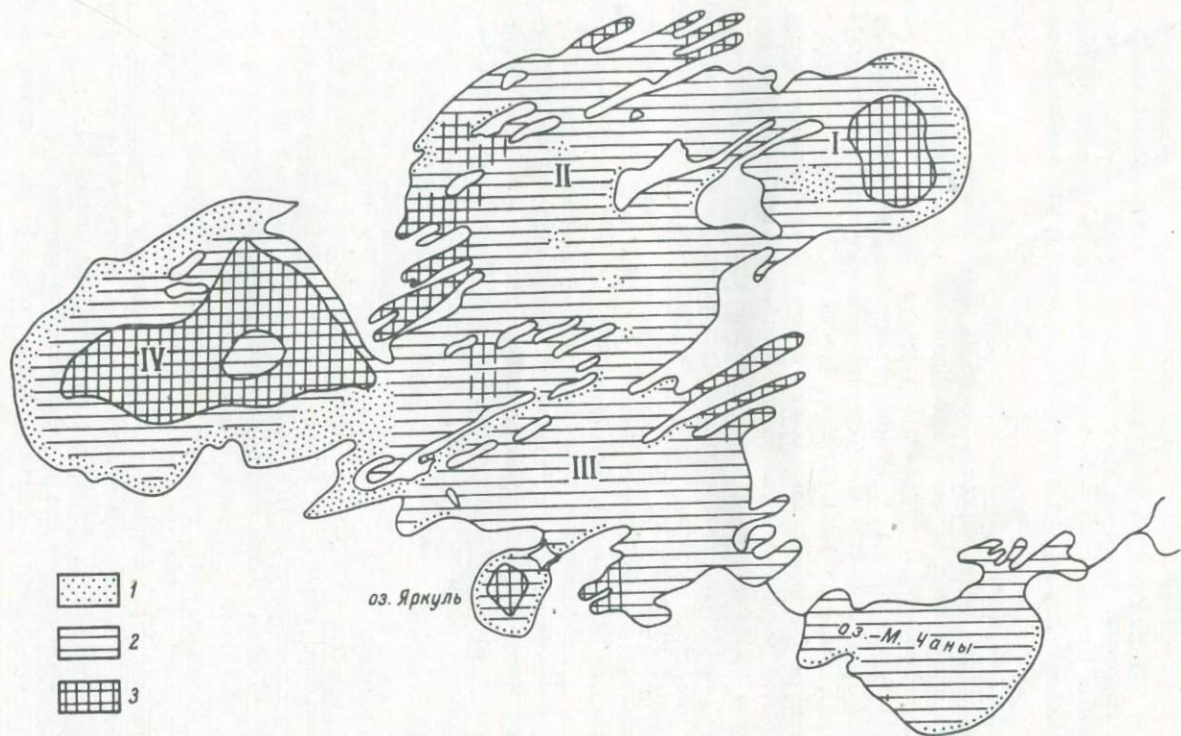


Рис. 18. Схема распределения донных отложений оз. Чаны.

Плёсы: I - Ярко́вский, II - Тага́но-Казанце́вский, III - Чиня́ихинский, IV - Юди́нский. 1 - песок; 2 - алеврито-
вые илы; 3 - пелитовые илы.

Особенности ледотермического режима оз. Чаны в современных условиях сводятся к изменению температуры замерзания в связи с минерализацией от $-0,05^{\circ}$ (оз. М. Чаны, распресненное) до $-0,4^{\circ}\text{C}$. Минерализация на сроках замерзания не сказывается.

По мере нарастания льда минерализация воды подо льдом увеличивается, что приводит к понижению температуры водных масс. Со второй половины зимы на акватории с глубиной 1,5–2 м и плотными донными отложениями устанавливается гомотермия с отрицательной температурой. В глубоководных плёсах у дна температура достигает 1–2 $^{\circ}$.

С отделением Юдинского плёса и возрастанием минерализации воды температура ее понизилась до $-0,8\div -0,9^{\circ}$.

В связи с мелководностью и промерзанием ряда участков в озере возникают заморы. В условиях обмеления более 50% объема водной массы превращается в лед, промерзание до дна охватывает до 40% площади озера. Анализ многолетней изменчивости ледотермического режима озера за 1923–1978 гг. (по В.П. Власову) показал, что существует тенденция замерзания озера в более ранние сроки, а для вскрытия характерны две фазы – более поздние сроки до 60-х годов и более ранние в последние два десятилетия. С 50-х годов зимы потеплели, количество атмосферных осадков несколько возросло, что отразилось на уменьшении ледостава и толщины льда (Пульсирующее озеро Чаны, 1982).

На основании данных по суммарной радиации в г. Омске и г. Новосибирске (Огурцово), расположенных на той же широте, что и оз. Чаны, и наблюдений в летний период на самом озере (1975–1978 гг.), метеорологических элементов на метеостанциях Квашино, Купино, Чистоозерное, Барабинск, Здвинск и данных по температуре воды в озере был рассчитан тепловой баланс оз. Чаны за период открытой воды в 1972–1978 гг. (табл. 83). Методика расчета описана в главе 4 монографии „Пульсирующее озеро Чаны“ (1982).

В условиях оз. Чаны – мелководного водоема, перемешиваемого до дна, с большим количеством взмученных частиц в водной массе – величина альбедо велика. От мая к сентябрю она изменяется в пределах 2% и составляет 16–18%. Минимум наблюдается в июле.

На рис. 18 дана схема распределения донных отложений оз. Чаны по В.Н. Шмелевой (Пульсирующее озеро Чаны, 1982, глава 6), которые представлены: песками (12,4%), алевроитовыми илами (66,6%) и пелитовыми илами (21,0%). Песчаные отложения распространены в прибрежных частях озера и пятнами на мелководьях. Основные компоненты донных отложений – карбонаты, терригенный материал и органическое вещество (табл. 84).

Максимальное количество органического вещества в оз. М. Чаны обусловлено его зарастаемостью (30%), обилием перифитона, внесением органического вещества притоками – реками Каргат и Чулым – и малым водообменом его с Чиняихинским плёсом. В зарастающих заливах содержание органического вещества достигает 15%. Концентрации марганца и фосфора в донных отложениях

Содержание химических веществ в различного типа донных отложений оз. Чаны (%; по В.Н. Шмелевой, „Пульсирующее озеро Чаны“, 1982)

Тип отложений	CaCO_3	Органическое вещество	Терригенный материал
Пески	7-9	1-3	70-80
Алевритовые илы	2-7	2-30	60-70
Пелитовые илы	20-30	8-12	Около 40

Примечание. Максимальное содержание CaCO_3 отмечено в Юдинском плёсе, а органического вещества - в оз. М. Чаны.

изменяются в пределах 0,06-0,13 и 0,10-0,17% соответственно, а содержание общей серы - 1-3%.

С повышением минерализации воды в донных отложениях происходит изменение состава обменных катионов. Так, в усыхающем Юдинском плёсе с максимальной по озеру минерализацией (14-20‰) происходит накопление марганца и увеличение карбонатов в слое 1-2 см.

Химический состав воды

Наиболее интенсивное изучение химии вод озера началось после 1925 г. (Березовский, 1927; Дулькейт и др., 1935; Гусев, 1948; Иоганзен, Петкевич, 1954; Коноплев, 1969). Химический состав воды изучался для ихтиологических целей. Исследования ионного состава, растворенных газов, биогенных веществ и органического вещества во всех плёсах, в том числе и в отделенном плотиной Юдинском, впервые выполнены Институтом озероведения АН СССР. Вода во всех плёсах содоноватая (табл. 85), ионный состав хлоридно-натриевый третьего типа (по О.А. Алекину, 1970). На долю хлоридных ионов приходится от 33 до 80 экв.-%. С повышением минерализации воды в озере соотношение ионов меняется: растет относительное содержание ионов хлора, уменьшается - SO_4^{2-} , Ca^{2+} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , что позволяет предположить развитие процесса метаморфизации состава вод при испарении и выпадении CaCO_3 , MgCO_3 и CaSO_4 . Общая минерализация воды оз. Чаны тесно связана с колебаниями общей увлажненности. За 20 лет (1948-1968 гг.) минерализация возросла с 1,40-4,05 (1948 г.) до 4,6-6,6 г/л, а к 1978 г. она достигла 8,2-11,8 г/л. Даже в распресненных М. Чанах минерализация возросла в 3 раза.

В период низкого стояния уровня (1925-1945 гг.) минерализация воды во всех плёсах повышалась, а с ростом уровня с 1948 г. со-

Т а б л и ц а 85

Средние величины минерализации воды оз. Чаны в 1975–1978 гг. по Л.Ф. Жехновской
(в скобках – число анализов; Пульсирующее озеро Чаны, 1982)

Дата	Озеро Чаны	Чиняихинский плёс	Озеро Яркуль	Ярковский плёс	Тагано-Казанцевский плёс	Юдинский плёс
III 1976	5.3±0.0 (2)	7.2±0.0 (2)	5.0 (1)	9.0±0.3 (4)	16.4±3.3 (2)	20.0±0.4 (3)
III 1977	4.9±0.5 (2)	7.7±0.7 (2)	4.7±0.2 (4)	8.0±0.1 (2)	11.4±0.7 (3)	16.0±0.2 (2)
У1 1976	1.1±0.0 (9)	3.6±0.6 (8)	4.3±0.0 (6)	-	-	-
У 1977	1.0±0.3 (6)	3.6±0.5 (3)	4.3±0.1 (2)	6.6±0.0 (3)	5.6±0.5 (2)	14.2 (1)
У1 1978	1.0±0.1 (5)	2.4±0.4 (3)	4.1±0.1 (4)	-	5.7±1.1 (4)	-
УII 1975	1.0±0.0 (2)	3.6 (1)	4.1±0.2 (2)	6.7±0.1 (2)	6.3±0.2 (2)	12.9 (1)
УII 1976	1.3±0.2 (8)	3.8±0.4 (10)	4.3±0.0 (4)	7.3±0.2 (13)	7.3±0.4 (15)	13.6±0.1 (13)
УII 1977	0.8±0.1 (6)	2.8±0.6 (5)	4.2±0.1 (3)	7.1±0.1 (4)	7.0±0.2 (5)	15.4±0.3 (12)
УII 1978	1.2±0.1 (5)	3.6±1.1 (5)	4.5±0.0 (3)	7.2±0.2 (4)	7.2±0.8 (6)	18.1 (1)
УIII 1978	1.2±0.0 (8)	3.7±0.7 (10)	4.5±0.0 (4)	7.7±0.1 (10)	7.3±0.6 (9)	-
1X 1976	1.5±0.3 (3)	4.1±1.2 (9)	4.3±0.3 (4)	7.4±0.1 (9)	7.5±0.2 (9)	14.2 (1)
1X 1977	1.1±0.3 (5)	3.5±0.8 (6)	4.1±0.0 (3)	7.1±0.2 (4)	7.2±0.2 (5)	-

держание ионов хлора снизилось в оз. М. Чаны в 13 раз (0,1 г/л), а в других плёсах – в 2–5 раз. После 1950 г. концентрация ионов хлора во всех плёсах снова стала повышаться, что отрицательно сказалось на рыболовстве и ондатроводстве.

В табл. 86 приводится сезонное изменение ионного состава воды оз. Чаны.

Вода оз. Чаны имеет щелочную реакцию (8,8–9,1), что связано с забуференностью воды при высоких концентрациях гидрокарбонатных ионов.

В летний период вода оз. Чаны насыщена растворенным в ней кислородом (мелководье, ветровое перемешивание, интенсивный фотосинтез). Содержание O_2 в летний период изменяется в ней с 7 до 12 мг O_2 /л (более 80% насыщения). Максимальные значения – 139–144% – отмечались летом в оз. М. Чаны и Чиняихинском плёсе. Бурное развитие водной растительности вследствие падения уровня повлекло за собой резкое ухудшение газового режима.

Зимой наиболее богата кислородом вода Юдинского плёса – 75–137% насыщения (1976–1978 гг.). В оз. Яркуль и Ярковском плёсе отмечается его снижение до 56–92% насыщения, а в Тагано-Казанцевском – до 45–91% (у берега 14–16%). Дефицит растворенного кислорода наблюдался в Чиняихинском плёсе – 15–30% насыщения и особенно в оз. М. Чаны – 3–6% насыщения растворенным кислородом, где фиксировались заморные явления. Март–апрель – критический период жизни озера.

При снижении уровня воды до 105,8 м Б.С. и более в конце подледного периода около половины всей акватории озера становится непригодной для обитания рыб (Дулькейт и др., 1935; Гусев, 1948). То же наблюдалось и в 1976–1978 гг. Зимой 1933–1934 гг. замор охватил 40% всей площади озера и погубил 60 тыс. ц рыбы. В результате замора зимой 1953–1954 гг. погибло 20 тыс. ц рыбы (Петкевич, 1959).

Органическое вещество в водах оз. Чаны преимущественно автохтонного происхождения, образующееся в процессе фотосинтеза перифитона, макрофитов, фитопланктона. Аллохтонное органическое вещество поступает с водами притоков. Концентрация органического вещества в воде озера колеблется от 21,6 до 52,8 мгС/л. Запас органического вещества в оз. Чаны составляет 204 тыс. т. Цветность воды варьирует от 4 до 71 градуса платиново-жёлтой шкалы. Величина БПК₅ изменяется от 1,1 до 6,4 мг O_2 /л. Максимальные концентрации органического углерода наблюдаются в водах Тагано-Казанцевского плёса, а минимальные – в воде оз. М. Чаны, где растворенное органическое вещество биохимически неустойчиво, легко разлагается, о чем свидетельствует отношение С:Н порядка 6–8.

В период открытой воды фосфаты в воде озера присутствуют постоянно в количестве 5–9 мкгР/л. К осени их содержание во всех плёсах увеличивается до 140–182 мкгР/л. Среднее содержание общего фосфора в воде оз. Чаны – 80 мкгР/л (1976–1978 гг.). Общий азот в воде оз. Чаны в среднем присутствует в количестве 3,47 мгN/л,

Т а б л и ц а 86

Сезонные изменения ионного состава воды (экв. %) оз. Чаны в 1977 г. (средние величины; по Л.Ф. Жехновской, Пульсирующее озеро Чаны, 1982)

Плёт	Месяц	$\Sigma_{и}, г/л$	CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
Озеро М. Чаны	III	4.9	-	25.5	16.1	58.4	3.2	44.8	52.0	
	У	1.0	-	29.2	21.0	49.8	13.9	36.1	48.4	1.6
	УII	0.8	6.4	27.0	8.3	58.3	16.5	37.2	44.3	2.0
	IX	1.1	-	27.7	21.7	50.6	12.4	43.1	42.6	1.9
Чиняихинский	III	7.7	1.0	12.7	8.8	77.5	2.6	36.6	60.8	
	У	3.6	2.2	14.3	28.3	55.2	4.3	43.1	51.7	0.9
	УII	2.8	7.6	15.8	10.7	65.9	4.3	36.9	57.3	1.5
	IX	3.5	5.6	14.9	10.5	69.0	1.3	37.8	59.7	1.2
Озеро Яркуль	III	4.7	4.0	11.8	14.3	69.9	2.1	34.3	63.6	
	У	4.3	3.5	15.9	14.5	66.1	2.4	34.7	61.9	1.0
	УII	4.2	6.1	12.5	11.9	69.5	1.5	34.3	63.2	1.0
	IX	4.1	4.3	15.7	10.2	69.8	1.3	35.1	62.4	1.2
Тагано-Казанцевский	III	12.4	4.6	9.2	6.6	79.6	0.7	36.7	62.6	
	У	5.6	2.8	13.2	13.2	70.8	0.8	33.3	64.9	1.0
	УII	7.0	6.4	9.0	15.5	69.1	0.7	33.0	65.5	0.8
	IX	7.2	5.9	13.1	17.1	63.9	0.7	35.5	62.9	0.9
Ярковский	III	8.0	4.0	13.9	8.9	73.2	0.8	33.5	65.7	
	У	6.6	4.1	11.5	17.4	67.0	0.7	32.8	65.6	0.9
	УII	7.1	5.0	10.6	12.2	72.2	0.7	32.8	65.6	0.9
	IX	7.1	5.2	12.8	11.2	70.8	0.7	34.7	63.7	0.9
Юдинский	III	16.2	6.1	5.9	4.3	83.7	0.4	36.8	62.8	
	УIII	15.4	4.4	8.9	18.2	68.5	0.5	28.2	70.4	0.9

а максимум его наблюдается в оз. М. Чаны — 4,8–8,9 мг N/л. Из соединений минерального азота постоянно обнаруживаются ионы аммония — 0,01–0,10 мг N/л с максимальной концентрацией их в оз. М. Чаны.

В период открытой воды концентрация нитратов в воде озера невелика и колеблется от аналитического нуля до 0,005 мг N/л, в оз. М. Чаны и Янковском плёсе — 0,025–0,100 мг N/л. Зимой содержание нитратов составляет 0,133 мг N/л, а в Юдинском плёсе и в оз. М. Чаны нитраты зимой отсутствуют. Значительное количество растворенного кремния в воде оз. Чаны (1,0–12,0 мг Si/л) вызвано поступлением его с речными водами.

Следует отметить увеличение нитритов и количества гетеротрофных микроорганизмов, растущих на МПА, в пос. Квашнино (по сравнению с открытым озером) до 1810 тыс. кл./мл, а в пос. Шаитик — до 900 тыс. кл./мл. На ст. 2 Янковского плёса количество гетеротрофной микрофлоры в три раза выше средней по плёсу. В поверхностном слое донных отложений Янковского плёса обнаружены сульфатредуцирующие бактерии, продуктом жизнедеятельности которых является сероводород. Образование сероводорода может вызвать гибель организмов и тем самым подорвать самоочистительную способность озера.

Гидробиологическая характеристика

Элементы гидробиологического комплекса исследовались в разные периоды в связи с изучением кормовой базы (фитопланктон, зоопланктон, бентос). Это работы О.С. Зверевой (1927), А.И. Березовского (1927), П.Л. Пирожникова (1932), Б.Г. Иоганзена (1948), А.Н. Петкевича (1959) и др.

Во флоре оз. Чаны имеется 13 видов высших водных растений, принадлежащих к двум эколого-биологическим группам: погруженных в воду (7 видов) и надводных (6 видов) растений (Пульсирующее озеро Чаны, 1982, гл. 7), из них 8 видов являются ценозообразователями. Все растения имеют широкие географические и экологические ареалы. Фоновыми (массовыми) видами, имеющими широкое распространение во всех, весьма разных по солености воды, плёсах оз. Чаны, являются только тростник (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex. Steud.) и рдест гребенчатый.

В фитоценоотическом составе имеется 8 растительных формаций, которые в водных условиях сложены в основном чистыми сообществами вида эдификатора зарослевого типа, а в наземных условиях на влажных (в зоне неустойчивого обводнения) и на обсохших (за ее пределами) берегах — сообществами с примесью разнотравья. В растительном покрове всех плёсов оз. Чаны доминируют тростниковые и гребенчатордестовые сообщества, а по растительности это озеро относится к типу тростниково-гребенчатордестовых.

Наибольшим видовым и ценоотическим разнообразием обладают наименее осолоненные плёсы — оз. М. Чаны и Чинягинский. В них

Т а б л и ц а 87

Характеристика фитомассы высшей водной растительности оз. Чаны в 1976-1978 гг.
(по В.М. Катанской; Пульсирующее озеро Чаны, 1982)

Фитоценоз	Озеро М. Чаны	Чиняихин- ский плёс	Озеро Яркуль	Ярковский плёс	Тагано- Казанцев- ский плёс	Юдинский плёс	Озеро в целом
Тростниковые заросли, кг/м ²							
сырой вес							
укос (среднее)	4.6	4.2	1.5	3.4	2.7	0.4	3.6
листья (среднее)	1.1	1.1	0.5	0.9	0.8	0.2	1.0
Рдест гребенчатый, кг/м ²							
сырой вес (среднее)	1.0	1.3	1.5	0.2	0.3	0.4	0.9
воздушно-сухой вес (среднее)	0.1	0.2	0.3	0.03	0.04	0.06	0.1
Зарастание, в % от площади плёса							
вся растительность	30-35	~35-40	5	8-11	10-15	1	20-25
тростник	10-15	~20	-	3-4	10	-	10-15
Площадь зарастания, км ²	60-65	115-130	2	20-25	100	-	300-350

П р и м е ч а н и е. Общее зарастание по озеру дано без Юдинского плёса.

имеются все отмеченные в оз. Чаны виды флоры и растительные сообщества. В оз. М. Чаны в сложении растительного покрова заметную роль играет также формация рогоза узколистного (*Typha angustifolia* L.). В других плёсах (Ярковском, Тагано-Казанцевском, Юдинском и оз. Яркуль) с более высокой минерализацией воды в летний период из высших растений развиты только тростник и рдест гребенчатый, а также их сообщества. Эти растения выдерживают наиболее высокие концентрации солей в воде и широкие их колебания (эвригалинные виды).

Тростниковые сообщества занимают прибрежные участки и распространяются до глубины 1 м, в массе — до 0,3–0,5 м. Они окаймляют берега озера и острова полосой различной ширины и протяженности или располагаются крупными массивами. В наиболее типичных местах ширина тростниковой полосы равна 50–60 м. Большая часть тростниковых зарослей в современном состоянии озера находится на суше, на влажных или уже полностью обсохших берегах. В воде их полоса не шире 5–10 м, в зависимости от глубины, а на некоторых участках отсутствует совсем. Наиболее крупные тростниковые массивы имеются в оз. М. Чаны, Чиняихинском плёсе и в районе о-ва Амелькина Грива Тагано-Казанцевского и Ярковского плёсов (табл. 87).

Растительные сообщества рдеста гребенчатого в оз. М. Чаны и в Чиняихинском плёсе располагаются во всех частях их акваторий крупными массивами и заходят на глубины до 1,5 м. В плёсах Тагано-Казанцевском, Ярковском, Юдинском и оз. Яркуль они находятся главным образом около берегов и в заливах, на глубинах до 0,5–0,8 м, местами образуют достаточно крупные массивы. В центральной части этих плёсов зарослей рдеста гребенчатого нет. Во всех плёсах оз. Чаны сообщества рдеста гребенчатого на своих определенных местах регулярно появляются через год, вследствие этого картина зарастания плёсов по годам меняется.

В оз. М. Чаны, в районе устьев рек Чулым и Каргат, имеются массивы сообществ рогоза узколистного.

Согласно глазомерной оценке, оз. Чаны зарастает на 15–20% тростниковыми зарослями в воде и в зоне неустойчивого обводнения покрыто 10–15%, а зарослями рдеста гребенчатого — около 10% его современной площади. При более высоком уровне озера площадь, занимаемая тростниками в воде, увеличивается. Наиболее заросшими являются оз. М. Чаны и Чиняихинский плёс. Их акватории покрыты растительностью на 30–35%, из них около 20% приходится на сообщества рдеста гребенчатого и 10–15% — на тростниковые сообщества в воде и на сырых берегах. Другие плёсы зарастают не более чем на 10–15%, а Юдинский — на доли процента.

В оз. Чаны (без Юдинского плёса) площадь тростниковых зарослей в воде и в зоне неустойчивого обводнения ориентировочно равна 180–200 км², площадь зарослей рдеста гребенчатого — 120–150 км². Сообщества других видов растений занимают очень небольшую площадь, оцениваемую не более чем в 1–2% площади всех зарослей. В 1925 г. при площади озера в 3000 км² тростники занимали 7% площа-

Биомасса бактериопланктона оз. Чаны (мг С/м^3 ;
по Т.В. Коротковой; Пульсирующее озеро Чаны, 1982)

Плѣс	Общая минерализация, г/л	1977 г.			1978 г.			
		июнь	август	средняя	июнь	июль	август	средняя
Ярковский	7.1-7.7	28	28	28	48	30	22	34
Тагано-Казанцевский	7.0-7.3	99	107	103	83	93	129	102
Чиняихинский	2.8-3.7	73	149	111	122	128	170	140
Яркуль	4.1-4.5	147	80	105	60	131	166	119
М. Чаны	0.8-1.3	103	256	179	258	186	173	206
Юдинский	12.9-15.4	-	34	34	-	-	-	-

ди, в 1932 г. - 23% в оз. М. Чаны и 8% - в других плѣсах, в конце 60-х годов (Климов, Корсаков, 1969) - 10%. В настоящее время наблюдается обеднение видового состава и продуктивности фитоценозов по мере увеличения солености воды.

Средние тростниковые заросли в оз. Чаны в целом производят 3.5 кг/м^2 сырой и 1.5 кг/м^2 воздушно-сухой массы при средней высоте растений 1,7 м, толщине около 0,6 см и количестве стеблей 180-200 шт./ м^2 . Наиболее продуктивны тростниковые сообщества оз. М. Чаны и Чиняихинского плѣса. Их средние тростниковые сообщества в период максимального развития производят около $4.2-4.5 \text{ кг/м}^2$ сырой и $2-3 \text{ кг/м}^2$ воздушно-сухой массы при средней высоте растений около 2 м, диаметре побегов 0,5-0,6 см и количестве стеблей 180-260 шт./ м^2 .

Сообщества рдеста гребенчатого в оз. М. Чаны и Чиняихинском плѣсе имеют фитомассу в сыром виде около 1 кг/м^2 , в воздушно-сухом - 0.2 кг/м^2 . В плѣсах с более высокими концентрациями солей в воде в среднем в сыром виде - $0.2-0.3 \text{ кг/м}^2$, в воздушно-сухом - $0.03-0.04 \text{ кг/м}^2$.

По общей численности бактерий оз. Чаны может быть отнесено к водоемам эвтрофного типа. Наиболее характерным с экологической точки зрения является изменение количества микроорганизмов в зависимости от минерализации. С увеличением общей минерализации растет процент кокковых бактерий. Небольшие глубины и ветровое перемешивание обуславливают равномерное распределение микрофлоры в толще воды. Численность бактериопланктона за вегетационный период колеблется в среднем по озеру от 1,2 до 7,6 млн, кл./мл. С увеличением минерализации снижается численность бактерий, объем бактериальной клетки уменьшается с $0,18 \text{ мкм}^3$

Т а б л и ц а 89

Средние количественные показатели фитопланктона оз. Чаны за май-сентябрь 1976-1978 гг.
(по С.Е. Антонову; Пульсирующее озеро Чаны, 1982)

Показатель	Год	Озеро М. Чаны	Чиняихинский плёс	Озеро Яркуль	Ярковский плёс	Тагано- Казанцевский плёс	Юдинский плёс
Численность, тыс. кл./л	1976	6969	8864	7827	3774	13817	1418
	1977	101543	94517	39501	7759	46347	68
	1978	411122	58049	107120	6844	38234	420
Биомасса, мг/л	1976	0,58	0,20	0,17	1,99	0,48	0,33
	1977	5,02	3,78	0,48	0,48	0,61	0,0003
	1978	12,96	1,31	1,22	0,97	0,28	0,16
Интенсивность фотосинтеза, мг O_2 /л в сутки	1976	6,52	0,51	0,21	0,28	1,59	0,17
	1977	4,15	2,33	1,53	1,07	0,71	0,39
	1978	-	-	-	1,19	1,24	-

в оз. М. Чаны до $0,10 \text{ мкм}^3$ в Яркском плёсе, снижается биомасса бактериопланктона (табл. 88). Значительная часть бактериопланктона оз. Чаны представлена микрофлорой, поступившей в водную толщу из донных отложений.

В составе фитопланктона оз. Чаны было обнаружено 135 форм водорослей рангом ниже рода. По разнообразию видового состава большинство форм принадлежит к зеленым (69 видов) и синезеленым водорослям (46 видов). В количественном отношении преобладают мелкие синезеленые, а основу биомассы составляют зеленые водоросли и крупные синезеленые.

Мелководность плёсов приводит к быстрому прогреванию воды весной и столь же быстрому ее охлаждению осенью, что делает невозможным развитие весеннего и осеннего планктонных комплексов диатомовых водорослей.

Различия в минерализации плёсов и их обеспеченность биогенными элементами определили состав и уровень количественного развития фитопланктона. Наиболее богатыми фитопланктоном оказались плёсы с наименьшей минерализацией (табл. 89) воды. По продуктивности в период 1976–1978 гг. (май–сентябрь) большая часть оз. Чаны относилась к мезотрофным водоемам, а оз. М. Чаны – к эвтрофным. В среднем по озеру величины фотосинтеза составили: в 1976 г. – 1,35, в 1977 г. – 1,24 и в 1978 г. – $1,38 \text{ мг O}_2/\text{л}$ в сутки.

Роль солоноватоводных видов (мезогалобов) и видов с широким экологическим ареалом (эвригалинных) в планктоне озера увеличивается по мере роста минерализации воды. Виды пресноводные (олигалобы) из планктона постепенно исчезают. Планктон Юдинского плёса представлен только солоноватоводными и эвригалинными видами. Уровень обеспеченности фитопланктона биогенными элементами высок. Наиболее стойкими к минерализации являются синезеленые водоросли (до 10 г/л), зеленые водоросли выпадают при минерализации 7 г/л .

Все исследователи зоопланктона оз. Чаны отмечали необычайно высокий уровень его развития в озере. Максимальная численность его достигала (тыс./м^3): по О.С. Зверевой (1927) – 1029, по П.Л. Пирожникову (1932) – 700, по Е.С. Макаревой (1976) – 1240, по Н.М. Иванову (1977) – 1081, что значительно превышает продуктивность высокоэвтрофных водоемов (Ильмень, Пестово). Видовой состав и продуктивность зоопланктона оз. Чаны определяются уровнем минерализации и особенностями морфометрии каждого плёса, малой глубиной водоема, ветровым перемешиванием до дна, благоприятным кислородным режимом и большим количеством пищи для зоопланктонных организмов в виде богато развитого фитопланктона, массы детрита и огромного количества бактерий. Общее количество видов в зоопланктоне достигает 57, в основном за счет оз. М. Чаны.

Беспозвоночные пресноводного комплекса (циклопы, дафнии, подавляющая часть коловраток) дают высокую численность и биомассу в опресненных участках Чиняихинского плёса и в оз. М. Чаны (до 300 тыс./м^3). Солоноватоводные виды – галофилы (диаптомус, моина, гексартра) – пышно развиваются в сильно осолоненных плё-

Таблица 90

Динамика биомассы клadoцeр и копепоd (г/м³) летом 1977-1978 гг.
(по Н.М. Иванову, Е.С. Макаpцевой; Пульсирующее озеро Чаны, 1982)

Группа	Год	Озеро М. Чаны				Чиняихинский плёс			
		У I	У II	У III	средняя	У I	У II	У III	средняя
Клдоцeры	1977	5.3	6.2	8.4	6.9	7.7	15.4	12.8	12.0
	1978	4.3	2.5	3.3	3.4	1.2	14.0	3.3	6.2
Копeпoды	1977	0.6	0.7	0.8	0.7	0.7	1.9	3.0	1.9
	1978	0.6	0.4	0.5	0.5	0.5	4.6	2.1	2.4
Сумма биомасс	1977	5.9	6.9	9.2	7.6	8.4	17.3	15.8	13.9
	1978	4.9	2.9	3.8	3.9	1.7	18.6	5.4	8.6
Отношение сумм биомасс	1977								
	1978	1.2	2.4	2.4	1.9	4.9	1.0	2.9	1.6

Группа	Год	Озеро Яркуль				Ярковский плёс				Тагано-Казанцевский плёс			
		У I	У II	У III	средняя	У I	У II	У III	средняя	У I	У II	У III	средняя
Клдоцeры	1977	6.2	7.3	7.8	7.1	7.5	5.9	10.8	8.1	1.9	6.1	3.4	3.8
	1978	3.8	3.2	4.0	3.7	0.9	2.2	8.5	3.9	4.4	6.3	2.6	4.4
Копeпoды	1977	2.3	2.9	4.3	3.2	3.5	5.4	8.4	5.8	2.5	4.5	5.4	4.1
	1978	3.6	1.2	2.5	2.4	3.6	7.6	8.8	6.7	7.7	5.9	3.5	5.7
Сумма биомасс	1977	8.5	10.2	12.1	10.3	11.0	11.3	19.2	13.9	4.4	10.6	8.8	7.9
	1978	7.4	4.4	6.5	6.1	4.5	9.8	17.3	10.6	12.1	12.2	6.1	10.1
Отношение сумм биомасс	1977												
	1978	1.1	2.3	1.9	1.7	2.4	1.2	1.1	1.3	0.4	0.9	1.5	0.8

Средняя численность (N на m^2) и биомасса (B , $г/м^2$) донных беспозвоночных в различных биотопах плёсов оз. Чаны в 1976–1978 гг.

Плёс	Песчаный грунт		Глинистый грунт		Средняя глубина, м
	N	B	N	B	
М. Чаны	1500	1.1	2200	5.3	1.3
Чиняихинский	810	1.2	4600	20.1	1.6
Яркуль	3900	9.8	5500	10.4	5.1
Тагано-Казанцевский	700	0.7	1750	9.0	1.7
Ярковский	2000	3.3	7900	39.9	3.1
Юдинский	65–220	0.07–0.30	–	–	2.6

сах (Юдинский). Ряд видов коловраток, кладоцер и копепод обладают широким диапазоном толерантности к солености. Основную биомассу и продукцию в озере дают виды зоопланктона солоноватоводного комплекса – *Diaphanosoma brachyurum*, *Arctodiaptomus salinus*, *Moina microphthalma* (около 70%). Озеро Чаны является высококормным водоемом. Средняя биомасса по озеру составила в июле 1976 г. $15 г/м^3$, в июле–августе 1977 г. и 1978 г. соответственно 10.2 и $8.8 г/м^3$. Особенно велика биомасса зоопланктона в Чиняихинском, Ярковском и Тагано-Казанцевском плёсах (табл. 90). Высокой кормности зоопланктона способствуют крупные размеры ракообразных с жировыми включениями, что увеличивает их калорийность и способствует развитию ихтиофауны и обильным уловам. Суммарная биомасса (1977 и 1978 гг.) кладоцер и копепод в табл. 90 на 97–99% отражает биомассу всего зоопланктона, так как последний в оз. Чаны носит „рачковый характер“. Биомасса коловраток не превышает 2%, и ею можно пренебречь.

Продукция зоопланктона в оз. Чаны высокая, что позволяет отнести его к водоемам высокой трофности. Основная продукция зоопланктона при преобладании ракообразных создается в летние месяцы. За период июнь–август 1977 г. продукция фильтраторов составила $256.8 кДж/м^3$, что соответствует $513.6 кДж/м^2$ (с учетом средней глубины плёсов); в 1978 г. эта величина соответственно была равна $173.9 кДж/м^3$, или $347.8 кДж/м^2$. Подо льдом значительное развитие получают галофилы, особенно в плёсах с высокой минерализацией.

Высоким уровнем развития кормовой базы объясняются обильные уловы в озере чебака, судака и других промысловых рыб.

Известно, что колебания уровня сказываются на биомассе зоопланктона. Так, с резким падением уровня ($105.5–105.6 м Б.С.$) к 1971 г. биомасса зоопланктона снизилась в 3 раза.

Плёс	Валовая биомасса зоны 0-2 м, т	Валовая биомасса зоны 2-м _{макс} , т	Валовая биомасса плёса, т	Средняя биомасса плёса, кг/га	Биомасса плёса к биомассе озера, %	$\frac{S_{пл}}{S_{оз}}$, %	Условная эффективность плёсов по бентосу, КПД = $\frac{(6)}{(7)}$
1	2	3	4	5	6	7	8
М. Чаны	66,9	852,8	919,7	41	7,7	14,1	0,55
Чинияхинский	278,3	2775,8	3054,1	83	25,5	23,6	1,08
Яркуль	70,6	341,1	411,6	103	3,4	2,5	1,76
Тагано-Казанцевский	351,2	1580,4	1931,6	28	16,2	44,6	0,36
Ярковский	347,2	5298,7	5645,9	237	47,2	15,2	3,11

П р и м е ч а н и е. S - площадь озера и плёса.

Зообентос оз. Чаны изучался в связи с развитием работ по ихтиофауне и рыболовству (Березовский, 1927; Иогенсен, 1948; Петкевич, 1959, 1963; Битюков, 1963). В последние годы зообентос исследуется Сибирьниипроектом.

Фауна озера представлена четырнадцатью группами беспозвоночных животных: нематоды, пиявки, олигохеты, моллюски, гаммариды, водные клещи, стрекозы, поденки, веснянки, клопы, жуки, ручейники, бабочки и двукрылые. Доминируют двукрылые (цератопогониды и хирономиды) и олигохеты (48 видов хирономид и 21 вид других групп). Лимитирующими факторами являются механические свойства грунтов, мелководность, перемешивание, общая минерализация и кислородный режим в зимнее время. В прибрежных зонах озера наблюдается большее видовое разнообразие зообентоса, чем в центральных (38 и 25 видов хирономид соответственно). Цератопогониды представлены повсеместно. Численность олигохет возрастает с уменьшением общей минерализации. В озере почти полностью отсутствуют моллюски, низки величины численности и биомассы зообентоса в Тагано-Казанцевском плёсе (табл. 91).

По мере увеличения солености в плёсах меняется доминирующий вид - от *Chironomus f.l. salinarum* к *Ch. anthracinus*. Наиболее чувствительны к повышению солености олигохеты. Наибольшая численность и биомасса зообентоса отмечена в центральных частях Чинияхинского и Ярковского плёсов, а также в оз. Яркуль (25 тыс./м² и 86 г/м²). Средние численность и биомасса по зонам и плёсам озера представлены в табл. 91 и 92.

Максимальная биомасса отмечена в зимне-весенний период, а минимальная - в июле-августе. Валовая биомасса озера (без Юдинского плёса) составляет 12 тыс. т, а средневзвешенная по площади

при отметке уровня 105,9 м Б.С. - 7,6 г/м². Обобщив данные, имеющиеся в литературе, Э.П. Битюков (1963) получил валовые биомассы по озеру: 1955 г. (106,47 м Б.С.) - 12,9 тыс. т, 1960 г. (106,42 м Б.С.) - 9,4 тыс. т, 1961 г. (106,62 м Б.С.) - 22,1 тыс. т. А.Н. Петкевич (1969) приводит для 1925 г. биомассу зообентоса, равную 9,4 г/м², а для 1933 г. - 2,6 г/м² (105,6 м Б.С.). Если принять процент выедания кормовой базы бентофагами равным 20-25 (Петкевич, 1963), то реально используемая биомасса бентоса определится в 2,4-3,0 тыс. т (105,9 м Б.С.).

Ихтиофауна

Озеро Чаны является одним из основных рыбопромысловых водоемов Новосибирской области. Среднемультилетние уловы составляют в нем 44 тыс. ц. Наблюдаются значительные межгодовые колебания уловов (табл. 93). В 1974-1978 гг. уловы составляли 13-55 тыс. ц, а в недалеком прошлом (1952 г.) они достигали 100 тыс. ц.

Аборигенная ихтиофауна представлена восемью видами: плотва, окунь, щука, язь, карась, елец, пескарь, озерный голец. Объектами промыслового лова являются первые пять видов. Основу промысла (до 90% уловов) составляет плотва.

С целью акклиматизации и товарного выращивания в оз. Чаны в различные годы вселялись сазан, лещ, линь, судак, рипус, пелядь, муксун, байкальский омуль, нельма. В настоящее время естественное размножение наблюдается только у судака, леща и сазана. В периоды повышенной водности за счет естественного воспроизводства эти виды достигают промысловой численности.

Современное направление рыбохозяйственного использования оз. Чаны основывается на его частичной мелиорации. С целью изменения водного баланса озера в интересах рыбного хозяйства было произведено отчленение дамбой мелководного Юдинского плеса. Это привело к тому, что на новой акватории озера (160 тыс. га) были созданы более благоприятные условия для воспроизводства и обитания рыб. Так, уровень озера в течение 1973 г. повысился на 28 см. Уловы к 1974 г. возросли до 35 тыс. ц (1971 г. - 9 тыс. ц).

Зависимость рыбопродуктивности оз. Чаны от особенностей климата и гидрологической ситуации отмечалась еще в 1942 г. (Иоганзен, 1948; Петкевич, 1963). Иллюстрацией служит сопоставление динамики промысловых уловов с данными по уровню воды в озере (табл. 94, рис. 19). В маловодные периоды уловы падают до 3,0 тыс. ц, а в многоводные поднимаются до 96 тыс. ц. Одновременно наблюдается изменение видового состава ихтиофауны и темпа роста рыб. В маловодные периоды из состава ихтиофауны прежде всего выпадают сазан, лещ, судак и сиговые. Темп роста снижается фактически у всех видов (табл. 94).

Основная причина, определяющая низкие уловы в маловодный период, - низкая численность поколений рыб, формирующих в этот период промысловую часть популяций. Малочисленные поколения по-

Т а б л и ц а 93

Уловы рыбы (ц) в оз. Чаны

Виды рыб	1965 г.	1966 г.	1967 г.	1968 г.	1969 г.	1970 г.	1971 г.	1972 г.	1973 г.	1974 г.	1975 г.	1976 г.	1977 г.	1978 г.
Плотва	33458	23615	32889	38283	33511	2238	5174	14039	19758	25359	21869	30885	30585	7025
Мелочь I гр.	132	271	44	47	3	15	16	10		180	404	479	290	213
Мелочь III гр.	18612	24443	38374	32615	14833	829	3643	3915	4134	7366	15494	22667	8783	5200
Язь	558	326	158	59	14	18	20	23	617	1358	1501	1443	1733	495
Сиговые (омуль, пелядь)	-	-	-	-	-	-	2	30	477	487	213	44	16	55
Судак	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	5	55	23
Карась	271	211	5	35	-	5	-	-	98	-	-	2	-	-
Щука	30	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Лещ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	5	-	-	-
И т о г о	53061	48873	71470	71039	48361	3105	8855	18017	25170	34764	39503	55525	41462	13011

Колесания уловов рыбы (ц) в оз. Чаны в годы различной увлажнен

Год	Среднегодовая отметка уровня воды, м Б.С.	Плотва	Язь	Окунь	Щука
1931	106.10	69918	2608	8230	81
1939	105.71	357	29	3780	-
1952	106.96	45704	16998	16741	15091
1961	106.62	54986	2090	1060	90
1970	105.65	7654	283	916	-

являются при неблагоприятных условиях воспроизводства в маловодный период. Они сменяются мощными поколениями, которые формируются при условиях многоводного периода, благоприятных для воспроизводства. При этом численность урожайных поколений превосходит численность неурожайных более чем в 30 раз. Нарушение условий воспроизводства в маловодный период в первую очередь связано с низкой выживаемостью икры рыб при повышении минерализации воды на нерестилищах, уменьшается и площадь, пригодная для нереста рыб. В многоводные годы прекрасными нерестилищами являются поймы рек Чулым, Каргат и обширные районы оз. М. Чаны.

Вторая причина, определяющая снижение уловов в маловодный период, — снижение темпов нарастания ихтиомассы и увеличение

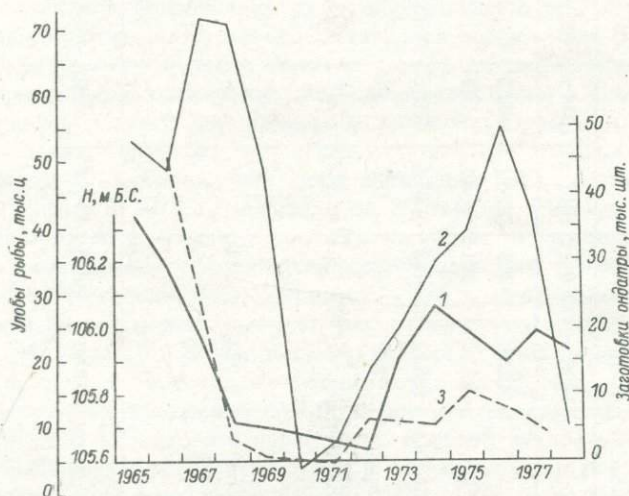


Рис. 19. Уровень воды оз. Чаны (1), уловы рыбы (2) и заготовки шкурок ондатры (3).

ности (по О.П. Парамонову)

Карась	Лещ	Пелядь	Итого	Рыбпродуктивность, кг/га
653	-	-	81490	30.1
33	-	-	4199	1.6
1584	-	-	96118	30.9
690	-	-	58916	20.2
-	-	2	8855	3.5

естественной смертности рыб, особенно в зимний период. С понижением уровня воды уменьшаются глубины, сокращаются нагульные площади и площади зимовки. Уже при отметке 106,0 м на 50% акватории в зимний период развиваются заморы рыб. С уменьшением объема водной массы увеличивается минерализация воды, особенно зимой с появлением ледяного покрова. Это приводит к образованию на значительных площадях слоя переохлажденной воды, в котором рыба находится в угнетенном состоянии, естественная смертность рыб увеличивается.

Существенное значение для прогноза рыбпродуктивности оз. Чаны имеют результаты экспериментов по выживаемости икры и личинок отдельных видов рыб в воде различной солености. Установлено, что для нормальной инкубации икры и выклева жизнеспособных личинок плотвы оптимальное значение минерализации составляет 1,5 г/л. При минерализации воды 4 г/л более 90% выклюнувшихся личинок гибнет. Для язя оптимальная соленость развития икринок составляет 0,5 г/л, при значениях ее 4 г/л и выше наблюдается 100%-ная гибель эмбрионов.

Икра сиговых также очень чувствительна к повышению солености: гибель личинок байкальского омуля наблюдается при общей минерализации 4 г/л, ряпушки - 4 г/л, муксуна - 2 г/л, пеляди - 8 г/л. Наиболее выносливым к повышенной минерализации воды в оз. Чаны является окунь. Икра его нормально развивается в воде с минерализацией до 7 г/л. Взрослые особи рыб оз. Чаны более устойчивы к повышению солености.

Сиговые являются более резистентными к изменениям солености воды. Сеголетки начинают испытывать угнетение только при солености 15-18‰, а погибают при солености выше 16‰. У взрослых особей наблюдается снижение роста только при 20‰, а гибель - в воде с соленостью выше 25‰ (сообщение О.П. Парамонова).

6.2. Возможные изменения природных ресурсов

Водные ресурсы

До последних лет в зоне водного питания оз. Чаны имели место процессы снижения атмосферных осадков и постепенного потепления. В последние десятилетия наблюдается направленный процесс снижения общей увлажненности междуречья Обь-Иртыш в зоне бассейна оз. Чаны. Пока нет показателей того, что природное состояние общей увлажненности рассматриваемой территории в ближайшие одно-два десятилетия может заметно улучшиться.

Распределение атмосферных осадков на территории бассейна весьма пестро, но в пределах депрессии оз. Чаны за последние 40-50 лет можно отметить две длительные фазы: постепенное увеличение годовых и летних осадков до конца 30-х годов или начала 40-х, а затем переход к фазе постепенного их уменьшения с конца 40-х годов до 1978 г. (рис. 20).

Тенденция постепенного потепления характерна для текущего столетия, что проявляется в средней годовой температуре воздуха. Температура воздуха за май-август с 1880 по 1947 г. характеризовалась тенденцией к понижению, но с конца 40-х годов хорошо выражена тенденция к ее повышению. Тенденция к потеплению прослеживается и в данных метеостанций бассейна оз. Чаны. Многолетняя амплитуда на этих коротких рядах достигает 1° , что является довольно значительной величиной.

Вслед за изменениями климата наступает и изменчивость гидрологических характеристик. Для стока рек, впадающих в оз. Чаны, характерна большая межгодовая изменчивость: 1947 г. - 537 мм, 1948 г. - 660 мм, 1952 и 1953 гг. - 27 мм, 1968 г. - 5 мм. В стоке прослеживаются внутривековые циклы изменчивости общей увлажненности. С каждым последующим внутривековым циклом заметно снижается средний годовой расход (1938-1943 гг. - $25 \text{ м}^3/\text{с}$, 1946-1950 гг. - $34.4 \text{ м}^3/\text{с}$, 1957-1961 гг. - $15 \text{ м}^3/\text{с}$, 1969-1977 гг. - $13 \text{ м}^3/\text{с}$, в маловодные фазы - $6.3-3.6-6.5 \text{ м}^3/\text{с}$), что указывает на сверхвековую тенденцию стока.

Для многолетнего стока рек отмечено уменьшение амплитуды среднего годового стока за четыре десятилетия (трансгрессивная фаза второй половины 40-х годов и две второстепенные фазы 60-х и 70-х годов), а также общее снижение среднего годового стока рек и снижение до 1970 г. минимальных годовых расходов за внутривековые циклы. В 70-х годах намечилось некоторое его повышение, что, видимо, представляет собой начало очередной внутривековой трансгрессивной фазы.

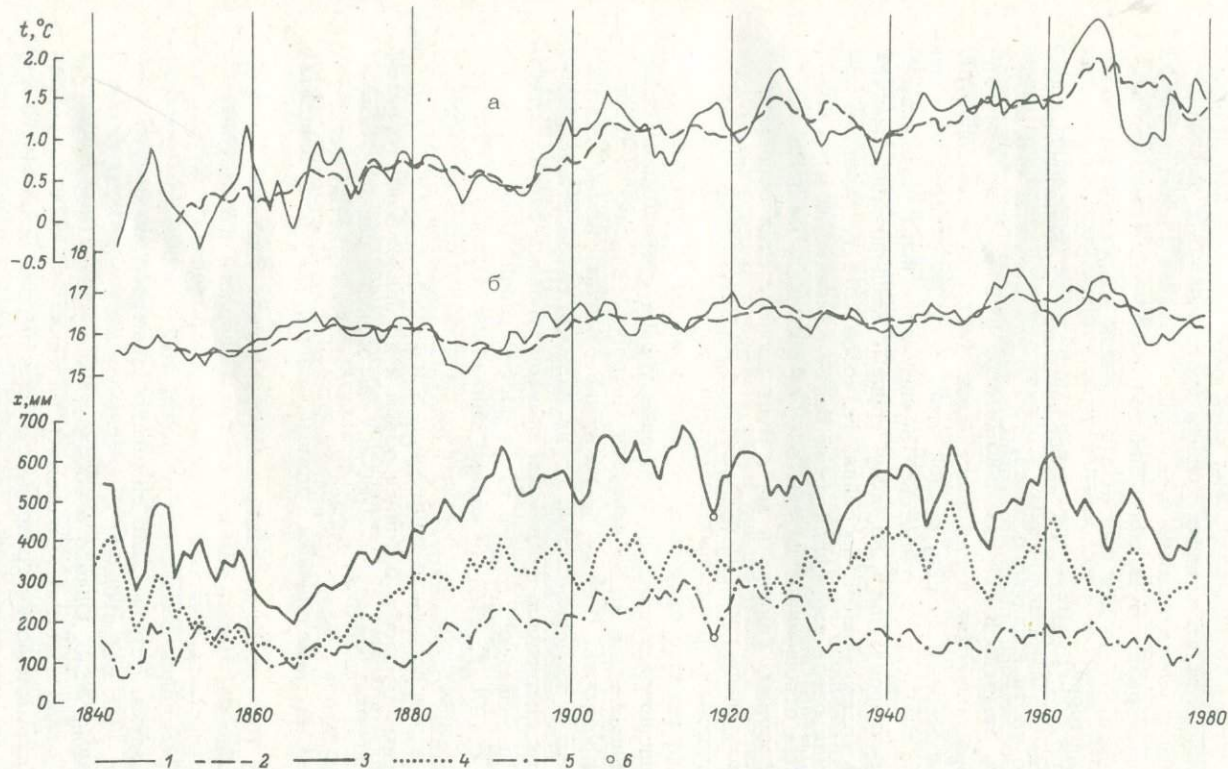


Рис. 20. Температура и атмосферные осадки (3-летние скользящие) в Барнауле в 1837-1979 гг. (Пульсирующее озеро Чаны, 1982, гл. 1).

Температура воздуха: а - средняя годовая, б - за май-август, 1 - 6-летние скользящие, 2 - 13-летние скользящие; атмосферные осадки: 3 - сумма за ноябрь-октябрь, 4 - сумма за апрель-октябрь, 5 - сумма за ноябрь-март, 6 - восстановленные данные.

Внутривековая изменчивость уровня оз. Чаны в течение всего последнего столетия чрезвычайно четко отражает такую же изменчивость атмосферных засух (Шнитников, 1976).

И по характеру колебаний уровня всех озер Барабинской степи, и по направленности их водного баланса прослеживается снижение состояния общей увлажненности бассейна. В течение столетия такое направление развития водного баланса имеет оз. Чаны, что может быть использовано для прогноза тенденции природного развития водности территории.

Уровенный режим оз. Чаны в последние годы, с отчленением от основной его части Юдинского плёса, т.е. с уменьшением его площади на 30%, заметно и относительно быстро реагирует на изменчивость метеорологических и гидрологических факторов — температуру воздуха, атмосферные осадки, речной сток. Если до отчленения Юдинского плёса (1971 г.) внутривековой режим озера имел устойчивый характер и реагировал лишь на более крупные воздействия изменчивости общей увлажненности бассейна, то после 1971 г. характер колебаний уровня озера изменился, стал более изменчивым и приближается в этом отношении к другим озерам бассейна, меньшим по размерам (Сартлан, Тандово и др.). Этот процесс стал особенно заметен в последние годы. И если ранее — до отчленения плёса — общая тенденция внутривековых колебаний уровня оз. Чаны была направлена на вековое снижение, то ныне приходится говорить о возникновении новой тенденции колебаний уровня — тенденции более быстрого реагирования на воздействия метеорологических и гидрологических процессов. Прежде всего нужно отметить изменчивость самого уровня в последние годы, когда площадь озера стала меньше, а приток сохранился в прежнем объеме; уровень озера, естественно, стал повышаться. К 1975 г. он достиг уровня равновесия на этот год, а с 1976 г. стал несколько снижаться. Однако в 1978 г. обнаружилось некоторое его повышение, на 4 см. Важно отметить, что именно в эти последние годы увеличился сток.

Атмосферные осадки в бассейне озера и на прилегающих территориях в их многолетнем ходе — 1960-е годы и более ранние — имели тенденцию к некоторому снижению. Это обстоятельство четко сказывалось на многолетнем режиме озера, на его вековом усыхании.

К началу 70-х годов на обширных территориях Западной Сибири, как в бассейне оз. Чаны, так и в степях Северного Казахстана, выявилась непродолжительная, но хорошо „оформленная“ внутривековая трансгрессивная фаза как в осадках, так — местами — и в температуре воздуха. Это вызвало заметную трансгрессию и всех малых озер на этих территориях. В начальную фазу оз. Чаны на нее почти не реагировало. Однако в последующем — в ее вторую фазу — и оз. Чаны стало заметно реагировать на такие малые и непродолжительные климатические трансгрессии, как первая половина 70-х годов и как их последние годы, что выразилось в небольшом понижении температуры воды при среднем многолетнем фоне атмосферных осадков.

В связи со значительным уменьшением площади оз. Чаны и с сохранением в то же время его основного речного питания для оставшейся части тенденции природных колебаний его уровня можно предсказать на основе относительно более коротких во времени колебаний климатических факторов, не типа брикнеровских, длительностью 25-45 лет, а типа 10-12-летних.

До 1980 г. температура воздуха в бассейне оз. Чаны имела тенденцию к некоторому понижению. Атмосферные осадки на прилегающих территориях (вплоть до Ишимской степи и более западных районов) после некоторого снижения в начале 70-х годов к концу 70-х вновь возросли. Соответственно в 70-х годах на всех малых озерах Казахского мелкосопочника и Ишимской степи проявилась четко выраженная трансгрессия.

Эти короткопериодные внутривековые колебания общей увлажненности юга Западной Сибири и Казахского мелкосопочника дают основание ожидать изменения уровня оз. Чаны не по типу брикнеровской внутривековой изменчивости, а по типу более короткой изменчивости порядка 10-12 лет. Такая изменчивость не способствует глубокому развитию регрессивных фаз, всегда более длительных, чем фазы трансгрессивные.

Для многолетнего режима озера при пониженной общей увлажненности, т.е. в годы с преобладанием более сухих лет, следует принимать тенденцию в развитии водности по типу брикнеровской изменчивости. При повышенной общей увлажненности бассейна озера и прилежащих территорий для многолетнего режима следует принимать тенденцию в развитии водности по типу более короткой изменчивости, имея в то же время в виду общую сверхвековую.

В.А. Понько (1975б, 1977) была создана фоновая модель уровня оз. Чаны, которая согласуется с тенденцией, предсказываемой А.В. Шнитниковым. В ближайшие 20 лет в режиме уровня озера появятся черты, характерные для конца прошлого и начала текущего столетия, а именно - переход к внутривековому повышению уровня озера на фоне сверхвекового подъема и усиления влияния хозяйственной деятельности на водосборе. Современная депрессия уровня, можно ожидать, сменится фазой повышенной водности, которая, вероятно, продлится до начала 90-х годов текущего столетия.

Качество воды

К настоящему времени влияние хозяйственной деятельности в бассейне оз. Чаны сказалось на перестройке всей системы оз. Чаны. В результате создания плотины, отделившей Юдинский плёс от восточной части озера, происходит иссушение территории этого плёса, отступление его от озера, ухудшение природных условий по его берегам. Изменение уровня воды в плёсе привело к значительному возрастанию минерализации его воды.

С повышением уровня в восточной части озера происходит некоторое понижение минерализации воды, которое может достигнуть

в среднем по озеру величины 4,5 г/л (при уровне 106,9 м Б.С.), при понижении уровня до 106,2 м Б.С. минерализация возрастет до 7 г/л. За предыдущие фазы общей увлажненности произошло накопление солей в озере, а без его промывки и сброса засоленных вод в котловину к западу от оз. Чаны возможно дальнейшее возрастание минерализации воды в озере на 1-2 г/л. Это следует из учета солевого стока притоков, а также из привноса солей из атмосферных осадков и из почв (табл. 76), которые при подъеме уровня будут поставлять в озеро дополнительное количество солей. При естественном подъеме уровня воды в озере до 106,5 м Б.С. из почв в озеро по расчетам Н.В. Мирошниченко дополнительно поступит 560 тыс. т воднорастворимых солей, а при подъеме уровня до 107,0 м Б.С. - 960 тыс. т.

Другие источники поступления солей с загрязненными промышленными и бытовыми сбросами в оз. Чаны не имеют существенно значения (Пульсирующее озеро Чаны, 1982).

С повышением уровня воды в озере улучшится кислородный режим.

Биоресурсы

Важнейшим фактором развития всех гидробионтов является степень минерализации воды. Современная характеристика гидробионтов оз. Чаны, приведенная выше, соответствует средней минерализации воды озера, равной 5,5 г/л. При минерализации 7-8 г/л все гидробионты озера угнетены.

Наиболее четко на изменение степени минерализации воды реагирует фитопланктон. Так, увеличение минерализации с 1 до 3,6 г/л приводит к уменьшению биомассы фитопланктона в 3 раза, бактериопланктона в 1,3 раза и макрофитов на 20%. С возрастанием минерализации до 7 г/л из фитопланктона сначала выпадает большинство зеленых водорослей и уменьшается число синезеленых, но численность, биомасса и интенсивность фотосинтеза еще высоки - 100-150 млн. кл./л, 1-1,5 мг/л, 1,5-2,0 мг O_2 /л в сутки соответственно.

В зоопланктоне с возрастанием минерализации увеличивается число галофобных представителей в Яркском и Тагано-Казанцевском плёсах, а в Чиняихинском плёсе и в оз. Яркуль - галофильных организмов. Эвригалинные организмы, дающие наибольшие биомассы, заметно не уменьшаются.

Зообентос с возрастанием минерализации по видовому составу обедняется. Широкую экологическую амплитуду имеет *Chironomus entracinus*, *Procladius*, некоторые *Ephemeroptera*, *Nematoda*. С подъемом уровня на 0,6-0,7 м (над 105,9 м Б.С., 1978 г.) средняя биомасса озера повысится до 9-10 г/м², а валовая биомасса составит 25 тыс. т. С понижением уровня и возрастанием минерализации до 7 г/л средняя биомасса в озере достигнет 7-8 г/м². Условия зимовки зообентоса при понижении уровня ухудшаются, так как ухудшается кислородный режим и промерзают

до дна значительные площади в оз. М. Чаны, Чиняихинском и Тагано-Казанцевском плёсах, что влечет за собой уменьшение биомассы.

Затопление прибрежных территорий при подъеме уровня приведет к восстановлению тростниковых зарослей в течение 2 лет. Затопленные же тростники (глубина свыше 1–1.2 м) в течение 4–5 лет постепенно отомрут. Рдестовые сообщества на залитых тростниках будут восстанавливаться из корневищ и семян, переживших засушливое время в грунте. Наиболее разнообразной при высокой воде будет растительность оз. М. Чаны. Общая площадь тростниковых зарослей при отметке уровня 107.0 м Б.С., с которой начинается перелив вод в западные котловины (оз. Абышкан и др.), достигнет 350–400 км².

На основании сравнительного анализа химических компонентов в донных отложениях плёсов различной минерализации до и после создания плотины, отделившей Юдинский плёс, и анализа химических компонентов в колонках донных отложений можно предположить, что при подъеме уровня до 1 м в донных отложениях значительных изменений не произойдет. Некоторое уменьшение содержания карбонатов и увеличение концентрации подвижного фосфора благоприятно отразится на жизни гидробионтов.

Рыбное хозяйство

К 1971 г. на оз. Чаны сложились неблагоприятные гидрологические и гидрохимические условия для воспроизводства и нагула рыб, что привело к падению промысловых уловов до 13 тыс. ц. С повышением водности бассейна и уровня в озере до отметки 106.5 м Б.С. уловы могут возрасти до 70–80 тыс. ц. Основными объектами промысла по-прежнему будут плотва, окунь, язь; щука и карась составят в уловах незначительный процент.

При падении уровня до отметки 105.9 м Б.С. рыбопродуктивность оз. Чаны резко сократилась и уловы составляют 3–20 тыс. ц. Рыбопродуктивность снижается как за счет увеличения естественной смертности рыб, так и за счет уменьшения темпа продуцирования ихтиомассы. Уловы будут представлены только плотвой и окунем (табл. 93, 94).

Стабилизация водно-солевого баланса в интересах рыбного хозяйства может быть достигнута только при дополнительном поступлении обских вод в оз. Чаны, так как при уровне 105.5 м Б.С. и общей минерализации 7–8 г/л почти все представители ихтиофауны озера выпадают.

Известно, что значительная часть продукции зоопланктона и зообентоса недоиспользуется рыбами. Реально, например, используется только 20–25% биомассы зообентоса (Пульсирующее озеро Чаны, 1982).

При соответствующей реконструкции ихтиофауны потенциальная рыбопродуктивность озера в периоды повышенной увлажненности

может составить около 180 кг/га, что следует из продукции зоопланктона и зообентоса.

Для рационального использования природных ресурсов оз. Чаны необходимо зарыбление озера личинками байкальского омуля (личное сообщение О.П. Парамонова), подращивание личинок сиговых в оз. Урюм, использование заливов оз. Чаны и близлежащих озер для товарного выращивания сиговых и сазана. Без проведения этих мероприятий и регулирования водно-солевого баланса водоема даже в период повышенной увлажненности уловы в оз. Чаны не превысят 50 тыс. ц (табл. 93). Благоприятный момент для повышения рыбопродуктивности водоема — отсутствие его загрязнения.

6.3 Выводы и предложения

Среди многочисленных озер СССР оз. Чаны хорошо известно своими рыбными запасами, водоплавающей птицей, возможностями рыбоводства и ондатроводства и т.д. До недавнего времени уловы в нем колебались от 25 (1973 г.) до 55 тыс. ц (1976). В 60-е годы текущего столетия (в связи с понижением общей увлажненности) рыбное хозяйство оз. Чаны оказалось под угрозой.

Неблагоприятное состояние водных ресурсов бассейна оз. Чаны в 70-х годах текущего столетия, выразившееся в высыхании многих мелких озер и обмелении крупных, в иссушении некогда цветущих степей, привело к мысли о целесообразности если не полного восстановления былой хозяйственной славы этого бассейна, то хотя бы возвращения ему серьезного хозяйственного значения, что возможно при поддержании уровня оз. Чаны на отметке 107.0 м Б.С.

Задача мелиорации озера понимается, как создание оптимального водного и солевого режима для рыбного и охотничьего хозяйств. В табл. 95 приводятся предложения по мелиорации оз. Чаны (Понько, 1975а; Шнитников, 1976).

В 1971 г. было осуществлено предложение А.Н. Петкевича (табл. 95). Недостаток такого решения — не только выведение из хозяйственного использования Юдинского плёса и его усыхание, но и временный эффект этого мероприятия (подъем воды в восточной части достигал 1,5 м), так как естественная тенденция природных процессов приводит к снижению уровня воды и в восточной, более обеспеченной водой части озера. Этот проект не устранил повышения минерализации воды в озере — главного препятствия для всех видов использования водоема.

С целью обводнения центральной и западной частей оз. Чаны необходимо путем сооружения небольшого канала от р. Оби ниже Новосибирской плотины до верховьев р. Чулым перебрасывать в оз. Чаны 0,30–0,35 км³ воды в год (Шнитников, 1976). Для восстановления уровня озера, упавшего после отделения Юдинского плёса, до порога стока (107,0 м Б.С.—107,1 м Б.С.) требуется 2,5–4 км³ воды. Далее предусматривается создание хозяйственной системы цепочки проточных озер вплоть до сброса отработанных вод в р. Ир-

Мелиорация оз. Чаны (по В.А. Понько, 1975а)

Автор	Период	Вид работы
И.И. Жилинский	Конец XIX-начало XX в. 1912 г. (фаза естественного подъема уровня до 1914 г.)	Сброс в котловину озера вековых запасов вод за счет осушения болот Создание копь-канала, соединившего оз. Яркуль с Чиняихинским плёсом
В.А. Мичков и П.И. Сенаторов	1934 г. (маловодная фаза)	Обводнение оз. Чаны водами рек Оби и Оми.
В.А. Мичков	1939 г.	Зарегулирование уровня оз. М. Чаны путем постройки дамбы и шлюза на Кожурлинской протоке
Главрыбвод	1944 г. (с 1950 г. наступил подъем уровня)	Последовательное улучшение гидрологического режима плёсов путем их разделения
А.Н. Петкевич	1959 г.	а. Обводнение М. и Б. Чанов путем привлечения вод из р. Оби б. Пополнение озера из р. Оми в. Локальное регулирование уровня озера путем отчленения западного засоленного Юдинского плёса (700 км ²)

тыш с предварительной промывкой как оз. Чаны, так и озер этой системы. Положительный момент такого преобразования - сохранение заимствованных вод в Обском бассейне (рис. 21).

Создание такой водохозяйственной системы приведет к радикальному преобразованию и улучшению всего рыбного хозяйства бассейна, возрождению пушного хозяйства, организации птицеводства, орошению сельскохозяйственных территорий, созданию заповедников флоры и фауны, использованию ряда озер в рекреационных целях.

Институт озерадения АН СССР в 1976-1978 гг. выполнил цикл исследовательских работ на оз. Чаны и в его бассейне, позволивших научно обосновать предложения о переброске части стока р. Оби для



Рис. 21. Возможное водохозяйственное преобразование системы оз. Чаны - состояние системы в ХУШ в. (1787 г.) и пути ее возможного преобразования (Шнитников, 1976).

1 - заборный канал; 2 - сбросной канал; 3 - оз. Абышкан; 4 - оз. Сумы-Чебаклы; 5 - вариант канала по долине р. Карасук.

восстановления оз. Чаны и создания цепочки озер к западу от него (Пульсирующее озеро Чаны, 1982).

1. В условиях нарушенного естественного режима оз. Чаны после отделения Юдинского плёса формирование водного баланса озера к 2000 г. будет происходить в соответствии с внутривековыми колебаниями общей увлажненности климата: для внутривековой изменчивости будут характерны короткие фазы трансгрессий и регрессий порядка 10-12 лет.

2. Использование бассейна оз. Чаны в сельском хозяйстве зависит от водности территории, а ее постоянные колебания создают дополнительные трудности в его интенсификации. Становится все более очевидным, что только переброска вод в этот район может обеспечить рост урожайности сельскохозяйственных культур.

3. Для оптимального использования оз. Чаны в народном хозяйстве необходимо преобразование водной системы с добавлением вод из р. Оби, восстановление Юдинского плёса и создание проточной системы со сбросом вод по цепочке озер в р. Иртыш (Шнитников, 1976). Это преобразование необходимо осуществить в ближайшие годы, ибо на рассматриваемой территории природное состояние общей увлажненности в ближайшие 20 лет не улучшится.

4. Озеро Чаны - высококормный водоем (биомасса зоопланктона - 9-10 г/м³, бентоса - 7.6 г/м²), развитие рыболовства в нем определяется состоянием водных ресурсов и общей минерализацией. При естественном, природном, понижении уровня до 105.8 м Б.С. минерализация воды к 2000 г. возрастет до 7 г/л. В этих условиях уловы упадут до 13 тыс. ц в год (средние уловы 50-60 тыс. ц).

Переброска части стока р. Оби позволит поддержать уровень воды в оз. Чаны на отметке 106.0 м Б.С., а общую минерализацию - на уровне 6-6.5 г/л. В этих условиях уловы возрастут до 70-80 тыс. ц в год.

Л и т е р а т у р а

- А л е к и н О.А. Основы гидрохимии. Л., 1970. 443 с.
- Б а е в а А.А., Б е р е ж н ы х Т.В. Водный баланс оз. Чаны и многолетняя изменчивость его составляющих. - Тр. ЗСРНИГМИ, 1976, вып. 22, с. 38-43.
- Б а з и л е в и ч Н.И., К у р а ч е в В.М. Ландшафтная характеристика района исследований. - В кн.: Структура, функционирование и эволюция системы биоценозов Барабы. Т. I. Новосибирск, 1974, с. 24-28.
- Б е л и н к о в С.Ю. Особенности водного режима озер Барабинской низменности. - Тр. ГПИ, 1953, вып. 38, с. 168-174.
- Б е р е з о в с к и й А.И. Рыбное хозяйство на Барабинских озерах и пути его развития. Красноярск, 1927. 68 с.
- Б е р е з о в с к и й А.И. Мелиорация в рыбном хозяйстве. М.; Л., 1935. 76 с.
- Б и т ю к о в Э.П. Кормовая база оз. Чаны. - В кн.: Развитие озерного рыбного хозяйства Сибири. Новосибирск, 1963, с. 23-28.
- В и к у л и н а З.А. Водный баланс озер и водохранилищ земного шара. - Тр. ГПИ, 1973, вып. 203, с. 248-262.
- В л а с о в В.П. Зимний термический и ледовый режим оз. Чаны. - В кн.: Озера Срединного региона. Л., 1976, с. 281-332.
- Г у с е в А.Г. Гидрологическая и гидрохимическая характеристики оз. Б. Чаны, Яркуль, Сартлан. - Изв. ВНИОРХ, 1948, т. 25, вып. 2, с. 58-92.
- Д у л ь к е й т Г.Д., Б а ш м а к о в В.Н., Б а ш м а к о в а А.Я. Барабинские озера и их рыбное хозяйство. - Тр. Зап.-Сиб. отд. ВНИОРХ, 1935, т. 2, с. 18-48.
- З в е р е в а О.С. Количественный учет и биологические черты оз. Чаны. - Тр. Сиб. ихтиолог. лабор., 1927, т. 11, вып. 4, с. 3-24.
- И о г а н з е н Б.Г. Гидробиологические исследования Западной Сибири. - Тр. Томск. ун-та, 1948, т. 100, с. 49-89.
- И о г а н з е н Б.Г., П е т к е в и ч А.Н. Рыбное хозяйство Барабинских озер и пути его развития. Новосибирск, 1954. 85 с. (Тр. ВНИОРХ).
- К л и м о в Ю.П., К о р с а к о в Г.К. Размещение и численность ондатры. - В кн.: Биологическое районирование Новосибирской области. Новосибирск, 1969, с. 77-86.
- К о н о п л е в Е.И. Динамика численности основных промысловых рыб оз. Чаны: Автореф. канд. дис. Л., 1969. 15 с.
- Н о в о с и б и р с к а я о б л а с т ь. Природа и ресурсы. Новосибирск, 1978. 152 с.
- Н о в о с и б и р с к о е в о д о х р а н и л и щ е и озера Средней Оби. Л., 1979, с. 110-154.
- П е т к е в и ч А.Н. Состояние рыбных запасов оз. Чаны и пути их улучшения. - В кн.: Биологические основы рыбного хозяйства. Томск, 1959, с. 279-286.

- Петкевич А.Н. Биологические основы рационального рыбного хозяйства на озерах Барабы и Кулунды. – В кн.: Матер. к 8 Пленуму Зап.-Сиб. отд. Ихтиолог. комис. Новосибирск, 1963, с. 13–28.
- Пирожников П.Л. Исследование и использование водоемов Сибири. М., 1932. 173 с.
- Понько В.А. Мелиорация оз. Чаны и ее перспективы. – В кн.: Инженерно-географические проблемы при строительстве в Сибири. Л., 1975а, с. 29–38.
- Понько В.А. О возможности сверхдолгосрочного прогноза уровней внутренних морей и озер Срединного региона. – В кн.: Природные условия Западной Сибири и переброска стока рек в Среднюю Азию. Новосибирск, 1975б, с. 113–123.
- Понько В.А. Фоновые прогнозы стока уровней озер Верхней Оби. – В кн.: Географические проблемы при сельскохозяйственном освоении Сибири. Новосибирск, 1977, с. 87–96.
- Пульсирующее озеро Чаны. Л., 1982. 304 с.
- Сляднев А.П. Агроклиматические ресурсы Барабы. – В кн.: Вопросы мелиорации Барабинской низменности. Новосибирск, 1970, с. 20–40.
- Тархов Е.В., Тошак ова И.Н. Водный баланс оз. Чаны. – Тр. ЗСРНИГМИ, 1980, вып. 43, с. 13–19.
- Указания для расчета испарения с поверхности водоемов. Л., 1969. 84 с.
- Шнитников А.В. О внутривековых колебаниях уровня степных озер на юго-востоке центра европейской части СССР. – Тр. Лабор. озеровед. АН СССР, 1953, т. 11, с. 93–107.
- Шнитников А.В. Озера Западной Сибири и Северного Казахстана и многовековая изменчивость увлажненности степей. – Тр. Лабор. озеровед. АН СССР, 1957, т. 5, с. 5–63.
- Шнитников А.В. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности. Л., 1969. 245 с.
- Шнитников А.В. Большие озера Срединного региона и некоторые пути их использования. – В кн.: Озера Срединного региона. Л., 1976, с. 5–133.

7.1. Современное состояние озера

Физико-географические условия и морфометрия

Озеро Балхаш (по-казахски Ак-Денгиз), расположенное на высоте 343 м над уровнем моря, занимает наиболее низкую часть обширнейшей депрессии Казахстана, ограниченную с севера Центральным Казахским мелкосопочником, а с юга — хр. Джунгарским и Заилийским Ала-Тоо, входящими в систему Тянь-Шаня.

Водосборный бассейн общей площадью более 500 тыс. км² расположен к югу и юго-востоку по отношению к самому озеру.

Озеро Балхаш вытянуто с запада на восток почти на 600 км и резко разделяется на две совершенно самостоятельные части: более широкую, но и более мелкую, имеющую простираение с юго-запада на северо-восток, западную и весьма узкую, но более глубокую, простирающуюся с запада на восток, восточную (рис. 22). Граница между этими частями Балхаша, проходящая почти по середине озера, представляет собой узкий пролив Узун-Арал шириной 3,8–4,2 км и наименьшей глубиной 2,8–3,3 м. Этот пролив играет весьма большую роль в водном режиме и состоянии как озера в целом, так и его частей в отдельности.

Вследствие котловинного характера рельефа водосборного бассейна Балхаш является бессточным озером, что в условиях аридного климата неизбежно приводит к осолонению его вод. Кроме того, котловинность рельефа обуславливает целый ряд местных особенностей в циркуляции атмосферы, распределении осадков и стока речных вод в озеро.

Озеро Балхаш, как и его бассейн, расположено в условиях резко континентального климата с весьма малым увлажнением и большим диапазоном летних и зимних температур. Общая циркуляция атмосферы складывается под воздействием четырех элементов: 1) меридиональной циркуляции с юга; 2) меридиональной циркуляции с севера (арктические вторжения); 3) зональной циркуляции с запада (атлантические вторжения); 4) процессов трансформации воздушных масс.

Зима является периодом вторжения арктического воздуха, хотя с осени до весны часто отмечаются теплые и сухие юго-восточные ветры, имеющие местное название эбе. Весна на Балхаше в силу малоснежности зимы очень коротка и сопровождается значительными северо-западными и юго-восточными ветрами. Лето жаркое, с температурой до 48°. Осень характеризуется жаркими днями и холодными ночами.

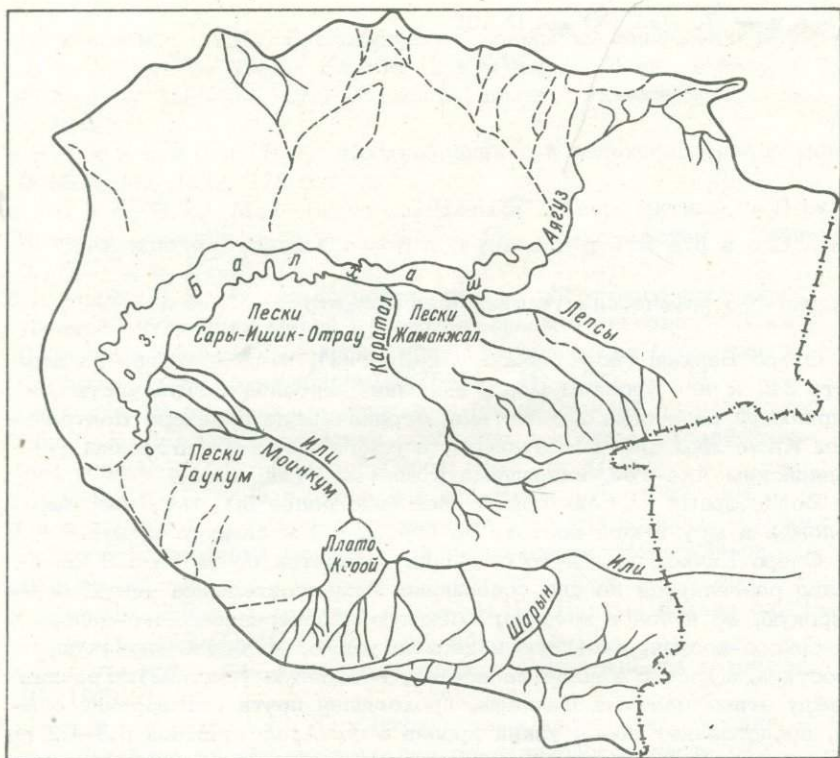


Рис. 22. Схема бассейна оз. Балхаш.

Количество осадков в Балхашской котловине свидетельствует о ярко выраженной аридности климата, степень которой также закономерно изменяется в зависимости от рельефа. На дне котловины в Западном Балхаше в течение года выпадает 90–95 мм осадков, в Восточном – 142 мм, а на северных склонах гор южного обрамления бассейна – обычно от 300 до 350 мм, т.е. в 3–4 раза больше, чем в Прибалхашье.

Почвенно-растительный покров Балхашской котловины весьма неоднороден и отражает как особенности рельефа, так и влияние последнего на распределение осадков. Склоны возвышенностей представляют собой переходы от пустыни к степям, лугам и хвойным лесам. В горах имеются ледники, окаймленные россыпями камней, покрытых лишайниками.

Для гидрографии бассейна озера характерно различие между его северной и южной частями. В северной части речная сеть весьма редка, густота ее колеблется от 0,20 до 0,50 км/км², в равнинной части падает до 0,01 км/км². В южной же части, в горных районах, она возрастает до 0,60–1,20 км/км², а иногда и до 2,5–3,0 км/км²,

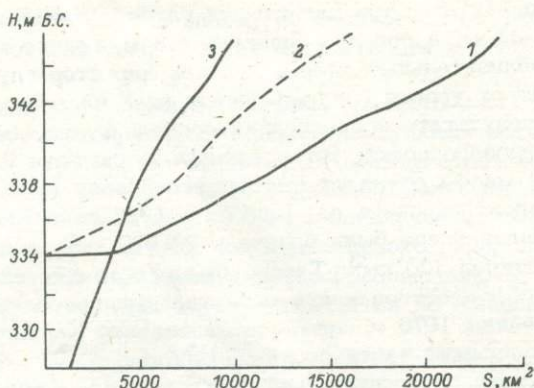


Рис. 23. График зависимости площади оз. Балхаш от его уровня.

1 - все озеро; 2 - Западный Балхаш; 3 - Восточный Балхаш.

исключением являются лишь наиболее высокогорные районы, где густота речной сети снижается.

В бассейне оз. Балхаш насчитывается более 52 600 рек и временных водотоков общей протяженностью 137 200 км. Наиболее значительными реками являются Или, Каратал, Лепсы, Аксу, Аягуз. Суммарный годовой сток их за период с 1911 по 1969 г. равен $15,6 \text{ км}^3/\text{год}$.

Объем стока р. Или в оз. Балхаш составляет в среднем многолетнем выражении около 78% общего притока поверхностных вод в озеро.

Следует отметить, что гидрографическая сеть северной части бассейна озера по характеру годового стока и его внутригодовому распределению весьма отличается от речных систем, стекающих с хребтов южного обрамления Балхашского бассейна. Как и во всех озерах семиаридной зоны, в рассматриваемом бассейне на внутригодовое распределение стока и, следовательно, на условия питания озера наибольшее влияние оказывает многолетняя изменчивость условий общей увлажненности территории.

Вследствие малой глубины озера и низменных южных и западных побережий даже относительно небольшие колебания уровня приводят к заметным изменениям его размеров. Длина западной части озера колеблется от 284 до 296 км, восточной - от 309 до 318 км, длина всего озера составляет 588-614 км. Ширина западной части достигает 60 км, а ширина восточной колеблется от 9 до 48 км (Ресурсы..., 1970).

Восточная часть озера значительно глубже западной; наибольшая глубина здесь достигает 26,5-27,0 м, а средняя составляет около 8,8-9,0 м. Зона больших глубин Западного Балхаша расположена вдоль северного и западного побережий, к югу глубины уменьша-

ются. Принято считать, что наибольшая глубина западной части не превышает 10–11 м, а средняя близка к 4,8 м, однако это лишь условные, приблизительные цифры, так как характер глубин здесь сильно зависит от уровня озера. Средняя глубина озера в целом 6,5–6,8 м. В результате исследований последних лет, выполненных институтом Казгидропроект, установлены зависимости площади и объема водной массы озера от высоты его уровня (рис. 23).

Средний годовой уровень оз. Балхаш в 1969 г. имел отметку 342,72 м, площадь озера была близка к 20 000 км², а объем водной массы достигал 120 км³. Таково было состояние озера в последний год его существования в естественных природных условиях, так как с середины 1970 г. началось заполнение Капчагайского водохранилища и изъятие части стока р. Или.

Дно оз. Балхаш на подавляющей части площади сложено современными отложениями, сквозь которые лишь на ограниченных участках выступают древние образования. Наиболее полные сведения о современных осадках оз. Балхаш содержатся в работе Д.Г. Сапожникова (1951). Все осадки Балхаша он предложил расположить в следующий ряд: 1) глыбы, 2) галька и гравий, 3) илистый песок (содержит до 40% частиц размером < 0,01 мм), 4) песчаный ил (содержит от 40 до 70% частиц размером < 0,01 мм), 5) ил (содержит более 70% частиц размером < 0,01 мм), 6) балхашит, 7) торф.

Скопления глыб тяготеют к скалистым берегам. Состав глыб, как правило, сходен с составом коренных пород.

Галька и гравий, а также щебнистые породы развиты в прибрежной зоне, а также на дне проливов, где наряду с окатанным материалом содержится до 70% неокатанных обломков.

Илистые пески объединяют группу осадков, на 60–90% сложенных песчаным и алевритовым материалом. Остальной состав приходится на глинистый и карбонатный материал. Распространены илистые пески довольно широко, они тяготеют к области мелководья и к проливам, где существует постоянное перемещение водных масс.

К песчаным илам относится группа осадков, содержащая от 40 до 70% глинистого и карбонатного материала и от 60 до 30% алевритового и песчаного. Песчаные илы распространены весьма широко, они связаны постепенным переходом с илистыми песками, а в открытых частях озера переходят в илы.

Серый известковистый ил является господствующим типом осадков оз. Балхаш. В свежем состоянии это полужидкий осадок, бесструктурный и однородный, содержащий от 40 до 60% воды. Отложения серого ила концентрируются в глубоких частях озера. Минералогический состав белых илов отличается однообразием и сходен с составом серых илов. Химический состав белых илов интересен высоким содержанием магния, что необычно для современных пресноводных бассейнов. Белый ил отмечается в наиболее глубоких частях озера.

Доломит встречен в колонке донных отложений в средней части Бурлю-Тюбинского плёса (Сапожников, 1942). Внешне он сходен

с белыми известковистыми илами, но отличается от них значительной сцементированностью, близкой по плотности к белому писчему меду.

Остракодовый ил сложен в основном глинисто-известковистой тонкозернистой массой, переполненной скорлупками остракод.

Балхашит и торф — это современные донные отложения, образованные скоплением органического вещества. Балхашит — коричневатобуряя масса, она состоит из смеси органических соединений, в которых главную роль играют кислоты жирного ряда, сложные углеводороды из группы парафинов и воскообразные эфиры. Это ценное полезное ископаемое чаще всего встречается на западном берегу озера.

Погребенные торфяники вскрыты в трех колонках в средней части озера к юго-западу от г. Балхаш. Торф залегает на глубине 10–15 см под слоем илистого карбонатного песка. Мощность прослоев торфа 7–10 см. Кроме того, прослой торфа обнаружены на нижней озерной террасе. Местное население использует его в качестве топлива.

Гидрологический режим

В бассейнах рек, несущих свои воды в оз. Балхаш, можно выделить две четко разграниченные природно-климатические зоны: зону формирования стока, расположенную в горной части их водосбора, где водопотребление на хозяйственные цели незначительно, и зону рассеивания стока — от выхода рек из гор до впадения их в оз. Балхаш, где происходят естественные потери на бессточных участках и в дельтах. В этой зоне осуществляется интенсивное использование водных ресурсов народным хозяйством, в первую очередь на орошение.

Суммарный естественный среднемноголетний сток рек Или, Каратал, Лепсы и Аксу на выходе из гор составляет 20.6 км^3 в год. Безвозвратные потери стока на участке от выхода из гор до замыкающих створов в естественных условиях в среднем равняются $2-6 \text{ км}^3$. В дельтах рек дополнительно безвозвратно теряется часть речного стока на испарение с водной поверхности многочисленных водоемов и на транспирацию влаголюбивой растительностью. По данным Казгидропроекта, потери в дельте р. Или в зависимости от водности года варьируют от 2 до 5 км^3 в год. Средняя многолетняя величина потерь за 1911–1969 гг. оценивается в 3.7 км^3 .

В естественных условиях ежегодно реки выносили непосредственно в оз. Балхаш в среднем около 16 км^3 воды, в том числе р. Или — $> 12.0 \text{ км}^3$ в год, а реки Каратал, Лепсы и Аксу — 3.8 км^3 в год.

Анализ многолетней изменчивости годового стока рек и колебаний уровня оз. Балхаш позволил выявить многоводные и маловодные периоды. В маловодные 1948–1951 гг. среднегодовой сток р. Или в створе Учжарма составлял 12 км^3 в год. Периоды пониженной водности характеризовались стоком (в том же створе) от 10.8 до

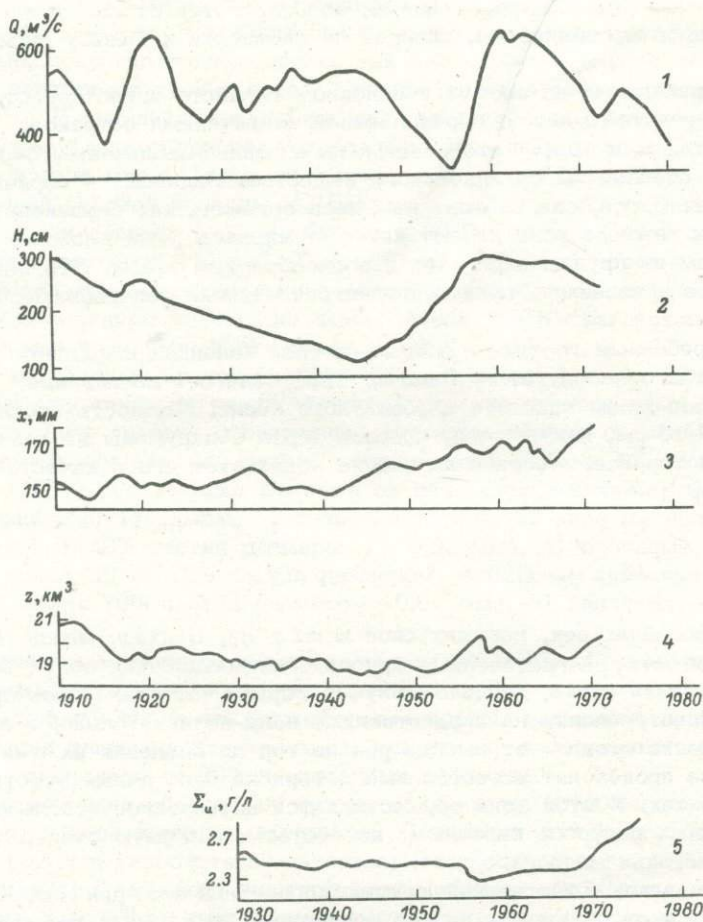


Рис. 24. Колебания основных элементов режима оз. Балхаш, 5-летние скользящие.

1 - сток р. Или (п. Учжарма); 2 - уровень озера; 3 - осадки на озеро; 4 - испарение с озера; 5 - минерализация воды озера.

12.5 км³ в год. В период повышенной водности 1952-1969 гг. сток составил 15.1 км³ в год. Величины естественного стока р. Или колеблются в пределах 10.8-21 км³ в год.

Годовой сток в створе Учжарма в зарегулированный период (1970-1980 гг.) изменялся от 9 до 12 км³ в год, потери в дельте за этот период по расчетам Казгидропроекта составили 3 км³ в год.

Т а б л и ц а 96

Водный баланс оз. Балхаш за 1946-1966 гг.

Единицы изме- рения	Приход				Расход	Изме- нение запа- сов воды	Невязка баланса
	поверх- ност- ный приток	под- зем- ный приток	осадки	всего	испа- рение		
км ³	14.70	0.80	2.74	18.24	18.0	1.69	1.45
мм	816	44	152	1012	1000	94	82
%	80,6	4,4	15,0	100	100		

Т а б л и ц а 97

Водный баланс Восточного Балхаша за 1946-1966 гг.

Единицы изме- рения	Приход					Расход	Изме- нение запасов воды
	поверх- ност- ный приток	под- зем- ный приток	осадки	приток из За- падно- го Бал- хаша	всего	испа- рение	
км ³	3.20	0.48	1.14	3.38	8.20	7.50	0,70
мм	426	64	152	452	1094	1000	94
%	39,0	5,9	13,9	41,2	100	100	

Общий фон спада стока рек с начала 20-х годов, вплоть до середины 50-х, сказался и на ходе уровня оз. Балхаш. Самый низкий уровень оз. Балхаш за последнее столетие наблюдался в 1946 г. и соответствовал 340,7 м. Как видно из рис. 24, со второй половины 40-х годов последовало постепенное повышение уровня, продолжавшееся вплоть до 1961 г., когда уровень озера достиг максимума, 343 м Б.С. Затем он стабилизировался на отметках 342,6-342,8 м Б.С. За последние 100 лет амплитуда колебания уровня была порядка 3,5 м. За 10 лет, предшествовавших времени создания Капчагайского водохранилища, т.е. за 1960-1969 гг., уровень стабилизировался на довольно высокой отметке 342,8 м. Отклонения среднегодовой величины уровня отдельных лет достигали в среднем 15 см.

После перекрытия р. Или в 1970 г. отмечается непрерывное падение уровня, которое в 1978 г. привело к отметке 341,24 м Б.С.

Водный баланс Западного Балхаша за 1946–1966 гг.

Единицы измерения	Приход				Расход			Изменение запасов воды
	поверхностный приток	подземный приток	осадки	всего	испарение	отток в Восточный Балхаш	всего	
км ³	12,95	0,32	1,60	14,87	10,50	3,38	13,88	0,99
мм	1230	30	152	1412	1000	318	1318	94
%	87,0	2,2	10,8	100	65,7	24,3	100	

В 1980 г. общее снижение уровня оз. Балхаш с момента наполнения Капчагайского водохранилища достигло 1,6 м.

Наиболее высокий уровень в озере отмечается в марте–июне. Месяцы с наибольшей величиной речного стока – июль–август – оказываются месяцами со значительным понижением уровня, обусловленным наступлением годового максимума испарения воды с поверхности озера. Снижение уровня происходит вплоть до ледостава. В период ледостава, в ноябре–декабре, наблюдается минимальный уровень. Зимние подъемы уровня обычно незначительны и чаще всего не превышают 29 см, а в среднем составляют 17 см.

Впервые водный баланс оз. Балхаш был разработан А.В. Шнитниковым в 1936 г. на основе косвенных сведений. Тем не менее все составляющие, за исключением испарения с водной поверхности, были исчислены в пределах, близких к современным, так что принципиальная структура водного баланса оказалась верной (Абросов, 1973).

В последующие годы водный баланс озера составлялся рядом авторов (Юнусов, 1950; Искендеров, 1968; Курдин, Рубинович, 1975б; Шнитников, 1976). Группой авторов были составлены средние многолетние водные балансы для Западного и Восточного Балхаша и в целом для озера, отражающие условия его естественного режима (табл. 96–98; Курдин и др., 1969).

Колебания водного баланса и уровня озера до 1970 г. определялись колебаниями климата, а также изменением доли потерь стока в дельте р. Или. С 1946 г. на озере наблюдалась фаза подъема (1946–1961 гг.), перешедшая в фазу стабилизации при высокой отметке уровня, которая в 1970 г. была нарушена заполнением Капчагайского водохранилища при снижении фоновых значений поверхностного притока к вершинам дельты р. Или (Курдин, Рубинович, 1975б).

В настоящее время в связи с заполнением Капчагайского водохранилища приток в озеро сократился более чем на 2 км³ в год.

В Балхаше наблюдаются течения двух типов – временные, включающие стгонно–нагонные и компенсационные, и постоянное течение, направленное от устья р. Или к противоположному берегу; отклоняясь от него на север–восток, оно достигает прол. Узун–Арал, раз-

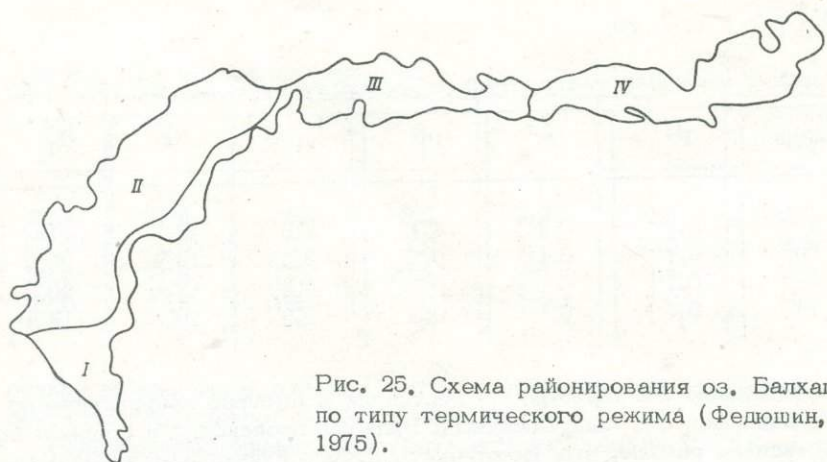


Рис. 25. Схема районирования оз. Балхаш по типу термического режима (Федюшин, 1975).

деляющего Западный и Восточный Балхаш, и разбивается на множество завихрений. Возникшие при завихрении потоки от пролива движутся на юг, где образуют огромный размера водоворот, охватывающий пространство от п-ова Бертис и прол. Узун-Арал до урочища Корс на южном берегу озера.

Проникновение илийских вод в Восточный Балхаш через прол. Узун-Арал обусловливается разностью уровней между Восточным и Западным Балхашом, вызванной тем, что реки Лепсы и Каратал не полностью компенсируют испарение с водной поверхности Восточного Балхаша. По данным Г.Р. Юусова (1950), круговое течение в Западном Балхаше в зимний период почти полностью прекращается. Летом же воды кругового течения на участке своего следования от уроч. Корс до пос. Семиз-Куль под влиянием напора вод р. Или частью вновь вовлекаются в общий круговорот и заново проделывают тот же путь, а частью завихряются. В результате огромные массы воды, растворенных солей и тонкого обломочного материала, вносимые р. Или, распределяются по всему Западному Балхашу и через прол. Узун-Арал временными течениями выносятся в Восточный Балхаш.

В весенние, летние и осенние месяцы, когда водоем свободен ото льда, наблюдаются временные течения. Наибольшей интенсивности они достигают в периоды действия сильных ветров. В периоды штилей и в зимние месяцы эти течения практически отсутствуют. Весной и осенью ветровое поднятие уровня у берегов достигает 1 м.

В соответствии с морфометрическими характеристиками оз. Балхаш по термическому режиму делится на несколько районов (рис. 25).

Самый ранний прогрев всей толщи воды подо льдом начинается в конце февраля-начале марта в первом мелководном районе, тогда как на остальной акватории озера сохраняется зимний подледный режим. После вскрытия озера вследствие интенсивной конвекционно-ветровой циркуляции, охватывающей всю толщу воды, происходит

Средняя месячная температура поверхности воды оз. Балхаш (по

Район	I	II	III	IV	V	VI
I	0,2	0,3	1,7	7,6	16,1	21,6
II	0,1	0,1	0,5	4,4	13,4	20,3
III	0,1	0,1	0,5	4,4	13,4	20,3
IV	0,1	0,1	0,3	2,8	10,8	18,4

выравнивание температуры по вертикали и быстрое прогревание до 4° . Очищение ото льда Западного Балхаша происходит в среднем на две недели раньше, чем Восточного, отчего существует запаздывание в росте температур во втором, третьем и четвертом районах по сравнению с первым мелководным. Максимальные температуры на поверхности воды (более 23°) во всех районах отмечаются в середине июля. Затем начинается охлаждение, и в середине августа температура на поверхности воды по всему озеру выравнивается и снижается до 22° . Вследствие малых глубин и интенсивной ветровой деятельности как летнее нагревание вод, так и осеннее охлаждение происходит в условиях, близких к гомотермии.

Период осеннего охлаждения в каждом из выделенных районов имеет свои особенности. Температуры поверхности воды в третьем и четвертом районах остаются более высокими, чем в остальных двух районах, вплоть до ледостава.

Мелководные районы озера в результате интенсивной циркуляции, охватывающей всю толщу воды, быстро истощают свои запасы тепла и замерзают при очень низкой температуре. Осенне-зимнее охлаждение завершается ледоставом при температуре воды $0,4-0,6^{\circ}$ в первых трех районах и $0,6-1,5^{\circ}\text{C}$ - в четвертом. За период ледостава происходит повышение придонной температуры воды на несколько десятых градуса.

Наиболее показательна для термического режима мелководных бассейнов температура поверхности воды. Амплитуда колебаний температуры свидетельствует о значительной изменчивости термических условий в районах озера (табл. 99).

Измерения радиационного баланса и расчет составляющих теплового баланса были выполнены в 1955 г. Т.В. Кирилловой и Т.А. Огневой (1958). По их данным, суточные суммы затрат тепла на испарение близки к постоянной величине, т.е. испарение в дневное и ночное время примерно одинаково; затраты тепла на турбулентный теплообмен составляют незначительную долю (в летний период они не превышают 10%) по сравнению с затратами тепла на испарение; роль турбулентного потока повышается лишь в осенний период, и особенно в

районам, °С) за период 1960–1972 гг.

	УII	УIII	IX	X	XI	УII	Среднее за год
	23.4	21.5	16.2	9.5	2.9	0.3	10.1
	22.9	21.5	16.2	9.5	2.9	0.3	9.3
	22.9	21.6	17.0	10.2	3.8	0.4	9.6
	22.0	21.6	16.0	11.4	5.4	1.0	9.2

ночное время, когда затраты тепла на турбулентный теплообмен достигают 60% затрат тепла на испарение.

Радиационный баланс (ккал/см²·мес), по данным Т.В. Кирилловой и Т.А. Огневой, выражается следующими величинами:

У	УI	УII	УIII	IX	X	
12.2	11.9	12.2	10.8	6.7	1.9	55.7

Средний запас тепла в озере в течение года колеблется от $13.4 \cdot 10^9$ до $2483 \cdot 10^9$ ккал. Наименьший запас тепла приходится на февраль, наибольший – на июль. По термическому режиму Балхаш можно отнести к тепловодным озерам умеренной зоны (Абросов, 1973).

Химический состав воды

В гидрохимическом отношении оз. Балхаш является уникальным водоемом. Минерализация и соотношение главных ионов в воде озера закономерно изменяются по его длине с запада на восток. Многолетними наблюдениями (1929–1970 гг.) установлено, что в юго-западной части озера минерализация колеблется от 0,60 до 1,22 г/л, а в самом восточном плесе – от 3,8 до 5,2 г/л. По составу воды относятся к сульфатному классу группы натрия с повышенным содержанием хлоридов, но с ростом минерализации по длине озера уменьшается относительное содержание ионов HCO_3^- , CO_3^{2-} , Ca^{2+} , а содержание ионов Cl^- , SO_4^{2-} , Mg^{2+} , Na^+ + K^+ увеличивается (табл. 100).

Метаморфизация ионного состава воды оз. Балхаш обусловлена выпадением карбонатов кальция и магния, а также некоторой потерей сульфатов и ростом содержания хлоридов. Отношение Cl/SO_4 возрастает с запада на восток с 0,8 до 0,9 (Сапожников, 1942; Кошин, 1945; Страхов, 1945; Алейкин, Тарасов, 1956; Тарасов, 1961).

Указанная особенность ионного состава воды объясняется сочетанием ряда физико-географических факторов. Главными среди них

Т а б л и ц а 100

Средний ионный состав воды оз. Балхаш за 1970 г. (мг/л)

Район	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	$\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$	SO_4^{2-}	Cl^-	$\Sigma_{\text{и}}$
I	35	65	243	247	342	191	1123
II	32	70	272	278	380	228	1260
III	30	75	286	288	412	241	1332
IV	30	75	275	282	401	250	1313
V	28	119	648	367	928	549	2639
VI	22	126	812	383	985	635	2963
VII	21	153	957	494	1100	759	3484
VIII	18	229	1110	576	1470	907	4310
Увеличение содержания ионов по длине озера, число раз	0,51	3,52	4,57	2,33	4,30	4,75	3,84

являются форма котловины, вытянутая с запада на восток на 600 км в условиях засушливого климата, и сосредоточение основного источника водного питания в юго-западной оконечности озера. Бессточность озерной котловины и высокое испарение обуславливают концентрацию илийских вод по мере их продвижения с запада на восток. Воды р. Или имеют сравнительно невысокую минерализацию, ее среднегодовые значения колеблются от 0,25 до 0,37 г/л и увеличиваются в многоводные годы за счет вымывания легкорастворимых соединений из почв и пород, слагающих прирусловые участки реки. По составу ионов воды реки относятся ко второму типу, к гидрокарбонатному классу группы кальция.

Бессточность балхашской котловины способствует накоплению солей в озерной воде. Однако если учесть возраст озера, определяемый в 5-6 тыс. лет (Джуркашев, 1972), то нетрудно убедиться, что в течение этого отрезка времени в воде мог бы сформироваться гораздо больший объем солей, чем насчитываемый в настоящее время. М.Н. Тарасов подсчитал, что существующий запас солей оз. Балхаш мог бы накопиться всего за 50 лет, а с учетом выпадения карбонатов кальция и магния в осадок — за 120 лет. Причина сравнительно высокой концентрации солей в озере — расход солей, которым, по мнению О.А. Алекина (Алекин, Тарасов, 1956), для бессточных котловин является потеря части солей в отчленяющиеся при падении уровня заливы с последующим их высыханием и развеванием эоловым путем. Ее доля в расходной части солевых балансов, составленных для разных периодов су-

Минерализация воды оз. Балхаш (г/л) до и после
зарегулирования стока р. Или

Год	Гидрохимические районы озера							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1970	1.12	1.26	1.33	1.31	2.64	2.96	3.48	4.31
1977	1.43	1.58	1.83	2.10	3.30	3.66	4.50	5.14

ществования озера, велика – от 36 до 42% (Шнитников, 1976; Тарасов, 1961).

При проектировании каскада водохранилищ на р. Или предполагалось, что изъятие части стока реки на заполнение Капчагайского водохранилища не вызовет значительного повышения минерализации воды в озере, так как солевые запасы, пополняемые в основном стоком р. Или, должны сократиться. В действительности минерализация воды уже в 1972–1973 гг. во всех гидрохимических районах озера заметно выросла и к 1977 г. была уже значительной (табл. 101).

Р.Д. Курдин и С.А. Рубинович (1975а) связывают повышение минерализации воды в западной части озера с перемещением солей из Восточного Балхаша в результате понижения уровня озера и деятельности ветра. Переток части солей из Восточного Балхаша должен был вызвать уменьшение запасов солей восточного плёса, однако в 1974–1976 гг. запасы солей обеих частей озера продолжали возрастать (рис. 26).

Высказывались предположения, что с понижением уровня воды в озере может увеличиться разгрузка грунтовых вод, залегающих на водосборе оз. Балхаш. В последние годы исследованиями Института гидрогеологии и гидрофизики АН КазССР установлено, что при наблюдаемом понижении уровня воды в озере (до 341.0 м) существенных изменений в объеме подземного стока в озеро не произойдет.

Возможным фактором повышения минерализации воды в оз. Балхаш в последние годы могло быть также увеличение поступления солей с водами р. Или на фоне падения уровня воды в озере. Влияние зарегулирования на изменение ионного стока по долине р. Или выявлено при анализе материалов по маловодной, многоводной и зарегулированной фазам. Так, среднегодовая минерализация илийских вод в период зарегулирования возрасла до 0.42 г/л вместо 0.25 г/л в маловодные и 0.37 г/л в многоводные годы (Давыдова, Позднякова, 1981). С увеличением минерализации, естественно, повысилась и сток солей в озеро, по величине приблизившийся к стоку солей в многоводные годы, а по объему вод – к периоду маловодных лет. Возможно на повышение минерализации воды озера повлияло и уменьшение потерь солей в берегах из-за уменьшения амплитуды колеба-

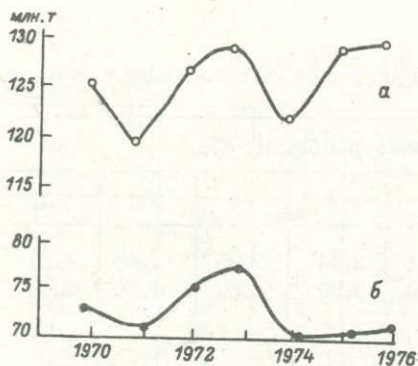


Рис. 26. Изменение запасов солей в Западном (а) и Восточном (б) Балхаше за 1970-1976 гг.

ния уровня в течение года, создавшегося при зарегулировании р. Или (табл. 102).

Следует также отметить, что вынос гидрокарбонатов кальция с водами р. Или в зарегулированный период по сравнению с естественным резко понизился, что привело к уменьшению выпадения карбонатов кальция в озере (45% против 61% от стока солей по Или) и соответственно к увеличению запасов его солей.

В период зарегулирования значительного сдвига в соотношении ионов в озерной воде не отмечалось, поэтому при расчете суммы ионов можно пользоваться уравнениями М.Н. Тарасова, выведенными для 1955-1958 гг. (Тарасов, 1961).

В отличие от компонентов ионного состава в изменении концентрации биогенных элементов и растворенных газов на акватории озера четкой пространственной закономерности не наблюдается. Для них характерно более равномерное распределение в водной массе.

Максимум содержания кислорода (15-16 мг/л и до 150% насыщения) приходится на конец зимы вследствие широкого развития подледного фотосинтеза. Минимум (4-9 мг/л и 34-110% насыщения) наблюдается в летний период, причем наиболее характерна для озера незначительная недонасыщенность воды кислородом. Это свидетельствует о преобладании в это время года процессов биохимического потребления кислорода над его поступлением. Стратификация кислорода незначительна из-за постоянного ветрового перемешивания и малых глубин озерной котловины. В целом вода оз. Балхаш характеризуется благоприятным кислородным режимом, заморных явлений на озере даже в годы с продолжительным периодом ледостава не отмечается.

Величина рН по акватории оз. Балхаш, определяемая в основном соотношением ионов карбонатной системы, повышается с запада на восток. В разные по водности и температурным условиям годы она колеблется от 7,8-8,2 в западной части озера до 9,0-9,2 в восточной.

Основным поставщиком биогенных элементов в озеро является р. Или. Концентрация аммонийного азота составляет 0,2-0,8 мг/л и

Среднегодовые объемы водного (км^3) и ионного стока (млн, т) по длине р. Или

Годы	Створ Капчагай		Створ Учжарма		Устье	
	км^3	млн. т	км^3	млн. т	км^3	млн. т
1948-1951	13.5	3.6	11.9	3.0	8.4	2.3
1958-1961	22.7	7.0	16.3	6.0	11.7	4.5
1973-1976	12.2	4.9	11.5	4.5	8.8	3.7

по длине реки от Капчагайского водохранилища до озера практически не меняется. Концентрации азота нитратов и нитритов в створах Капчагай и Учжарма равны соответственно 1-2 и 0,03-0,06 мг/л. При входе в озеро их содержание в воде реки уменьшается до 0,4 и 0,02 мг/л. Часть азота, вероятно, расходуется на развитие обширных тростниковых зарослей в дельте р. Или.

Зарегулирование стока р. Или Капчагайским водохранилищем не оказало заметного влияния на содержание минеральных форм азота в ее воде. Оно внесло резкие изменения только в сток фосфатных ионов. Их концентрации снизились почти в 10 раз - с 0,0-0,06 мгР/л в 1968-1969 гг. до 0,0-0,007 мгР/л в 1975-1976 гг.

Вода оз. Балхаш содержит значительное количество биогенных элементов, особенно аммонийного азота. На участках постоянного загрязнения (бухта Бертыс, зал. Буру-Байтал) его концентрация в зимнее время достигает 3,0-3,4 мг N/л, а в летнее время - 0,6-0,9 мг N/л. На остальной части акватории озера содержание аммонийного азота в течение года колеблется от 0,05 до 0,6 мг N/л. Концентрация азота нитратов в воде озера изменяется от аналитического нуля до 0,7 мг N/л, азота нитритов - до 0,2 мг N/л. Максимум их содержания наблюдается в зимний период, причем наибольшие концентрации приурочены к приустьевым участкам рек. Минимум приходится на летнее время, когда происходит активное использование азота в процессе развития фитопланктона. Концентрация фосфатных ионов колеблется от 0,002 до 0,4 мг Р/л, увеличиваясь в зимнее время и особенно в прибрежной полосе. К лету в результате потребления фосфатов их содержание снижается до 0,002-0,070 мг Р/л.

Сравнение гидрохимического состава воды озера последних лет с его состоянием в 1956-1957 гг. показывает, что концентрация валовых форм азота и фосфора претерпела за 20 лет незначительные изменения (табл. 103).

Концентрации общих азота и фосфора (мг/л)
в воде открытой части оз. Балхаш

Период исследований	N _{общ}	P _{общ}
Лето 1956-1957 гг.	0,471-1,385	0,014-0,058
Лето 1977-1979 гг.	0,19-0,74	0,033-0,074

Гидробиологическая характеристика¹

В настоящее время в водах оз. Балхаш обнаружено 206 видов, разновидностей и форм водорослей, в том числе: синезеленых - 40, золотистых - 3, диатомовых - 108, пиррофитовых - 3, эвгленовых - 2, зеленых - 50. Из перечисленного количества 49 таксонов водорослей обнаружено в оз. Балхаш впервые. Из общего количества обнаруженных в оз. Балхаш водорослей около 67% относятся к истинно планктонным видам. Бентосные водоросли встречаются во всех пробах. Их количество в значительной степени зависит от сезона, времени суток и погодных условий в момент взятия проб. Бентосные водоросли представлены исключительно диатомовыми.

Видовое распределение водорослей по акватории водоема соответствует распределению минерализации его вод. В западной слабо минерализованной части (I район) фитопланктон представлен пресноводными видами, в основном индифферентами, и небольшим количеством галофобов и галофилов. С запада на восток, по мере увеличения минерализации воды, происходят соответствующие изменения состава фитопланктона: из него выпадают галофобы и частично индифференты, остаются галофилы и в значительных количествах появляются мезогалофы.

В соответствии с происходящими изменениями минерализации воды озера отмечаются заметные изменения и в водном распределении фитопланктона. Некоторые галофильные виды и формы, встречающиеся ранее только в восточной части озера, в настоящее время распространились по всей его акватории. К ним относятся *Aphanizomenon flosaquae* (L.) Ralfs, *Caloneis amphibaena* (Bory) Cl., *Binuclearia lauterbornii* (Schmidle) Pr. Lavr. и др., во втором районе появился мезогалоб и галофил *Nodularia harveyana* (Tweit) - все они в недавнем прошлом характерные представители Восточного Балхаша.

В летний период фитопланктон в I-IV гидрохимических районах озера количественно развит почти одинаково и его средняя биомасса составляет 1,03-1,78 г/м³. Лишь в V районе, где минерализация воды достигает 5 г/л, фитопланктон развит слабо и его биомасса

¹ Характеристика составлена по материалам КазНИИРХ.

Биомасса зоопланктона (г/м^3) в оз. Балхаш при зарегулированном стоке р. Или

Год	Западный Балхаш	Восточный Балхаш	Озеро в целом
1970	2.60	1.30	1.95
1971	0.70	0.60	0.65
1972	1.19	1.73	1.11
1973	0.80	0.60	0.70
1974	0.75	0.52	0.63
1975	0.94	0.80	0.87
1976	0.92	0.90	0.91
1977	0.95	0.86	0.90
1978	0.79	0.79	0.79

составляет $0.41-0.57 \text{ г/м}^3$. В 1978 г. по сравнению с предыдущими годами биомасса фитопланктона в I-III районах снизилась до $0.78-0.88 \text{ г/м}^3$, а в IV и V осталась почти без изменений. На приведенных примерах видно, что при понижении уровня и повышении минерализации воды озера происходят существенные изменения флоры водоема и следует ожидать угнетения пресноводных видов и замены их солоноватоводными, что приведет к снижению общей биомассы водорослей.

Общий фон зоопланктона оз. Балхаш определяется сравнительно небольшой группой видов. Около 60-70% биомассы зоопланктона составляют *Arctodiaptomus salinus* Daday и *Diaphanosoma brachiurum* Lilvin. За период с 1970 по 1978 г. биомасса зоопланктона озера в среднем составляла около 1.0 г/м^3 . По наблюдениям, проводившимся в течение этих девяти лет, произошли заметные изменения в количественных показателях зоопланктона, в снижении его биомассы как в западной, так и в восточной частях озера (табл. 104).

Можно отметить также и уменьшение продукции зоопланктона за эти годы. В 1970 г. при отметке уровня озера 342,86 м Б.С. и общей минерализации воды Западного и Восточного Балхаша 1,22 и 4,03 г/л соответственно валовая продукция зоопланктона всего озера составляла 795,0 тыс. т, а в 1977 г. при уровне, равном 341,78 м Б.С., и общей минерализации западной и восточной частей озера соответственно 1,73 и 4,15 г/л она сократилась до 596,11 тыс. т.

Наблюдения последних лет показывают, что при происходящем повышении минерализации воды сокращаются ареалы чувствительных к увеличению минерализации балхашской воды акклиматизированных беспозвоночных, составляющих в настоящее время основу бентоса водоема. Наряду с этим отмечается рост численности личинок хи-

рономид, таких как *Chironomus f.l. salinarius* Kieff и *Procladius* Skuze. При минерализации воды Западного Балхаша в пределах, близких к 1.0 г/л, средняя биомасса бентоса будет равна 5,8 г/м². Основу его при этом составят акклиматизанты — мизиды и моллюск цветная монодакна. Повышение минерализации воды этой части озера до 1,5 г/л приведет к некоторому сокращению численности моллюсков, за счет чего биомасса бентоса снизится до 4,5 г/м². При повышении минерализации до 2,0 г/л будет наблюдаться дальнейшее сокращение ареала цветной монодакны и некоторое возрастание численности эвригалинных видов личинок хирономид, особенно вида *Ch. f.l. salinarius*. Однако биомасса бентоса при этом сократится до 3,4 г/м². Дальнейший рост минерализации до 2,5 г/л вызовет быстрое сокращение ареала моллюсков, полихет и хирономид.

Восточная оконечность озера отличается наиболее высокой минерализацией воды, в результате чего проникшие сюда мизиды не дают высокой численности. Они распространились лишь вдоль юго-восточного берега до устья р. Аягуз. Следует отметить, что в зал. Бурлю-Тюбе, где минерализация воды в 1970–1973 гг. составляла 4,5–5,0 г/л, мизиды обнаружены не были. Вероятно, при достижении средней минерализации вод района 6 г/л возможно ее повышение в отдельных мелководных заливах до 8 г/л и более. Как показали опыты по выживаемости личинок хирономид в балхашской воде повышенной минерализации, она действует на них угнетающе при 8 г/л. Следовательно, численность бентосных организмов в заливах с повышенной минерализацией воды будет сокращаться. Основная масса личинок хирономид будет сосредоточена, как это наблюдается уже сейчас, в центральной глубоководной зоне. При средней минерализации рассматриваемого района 5,0–6,0 г/л биомасса бентоса составит порядка 1,3 г/м². Увеличение средней минерализации воды Восточного Балхаша до 5,0 г/л приведет к снижению биомассы бентоса с 2,8 до 1,6 г/м². В целом для всего озера при возрастании средней минерализации воды до 4 г/л произойдет сокращение численности акклиматизированных видов с возможным исчезновением моллюсков в отдельных районах и, несмотря на рост численности хирономид, приведет к снижению средней биомассы бентоса более чем в 2 раза — с 4,5 до 2,1 г/м².

Ихтиофауна

Озеро Балхаш является ценным рыбопромысловым водоемом, в составе его ихтиофауны насчитывается 21 вид, относящийся к семи семействам. Аборигенная фауна представлена всего четырьмя видами — балхашской и илийской маринками, пятнистым губачем и балхашским окунем. Численность этих видов невелика, и они имеют сравнительное небольшое промысловое значение. Наибольшей ихтиомассы в озере достигают акклиматизированные виды: лещ, судак, вобла, сазан, а также сом и жерех.

Динамика промысловых уловов рыб (тыс. ц) в оз. Балхаш

Год	Улов	Год	Улов	Год	Улов
1960	93.2	1967	164.4	1974	132.4
1961	66.5	1968	140.1	1975	126.3
1962	123.1	1969	118.0	1976	122.9
1963	125.0	1970	132.3	1977	121.6
1964	154.9	1971	117.8	1978	137.7
1965	165.0	1972	112.4	1979	130.8
1966	157.2	1973	113.1		

Промысловые уловы в последние 20 лет колебались с 66,5 до 165 тыс. ц (табл. 105). Основными орудиями лова в настоящее время являются обкидные неравнокрылые и подледные неводы, сети и вентеры. В среднем на промысле занято около 800 рыбаков.

Современный состав ихтиофауны Балхаша является примером успешной акклиматизации ряда ценных в промысловом отношении видов (табл. 106).

В результате проведенных работ по реконструкции ихтиофауны в Или-Балхашском бассейне удалось повысить его рыбопродуктивность на 20-30% и изменить видовой состав уловов (табл. 107). В последнее десятилетие доля акклиматизантов в общей добыче рыбы в этом бассейне составляет 99-100%.

В настоящее время рыбоводно-мелиоративные работы на оз. Балхаш ведутся в незначительных масштабах и существенного влияния на рыбопродуктивность озера не оказывают. Проводятся работы по получению личинок маринки заводским методом и зарыблению ими р. Каратал. В 1978 г. начал функционировать Куйганский инкубационный цех, где заводским методом с месячным подращиванием в прудах получено 2 млн. сеголетков сазана в 1978 г. и 14,76 млн. - в 1979 г. Их промысловый возврат составит 890 ц. Мелиоративные работы имели положительный эффект только в результате сооружения в дельте р. Или каналов от протоки Ир в заливы Шубаркунан и Балакашкан. В этих заливах, являющихся высокопродуктивными естественными нерестилищами основных промысловых видов рыб, в последние годы не отмечались заморы рыбы даже в период ледостава.

С целью оптимального использования промысловых запасов рыб Балхаша КазНИИРХом разработана система мероприятий по интенсификации промысла сомов, берша и охране запасов рыб, численность которых снижается. Несмотря на усилия по регулированию рыболовства, в последнее десятилетие в результате зарегулирования основных притоков озера и все возрастающего водозабора на нужды орошения в экосистеме озера про-

Виды рыб, акклиматизированные в бассейне Балхаша

Виды рыб	Год интродукции	Посадочный материал	Количество посадочного материала, экз.	Начало промысла, год	Вылов, тыс. т
Сазан	1905	Разновозрастные особи	Неизвестно	1940	312.31
Аральский усач	1930-1931	То же	1836	-	-
Аральский шип	1934-1933	" "	289	1953	0.1
Сибирский елец		" "	Неизвестно	-	-
Линь	1948	Неизвестен	"	-	-
Лещ	1949	Разновозрастные особи	598	1961	43.76
Серебряный карась	1954	То же	Неизвестно	1964	0.05
Судак	1957-1958	" "	3080	1961	58.84
Сом	1957-1958	" "	23	1966	7.19
Жерех	1957-1958	" "	9	1970	2.78
Берш	1957-1958	" "	Неизвестно	-	-
	1964	" "	780	-	-
Белый амур	1965-1966	Сеголетки	590000	1971	0.09
Вобла	1965	Разновозрастные особи	140000	1971	1.29
Виды амурского комплекса	1965-1966	То же	Неизвестно	-	-

исходят существенные изменения, отрицательно сказывающиеся на его рыбном хозяйстве. Снижается уровень водоема, повышается минерализация его воды, снижается общая продуктивность Балхаша. Все это приводит к систематическому ухудшению условий воспроизводства и нагула большинства видов рыб.

В итоге рыбному хозяйству Балхаша нанесен ущерб, который, по расчетам КазНИИРХа, за 1971-1979 гг. составил 61 тыс. т, в том числе 37 тыс. т от ухудшения условий воспроизводства и 24 тыс. т в связи со снижением продуцирования ихтиомассы.

Видовой состав промысловых уловов рыб (тыс. ц) в оз. Балхаш

Видовой состав уловов	1967 г.	1977 г.	1978 г.
Сазан	127.0	20.4	16.2
Маринка	10.6	-	-
Окунь	-	-	-
Лещ	5.1	63.1	86.0
Судак	21.5	27.8	23.0
Сом	0.2	6.3	7.3
Жерех	-	3.3	2.7
Вобла	-	1.7	18.2
И т о г о	164.4	122.6	153.4

7.2. Возможные изменения природных ресурсов

Водные ресурсы

Общая тенденция современных природных изменений на водосборах полуаридной зоны обусловлена многовековыми циклами колебаний общей увлажненности материка. Последние 150-200 лет цикла приходятся на фазу спада, проявляющуюся в процессе многовекового снижения увлажненности степей Казахстана, Киргизии, Южной Сибири. С этой фазой связано снижение вековых запасов водных ресурсов в твердой форме, имеющих громадное значение для обеспечения стока рек Балхашского бассейна.

На фоне многовековых циклов выявляются внутривековые, также включающие многоводные и маловодные фазы. Период внутривековой цикличности уровня Балхаша — интегратора увлажненности — составляет около 50-60 лет. Время наступления последнего максимума внутривекового цикла пришлось на 1960-1970 гг. Предыдущий максимум имел место в 1909-1910 гг., последний минимум — в 1946 г. (рис. 27). При условии сохранения выявленной периодичности в будущем наступление очередного минимума произойдет в 1997-2006 гг.

Можно ожидать, что наблюдающаяся сейчас фаза спада увлажнения завершится минимумом в конце XX-начале XXI столетия. Этот вывод согласуется с прогнозами солнечной активности и атмосферной циркуляции. Максимум текущего векового цикла солнечной активности имел место в 1957-1958 гг. В 1968 г. наблюдался максимум очередного одиннадцатилетнего солнечного цикла.

Двувершинность максимума текущего внутривекового цикла уровня оз. Балхаш и некоторая задержка начала фазы спада, по-

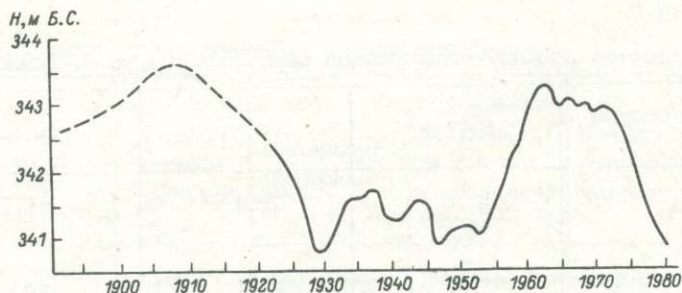


Рис. 27. Колебания уровня оз. Балхаш в текущем столетии.

видимому, обусловлены отмеченными особенностями векового хода солнечной активности. Можно предположить, что такое несколько anomальное развитие событий связано с тем, что максимум текущего векового цикла солнечной активности совпал с максимумом многовекового цикла.

Согласно имеющимся прогнозам солнечной активности, минимум текущего векового цикла будет иметь место во втором десятилетии XXI в. (Байдал, 1963; Витинский, 1963). Со снижением общего фона солнечной активности должен уменьшиться поверхностный приток в оз. Балхаш и увеличиться слой „видимого” испарения.

А. А. Гирсом (1971) на основе учёта хода солнечной активности и других космо-геофизических факторов составлен прогноз повторяемости основных форм атмосферной циркуляции на период до 1996 г. Согласно этому прогнозу, а также прогнозам других авторов (Курдин, Рубинович, 19756), после 1972–1975 гг. эпоха меридиональной циркуляции E + C сменилась эпохой зональной циркуляции W, которая с небольшим перерывом около 1985–1988 гг. продлится до конца столетия. Это дает основания ожидать, что бассейн оз. Балхаш будет находиться в состоянии гидрологической регрессии до конца XX в. Для развития трансгрессивной фазы пока нет общеклиматических условий. Следовательно, пока нет и оснований ожидать улучшения естественных условий питания озера.

Колебания водного баланса и уровня оз. Балхаш до 1970 г. определялись колебаниями климата (температура, осадки, испарение), а также изменением доли потерь в дельте р. Или. С 1970 г. определяющими факторами влияния на водный баланс озера являются наполнение Капчагайского водохранилища и развитие орошаемого земледелия.

В настоящее время водохранилище наполнено до отметки 480,0 м Б.С. и содержит около 15 км³ воды. При современном уровне потери на испарение с водной поверхности составляют 1,0 км³ в год. При наполнении водохранилища до проектной отметки 485,0 м дополнительные потери воды на испарение с водной поверхности будут составлять около 1,5 км³ в год (10% стока р. Или). Для наполнения

Капчагайского водохранилища (объем его при НПУ 28 км³) потребуются безвозвратно изъять из стока р. Или около 40 км³ воды (с учетом потерь на испарение и инфильтрацию).

Наполнение водохранилища планировалось завершить к 1985 г. Попуски из водохранилища должны быть больше величины притока в вершину дельты на величину безвозвратных отъемов на орошение Акдалинского массива. В настоящее время по оценке КазГидропроекта эта величина составляет 1,0 км³ в год, а потери стока в дельте оцениваются в среднем 3 км³ в год.

Зарегулирование стока р. Или вызвало интенсивное падение уровня, уменьшение балансового перетока воды из Западного в Восточный Балхаш через прол. Узун-Арал, что в какой-то мере способствовало росту средней минерализации воды озера. В естественных условиях до 1970 г. динамика годовых колебаний средней минерализации Западного Балхаша не выходила за пределы 1,1-1,3 г/л. За 9 лет эксплуатации гидроузла минерализация важного в хозяйственном отношении западного плёса увеличилась до 1,73 г/л. Вода Западного Балхаша становится непригодной не только для снабжения населения, но и для промышленного использования.

Регулирование стока р. Или привело также и к заметной трансформации соотношения ионов в речной воде. Величина притока солей с илийскими водами в период зарегулирования возросла по сравнению со среднемноголетней величиной на 30-40%, причем в составе солей резко повысилась доля легкорастворимых соединений. Указанные изменения в гидрологическом и гидрохимическом режимах реки на фоне ряда засушливых лет способствовали искажению природного механизма рассоления озера, что привело к повышению минерализации его воды.

Измененный попусками ГЭС внутригодовой режим илийского стока отразился также на внешнем облике реки, поймы и озера, составе растительности и животном мире Или-Балхашской системы. На территории дельты р. Или в результате снижения объема летних паводков понизился уровень грунтовых вод, уменьшилась влажность почв, усилились процессы соленакпления как в почве, так и в грунтовых водах, заметно деградирует ценная луговая растительность.

Необратимые изменения в характере почв и растительности отмечаются также в зоне влияния Капчагайского водохранилища. Подпор грунтовых вод, распространяясь на 25-34 км в глубь побережья, угрожает усилением засоления орошаемых территорий на площади более 100 тыс. га, используемых сейчас под посевы ценных культур.

Уже сейчас стало очевидно, что при современном объеме сохранение Балхаша как полноценного водохозяйственного водоема в дальнейшем будет совершенно нереально. В связи с этим выдвигается ряд предложений о путях преобразования его водных ресурсов и водного баланса с целью обеспечения существования озера в уменьшенном объеме, но в состоянии, пригодном для хозяйственного использования даже при возможном неблагоприятном природном разви-

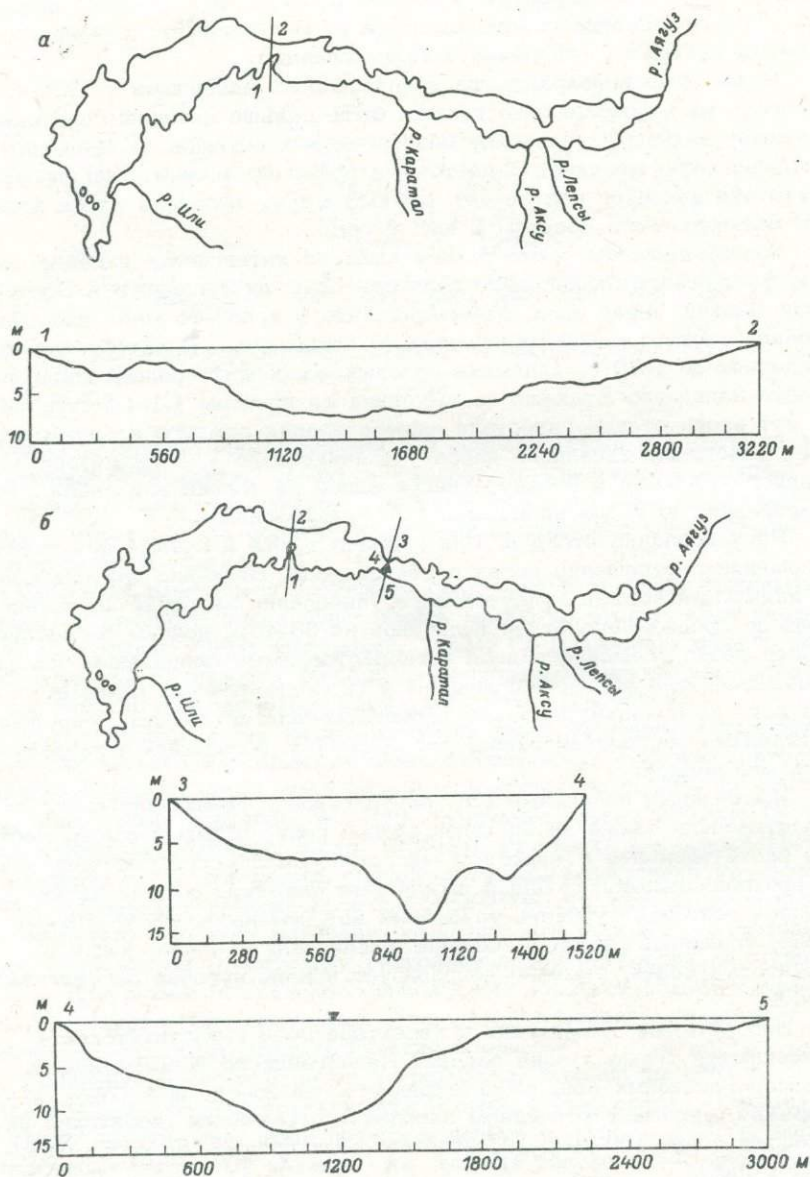


Рис. 28. Схемы реконструкции оз. Балкаш и поперечные профили участков возможного сооружения плотины.

а - вариант II, профиль 1-2, через прол. Узун-Арал; б - вариант III, профиль 3-4, северный берег о-в Алгазы, профиль 4-5, о-в Алгазы-южный берег;

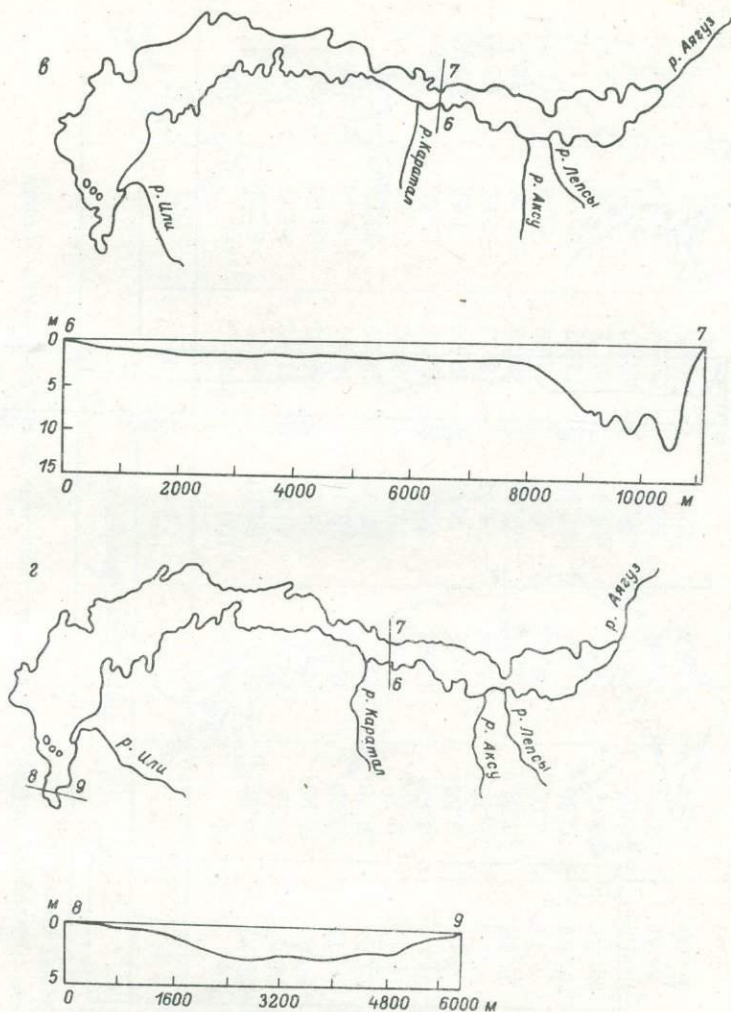


Рис. 28 (продолжение).

в - вариант 1У, профиль 6-7, южный берег-п-ов Булай; г - вариант У, профиль 8-9 через зал. Буру-Байтал;

тии водных ресурсов (Шнитников, 1976). Институтом озероведения АН СССР было рассмотрено 7 вариантов реконструкции озера. Следует отметить, что в качестве первого варианта принято современное состояние озера с ухудшающимися гидрологическим и гидрохимическим режимами, но без использования каких-либо гидротехнических сооружений (рис. 28, а-е).

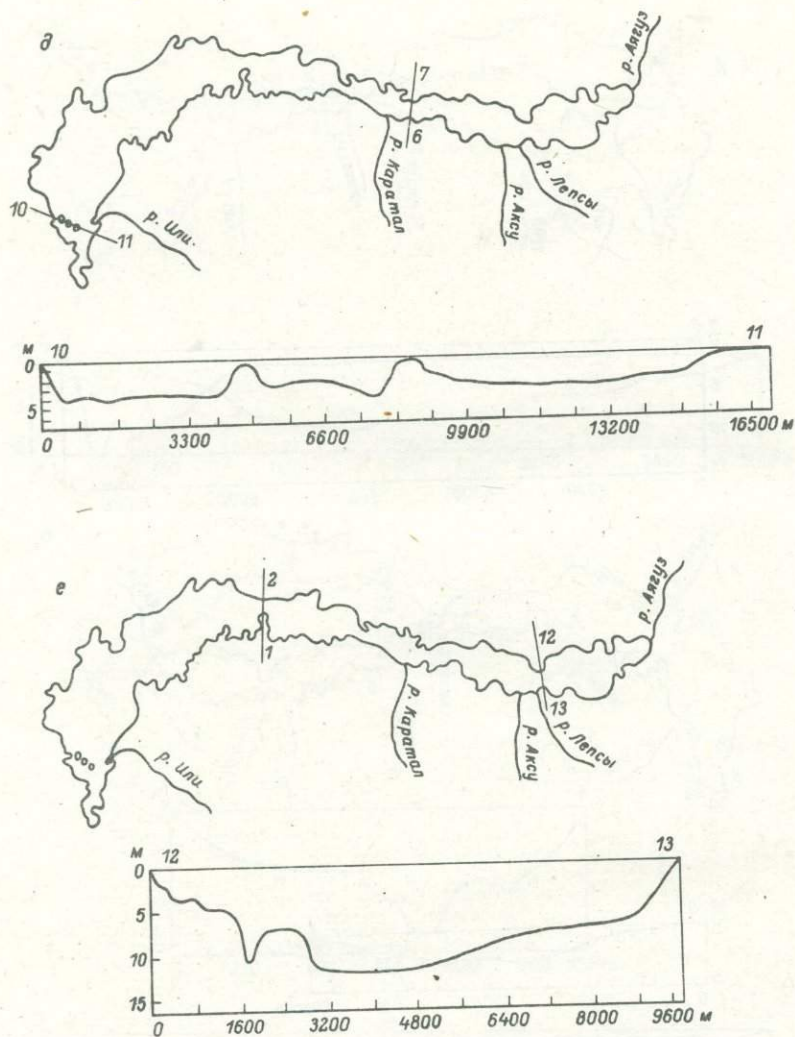


Рис. 28 (продолжение).

д - вариант У1, профиль 10-11, о-в Басарал-южнее дельты р. Или; е - вариант У11, профиль 12-13, п-ов Шоукар-восточнее устья р. Лепсы.

Теоретическое обоснование расчетов различных вариантов проводилось с позиции сохранения водоема как хозяйственного и природного комплекса. Уровень озера за маловодную фазу последнего столетия, равный 341,0 м Б.С., был принят критическим. Необходимый объем притока илийских вод для поддержания озера

Т а б л и ц а 108

Процентное соотношение площадей отдельных плёсов оз. Балхаш (при диапазоне изменения уровня 340,0–342,0 м) по данным различных авторов

Вариант реконструкции	Плёс	Варианты расчетов						Среднее
		1	2	3	4	5	6	
I	Все озеро	100	100	100	100	100	100	100
II	Западный	60.35	59.93	60.42	58.31	58.37	60.83	59.7
	Восточный	39.65	40.07	39.58	41.69	41.63	39.17	40.3
III	Западный	60.35	59.93	60.42	58.31	58.37	60.83	59.7
	Средний	13.12	13.29	13.46	13.76	14.31	13.59	13.59
IV	Восточный	26.53	26.78	26.12	27.93	27.32	25.58	26.71
	Западный	76.42	76.36	77.03	77.0	76.22	77.54	76.76
V	Восточный	23.58	23.67	22.97	23.0	23.78	22.46	23.24
	Западный	2.28	2.58	2.84	2.49	2.79	3.69	2.78
VI	Средний	74.14	73.75	74.19	74.51	73.43	73.85	73.98
	Восточный	23.58	23.67	22.97	23.0	23.78	22.46	23.24
VII	Западный	6.10	6.0	5.68	5.37	4.65	5.94	5.62
	Средний	70.32	70.33	71.35	71.63	71.57	71.60	71.14
VIII	Восточный	23.58	23.67	22.97	23.0	23.78	22.46	23.24
	Западный	60.35	59.35	60.42	58.31	58.37	60.83	59.70
IX	Средний	26.09	25.65	25.86	28.81	28.94	26.60	26.99
	Восточный	13.56	14.42	13.72	12.88	12.69	12.57	13.31

Примечание. Расчеты: 1 – Ин-т озеровед. АН СССР, 2 – А.П. Браславского и С.П. Чистяевой, 3 – С.П. Чистяевой, 4 – Л.И. Седовой, 5 – КазНИИГМИ, 6 – Р.Д. Курдина.

на этом уровне задавался в двух вариантах — 8 и 10 км³ в год.

По условиям реконструкции озеро делится на плёсы, разграниченные плотинами со шлюзовыми устройствами. В 1978 г. экспедицией Института озероведения АН СССР были выполнены промерные работы на участках возможного сооружения плотин и представлены их профили при уровне 341,24 м Б.С.

На основе предложенной схемы анализировались соотношения приходной и расходной частей баланса всего озера и отдельных участков, проводились оценки возможных объемов перетока для сохранения заданного уровня и минерализации воды отдельных плёсов.

В табл. 108 сопоставляются площади плёсов в процентах от всей площади озера по вариантам оценок, полученных А.П. Браславским, С.П. Чистяевой (1975) и Р.Д. Курдиным (Курдин, Рубинович, 1975), а также сотрудниками КазНИГМИ. Как видим, по всем вариантам в соотношениях площадей отдельных плёсов выявляются расхождения порядка 1–5%. Выбрать аналитическим путем из представленной информации оценки площадей с наименьшей погрешностью вряд ли можно, поэтому были использованы осредненные величины площадей водной поверхности озера и его частей.

При анализе результатов расчета балансовых соотношений выяснилось, что из семи возможных рассматриваемых вариантов только три обеспечивают стабилизацию критических объемов водного баланса различных плёсов при уровне 341,0 м Б.С. Результаты подсчетов позволили сделать следующие выводы.

1. При среднем многолетнем стоке р. Или в 11,8 км³ уровень Балхаша поддерживается на отметке 341,7 м и гидрохимический режим озера не требует регулирования.

2. Если задавать приток илийской воды в размере 10 км³ в год, то для поддержания минерализации воды в состоянии, пригодном для хозяйственного пользования, необходима реконструкция озера. При этом наиболее перспективными являются варианты II, У, VII.

3. При условии ежегодного стока р. Или в объеме, не превышающем 8 км³, через 10–12 лет при любом варианте реконструкции произойдет снижение уровня озера до отметки 340,0 м Б.С.

Вариант II реконструкции озера с плотиной в прол. Узун-Арал предусматривает сохранение Западного, наиболее важного в экономическом отношении плёса оз. Балхаш как водохозяйственного водоема. Следует отметить, что идея строительства плотины в прол. Узун-Арал сама по себе не нова. Еще до начала строительства Капчагайского водохранилища рядом исследователей на основе анализа гидрохимического режима озера предлагалось одновременно с сооружением водохранилища возведение дамбы со шлюзом в прол. Узун-Арал (Алекин, Тарасов, 1956; Тарасов, 1961).

Девять лет эксплуатации гидроузла привели к существенному изменению водно-солевого баланса озера, для восстановления которого теперь потребуются дополнительные мероприятия. Прежде всего представляется целесообразным при сооружении плотины со шлюзом

в течение 5-7 лет обеспечивать повышенные попуски воды из Капчагайского водохранилища, чтобы стабилизировать минерализацию воды Западного Балхаша на значениях, не превышающих 1,3-1,5 г/л.

Качество воды

Расчетная схема многовариантной оценки необходимых объемов воды для сохранения Западного Балхаша как водохозяйственного водоема позволила дать прогноз изменений уровня озера, а также минерализации воды Западного плёса и района у г. Балхаш до 2000 г. В алгоритме расчетной модели учитывались два основных процесса, под влиянием которых формируется гидрохимический режим озера. Прежде всего это процесс формирования водных объемов западного и восточного участков озера по уравнениям водного баланса. Затем процесс формирования приходной и расходной частей солевого баланса озера с учетом перетока солей при шлюзовом регулировании через прол. Узун-Арал с определением средней минерализации воды отдельных плёсов.

В настоящее время существует несколько вариантов методик расчета средней минерализации воды по акватории озера (Браславский, Чистяева, 1975; Курдин, Рубинович, 1975б; Голубов, Жиркевич, 1977). Принципиальное отличие предложенной методики заключается в том, что входные параметры объемов водного стока задаются в форме пределов, а минерализации - как средние многолетние значения. В программе расчета для аппроксимации связей между изменяющимися уровнями и объемами водной массы, а также между уровнями озера и площадями используется прием расчета по интерполяционному многочлену n -го порядка уравнения Лагранжа. При определении объемов воды и солевого перетока по длине озера формальные переходные коэффициенты не применяются.

Программа расчета изменений уровня и минерализации во времени с шагом в один год составлена на языке ФОРТРАН для ЭВМ „Минск-32“.

В табл. 109 приведены рассчитанные показатели основных гидрохимических характеристик, определяющих состояние оз. Балхаш на перспективу до 2000 г., при различных вариантах речного притока в западную и восточную части озера. Исходя из условий сохранения водоема, входными параметрами притока речной воды в озеро служили годовые объемы в 10 и 9 км³. Учитывая экономические соображения по использованию водных ресурсов в различных отраслях народного хозяйства, были выполнены расчеты изменений по вариантам минимального притока илийской воды в размерах 8, 7 и 6 км³ в год. В графах средней минерализации воды Западного Балхаша и 1У гидрохимического района приводится по два значения: в числителе - величина средней минерализации, рассчитанная по исходному значению за 1979 г., т.е. для Западного Балхаша 1,73 г/л, а для 1У гидрохимического района - 2,1 г/л; в знаменателе пока-

Таблица 109

Возможные изменения гидрохимических характеристик оз. Балхаш при различных вариантах притока воды

Характеристика	Вариант 1					Вариант 2				
	$Q_3 = 10 \text{ км}^3, Q_B = 2.5 \text{ км}^3$					$Q_3 = 9 \text{ км}^3, Q_B = 2.5 \text{ км}^3$				
	1980 г.	1985 г.	1990 г.	1995 г.	2000 г.	1980 г.	1985 г.	1990 г.	1995 г.	2000 г.
Уровень озера, м	341.0	340.84	340.77	340.74	340.72	341.0	340.60	340.41	340.30	340.25
Балансовый переток через плотину, км^3	2.6	2.5	2.5	2.5	2.5	2.2	2.14	2.09	2.08	2.07
Средняя минерализация IY гидрохимического района, г/л	$\frac{2.10}{1.62}$	$\frac{2.28}{1.80}$	$\frac{2.36}{1.88}$	$\frac{2.41}{1.93}$	$\frac{2.49}{2.10}$	$\frac{2.10}{1.62}$	$\frac{2.42}{1.94}$	$\frac{2.59}{2.11}$	$\frac{2.69}{2.21}$	$\frac{2.77}{2.29}$
Средняя минерализация Западного Балхаша, г/л	$\frac{1.73}{1.23}$	$\frac{1.88}{1.36}$	$\frac{1.94}{1.43}$	$\frac{2.0}{1.5}$	$\frac{2.08}{1.58}$	$\frac{1.73}{1.23}$	$\frac{2.0}{1.48}$	$\frac{2.12}{1.60}$	$\frac{2.20}{1.68}$	$\frac{2.25}{1.72}$
Характеристика	Вариант 3					Вариант 4				
	$Q_3 = 8 \text{ км}^3, Q_B = 2.0 \text{ км}^3$					$Q_3 = 7 \text{ км}^3, Q_B = 2.0 \text{ км}^3$				
	1980 г.	1985 г.	1990 г.	1995 г.	2000 г.	1980 г.	1985 г.	1990 г.	1995 г.	2000 г.
Уровень озера, м	341.0	340.22	339.77	339.47	339.26	341.0	339.95	339.27	338.80	338.50
Балансовый переток через плотину, км^3	1.69	1.59	1.55	1.50	1.47	1.38	1.16	1.14	1.13	1.11

Средняя минерализация IY гидрохимического района, г/л	<u>2.10</u>	<u>2.62</u>	<u>2.87</u>	<u>3.05</u>	<u>3.16</u>	<u>2.10</u>	<u>2.70</u>	<u>3.19</u>	<u>3.60</u>	<u>3.81</u>
	1.62	2.10	2.37	2.56	2.69	1.62	2.30	2.79	3.25	3.43
Средняя минерализация Западного Балхаша, г/л	<u>1.73</u>	<u>2.11</u>	<u>2.31</u>	<u>2.45</u>	<u>2.55</u>	<u>1.73</u>	<u>2.24</u>	<u>2.61</u>	<u>2.96</u>	<u>3.25</u>
	1.23	1.59	1.80	1.94	2.04	1.23	1.75	2.12	2.47	2.71
Характеристика	Вариант 5					Вариант 6				
	$Q_3 = 7 \text{ км}^3, Q_6 = 1.0 \text{ км}^3$					$Q_3 = 6 \text{ км}^3, Q_6 = 2.0 \text{ км}^3$				
	1980 г.	1985 г.	1990 г.	1995 г.	2000 г.	1980 г.	1985 г.	1990 г.	1995 г.	2000 г.
Уровень озера, м	341.0	339.66	338.74	338.09	337.90	341.0	339.68	338.74	338.09	337.96
Балансовый переток через плотину, км ³	1.87	1.74	1.73	1.71	1.70	0.87	0.74	0.73	0.72	0.70
Средняя минерализация IY гидрохимического района, г/л	<u>2.10</u>	<u>2.97</u>	<u>3.51</u>	<u>3.81</u>	<u>3.91</u>	<u>2.10</u>	<u>3.16</u>	<u>3.71</u>	<u>4.11</u>	<u>4.31</u>
	1.62	2.44	3.00	3.30	3.4	1.62	2.56	3.1	3.5	3.7
Средняя минерализация Западного Балхаша, г/л	<u>1.73</u>	<u>2.26</u>	<u>2.71</u>	<u>3.11</u>	<u>3.21</u>	<u>1.73</u>	<u>2.43</u>	<u>2.99</u>	<u>3.49</u>	<u>3.69</u>
	1.23	1.85	2.30	2.7	2.8	1.23	1.94	2.5	3.0	3.2

Т а б л и ц а 109 (продолжение)

Характеристика	Вариант 7				
	$Q_3 = 6 \text{ км}^3, Q_B = 1.0 \text{ км}^3$				
	1980 г.	1985 г.	1990 г.	1995 г.	2000 г.
Уровень озера, м	341.0	339.65	338.17	337.75	337.7
Балансовый переток через плотину, км ³	1.46	1.36	1.33	1.03	0.96
Средняя минерализация 1У гидрохимического района, г/л	$\frac{2.10}{1.62}$	$\frac{3.42}{2.95}$	$\frac{4.07}{3.3}$	$\frac{4.57}{3.8}$	$\frac{4.77}{4.0}$
	$\frac{1.78}{1.23}$	$\frac{2.74}{2.24}$	$\frac{3.3}{2.8}$	$\frac{3.6}{3.1}$	$\frac{3.9}{3.4}$
Средняя минерализация Западного Балхаша, г/л					

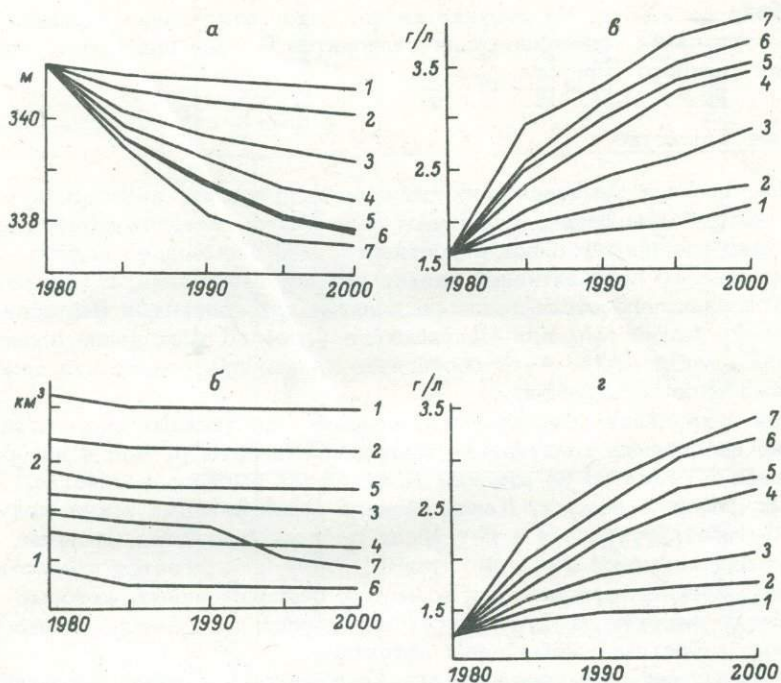


Рис. 29. Изменение гидрохимических характеристик оз. Балхаш при различных вариантах притока воды.

а - ход уровня; б - балансовый переток через плотину; в - средняя минерализация 1У гидрохимического района; г - средняя минерализация Западного Балхаша; 1-7 - варианты притока воды.

зана расчетная величина минерализации плёсов, которая могла бы иметь место при учете средней многолетней (1946-1969 гг.) минерализации для западного плёса 1,23 г/л, а для 1У гидрохимического района - 1,62 г/л.

Анализ результатов расчета показывает, что для поддержания оз. Балхаш на уровне 341,0 м Б.С. необходим приток не менее 10 км³ в год воды из р. Или. В этом случае уровень к 2000 г. стабилизируется на отметке 340,7 м, средняя минерализация Западного Балхаша станет 2,08 или 1,56 г/л в зависимости от исходной величины. Повышение минерализации обуславливается в основном существенным ограничением роли прибрежной полосы в процессе рассоления озерной воды, поступлением илийской воды с повышенным содержанием солей, а также сокращением количества солей, выпадающих в осадок вследствие метаморфизации ионного стока.

На рис. 29 сопоставляются основные рассчитанные гидрохимические характеристики, определяющие состояние оз. Балхаш на пер-

спективу до 2000 г. На рисунке видно, что отклонения кривых хода уровня и минерализации становятся больше при малых значениях речного притока.

Рыбное хозяйство

Изменения в химическом составе воды вызывают перестройку всей экосистемы озера, вероятным результатом которой может быть снижение его продуктивной способности. Это положение должно учитываться в перспективной оценке рыбных промыслов. В условиях все усиливающего отрицательного влияния антропогенных факторов на рыбное хозяйство Или-Балхашского бассейна увеличение запасов и уловов рыбы может быть достигнуто только при реализации целого комплекса мероприятий.

Для сохранения оптимальных площадей естественных нерестилищ крайне необходима капитальная мелиорация дельты р. Или и перераспределение стока по ее рукавам в интересах рыбного хозяйства. График попусков воды из Капчагайского водохранилища также должен быть отрегулирован в интересах рыбного хозяйства. В целях улучшения кормовой базы рыб КазНИИРХом предлагается провести акклиматизацию эвригалинных кормовых беспозвоночных, которые обеспечат высокую продуктивность в условиях повышения солености воды и большого накопления детрита.

Сама структура ихтиоценоза оз. Балхаш, сложившаяся в результате плановой и стихийной акклиматизации, также не является оптимальной с точки зрения использования кормовой базы. Реконструкция видового состава ихтиофауны оз. Балхаш должна идти в направлении снижения численности хищников при одновременном снижении ихтиомассы малоценных и сорных в промысловом отношении рыб. Это потребует одновременного проведения следующих мероприятий.

1. Интенсификации отлова сома, воблы и берша. С этой целью необходимо усилить отлов сома крючковой снастью и интенсифицировать промысел воблы и берша мелкочейными волокушами, что позволит довести уловы этих видов соответственно до 6 и 3 тыс. ц.
2. Всемерной охраны наиболее ценных видов, в первую очередь сазана. В связи с этим целесообразно полностью запретить рыболовство на оз. Балхаш в период с 1 мая по 1 июля, разрешив только добычу сома. Эти меры позволят сохранить запасы сазана и леща и обеспечить соответственно их уловы в 12 и 70 тыс. ц.
3. Снижения численности „сорных“ рыб дальневосточного комплекса.
4. Акклиматизации видов с высоким приростом ихтиомассы, но менее требовательных к условиям воспроизводства. Несомненный интерес в этом отношении имеют представители семейства чукучановых – большеротого, малоротого и черного буффало.
5. Искусственного зарыбления водоема молодь ценных промысловых видов. По данным КазНИИРХа, неиспользуемые трофические ресурсы Балхаша позволяют рекомендовать масштабы зарыбления, обеспечивающие промышленный возврат в размере 40–50 тыс. ц.

Т а б л и ц а 110

Расчет возможного прироста ихтиомассы в оз. Балхаш

Уровень озера, м Б.С.	Минерализация, г/л	По фитопланктону		По зоопланктону		По бентосу		Итого прироста ихтиомассы, тыс. ц
		валовая биомасса, тыс. т	прирост ихтиомассы, тыс. ц	валовая биомасса, тыс. т	прирост ихтиомассы, тыс. ц	валовая биомасса, тыс. т	прирост ихтиомассы, тыс. ц	
338,0	2,00	56,58	14,1	118,85	36,65	51,4	257,0	306,75
	4,00	33,00	8,2	64,10	19,23	24,1	120,0	147,43
341,0	2,00	105,60	26,4	213,00	63,90	74,9	374,0	464,30
	4,00	61,60	15,4	115,50	34,65	34,9	175,0	225,05
343,0	2,00	149,41	37,4	298,12	89,43	92,9	464,0	590,83
	4,00	87,16	21,4	161,95	48,58	43,2	216,0	286,38

Для этого потребуется создание мощных нерестово-выростных хозяйств и рыбоводных заводов.

При разработке прогноза изменения рыбопродуктивности оз. Балхаш на период до 2000 г. в КазНИИРХе по методике И.И. Лапицкого произведен расчет возможного прироста ихтиомассы по кормовой базе (табл. 110). Естественная смертность мирных рыб принята равной 22%, хищных - 30%. Кормовой коэффициент хищников - 5%. При расчете ихтиомассы учитывались также такие факторы, как обеспеченность рыб нерестилищами, степень их выживания при различной солености.

При создании на оз. Балхаш к 2000 г. оптимальных для рыбного хозяйства условий (сохранение среднего многолетнего уровня озера на отметке, равной 341.0 м Б.С., и осуществление всей системы рыбоводно-мелиоративных работ) возможное промысловое изъятие определено в размере 200 тыс. ц, а рыбопродуктивность - в 11,2 кг/га; ежегодный прирост ихтиомассы за счет повышения эффективности рыбоводно-мелиоративных работ оценен в 20 тыс. ц. Значительные масштабы приобретет любительское рыболовство. Общий ежегодный вылов рыбаками-любителями достигнет к 2000 г. 12 тыс. ц.

Если не будут осуществлены предлагаемые мероприятия и уровень озера станет определяться величиной попусков вод через плотину Капчагайской ГЭС, следует ожидать значительного снижения естественной рыбопродуктивности. Так, при попусках вод в объеме 8 км³ в год равновесный уровень водоема установится на отметке 340.0 м Б.С. В этом варианте условия воспроизводства будут лимитирующим фактором увеличения численности рыб. Прирост ихтиомассы позволит рекомендовать уловы только в размере 40-50 тыс. ц.

Дальнейшее развитие орошаемого земледелия в бассейне озера неизбежно приведет к увеличению отрицательного воздействия антропогенных факторов на его рыбное хозяйство. В связи с этим настоятельно необходимой становится реконструкция озера путем разделения его плотинами на ряд плёсов. При этом западную, наиболее опресненную часть Балхаша предполагается использовать как нерестовый и нагульный водоем, а восточную - только как нагульный водоем.

Величины ожидаемой рыбопродуктивности при различных вариантах реконструкции Балхаша с учетом проектного уровня приведены в табл. 111. Сопоставляя эти данные с потенциальной рыбопродуктивностью и возможными уловами в современный период, можно прийти к следующему заключению. Рыбопродуктивность озера (даже при его реконструкции) к 2000 г. под воздействием антропогенных факторов снизится с 11,2 до 5,7-7,1 кг/га, а возможные уловы - с 200 до 117-80 тыс. ц. Следует учесть, что даже эта сравнительно низкая рыбопродуктивность может быть достигнута к 2000 г. только при резком увеличении масштабов рыбоводных работ (увеличенных в 2-2,5 раза по сравнению с 1 вариантом). Ежегодный урон рыбного хозяйства оз. Балхаш от воздействия комплекса антропогенных факторов к 2000 г. составит 4,1-5,5 кг/га, а по общему вылову - 83-

Таблица 111

Ожидаемые уловы (тыс. т) и рыбопродуктивность (кг/га) оз. Балхаш к 2000 г. при разных вариантах его реконструкции

Вариант I						Вариант II						Вариант III					
промышленный улов				любительский улов		промышленный улов				любительский улов		промышленный улов				любительский улов	
улов в целом	в том числе от рыболовных работ	улов, кг/га	в том числе от рыболовных работ	улов в целом	улов, кг/га	улов в целом	в том числе от рыболовных работ	улов, кг/га	в том числе от рыболовных работ	улов в целом	улов, кг/га	улов в целом	в том числе от рыболовных работ	улов, кг/га	в том числе от рыболовных работ	улов в целом	улов, кг/га
18,2	2,0	10,6	1,1	1,2	0,6	14,6	3,0	8,7	1,6	1,2	0,7 ¹	14,6	3,0	8,9	1,8	1,2	0,7 ³
						8,5	4,0	6,0	2,8	1,0	0,7 ²	9,0	5,0	6,4	3,5	1,0	0,7 ⁴
												14,4	3,0	8,7	1,8	1,2	0,7 ⁵
												9,8	5,0	6,9	3,5	1,0	0,7 ⁶
												10,7	5,0	6,5	3,0	1,0	0,8 ⁷
												7,3	4,0	5,2	2,8	0,7	0,5 ⁸

1 Поступление воды через плотину Капчагайской ГЭС 10 км³ в год, уровень 341,26 м Б.С.

2 Поступление воды через плотину Капчагайской ГЭС 8 км³ в год, уровень 340,0 м Б.С.

3 Разделение озера на два плёса, уровень 341,0 м Б.С.

4 Разделение озера на два плёса, уровень 340,0 м Б.С.

5 Разделение озера на три плёса, уровень 341,0 м Б.С.

6 Разделение озера на три плёса, уровень 340,0 м Б.С.

7 Разделение озера на два плёса с отделением Алаколь-Шимпека, уровень 341,0 м Б.С.

8 Разделение озера на два плёса с отделением Алаколь-Шимпека, уровень 340,0 м Б.С.

120 тыс. ц. Более верным является подсчет ушерба без учета рыбоводных работ, так как они требуют значительных капиталовложений, и тем больших, чем выше антропогенное воздействие на озеро. Без учета рыбоводных работ ежегодный урон рыбного хозяйства Балхаша к 2000 г. составит 6,0–7,2 кг/га, а по общему вылову – 113–140 тыс. ц.

Если развивать водопотребляющие отрасли народного хозяйства в соответствии со всеми существующими и предстоящими потребностями в воде, то к концу XX столетия произойдет практически полное истощение водных ресурсов бассейна, при этом западный плёс оз. Балхаш высохнет, а восточный превратится в мелкую, узкую ложбину с соленой водой.

С позиций сохранения оз. Балхаш как водохозяйственного водоема нами были проведены многовариантные расчеты, позволившие выявить теоретические пределы использования водных ресурсов в развитии водопотребляющих отраслей народного хозяйства. Количественно эти объемы выражаются как разность между полным наличием водных ресурсов в рассматриваемом бассейне и объемами воды, необходимыми на поддержание рационального водного баланса оз. Балхаш.

7.3. Выводы и предложения

1. Сопоставление изменчивости гидрологических характеристик, атмосферной циркуляции и солнечной активности показывает, что бассейн оз. Балхаш будет находиться в состоянии гидрологической регрессии до конца XX–начала XXI столетия.

2. Годовые объемы стока р. Или до зарегулирования (1970 г.) составляли максимально 21 км³, минимально – 10,8 км³. В настоящее время годовой сток илийской воды ниже плотины составляет 9–12 км³. Потери в дельте реки в зависимости от водности года могут составлять величину в 2–3 км³ в год.

Наибольший объем водного стока в естественных условиях наблюдался в летний период – до 56% годового. Зарегулирование привело к выравниванию расходов воды по сезонам за счет уменьшения летнего стока до 38% и повышения его в осенний и зимний периоды.

3. Следствием зарегулирования явилось также и качественное изменение ионного стока вод р. Или. В нем в 1,5–2,0 раза уменьшилось содержание гидрокарбонатов и ионов кальция, доля легкорастворимых соединений наоборот повысилась. Среднегодовая минерализация речной воды увеличилась до 0,42 г/л по сравнению с прежними 0,25 г/л в маловодные и 0,37 г/л в многоводные годы. Эти изменения в составе илийской воды, происходящие на фоне ряда засушливых лет, способствовали существенному изменению водных ресурсов, поддерживающих озеро в течение многих веков в пресноводном состоянии. За 9 лет эксплуатации гидроузла минерализация важного в хозяйственном отношении западного плёса озера увеличилась с 1,23 до 1,73 г/л.

4. В настоящее время стало очевидным, что сохранение оз. Балхаш в современном объеме как полноценного хозяйственного водоема с доброкачественной для хозяйственных нужд водой совершенно нереально. В связи с этим выдвинут ряд предложений о путях преобразования его водных ресурсов и водного баланса для обоснования возможного существования озера в уменьшенном объеме, но в состоянии, пригодном для хозяйственного использования даже при возможном неблагоприятном развитии в дальнейшем гидрометеорологических процессов.

Наиболее перспективным является вариант, предусматривающий сооружение двух плотин — в прол. Узун-Арал и у п-ова Шаукар — в две очереди. Причем к сооружению первой плотины следует приступить незамедлительно. Целесообразно после сооружения плотины со шлюзом в прол. Узун-Арал в течение 5–7 лет обеспечивать повышенные попуски воды из Капчагайского водохранилища, чтобы стабилизировать минерализацию воды Западного Балхаша на значениях 1,3–1,5 г/л.

5. С позиций сохранения оз. Балхаш как водохозяйственного и социального природного объекта разработаны теоретические основы для решения комплекса водохозяйственных мероприятий в перспективе до 2000 г. Определен минимальный, но единственно рациональный водный баланс озера с учетом необходимого для нормального режима объема воды. Расчеты показали, что для поддержания приемлемого для народного хозяйства водно-солевого баланса Западного Балхаша при уровне 341,0 м Б.С. потребуются до 2000 г. осуществлять среднегодовой приток илийской воды в размере не менее $10 \text{ км}^3/\text{год}$.

6. Успешное развитие рыбного хозяйства на оз. Балхаш возможно только при сочетании рыбоводно-мелиоративных мероприятий с мероприятиями, направленными на стабилизацию водно-солевого баланса озера, среди которых основными являются следующие:

- а) сохранение уровня оз. Балхаш на отметке не ниже 341,0 м Б.С.;
- б) капитальная мелиорация дельты р. Или и перераспределение стока по ее рукавам в интересах рыбного хозяйства;
- в) соблюдение графика попусков воды из Капчагайского водохранилища с учетом интересов рыбного хозяйства;
- г) акклиматизация эвригалинных кормовых беспозвоночных;
- д) реконструкция видового состава ихтиофауны в направлении снижения численности хищников и малоценных в промысловом отношении рыб;
- е) искусственное зарыбление водоема молодь ценных промысловых видов, акклиматизация представителей семейства чукучановых, видов с высоким приростом ихтиомассы и не требовательных к условиям нереста;
- ж) дальнейшее совершенствование методов охраны запасов ценных видов и правил регулирования рыболовства на оз. Балхаш.

7. Для сохранения природных ресурсов оз. Балхаш, как и других озер, необходима реализация широкого комплекса мероприятий, утвержденных постановлениями партии и правительства в области охраны природы.

Л и т е р а т у р а

- А б р о с о в В.Н. Озеро Балхаш. Л., 1973. 179 с.
- А л е к с и н О.А., Т а р а с о в М.Н. О генезисе химического состава воды оз. Балхаш. - Докл. АН СССР, 1956, т. 109, № 5, с. 986-989.
- Б а й д а л М.Х. Погодные и климатические характеристики основных форм атмосферной циркуляции. - Тр. КазНИГМИ, 1963, вып. 20, с. 64-75.
- Б р а с л а в с к и й А.П., Ч и с т я е в а С.П. Методика расчета распределения минерализации воды по акватории водоема. - Тр. КазНИГМИ, 1975, вып. 52, с. 107-144.
- В и т и н с к и й Ю.И. Прогноз солнечной активности. М.; Л., 1963. 151 с.
- Г и р с А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. Л., 1971. 280 с.
- Г о л у б ц о в В.В., Ж и р к е в и ч А.И. Математическое моделирование изменения минерализации оз. Балхаш. - Тр. КазНИГМИ, 1977, вып. 58, с. 69-74.
- Д а в ы д о в а А.И., П о з д н я к о в а Г.В. Современное перспективное использование водных ресурсов Балхашского бассейна. - В кн.: Оптимизация природной среды. М., 1981, с. 58-61.
- Д ж у р к а ш е в Т.Н. Антропогенная история Балхаш-Алакольской впадины. Алма-Ата, 1972. 121 с.
- И с к е н д и р о в Т.Т. Водный баланс оз. Балхаш. - Метеорология и гидрология, 1968, № 2, с. 60-68.
- К и р и л л о в а Т.В. О радиационном балансе оз. Балхаш. - Тр. ГГО, 1958, вып. 78, с. 125-131.
- К о ш и н Р.Д. Метаморфизация воды оз. Балхаш. - Докл. АН СССР, 1945, № 48, № 5, с. 355-357.
- К у р д и н Р.Д., М е л ь н и ч у к о в а Е.Г., М и р о ш н и ч е н к о С.М. О водном балансе оз. Балхаш. - В кн.: Сборник работ Алма-Атинской ГМО. Алма-Ата, 1969, вып. 4, с. 47-76.
- К у р д и н Р.Д., Р у б и н о в и ч С.А. Внутриводоемный водо- и солеобмен и его роль в распределении минерализации по длине оз. Балхаш. - Тр. КазНИГМИ, 1975а, вып. 52, с. 42-54.
- К у р д и н Р.Д., Р у б и н о в и ч С.А. Прогноз изменения водного баланса, уровня и минерализации воды оз. Балхаш на ближайшее десятилетие. - Тр. КазНИГМИ, 1975б, вып. 52, с. 64-85.
- О г н е в а Т.А. Опыт расчета испарения с поверхности воды и теплообмена с воздухом оз. Балхаш. - Тр. ГГО, 1958, вып. 78, с. 120-126.
- Р е с у р с ы поверхностных вод СССР. Л., 1970, т. 13, вып. 2, с. 288-295.
- С а п о ж н и к о в Д.Г. Известково-доломитовый ил оз. Балхаш. - Докл. АН СССР. Нов. сер. 1942, т. 36, вып. 4-5, с. 167-170.

- Сапожников Д.Г. Современные осадки и геология оз. Балхаш. М., 1951, № 53. 205 с. (Тр. Ин-та геол. наук; Вып. 132).
- Страхов Н.М. Доломитовые осадки оз. Балхаш и их значение для познания процессов доломитообразования. - Советская геология, 1945, № 4, с. 46-68.
- Тарасов М.Н. Гидрохимия оз. Балхаш. М., 1961. 215 с.
- Федюшин И.А. Термический режим оз. Балхаш. - Тр. СРНИГМИ, 1975, вып. 35(116), с. 139-150.
- Шнитников А.В. Большие озера Срединного региона и некоторые пути их использования. - В кн.: Озера Срединного региона. Л., 1976, с. 5-133.
- Юнусов Г.Р. Водный баланс оз. Балхаш. - В кн.: Проблемы водохозяйственного использования р. Или. Алма-Ата, 1950, с. 141-190.

8.1. Современное состояние озера

Физико-географические условия и морфометрия

Озеро Иссык-Куль расположено на высоте 1608 м над уровнем моря. Площадь озера 6236 км², объем водной массы 1738 км³, максимальная глубина 668 м, длина озера 178 км, ширина 60 км, длина береговой линии 688 км, средняя глубина 278 м (Кодяев, 1973). Средняя высота окружающих его хребтов составляет от 3500 (Кунгей-Ала-Тоо) до 4000 м (Терской-Ала-Тоо), а отдельные вершины достигают 4500–4800 м. На востоке котловину озера замыкает массив Центрального Тянь-Шаня с высотой хребтов до шести и более тысяч метров (рис. 30).

Вершины горного обрамления котловины покрыты вечными снегами и ледниками, которые представляют собой основной запас влаги, питающей озеро. Ледники бассейна занимают площадь 650 км² и содержат 48 км³ пресной воды, что почти в 13 раз превышает годовой сток всех рек бассейна озера (Забилов, 1975). В то же время Иссык-Кульская котловина располагается в зоне высокогорных теплых полупустынь умеренного пояса, что обуславливает специфику проявления физико-географических факторов, которые в береговой зоне озера несут черты, свойственные аридной зоне (эоловое перевывание береговых форм, процессы карбонатной литификации береговых наносов, селевая деятельность и др.).

Озеро уже весьма длительное время не имеет стока, в результате чего оно лишено поверхностного водообмена.

Характернейшим природным свойством озера является малая увлажненность западной части его бассейна, где в среднем за многолетний период (Рыбачье, 1912–1972 гг.) слой атмосферных осадков за год составляет около 115 мм и не превышает 249 мм (1955 г.), а в отдельные годы (1913, 1922, 1925, 1943, 1948) равен всего лишь 42–65 мм. В то же время увлажненность восточной части бассейна озера достаточно высока. В Пржевальске почти за вековой период (1882–1972 гг.) в среднем за год выпадает около 410 мм.

Многолетний режим атмосферных осадков в бассейне озера отличается прежде всего хорошо выраженными внутривековыми колебаниями (рис. 31). Однако помимо внутривековых колебаний за текущее полувековье наблюдаются признаки тенденции векового хода. Так, до конца 40-х годов имела место регрессивная фаза, т.е. постепенное уменьшение годовых сумм осадков. С конца же этого десятилетия проявилась тенденция к многолетнему увеличению осадков — фаза векового типа, развивающаяся до последних лет.

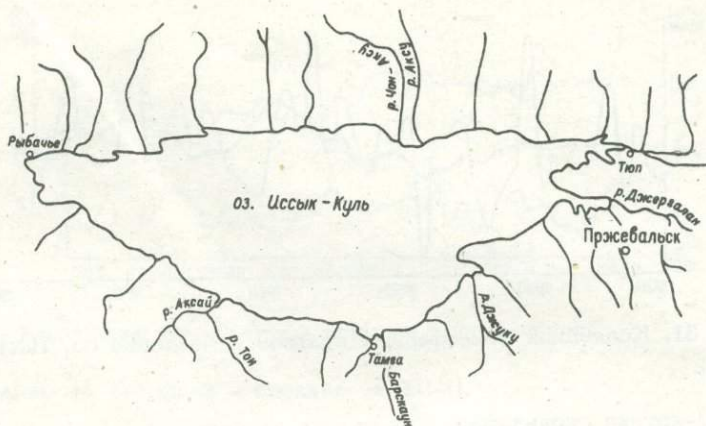


Рис. 30. Схема бассейна оз. Иссык-Куль.

Многолетняя среднегодовая температура воздуха в Пржевальске (1882–1972 гг.) равна 6° , в Рыбачьем (1927–1972 гг.) она составляет 7°C . Средняя температура января колеблется в пределах $4\text{--}7^{\circ}$ ниже нуля, сильных морозов почти не бывает. Лето отличается умеренной температурой, средняя температура июля и августа в Пржевальске колеблется в пределах $16\text{--}18^{\circ}$, а в Рыбачьем — в пределах $17\text{--}19^{\circ}$. Многолетний режим летней (У–VIII) температуры воздуха в Иссык-Кульской котловине отличается общей тенденцией к повышению, с 1930 по 1979 г. оно достигло величины 1.5° (рис. 32). Значительно меньше эта тенденция выражена в высокогорьях Тянь-Шаня, в частности на Арабельских сыртах. Существенный интерес представляет многолетний режим температуры поверхности озера. В теплый сезон года, как и в температуре воздуха, наблюдаются две фазы: фаза снижения сезонной температуры воды до середины 1940-х годов и фаза повышения температуры, начавшаяся в конце 1940-х годов и продолжающаяся поныне (рис. 33). Иной ход температура воды озера имеет в зимний сезон (XII–II). В многолетнем ходе она за все полу столетие сохраняется почти на одном уровне, в пределах $3\text{--}5^{\circ}$, однако с хорошо выраженными внутривековыми колебаниями и с тенденцией к небольшому снижению с 1971 г.

Распределение атмосферного увлажнения в котловине озера отличается рядом особенностей. Основное количество осадков выпадает в теплое время года (IУ–X): на западе они составляют 96% (в Рыбачьем 114 из 119 мм), к востоку их величина уменьшается. В Чолпон-Ате количество осадков составляет 209 из 278 мм, в Тамге — 203 из 242 мм, на станции Красный Октябрь — 468 из 583 мм, в Койсары — 287 из 357 мм.

Замкнутый характер котловины вызывает соответствующий режим облачности. Летом над озером облачность наблюдается лишь во время вторжения воздушных масс. В антициклональную погоду в центре

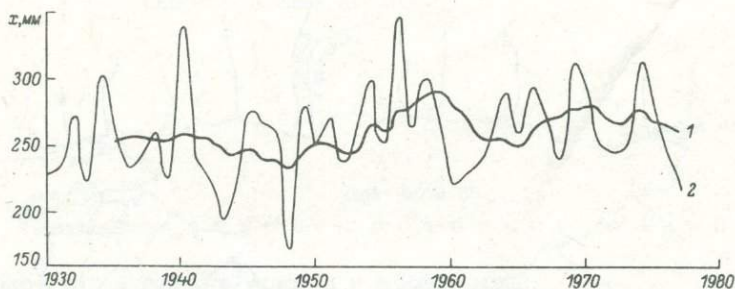


Рис. 31. Колебания атмосферных осадков в бассейне оз. Иссык-Куль.

1 - 6-летние скользящие; 2 - осадки за год.

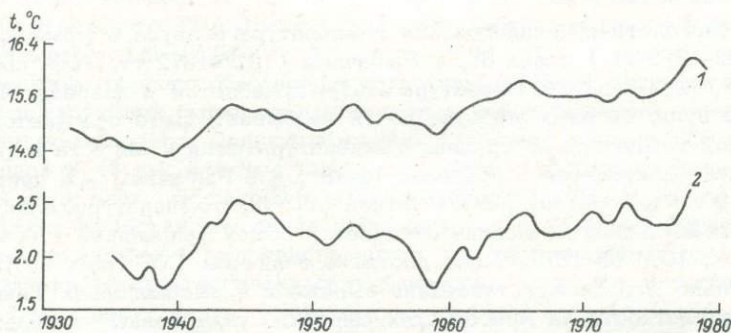


Рис. 32. Колебания температуры воздуха (У-УIII) в бассейне оз. Иссык-Куль, 6-летние скользящие.

1 - Пржевальск, Рыбачье; 2 - Тянь-Шань.

котловины и над побережьем безоблачное, ясное небо. На предгорной равнине количество ясных дней меньше, чем на побережье.

В пределах равнинной части Иссык-Кульской котловины широко распространены ландшафты трех аридных поясов - пустынного, полупустынного и степного (Соболев, 1976).

Пустынный пояс занимает западную часть котловины. По северному берегу он тянется на восток до с. Чоктал, захватывая каменистую равнину, полого спускающуюся от хр. Кунгей-Ала-Тоо к северу. По южному берегу он простирается до гор Кызыл-Чоку. Почвы этого пояса в основном серо-бурые карбонатные, местами сильно засоленные. Широко развиты отдельные участки аллювиально-такыровидных почв и песков.

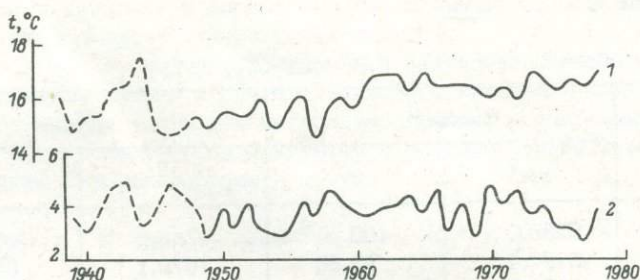


Рис. 33. Колебания температуры воды оз. Иссык-Куль.

1 - средняя за V-УІІ; 2 - средняя за XII-ІІ,

Полупустынный пояс почти не выходит на поверхность прибрежной голоценовой террасы, лишь узкая полоса пролювиальной равнины и конусов выноса временных водотоков между реками Бар-Булак и Кар-Булак на южном берегу занята полупустынными ландшафтами. На северном берегу, там где горы близко подходят к озеру, прослеживается неширокая полоса полупустынных ландшафтов аллювиально-пролювиальной равнины и конусов выноса рек.

Степной пояс занимает всю восточную часть приозерной и предгорной равнины. Здесь распространены злаково-полынные и полынно-злаковые степи на каштановых и темно-каштановых почвах. На крайнем востоке котловины они сменяются разнотравно-злаковыми степями на черноземах.

Ландшафты трех описанных аридных областей котловины отличаются недостаточным увлажнением и преобладанием в растительном покрове ксерофитов, только местами в береговой зоне распространены гумидные ландшафты с мезофильной и болотной растительностью.

Береговая линия оз. Иссык-Куль, за исключением Тюпского и Джергаланского заливов, имеет простые очертания: более половины занимают выровненные аккумулятивные берега с примкнувшей аккумулятивной террасой (407 км), которая сложена песками, галькой и валунами. На остальном побережье развиты осушенные (130 км), лагунные (30 км), дельтовые (12 км) и хемогенные (21 км) берега.

Береговая линия озера довольно слабо изрезана (коэффициент развития 2,38). Всего насчитывается около 20 заливов и бухт, причем наиболее глубокие и далеко вдающиеся в сушу заливы приурочены к участкам берега, где развиты молодые синклиналильные прогибы (Джергаланский, Тюпский, Покровский). Продолжением тектонических поднятий (Сухой хребет, Кара-Булуң, Акулен) являются выдвинутые в озеро полуострова (Азыкова, Мельникова, 1979). Для северной части побережья характерно чередование участков берега с аккумулятивными песчаными и галечниковыми мысами и пляжами. Южная часть побережья отличается чередованием обрывистых бере-

Площади и объемы озера (по Г.В. Кодяеву, 1973)

Изобата, м	Площадь		Объем	
	км ²	%	км ³	%
0	6236.0	100	1738.0	100
10	5797.4	92,96	1679.1	96,6
20	5393.3	86,48	1623.2	93,4
50	4481.6	72,02	1465.3	84,3
100	3842.7	61,63	1267.4	72,8
150	3498.2	56,09	1083.9	62,3
200	3150.7	50,71	917.8	52,7
250	2741.9	43,96	770.6	44,3
300	2431.8	38,99	641.3	36,8
350	2260.8	36,27	524.0	30,1
400	2129.7	34,14	414.3	23,8
450	2008.8	32,37	310.9	17,9
500	1840.9	29,69	214.7	12,4
550	1621.4	26,00	128.2	7,4
600	1357.1	21,76	53.8	3,1
650	674.3	10,81	4.0	0,2
668	0.0	0.0	0.0	0.0

гов с узкой полосой пляжей с широкими прибрежными песчаными и песчано-галечниковыми пляжами. На южном берегу сосредоточено более 50% всех лучших песчаных пляжей.

В результате работ Тянь-Шаньской физико-географической станции были получены уточненные морфометрические характеристики озера (табл. 112; Кодяев, 1973).

Гидрологический режим

Все крупные реки Прииссыккуля берут начало с ледников. Так, р. Аксу на хр. Терской-Ала-Тоо берет начало с 69 ледников площадью 68 км². В истоках р. Джууку насчитывается 54 ледника. Много ледников расположено в истоках рек Тургенъ-Аксу, Каракол, Джеты-Огуз, Чон-Кызыл-Су и Барскаун. Из крупных рек лишь в бассейне р. Тюп почти нет ледников (общая их площадь 4,2 км²). На Кунгей-Ала-Тоо только в долине р. Чон-Аксу имеется 48 ледников площадью около 65 км². Свыше десяти ледников находится в долине рек Орто-Койсу, Чон-Койсу, Чолпон-Ата и Аксу (Забилов, Хейфец, 1978).

Значительная часть воды по рекам поступает в котловину весной и летом. В апреле-июне происходит таяние сезонного снега до снеговой линии, а в июле и августе в реки поступает талая вода с по-

верхности ледников и фирновой зоны. Дождевая вода в этом поясе почти не формирует поверхностного стока.

Основная масса воды поступает в озеро главным образом из рек ледниково-снегового и снего-ледникового питания – они составляют преобладающую часть рек котловины. Приходная часть водного баланса оз. Иссык-Куль формируется в основном реками со средними годовыми расходами более 2 м³/с.

Река	Расход, м ³ /с	Река	Расход, м ³ /с
Джергалан	22,5	Чон-Кызыл-Су	4,70
Тюп	10,6	Ак-Терек	4,47
Каракол	6,60	Барскаун	4,04
Джууку	6,28	Турасу	3,11
Аксай-Тон	5,87	Аксу (северная)	2,92
Джеты-Огуз	5,60	Чон-Джаргылчак	2,32
Чон-Аксу	5,12	Тоссор	2,28

В сумме эти реки дают 73% среднего годового многолетнего поверхностного стока всех рек котловины. Их суммарный годовой сток, согласно М.Н. Большакову (1974), составляет 3,72 км³, а по Г.Н. Голубеву (1964) – 3,62 км³ в год. По сезонам сток распределяется следующим образом: на весну приходится 1,26 км³ (33,7%), на лето – 1,62 км³ (44,3%), на долю зимы остается 0,79 км³ (22%).

В многолетнем ходе сток рек с хр. Кунгей-Ала-Тоо, со склонов южной экспозиции, имеет тенденцию к некоторому увеличению (рис. 34) с хорошо выраженной внутривековой изменчивостью. Возможно, что эта тенденция представляет собой следствие ускоренного таяния ледников этого хребта, хотя их на нем осталось очень мало. Наоборот, многолетняя направленность стока рек с хр. Терскей-Ала-Тоо – с его северного склона – имеет тенденцию к некоторому снижению с такой же хорошо выраженной внутривековой изменчивостью. Такая тенденция, возможно, объясняется тем, что основные запасы мощных высокогорных снегов в вековом ходе ныне уже исчерпаны и остались в основном лишь ледники (рис. 35).

Значительный интерес представляет многолетний режим стока в восточной части бассейна, которая дренируется реками Тюп и Джергалан.

В первой половине текущего тысячелетия водный баланс оз. Иссык-Куль, подчиняясь общим географическим закономерностям, характеризовался меньшими величинами, чем современный. Соответственно и уровень озера был значительно ниже. Как показывают археологические и палеобиологические исследования (методы палинологический, радиоуглеродный и другие), уровень в эту эпоху был ниже современного на восемь, а возможно и на большее число метров. В середине текущего тысячелетия резкое изменение климатических и гидрологических условий вызвало крупную трансгрессию озера (Шнитников, 1979) и в конечном итоге к XVIII столетию привело к возникновению стока из него в р. Чу через залив на месте совре-

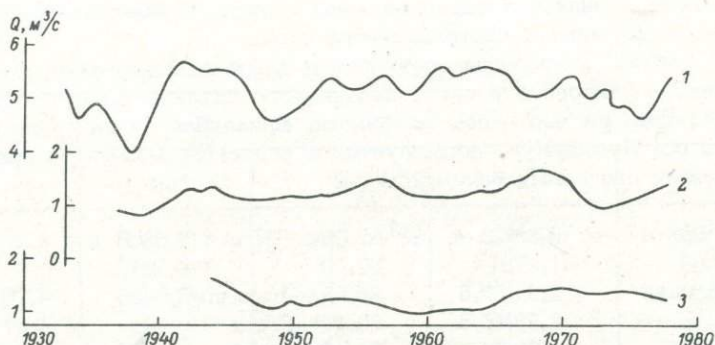


Рис. 34. Колебания годовых расходов рек хр. Терской-Ала-Тоо, 3-летние скользящие.

1 - р. Чон-Аксу; 2 - р. Чон-Койсу; 3 - р. Чолпон-Ата.

менного урочища Кутемалды. Сток из озера по всем признакам происходил до первой четверти XIX столетия. Следующее крупное изменение климата в бассейне озера и в его гидрологии, начавшееся с конца XVIII столетия, обусловило прекращение стока в начале XIX столетия, с того времени уровень озера понижается за счет природного снижения уровня его водного баланса. С первой четверти XIX столетия до настоящего времени уровень водоема понизился на 12 м, с 70-х годов прошлого столетия - на 7-7.5 м, с начала 20-х годов текущего столетия - на 2.5 м. Возможно, что темп такого природного снижения постепенно несколько замедляется (Шнитников, 1979).

На фоне сверхвекового понижения уровня озера развиваются стадии внутривековой изменчивости гидрологических процессов, такие как, например, в начале текущего столетия, в 1920-х годах, во второй половине 1950-х годов. После длительной многовековой регрессивной фазы и последовавшей за ней фазы трансгрессивной началась следующая многовековая регрессивная фаза, которая будет развиваться еще в течение ряда предстоящих столетий. Происходящее ныне усыхание оз. Иссык-Куль и связанное с ним понижение уровня будут продолжаться и далее, стремясь к уровню равновесия, имевшему место в первой половине текущего тысячелетия, причем на основе общегеографических закономерностей к концу XXI столетия следует ожидать природного снижения уровня озера не менее чем на 3 м.

Впервые водный баланс озера был составлен в 1946 г. на основе весьма ограниченных материалов (Молчанов, 1946). Через 15 лет он был разработан И.Д. Цигельной по более полным данным. В последние годы опубликован целый ряд водных балансов, составленных на основе различных принципов.

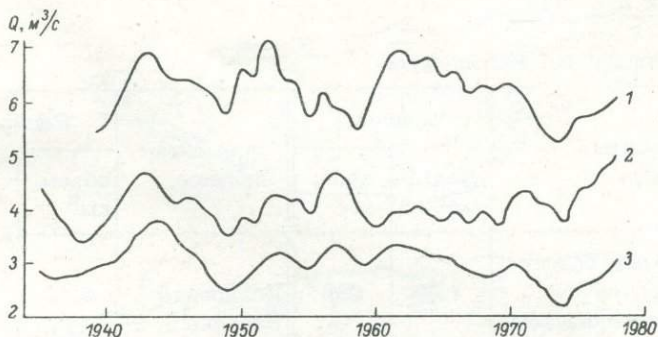


Рис. 35. Колебания годовых расходов рек хр. Терскей-Ала-Тоо, 3-летние скользящие.

1 - р. Джууку; 2 - р. Барскаун; 3 - р. Аксай.

Современный водный баланс озера за многолетний период (1946-1965 гг.) разработан М.И. Каплинским и Л.С. Тимченко (1977).

В приведенном водном балансе (табл. 113) не отражен расход воды на орошение, за него следует принять объем воды, отнесенный к невязке баланса. М.И. Каплинский и М.И. Косухина (1978) в результате тщательных гидрологических расчетов пришли к выводу, что с 1946 по 1965 г., когда „безвозвратное“ (?) изъятие стока на орошение составило до 8% от стока рек Киргизии, обнаружить его влияние на колебание уровня озера при современной точности балансовых расчетов невозможно.

В приведенном балансе доля подземного питания оз. Иссык-Куль по расчетам упомянутых авторов достигает 40%, однако несомненно большее значение грунтовых и подземных вод в водном балансе озера.

В.И. Коровин и М.Н. Хейфец (1975), исследуя многолетние причины колебания уровня оз. Иссык-Куль, показали, что в наилучшей степени они выражаются как следствие атмосферных осадков в бассейне озера, осредненных за три года. Отсюда можно сделать вывод, что основную роль в колебаниях уровня озера играет именно питание его водами подземного (и грунтового) стока.

Формирование течений в оз. Иссык-Куль обусловлено строением котловины, действием преобладающих ветров и распределением температур воды и ее плотности.

Зимой поверхностные воды, охлаждаясь, приобретают большую плотность, опускаются в нижележащие слои, вытесняя теплую менее плотную воду вверх. Этот процесс происходит по всему озеру, но резко усиливается у западного и восточного побережий, что связано с большими, интенсивно охлаждающимися зонами мелководья. Этому способствуют и повышенные величины испарения, вызываемые деятельностью ветров „улан“ на западе и „санташ“ на востоке. Процес-

Водный баланс оз. Иссык-Куль

Элементы баланса	Приход		Элементы баланса	Расход	
	объем, км ³	слой, мм		объем, км ³	слой, мм
Атмосферные осадки на площадь озера	1,80	289	Испарение Невязка баланса (расход на орошение)	5,12	820
Приток поверхностных вод	1,30	208		0,27	44
Приток подземных вод	2,06	330			
И т о г о	5,16	827	И т о г о	5,39	864
Изменения уровня	-0,23	-37			

сам перемешивания способствует также охлажденная более плотная речная вода, которая стекает по каньонам, являющимся современным продолжением русел рек, достигая 100-метровой глубины.

В зимний период действует циклоническая циркуляция, которая усложняется замкнутыми или полузамкнутыми дополнительными циркуляциями. Дополнительные циркуляции в основном развиваются в юго-восточной и юго-западной частях озера, преимущественно в местах относительно плавного изменения глубин. В летний период схема течений представляет собой единую циклоническую циркуляцию (рис. 36). Преобладание над водоемом ветров двух прямо противоположных направлений („улан“ и „санташ“) способствует развитию в озере циклонической циркуляции с хорошо выраженными ветвями у противоположных берегов. Наибольших значений (до 40 см/с) скорости течений достигают в восточной части озера, у северного и южного берегов. Значительные скорости (до 20 см/с) наблюдаются и на глубине 50 м (Стависский, 1977).

Волнение на оз. Иссык-Куль, как на глубоководном водоеме, развивается и затухает довольно медленно. Так, после прекращения ветра „улан“, дуящего с запада, на восточном и южном побережьях часто можно наблюдать в безветреную погоду большие (высотой до 1 м) волны зыби. Иногда в дневные часы зыбь поддерживается озерными бризами. Мертвая зыбь может наблюдаться в ясную антициклональную погоду и вечером во время смены знака бризовой циркуляции, а также при полном штиле после сильных штормов (Хейфец, 1978).

Озеро Иссык-Куль давно известно сильными волнениями. При ветре 8 баллов в сентябре иногда наблюдаются волны до 2,5 м высоты (Матвеев, 1935). Поскольку Иссык-Куль – глубоководный во-

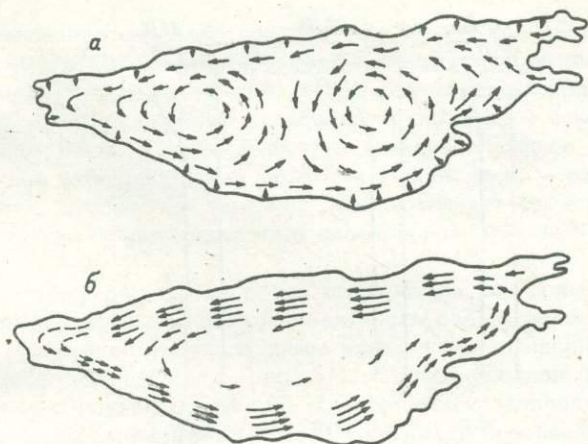


Рис. 36. Схема течений оз. Иссык-Куль зимой (а) и летом (б) (Ставиский, 1977).

доем (площадь, занимаемая глубинами более 100 м, составляет 61.63%), высота волны в основном является функцией ветра. В связи с этим глубина, на которой отмечаются волновые колебания у северного и южного побережий озера, составляет 60 м, а у западного (до Рыбачинского залива) и восточного — 130 м. На глубинах свыше 200 м влияние дна на рост высоты волн не сказывается (Орлова, 1970).

Самые сильные и продолжительные ветры „улан“ и „санташ“ вызывают развитие штормов с высотой волн до 4 м. Такие волны получают наибольшее развитие у входа в Покровский залив (за исключением карабулунской отмели), в 25 км к западу от п-ова Сухой Хребет, и в западной части озера (за исключением зал. Рыбачьего, отличающегося незначительными глубинами). Максимальные из зарегистрированных волн у Чолпон-Аты и Тамги оказались аналогичны расчетным — 3.5–4.0 м. На мелководных участках озера высота волн не превышает 2.5–2.7 м при длине около 40 м. На отмелях в прибрежной зоне озера при волнении отмечаются сгоны и нагоны воды. В Рыбачинском заливе сгоны значительно преобладают над нагонами. При сильных ветрах „улан“ сгоны воды (по наблюдениям на водомерном посту) достигают 20–25 см. На восточном побережье озера при западных ветрах отмечаются нагоны (до 15–18 см), при восточных ветрах „санташ“ — сгоны. Однако сгонно-нагонные колебания здесь значительно меньше, чем на западном побережье. В глубоких заливах южного побережья даже при сильных ветрах эти колебания незначительны.

На Иссык-Куле наблюдается и другой вид колебаний уровня воды — сейши. Они отчетливо отмечаются на западном (у г. Рыбачье) и

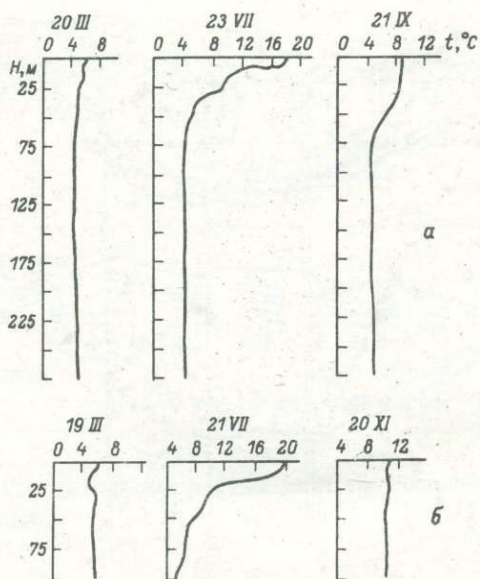


Рис. 37. Вертикальное распределение температуры воды оз. Иссык-Куль.

а - в глубоководной части озера; б - в прибрежной части.

восточном (у с. Койсары) побережьях озера. Период одноузловой сейши в западной части озера в среднем за 1958-1960 гг. оказался равным 38 мин. В Джергаланском заливе были зарегистрированы сейши с периодом в 1 ч 21 мин. Двухузловые сейши на озере возникают реже. Наиболее отчетливо они выявились на лентах самописца уровня у г. Рыбачье. Средний период такой сейши равен 52 мин. Сейши с еще меньшими периодами (около 20 мин) отмечены в районе бухты Чолпон-Ата. Основная причина образования сейш - разность атмосферного давления в различных частях озера. В связи с большой сейсмичностью района можно предположить, что причиной образования сейш могут быть и землетрясения.

Одна из характерных особенностей оз. Иссык-Куль - его температурный режим. Температура воды в озере, расположенном на высоте 1608 м над уровнем моря, почти всегда выше температуры воздуха над ним.

Основные термодинамические процессы в водной массе озера протекают в деятельном слое воды толщиной 100 м. Ниже этой глубины водная масса находится в стационарном состоянии. Температура воды здесь меняется незначительно: от 4° на глубине 100 м до $3,8^{\circ}$ на глубине 650 м.

Подсчет теплозапасов озера показал, что общее количество тепла, накапливаемого водной массой озера к концу теплого периода, составляет $10 \cdot 10^{18}$ ткал, в зимний период расходуется около $2,5 \cdot 10^{12}$ ткал, причем основные колебания теплозапасов отмечены в толще воды 0–100 м. Установлено, что в озере в зимнее время наблюдаются два куполообразных поднятия теплой воды – одно в восточной части, второе – в западной, что оказывает воздействие на термический режим поверхностных слоев озера и на климат всей котловины.

По термическому режиму на озере выделяются две зоны (Орлова, 1978): 1) глубоководная центральная часть озера, ограниченная изобатой 200 м; в этой зоне сезонным изменениям температуры подвержены лишь верхние слои (рис. 37); 2) мелководная прибрежная часть озера с глубинами до 100 м, включающая западную и восточную оконечности озера; в этой зоне сезонному прогреванию и охлаждению подвержены все слои.

Зимне-весенний период характеризуется однородным распределением температур по вертикали во всех частях озера.

В мае граница прогрева с температурой $10-12^{\circ}$ в глубоководной части опускается до 50 м. В западной и восточной частях озеро прогревается в этот период уже до дна (до глубин 80–100 м). К середине июня на всех вертикалях формируется типичная для лета прямая температурная стратификация с хорошо выраженным слоем скачка температур. В июле–августе верхний 10-метровый слой воды прогревается до $18-20^{\circ}$. Нижняя граница слоя скачка достигает 50 м в глубоководной части Иссык-Куля и 75 м – в его мелководных частях. Летнее изменение температуры воды не захватывает глубин более 100 м.

Для осеннего режима характерно выравнивание температур по глубине, уменьшение их градиентов, погружение слоя скачка и постепенное его исчезновение. Уже в ноябре происходит значительное выравнивание температурного профиля за счет охлаждения поверхностных вод до 10° . Слой скачка температур в этот период выражен слабо. В декабре температура поверхностных слоев воды обычно около 8° . На глубине более 100 м температура воды в течение всего года не превышает $4-5^{\circ}$.

Особенность поверхностного распределения температуры воды в озере состоит в том, что весной быстрее прогревается северо-восточная часть акватории. В апреле температура поверхности воды в этой части озера достигает $8-10^{\circ}$, в то время как в юго-западной части она не превышает $6-7^{\circ}$. В июне наибольший прогрев до $18-19^{\circ}$ также отмечается в северо-восточной части водоема, в центральной части в это время наблюдается область наиболее низких температур – $16-17^{\circ}$. Июль и август характеризуются наиболее равномерным и максимальным прогревом водной поверхности озера (до $20-22^{\circ}$), однако в его центральной части в это время могут наблюдаться более низкие температуры ($15-16^{\circ}$).

Осеннее распределение температуры поверхностных вод противоположно весеннему: быстрее охлаждаются воды северо-восточной

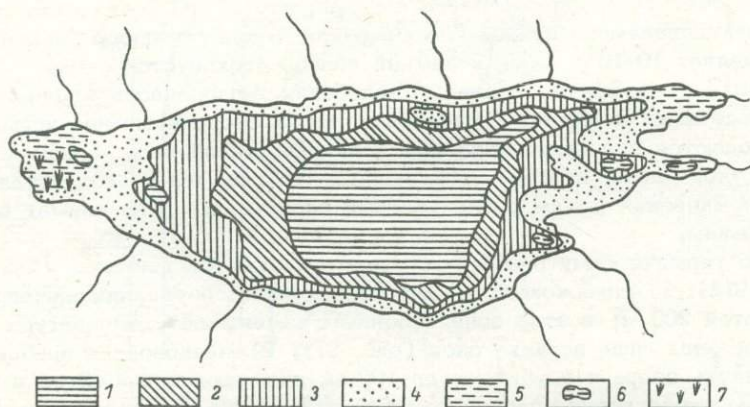


Рис. 38. Схематическая карта осадков оз. Иссык-Куль.

1 - ил глинистый; 2 - ил глинисто-алевритовый; 3 - ил алевритовый; 4 - песок; 5 - ил заливов, алевритоглинистый, слабо известковый; 6 - участок ила глинисто-алевритового; 7 - обильное распространение водной растительности.

части акватории озера. Более теплые воды располагаются в это время вдоль юго-западного побережья. Это объясняется своеобразием вертикальной циркуляции вод Иссык-Куля.

Главным источником донных отложений в оз. Иссык-Куль является сток взвешенных и влекомых наносов впадающих в него рек и временных потоков. Суммарный средний годовой сток взвешенных и растворенных наносов 89 водотоков составляет более 900 тыс. т, что, по расчетам Д.Г. Сапожникова и М.В. Виселкиной (1960), может соответствовать абсолютной скорости накопления осадков около 15 г на 1 см² за 1000 лет. Больше половины стока приходится на 15 наиболее крупных рек Иссык-Кульского бассейна, впадающих в глубокие ингрессионные заливы. Приглубость Иссык-Куля (площадь дна между изобатами 0-100 м составляет всего 1/3 общей площади зеркала озера) обуславливает слабое развитие зоны активного седиментогенеза. Здесь происходит механическая дифференциация терригенного материала по крупности и удельному весу в соответствии с гидродинамической обстановкой: в заливах выпадает из взвеси и вновь перетлагается в основном аллювий впадающих рек, на открытом побережье многократно размывается и перемешивается материал, накопленный на шельфе в трансгрессивные фазы озера. Центральная часть озера (глубины 100-600 м) представляет собой зону пассивного седиментогенеза, где весь выпавший осадок остается на дне и не подвергается последующему переотложению. В этой зоне озера накапливаются в основном мелкоалевритовые илы и пелиты.

По вещественному составу осадки Иссык-Куля можно разделить на органогенные, хемогенные и терригенные.

Органогенный компонент, представленный ракушечниками, не имеет существенного значения как источник наносов. Хемогенные наносы на Иссык-Куле представлены следующими морфологическими типами: пелитоморфным карбонатом глубоководных илов, оолитами, известковыми новообразованиями (карбонатные корки и конкреции). Хемогенные осадки отмечены на отдельных участках как северного, так и южного побережий озера. Терригенные наносы представлены всеми группами осадков — от галечников (диаметр от 10 до 100 мм) до глинистых илов (диаметр менее 0,01 мм).

Самые современные сведения о донных отложениях получены сотрудниками Тянь-Шаньской физико-географической станции АН Киргизской ССР, на основе которых составлена карта донных осадков оз. Иссык-Куль (Азыкова, Коротаев, 1978).

Осадки зоны активного седиментогенеза, где преобладают наносы с медианным диаметром более 0,05 мм, на глубинах 7–20 м переходят в алевритовые и глинистые илы. Донные отложения <0,01 мм занимают участки дна с глубинами более 500 м. В целом крупность наносов терригенных осадков закономерно уменьшается от побережья к центральной части водоема, причем особенно быстро это происходит на приглубом южном берегу (рис. 38).

Алевритовые илы распространены в основном на средних глубинах и прослеживаются непрерывной полосой на некотором расстоянии от берега. В свежем состоянии они представляют собой густой осадок, однородный по консистенции. Этот ил состоит в основном из тонкого терригенного материала (алевритовым или песчаным) и карбонатным веществом. По механическому составу он приближается к фракции мелких алевритов ($M_d = 0,01-0,05$ мм). Органического углерода в нем содержится до 1,76%, карбоната кальция — в среднем 23,3%.

В пределах наиболее глубокой части оз. Иссык-Куль распространены глинистые илы, представляющие собой густой однородный осадок светло-серого цвета, который содержит отдельные включения, сложенные темно-серой и черной разностями. С поверхности илы покрыты маломощной (до 3 см) пленкой полужидкой консистенции светло-желтого и коричневого цветов. В составе глинистых илов существенную роль играет карбонатный материал, представленный углекислым кальцием, особенно богаты илы карбонатом кальция, в среднем 34%.

Пески протягиваются в виде нешироких полос вдоль побережья, встречаются они и в виде отдельных пятен среди других осадков в приустьевых частях рек. В свежем виде пески имеют серый, желтовато-серый и красноватый, иногда черный цвета. В основном они полимиктового состава с преобладанием зерен кварца, слюды и полевого шпата, бедны органическим углеродом (до 0,36%), содержание углекислого кальция достигает в них 15%.

По гидрохимии оз. Иссык-Куль имеется обширная литература, которая и была использована при составлении настоящего краткого обзора (Матвеев, 1929, 1932; Молчанов, 1946; Кадыров, 1965, 1968, 1973, 1975; Кадыров, Турдахова, 1966; Гутельмахер, 1977; Бондарев, Забилов, 1978).

Особенность оз. Иссык-Куль — однородность и стабильность химического состава воды центральной глубоководной части водоема и сильное отличие от нее по составу вод заливов, затонов и приустьевых участков.

Воды озера солоноватые, средняя величина минерализации в настоящее время составляет 6,0 г/л, что на 3% выше, чем в 1930 г.

Преобладающими анионами являются хлориды (45,0 экв.-%) и сульфаты (43,8 экв.-%); среди катионов доминируют ионы щелочных металлов (68,5 экв.-%). Стабильность минерализации и ионного состава вод глубоководной части озера является следствием малой величины поверхностного стока и интенсивной циркуляции воды. Озерная вода перенасыщена карбонатом кальция, который выпадает из раствора и отлагается в донных отложениях. В прибрежной зоне озера соленость воды снижается благодаря влиянию вод притоков, минерализация которых в 10–50 раз ниже, чем в озере. Озерная вода имеет слабощелочную реакцию: средняя величина pH равна 8,7.

Воды центральной части озера бедны органическим веществом вследствие малого стока рек и низкой биологической продуктивности водоема. В 1959–1965 гг. средняя величина перманганатной окисляемости составляла 1,95 мг О/л, в 1974–1977 гг. она увеличилась до 2,7 мгО/л. Максимальные ее величины приходятся на лето.

Цветность воды очень мала: 0–8° платино-кобальтовой шкалы.

В прибрежных водах содержание органических веществ больше, чем в водах центральной части. Особенно загрязнены ими акватория порта в г. Рыбачьем, Тюпский залив, воды вблизи г. Чолпон-Ата.

Достоверных сведений о содержании биогенных элементов в воде оз. Иссык-Куль мало, причем все они относятся к минеральным соединениям азота и фосфора. По распределению общего фосфора в воде озера мы располагаем лишь сведениями, любезно представленными нам Н.П. Терентьевой (Институт курортологии АН Киргизской ССР). Общий азот в воде озера не определялся.

На основании немногочисленных данных режим биогенных элементов можно охарактеризовать следующим образом. Среднее содержание общего фосфора в центральной части озера составляет в настоящее время 0,050 мг P/л. Большая часть фосфора находится в форме органических соединений. Средняя концентрация минерального фосфора составляет 0,003 мг P/л и изменяется в довольно широких пределах: от аналитического нуля до 0,005 мг P/л, реже до 0,020 мг P/л. Концентрация азота нитратов не превышает 0,05 мг N_{NO_3} /л, а азота нитритов — 0,01 мг N_{NO_2} /л. Часто эти соединения полностью отсутствуют в воде центральной части озера.

В прибрежной зоне сильно сказывается поступление биогенных веществ с водосбора, особенно сток с территорий городов, поселков и мест отдыха. В воде заливов постоянно присутствуют нитриты — характерный индикатор загрязнения. Концентрация этих ионов временами превышает 0,010–0,020 мг N/л, зимой 1977 и 1979 гг. в зал. Рыбачьем она составляла 0,045–0,088 мг N/л. Содержание нитратов в заливах иногда достигает 2 мг N/л. Концентрация минерального фосфора в прибрежных водах редко равна аналитическому нулю, обычно она изменяется от 0,005 до 0,030 мг P/л, зимой в отдельные сроки увеличиваясь до 0,045 мг P/л. По мере продвижения от вершин заливов к открытому озеру концентрация фосфора в воде снижается.

Низкий уровень трофии, малое содержание органических веществ в воде и хорошая аэрация обуславливают постоянное высокое содержание кислорода во всей водной толще глубоководной части озера. В трофогенном слое часто отмечается перенасыщение воды кислородом. Кислородный режим в заливах озера, несмотря на их загрязнение, продолжает оставаться хорошим. В местах постоянных наблюдений концентрация его не снижается менее чем до 7,1 мг O₂/л. Возможно, однако, локальное возникновение дефицита кислорода или даже создание анаэробных зон в замкнутых заливах, что отмечал В.П. Матвеев еще в 1928 г.

Краткий обзор гидрохимических материалов, относящихся к современному Иссык-Кулю, показывает, что основная глубоководная часть озера сохраняет свой естественный химический режим. Прибрежные воды вблизи населенных пунктов и особенно в заливах и затоках подвергаются антропогенному воздействию и уже сейчас по ряду показателей существенно отличаются от естественного уровня.

В настоящее время озеро „справляется“ с возрастающей антропогенной нагрузкой только благодаря своему огромному объему, но его самоочищающие возможности не беспредельны.

Сопоставление приведенных выше материалов позволяет выделить наиболее опасные для оз. Иссык-Куль факторы антропогенного воздействия. Таким фактором в первую очередь является тенденция к усилению стока биогенных веществ в озеро. Влияние их, а также органических веществ и некоторых специфических инградентов сказывается пока только на прибрежных зонах акватории. Однако усиление их выноса по мере развития хозяйства и роста численности населения может вскоре затронуть и глубоководную зону озера. Повышение концентрации азота и фосфора может привести к резкому увеличению биопродуктивности водоема. Это особенно опасно, если учесть, что оз. Иссык-Куль относится к высокогорным низкопродуктивным водоемам, „сопротивляемость“ которых антропогенному воздействию особенно мала. Увеличение концентрации биогенных элементов представляет для него большую опасность, чем увеличение солености воды. Рост минерализации в тех масштабах, в каких он происходит в последние 50 лет, не скажется на флоре и фауне озера к 2000 г.

Геологическое строение Иссык-Кульской котловины и состав горных пород создают специфический геохимический фон, который, в частности, отличается значительно повышенным содержанием ионов меди, цинка и фтора как в поверхностных и подземных водах бассейна, так и в воде оз. Иссык-Куль. Содержание этих ионов в поверхностных водах колеблется в зависимости от сезонов года, но повсеместно в устьевых участках рек, впадающих в озеро, концентрация ионов меди и цинка выше предельно допустимой по рыбохозяйственным нормам от 2 до 65 раз. Однако это "природный фон загрязнения" озера, помимо этого существует еще и значительное антропогенное загрязнение.

В наибольшей степени санитарное состояние озера зависит от интенсивности хозяйственного освоения Иссык-Кульской котловины. Многочисленные животноводческие постройки, зимние и осенне-весенние пастбища в настоящее время находятся в пределах заповедной прибрежной зоны озера. Пахотные земли (более 180 тыс. га) располагаются в основном в восточной части побережья, однако постоянно увеличиваются площади сельскохозяйственных угодий и в западной, пустынной, части котловины.

Кроме того, в Прииссыккулье имеются промышленные предприятия по переработке сельскохозяйственного сырья, горно-рудные предприятия, заводы строительных материалов и другие объекты, загрязняющие озеро (Криницкая, 1978).

Гидробиологическая характеристика

Водоросли планктона оз. Иссык-Куль — открытой части, побережья и двух крупных заливов (Тюпского и Джергаланского) — представлены 299 видами, разновидностями и формами, из них синезеленых — 64, золотистых — 7, диатомовых — 149, пирифитовых — 11, зеленых — 68. На протяжении всего года в планктоне озера встречаются представители 4 отделов: синезеленые, диатомовые, зеленые и золотистые водоросли. Диатомеи — самая многочисленная по числу видов группа, однако в основном это представители дна и обрастаний, которые особенно разнообразны в заливах и на прибрежных участках озера (табл. 114). В открытых водах Иссык-Куля диатомовые водоросли играют подчиненную роль. Значительного развития достигает лишь *Cyclotella caspia* Grun., а в заливах и побережьях — *C. meneghiniana* Kütz. (табл. 115). Состав планктонных диатомей в литоральной области более разнообразен, чем в пелагиали озера. Постоянно в значительных количествах в заливах и побережье отмечаются *Synedra ulna* var. *danica* (Kütz.) Grun., *Nitzschia acicularis* W. Sm., *Tabellaria fenestrata* var. *intermedia* Grun., *Cyclotella ocellata* Pant. и др. В планктоне озера регистрируются и бентосные виды, такие как *Rhoicosphaenia curvata* (Kütz.) Grun., *Cocconeis placentula* Ehr., *Navicula cuspidata* Kütz.,

Распределение водорослей планктона на различных участках оз. Иссык-Куль

Отдел	Пелагиаль		Тюпский залив		Залив Рыбачьего		Прибрежье	
	число видов	%	число видов	%	число видов	%	число видов	%
Cyanophyta	44	39.7	40	20.5	28	16.0	34	18.8
Chrysophyta	2	1.8	5	2.6	4	2.3	3	1.7
Bacillariophyta	15	17.1	93	46.9	105	60.0	102	56.3
Pyrrophyta	40	36.0	54	27.3	32	18.3	35	19.4
Chlorophyta	3	5.4	6	3.0	6	3.4	7	3.8

Achnanthes gracillima Hust., однако они в заметных количествах не развиваются.

Отличительная черта фитопланктона оз. Иссык-Куль – доминирование в составе его нанопланктона форм синезеленых и зеленых водорослей. Синезеленые представлены преимущественно планктонными формами. К особенностям их состава следует отнести богатство хлорококковых, из них к массовым относятся 8 видов и форм (табл. 115). Помимо них обычны такие виды, как *Aphanothece clatherata* W. et G.S. West, *Gloeocapsa minuta* (Kütz.) Hollerb., *Coelosphaerium pusillum* van Goor, *C. kuetzingianum* Näg., *Gomphosphaeria lacustris* Chod. В Тюпском заливе – в отличие от остальных участков озера – отмечается разнообразие представителей рода *Oscillatoria*, в основном его донные формы. Несмотря на некоторую опресненность, мелководность и высокую температуру воды, в летние месяцы цветения воды в озере не наблюдается.

Зеленые водоросли в озере представлены преимущественно протококковыми. В отличие от остальных участков озера в Тюпском заливе и его многочисленных затоках отмечаются десмидиевые и один вид улотриковых – *Binuclearia lauterbornii* (Schmidle) Pr.-Lavr., причем последний является руководящим компонентом фитопланктона залива. Из зеленых к числу массовых относится 8 видов и форм (табл. 115). Постоянными компонентами планктона являются *Sphaerocystis schroeteri* Chod., *Kirchneriella obesa* (West.) Schmidle, *Tetraedron minutissimum* Korsch., *Botrycoccus braunii* Kütz.

Беден состав золотистых водорослей Иссык-Куля, из них наиболее постоянен *Kephyrion spirale* (Lack.) Conr.

Из перидиней регистрируются виды родов *Peridinium* и *Glenodinium*, но они существенной роли в фитопланктоне озера не

Массовые формы фитопланктона оз. Иссык-Куль
и их максимальные количественные показатели (тыс. кл./л)
на различных участках

Водоросли	Пела- гиаль	Тюпский залив	Залив Рыбачьего	При- брежье
Cyanophyta				
<i>Merismopedia punctata</i>	12355	3850	368	1673
l Meyen				
<i>M. tenuissima</i> Lemm.	1627	1621	226	3424
<i>M. glauca</i> (Ehr.) Näg.	2395	6838	850	834
<i>M. elegans</i> A. Br.	1101	+	+	+
<i>Gloeocapsa minor</i> f. <i>minor</i> (Kütz.) Hollerb.	2522	998	594	642
<i>G. minor</i> f. <i>dispersa</i> (Keissl.) Hollerb.	1405	+	129	213
<i>G. minima</i> (Keissl.) Hollerb.	973	+	480	+
<i>Lyngbya contorta</i> Lemm.	150	+	+	+
Bacillariophyta				
<i>Cyclotella caspia</i> Grun.	208	237	112	+
<i>C. meneghiniana</i> Kütz.	+	558	221	+
Chlorophyta				
<i>Oocystis submarina</i> Lagerh.	223	+	221	130
<i>O. pelagica</i> Lemm.	+	+	+	148
<i>O. parva</i> W. et W.	193	+	+	
<i>O. issykkulica</i> Kulumb.	413	379	115	138
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> Wood.	943	+	379	321
<i>Sphaeracystis schroeteri</i> Chod.	175	230	104	+
<i>Elakatothrix lacustris</i> Korsh.	271	+	+	+
<i>Binuclearia lauterbornii</i> (Schmidle) Pr.-Lavr.	+	7721	+	+
Pyrrophyta				
<i>Peridinium cinctum</i> (O.F.M.) Ehr.	+	+	1268	+

играют, за исключением зал. Рыбачьего, где у пристани г. Рыбачье в летние месяцы массового развития достигает *Peridinium cinctum* (O.F.M.) Ehr.

В отличие от большинства других водоемов, где происходит резкая смена видового состава фитопланктона в различные сезоны, руководящий комплекс водорослей в Иссык-Куле не претерпевает столь резких изменений в течение года, изменяется лишь интенсивность развития в отдельные моменты времени. Непостоянство проявляется за счет редких и единичных видов.

В развитии фитопланктона озера хорошо прослеживаются два пика: в мае и в октябре-ноябре. Минимум фитопланктона отмечается в зимние месяцы (январь-февраль).

Наибольшее значение в создании общей массы планктона принадлежит синезеленым и зеленым водорослям. Вследствие того что фитопланктон в озере представлен нанопланктонными формами, величины биомассы водорослей небольшие и в период максимума в открытой части озера не превышают 211 мг/м^3 , в заливах величины биомассы выше и в Тюпском заливе доходят до 1.7 г/м^3 , в зал. Рыбачьего — до 5.3 г/м^3 . Численность водорослей, напротив, высокая, ее максимальные величины наблюдаются в пелагиали озера — $1.5\text{--}2 \text{ млн. кл./л.}$, в Тюпском заливе — $4\text{--}5 \text{ млн. кл./л.}$, в зал. Рыбачьего — $3\text{--}4 \text{ млн. кл./л.}$ В среднем за год численность фитопланктона в верхнем 50-метровом слое воды открытой части озера составляет 921 тыс. кл./л, биомасса — 111 мг/м^3 . Влияние речного планктона на альгофлору озера не прослеживается.

Что касается вертикального распределения фитопланктона в открытой части Иссык-Куля, то следует отметить, что большую часть года значительные концентрации водорослей присущи не только верхнему продуцирующему слою, но и большим глубинам. Максимум численности и биомассы растительного планктона в озере приурочен к глубинам 15–60 м. Что касается вертикального распределения водорослей планктона в обоих заливах, то наибольшие концентрации их (особенно синезеленых) сосредоточены в верхнем 5-метровом слое воды.

Таким образом, высокие концентрации растительного планктона в оз. Иссык-Куль захватывают весьма мощный слой (более 50 м). Поэтому, несмотря на низкие величины биомассы водорослей, рассчитанные на единицу объема водных масс озера, под единицей площади его поверхности отмечается весьма значительная биомасса. Так, в 1973 г. среднегодовая биомасса фитопланктона в слое 0–50 м изменялась от 1.0 до 10.5 г/м^2 .

Вследствие того что развитие водорослей планктона в оз. Иссык-Куль происходит на протяжении большей части года и захватывает мощный слой, а также учитывая то обстоятельство, что фитопланктон представлен мелкими формами, являющимися хорошим кормовым объектом ракообразных, в озере создаются весьма благоприятные условия для питания фильтраторов.

По результатам радиоуглеродного метода в августе скорость эффективного фотосинтеза фитопланктона в открытой части озера равна $171 \text{ мг С/м}^2/\text{сут.}$

Донная растительность озера представлена высшими (цветковыми) растениями, занимающими мелководную зону глубиной до 2 м, и низшими (водорослями), распространенными до глубин 30–40 м (разные виды хар).

Погруженная воздушно-водная и водная растительность имеет огромное значение для жизни озера, его гидрохимического и газового режимов, она играет большую роль в качестве кормовой базы и субстрата для нереста филофильных рыб, места укрытия рыб, арены жизни зообентосных организмов и придонных форм зоопланктона; наконец, растения, и в частности заросли хары, имеют большое значение для водоплавающих птиц в качестве их кормовой базы.

Основными представителями высших воздушно-водных растений в оз. Иссык-Куль являются тростник обыкновенный, рогоз широколистный, камыш Табернемонтана, клубнекамыш сходный и скрученный. Из погруженных в воду растений по затонам и заливам широко распространены рдесты гребенчатый и стеблеобъемлющий, уруть колосистая, наяда и руппия морская, роголистник темно-зеленый и др.

Доминирующей формой среди высших растений является тростник обыкновенный. Годовая продукция макрофитов в Иссык-Куле по расчетам составляет в сыром весе 1720000 т.

Харовые водоросли являются доминирующими формами в фитоценозах водной растительности Иссык-Куля, где они опускаются до глубин 35-40 м. Наибольшую продукцию они имеют в зоне глубин 15-20 м. Фитомасса их в сыром весе на черных илах достигает 60 кг/м². В зал. Рыбачьего их годовая продукция превышает 850 000 т, что составляет 49,2% годовой продукции гидромакрофитов всего озера.

В зоопланктоне оз. Иссык-Куль к настоящему времени известно 96 видов и форм, из них коловраток - 78, ветвистоусых - 11, веслоногих - 8. Из всего состава зоопланктона основными для озера являются 15 видов: коловраток - 9 (*Eosphora ehrenbergi* Weber, *Synchaeta cecilia* Rousselet, *S. gyrina* Hood, *Euchlanis oropha* Gosse, *Brachionus quadridentatus* Hermann, *B. urceus* Linnaeus, *Keratella quadrata* Müller, *Hexarthra oxyuris* Lernov, *H. fennica* Levander), ветвистоусых - 2 и 1, преобладающий над всеми, вид веслоногих - диаптомус. Многолетними наблюдениями за динамикой и численностью популяций иссык-кульского чебачка и потребляемого им диаптомуса установлено, что в оз. Иссык-Куль между этими двумя наиболее массовыми видами сложились взаимоотношения в форме "жертва-хищник", которые исторически сбалансированы и количественно определяют друг друга.

Таким образом, рассматривая зоопланктон оз. Иссык-Куль как кормовую базу рыб, следует подчеркнуть, что в современных условиях функционирования озерной экосистемы продукция массовой формы ее зоопланктонного сообщества диаптомуса в значительной степени определяет уровень рыбопродуктивности озера.

За 15-летний период (1964-1978 гг.) систематических наблюдений максимальные и минимальные отклонения среднегодовой биомассы диаптомуса от среднегодового показателя, равного 0,15 г/м³, оказались незначительными - 0,042 и 0,018 г/м³ соответственно, что свидетельствует о низком уровне межгодовых колебаний его биомассы в озере в течение довольно продолжительного периода времени. Диаптомус в оз. Иссык-Куль является низкопродуктивной формой. При $P/B \cdot \text{год}^{-1} = 1,7$ годовая продукция рачка составляет примерно 190 тыс. т.

В составе зообентоса озера установлено около 176 видов и форм, в том числе ростейших 35, ракообразных 20, червей 33, клещей 5, вторичноводных 65, клопов и жуков 14, моллюсков 4.

Зообентос в озере приурочен к прибрежным участкам, как неза-росшим, так и покрытым харовыми водорослями, до глубин 30–35 м. Именно в этой зоне отмечается преобладающая часть видов, кото-рая и определяет общий уровень развития зообентоса озера. На бо-лее глубоких участках видовой состав зообентоса резко обедняется, а на всей центральной глубоководной части озера в его составе отмечаются всего 4–5 видов.

По численности и биомассе зообентоса в оз. Иссык-Куль веду-щая роль принадлежит четырем группам – хирономидам (личинки), моллюскам, гаммаридам и мизидам, составляющим в течение года до 80%, а в отдельные сезоны до 90% численности и биомассы всего зообентоса. Наиболее многочисленными являются личинки хи-рономид, среди которых преобладают 9 видов – *Chironomus plu-mosus* L., *Ch. anthracinus* Zett., *Ch. cingulatus* Mg., *Ch. tentans* F., *Glyptotendipes gripecoveni* K., *G. barb-ipes* Ean., *Stictochironomus pictulus* M., *Tanytarsus* sp., *Cricotopus bicinctus* Meig.

В темно-серых илах в массовых количествах отмечаются пред-ставители рода хирономус – *Ch. plumosus*, *Ch. cingulatus*, *Ch. tentans*, *Ch. anthracinus*. На песчано-илистых грунтах массовыми являются *Stictochironomus pictulus* и *Tany-tarsus* sp.

На мелководьях, среди водорослей, высокой численности дости-гают ортокладыны. Из моллюсков значительную роль в формирова-нии численности и биомассы зообентоса играет один вид – *Radix auricularia* (L.) *obliquata* M., широко распространенный почти на всех глубинах до 60 м. Среди гаммарид наиболее много-численными являются два вида – *Gammarus negri* M. и *G. ocellatus* M. Первый характерен для каменистых биотопов, вто-рой – для зарослей харовых водорослей.

Среднегодовая биомасса зообентоса в зоне максимального разви-тия (зона харовых водорослей) только за счет массовых видов че-тырех групп составляет 6.0–8.0 г/м². В целом (с учетом второсте-пенных видов и форм) среднегодовая биомасса зообентоса до глубин 30–35 м не превышает 8–10 г/м².

За зоной распространения харовых водорослей (примерно на глу-бинах 60–70 м) показатели численности и биомассы зообентоса па-дают в 2–3 раза и состояются в основном за счет четырех видов личинок хирономид – *Ch. anthracinus*, *Ch. plumosus*, *Stic-tochironomus pictulus*, *Tanytarsus* sp. и в меньшей сте-пени моллюска *R. auricularia*. Среднегодовая биомасса зообен-тоса на этих участках озера составляет 2.5–3.5 г/м².

Глубоководная зона занимает преобладающую часть площади дна озера. Здесь зообентос отличается крайне низкими показателями численности и биомассы и состоит из двух эндемичных видов мало-щетиноквых червей – *Enchytracus przewalskii* Hrabe, *E. issykkulensis* Hrabe и одного эндемичного вида гаммарид – *Issykkogammarus hamatus* Chev. Среднегодовая биомасса зообентоса в этих районах озера не превышает 0.2–0.3 г/м².

В 1965–1968 гг. с целью повышения кормовой базы рыб в оз. Иссык-Куль были интродуцированы три вида мизид – *Paramysis kovalevskyi* Chern, *P. intermedia* и *P. baeri* Chern, – из оз. Балхаш. Всего за указанный период в мелководные опресненные участки озера было выпущено около 8 млн. рачков. До 1969 г. нарастание численности мизид происходило медленно, массовое нарастание численности и расселение рачков в другие мелководные участки озера впервые было отмечено весной 1969 г. В это время в значительных количествах мизиды стали отмечаться по всей северной части мелководья восточной половины озера, где их биомасса на отдельных участках достигала 10,0–15,0 г/м². В 1971 г. рачки появились практически во всех мелководных районах, количественно преобладая в заливах и на опресненных участках. Наиболее высокую численность к этому времени они создали в опресненных затоках северо-востока, где их биомасса достигала 15–25 г/м². К настоящему времени численность мизид в озере стабилизировалась. Отчетливо проявляются места их наибольшей концентрации и отношение к определенным факторам среды: глубинам, грунтам, химизму воды. Мизиды заселили в озере мелководные участки, концентрируясь в основном на глубинах 1,5–8,0 м. На этих участках их среднегодовая биомасса составляет от 1,5 до 2,5 г/м².

Рассматривая зообентос Иссык-Куля как кормовую базу рыб, следует отметить, что для дальнейших расчетов принимались во внимание его количественные показатели только в зоне глубин, ограниченной изобатой 70 м, так как на больших глубинах зообентос развит крайне слабо и имеет практическое значение в питании рыб бентофагов не может. При этом условия среднегодовая биомасса зообентоса в упомянутой зоне не превышает 5,0–7,0 г/м². Так как площадь этой зоны озера равна примерно 1,7 тыс. км², то среднегодовая биомасса всего бентоса здесь составляет 10,2 тыс. т.

Ихтиофауна

В настоящее время ихтиофауна оз. Иссык-Куль представлена 27 видами и подвидами, относящимися к 5 семействам. Из них аборигены насчитывают всего 6 видов: иссык-кульские чебак, чебачок, голянь, пескарь, маринка и губач. В 40–60-е годы при интенсивном освоении рыбных запасов озера ежегодные промышленные уловы составляли 10–13 тыс. ц, при этом 90–95% приходилось на чебачка.

Крайне низкая рыбопродуктивность, а также низкая товарная ценность основного объекта промысла побудили разработать в 50-х годах комплекс мероприятий, направленных на интенсификацию рыбного хозяйства озера. В результате проведенных рыбоводно-акклиматизационных работ ихтиофауна озера пополнилась ценными в промысловом отношении видами – форелью, судаком, сигом-лудогой, байкальским омулем и др.

Т а б л и ц а 116

Динамика уловов рыбы (ц) в оз. Иссык-Куль в 1965-1978 гг.

Виды рыб	1965 г.	1966 г.	1967 г.	1968 г.	1969 г.	1970 г.	1971 г.	1972 г.	1973 г.	1974 г.	1975 г.	1976 г.	1977 г.	1978 г.
Судак	200	136	140	380	580	1160	1610	865	1530	1650	1120	1120	980	726
Чебак	320	230	134	230	210	190	450	640	690	750	770	670	590	261
Карп-сазан	236	20	20	80	70	60	34	20	23	10	11	3	4	2,7
Форель	3	20	30	45	53	50	176	143	130	120	475	520	410	355
Осман	20	3	2	20	4	8	11	10	26	10	12	12	18	23
Маринка	60	45	40	30	20	5	5	20	23	27	3	3	2	2,3
Лещ-линь	91	24	91	20	20	55	96	36	40	30	30	20	20	7,0
Чебачок	12570	11322	11383	10095	8333	8032	9556	9946	9928	8263	6856	7396	6266	4737
Сиг	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	36	50	44
В с е г о	13500	11800	11840	10900	9290	9560	11940	11680	12390	10860	9280	9780	8340	6156
Хищные, %	1,5	1,3	1,4	3,5	6,8	10,2	13,7	8,6	13,4	16,3	17,3	16,7	16,6	10,6
Чебачок, %	93,8	96,1	96,4	93,2	90,7	84,4	88,3	85,1	80,1	76,0	75,8	75,3	75,1	77,1

Акклиматизационные работы на озере практически начались с 1930 г., когда 330 тыс. личинок севанской форели-гегаркуни были выпущены в р. Ирдык. Однако широкие масштабы эти работы приобрели с 50-х годов. Особенно успешной оказалась акклиматизация хищных видов - форели и судака, которые нажили в озере богатую кормовую базу. В настоящее время абсолютная численность двух основных популяций форели - тюпской и джергаланской - оценена в 16-20 тыс. шт. Рост запасов этого вида лимитируется условиями воспроизводства и широкими масштабами браконьерства. В первый период акклиматизации для судака оказались наиболее благоприятными восточные районы озера, опресняемые реками Тюп и Джергалан. Уничтожив там кормовую базу, судак начал распространяться в западные районы озера.

Особо следует остановиться на акклиматизации в Иссык-Куле сиговых. До недавнего времени планировалось создание в озере фореле-сигового комплекса. Высказывалось предложение о замене чебачка ряпушкой. С 1966 г. были осуществлены завозы небольших партий икры ряпушки, байкальского омуля, пеляди и севанских сигов. Затем предпочтение было отдано сигу-лудоге из Севана, который одновременно является и планктофагом и бентофагом. Однако несмотря на ежегодный выпуск в озеро в больших количествах личинок и мальков сига-лудоги, он до сих пор не достиг промысловой численности. Омуль также промысловой численности не достиг.

Численность карпа и сазана незначительна. Это связано с неблагоприятными условиями их размножения. Падение уровня озера, а также уничтожение завезенной в озеро ондатрой зарослей тростника резко снизили эффективность естественного нереста этих видов. Работы по выращиванию личинок и молоди форели, османа и сига с целью зарыбления ими Иссык-Куля проводятся на Тонском и Каракольском рыбододных заводах. Мощность заводов незначительна. В последние годы выпуск молоди форели составлял 8-9 тыс. шт., османа - 4-7 тыс. шт. ежегодно.

Осуществление рыбододно-акклиматизационных мероприятий дало некоторый биологический и рыбохозяйственный эффект. Акклиматизационные мизиды в настоящее время дают значительную биомассу и прочно вошли в кормовой рацион рыб. Изменился видовой состав промысловых уловов. Уже в 1971 г. ценные в промысловом отношении виды составили 16% уловов (вместо 5-10% ранее), а в 1976 г. - 26% уловов (табл. 116). Однако в процессе реконструкции состава ихтиофауны Иссык-Куля был завезен ряд „нежелательных“ видов: карась, линь, амурский чебачок, полосатая быстрянка и некоторые другие. Они успешно конкурируют с ценными промысловыми видами, снижая рыбохозяйственный эффект водоема. Следует отметить, что в период формирования в озере популяций хищных видов, особенно судака, было допущено изменение лимитирования его промысла, что привело к резкой вспышке численности этого вида. В свою очередь судак резко снизил запасы чебачка, сазана и других видов. Произошло нарушение биологического равновесия в системе хищник-жертва. Оказались подорванными и запасы османа и маринки.

Многие годы практиковался их интенсивный промысел на нерестилищах.

Закономерное падение уровня воды в Иссык-Куле также отрицательно сказывается на процессе продуцирования ихтиомассы водоема. Произошло осушение обширных мелководий в западных и восточных районах озера. Это привело к сокращению площадей, пригодных для нереста и нагула рыб. Усиливается загрязнение прибрежной зоны озера промышленно-бытовыми и сельскохозяйственными стоками. Наконец, возросший приток отдыхающих привел к резкому расширению любительского рыболовства. По предварительным расчетам рыбаки-любители изымают ихтиомассу, близкую к величине промышленных уловов.

Следствием воздействия перечисленных выше факторов явилось резкое сокращение в оз. Иссык-Куль промысловых уловов рыб (табл. 116).

8.2. Возможные изменения природных ресурсов

Водные ресурсы

Современная географическая тенденция изменения общей увлажненности Средней Азии и Казахстана направлена на дальнейшее снижение ее уровня. Соответственно климатические и гидрологические условия в бассейне оз. Иссык-Куль не имеют никаких физико-географических перспектив на обогащение водного баланса в пределах обозримого будущего. Среднее годовое снижение уровня озера за последнее столетие равно строго выдержанной величине — 7 см, за последние 50 лет — 5 см, за последние два десятилетия средняя годовая величина снижения уровня составляет также 5 см. Такое временное изменение соотношений средних годовых величин уровня явилось следствием трех упомянутых выше трансгрессивных внутривековых фаз. Такой же следует ожидать ее и в ближайшие годы, вплоть до первой половины 80-х годов, когда не исключено проявление следующей незначительной внутривековой трансгрессивной фазы (Шнитников, 1977).

В дальнейшем в связи с развитием орошения, курортов и промышленности в районе озера и, следовательно, с увеличением водопотребления, в частности за счет эксплуатации подземных водных ресурсов, в 80-х годах можно ожидать возрастания средней годовой величины общего снижения уровня до 7 см, а в 90-х годах — до 9–10 см. Маловероятно, что величины превысят указанные. Тогда в 80-х годах можно ожидать понижения уровня озера на 60–80 см, в 90-х годах — на 90–100 см. Общая вероятная величина природного снижения уровня к 2000 г. едва ли достигнет 1,6–1,8 м, но будет близка к ней.

Если снижение уровня озера к 2000 г. достигнет величины 2 м или даже превысит ее, как указывается в некоторых существующих

разработках, оно, вероятнее всего, будет являться следствием обеднения ресурсов подземных вод бассейна, ныне все более эксплуатируемых в целях развития орошения. На это уже сейчас необходимо обратить самое пристальное внимание, поскольку формируются существующие подземные воды в течение тысячелетий, а в дальнейшем благоприятных условий для восстановления их запасов не будет, поскольку в бассейне истощены тысячелетние ресурсы льдов и „вечных“ снегов.

Дальнейшее снижение уровня озера недопустимо по целому ряду весьма разнохарактерных причин, как природного, так и хозяйственного, санитарно-гигиенического и бальнеологического значения. Среди них одна первостепенной важности: снижение уровня озера неизбежно влечет за собой понижение базиса эрозии и уровня грунтовых и подземных вод. А этот процесс чреват такими грозными последствиями, как усыхание и частичное опустынивание побережий озера, особенно на северных склонах Терской-Ала-Тоо.

Единственный путь реальной борьбы с понижением уровня озера как в настоящем, так и в будущем, влекущим за собой усыхание котловины, — переброска в озеро дополнительных источников питания. К числу таковых в первую очередь относится переброска вод р. Ара-Бель-Суу, наиболее доступная (дешевая и технически несложная), в количестве (первоначально) до 150–180 млн, м³ в год. Бесспорно необходимой и технически также легко осуществимой является переброска вод р. Каркары через Санташ и р. Тюп по пути, по которому она сама ранее достигала оз. Иссык-Куль.

Переброска в оз. Иссык-Куль вод рек Ара-Бель-Суу и Каркары на современном уровне может обеспечить слой воды на озере в 7 см, необходимый для прекращения современного понижения его уровня, грозящего весьма крупными неблагоприятными последствиями.

Качество воды

Развитие хозяйства и расширение курортной зоны на берегах озера способствуют увеличению выноса ряда химических веществ в озеро и неизбежно скажутся на гидрохимическом режиме водоема.

В связи с созданием в Прииссыккулье Всесоюзной здравницы и ростом курортного строительства резко возрастет антропогенная нагрузка на озеро и его бассейн. Если в 1970 г. общая вместимость всех видов курортно-оздоровительных учреждений составляла 28 тыс. мест, то к 2000 г. планируется создание 160 тыс. мест, т.е. произойдет их увеличение более чем в 5 раз. Только за счет отдыхающих население Иссык-Кульского курортного района в 1980 г. возросло до 390 тыс. человек, в 1990 г. оно составит 523 тысячи, а в 2000 г. — 627 тыс. человек в круглогодичном исчислении. В это число входят и отдыхающие „диким“ способом.

Все отрасли народного хозяйства, местное население и отдыхающие во все возрастающих количествах потребляют пресную воду и формируют загрязненные стоки. Большие объемы возвратных вод

с орошаемых полей несут немалое количество биогенов и ядохимикатов в озеро. Однако до настоящего времени эффективные меры по предотвращению загрязнения озерных вод не проводятся. На перспективу разработана единая система водоохраных мероприятий по борьбе со всеми видами загрязнения, базирующаяся на семи созданных самостоятельных системах водоснабжения в наиболее крупных промышленных и населенных пунктах.

Среди загрязняющих веществ надо в первую очередь упомянуть фосфор. Фосфаты не считаются загрязняющими компонентами, для них не выработана величина ПДК. Очистные сооружения не обеспечивают удаления фосфора из стоков, так как содержание его не регламентируется, а опасность попадания в водоем недооценивается. Между тем именно поступление фосфора (и в меньшей мере — азота) определяет уровень биопродуктивности озера. Увеличение притока фосфора в оз. Иссык-Куль приведет к повышению уровня трофики водоема и скажется на качестве его воды. К бессточному солоноватоводному водоему, каким является Иссык-Куль, не применима схема расчета продуктивности через фосфорную нагрузку, предложенная Фолленвайдером и получившая широкое распространение для прогнозирования. Можно приблизительно оценить увеличение концентрации фосфора в водоеме к 2000 г. за счет развития хозяйства и роста численности населения в бассейне озера. Величина поступления общего фосфора в оз. Иссык-Куль в настоящее время и на 2000 г. была рассчитана на основе существующих норм выноса фосфора из населенных пунктов и оросительных систем, а также на основании современных данных о приносе фосфора реками, впадающими в озеро (табл. 117).

На основании величин, приведенных в табл. 117, было рассчитано количество общего фосфора, которое поступит в озеро к 2000 г., с учетом равномерного роста фосфорной нагрузки на озеро. Полученная величина равна 18 тыс. т. При равномерном распределении в озерной воде и при отсутствии седиментации она обеспечит увеличение концентрации фосфора в озере на 0,010 мг P/л. При этом средняя концентрация общего фосфора, казалось бы, должна достичь 0,060 мг P/л, но, поскольку неизбежно будет происходить седиментация, прирост концентрации будет меньшим. Для оз. Иссык-Куль коэффициент седиментации неизвестен. По аналогии с другими большими озерами можно предположить, что он будет составлять величину, не меньшую, чем 0,7. Следовательно, к 2000 г. средняя концентрация общего фосфора в Иссык-Куле повысится не более чем на 0,003 мг P/л, что является ничтожной величиной при существующей амплитуде колебаний его концентрации.

Все сказанное относится к средним величинам для центральной части озера. В прибрежной зоне картина будет иной. Фосфор, поступающий с водосбора, существенно увеличит содержание этого элемента в прибрежных водах и создаст здесь условия для усиления фотосинтеза. Интенсивность этого процесса будет определяться соотношением скоростей ассимиляции фосфора и разбавления вод, обогащенных биогенными элементами. К 2000 г. усилится и поступ-

Главные источники поступления общего фосфора (т в год)
в оз. Иссык-Куль

Источник поступления	Современное поступление	Поступление в 2000 г.
Вынос реками	547	547
Городское население	102	317
Сельское население	121	138
Новые вводимые в эксплуатацию орошаемые земли		28
И т о г о	770	1030

П р и м е ч а н и е. Отдыхающие на курортах причислены к городскому населению, так как здравницы оборудуются системой централизованного водоснабжения и канализации.

ление органических веществ с берегов, особенно легкоокисляющихся фракций. Этот фактор в сочетании с ростом биопродуктивности прибрежных вод вызовет увеличение концентрации лабильных органических соединений в этой зоне, что в свою очередь скажется на кислородном режиме прибрежных частей акватории. Содержание кислорода в придонных водах заливов может заметно ухудшиться, вплоть до возникновения анаэробных зон (при отсутствии ветрового перемешивания). Увеличится величина БПК прибрежных вод.

Минерализация воды озера не должна претерпеть существенных изменений к 2000 г, так как расширение курортной зоны не вызовет резкого увеличения стока главных ионов в озеро.

Осолонение озера за счет снижения уровня не должно заметно проявиться в ближайшие 20 лет, так как скорость этого процесса мала, о чем говорят результаты наблюдений предшествующих 50 лет. Благодаря большим глубинам осолонение оз. Иссык-Куль происходит намного медленнее, чем озер Чаны и Балхаш.

Биоресурсы

Современное состояние природных гидробиологических элементов оз. Иссык-Куль (фито- и зоопланктон, бентос) является вполне устойчивым. Ни в одном из компонентов гидробиологии за годы исследований озера не наблюдалось заметных изменений. Такое положение в основном определяется, с одной стороны, громадной общей массой вод, заключенных в котловине озера, и крутизной берегов, что создает природную стабильность температурного режима озера

(известно, что озеро вообще не замерзает), а с другой — малой изрезанностью озерных побережий, что способствует стабильности гидробиологического состояния озерных вод. Стабильность указанных условий указывает на то, что в обозримом временном аспекте нет оснований ожидать заметных изменений в состоянии природных гидробиологических компонентов. Что касается интродуцированных в озеро мизид, то их состояние в количественном отношении к настоящему времени стабилизировалось. Тем не менее, учитывая малую продолжительность освоения ими прибрежий озера, к 2000 г. можно ожидать некоторого обогащения ими озерных вод.

Рыбное хозяйство

Низкая естественная рыбопродуктивность озера, плохая организация промысла, нерациональное его размещение и сезонность лова обусловили нерентабельность современного рыбного промысла на Иссык-Куле. В целях разработки рекомендаций по повышению рыбохозяйственной ценности озера Иссык-Кульской биологической станцией АН Киргизской ССР осуществляются исследования по динамике численности рыб озера и оптимальному использованию его промысловых запасов.

Методы оценки относительной численности рыб основывались на статистике уловов каждого вида и биостатистических показателях: возрастном составе, линейном и весовом росте, темпе полового развития и величине пополнения с учетом характера промысла и других объективных факторов, определяющих процесс формирования рыбных ресурсов в оз. Иссык-Куль. Исключение составляли непромысловые рыбы, запасы которых в озере определялись расчетным методом. В основу расчета бралась степень использования запасов непромысловых рыб хищниками и другими промысловыми рыбами озера.

Проведенные исследования позволили рекомендовать промышленным организациям пересмотреть лимиты годовых уловов основных промысловых рыб, и особенно чебачка. Иссык-кульский чебачок, являясь объектом питания многих ценных видов, служит важным звеном в биологической цепи озера. Исходя из численности чебачка, были рекомендованы его уловы только в размере 3 тыс. ц при запрещении лова его сетями во все сезоны года.

Численность судака должна быть сокращена до минимума путем разрешения неограниченного его отлова во все сезоны года.

Учитывая наличие в Иссык-Куле недоиспользуемых рыбами бентосных кормовых организмов, необходимо в широких масштабах зарыблять озеро сига́ми-бентофа́гами. Необходимо также продолжать выпуск подрощенной молоди форели.

Неотложной задачей дальнейшей интенсификации рыбного хозяйства на Иссык-Куле является расширение масштабов воспроизводства запасов сазана путем создания нерестово-выростного хозяйства и принятия действенных мер по охране его естественных нерестилищ в Тюпском заливе и в других районах озера.

Реорганизация промысла на озере должна идти по пути перенесения основного сезонного лова с весеннего, нерестового, периода на летне-осенний. Наряду с этим целесообразно развитие на водоеме организованного спортивного и любительского рыболовства. Это вполне оправдано в условиях создания в Прииссыккулье здравниц союзного значения. Ориентировочные расчеты показывают, что оплата любителей-рыболовов явится существенным вкладом в эконоимику рыбного хозяйства озера.

При реализации перечисленных мероприятий уловы на Иссык-Куле могут быть доведены к 2000 г. до 14 тыс. ц, а квота для любительского и спортивного рыболовства не должна превышать 4 тыс. ц. Следует отметить, что параллельно с интенсификационными мероприятиями в интересах рыбного хозяйства необходимо стабилизировать уровень воды в озере. Как отмечалось выше, в настоящее время уровень Иссык-Куля понижается в среднем на 5 см, при этом происходит сокращение площади и объема водной массы озера. Если эта тенденция сохранится, то за ближайшие 10 лет площадь озера уменьшится на 5 тыс. га, а к 2000 г. — на 10–12 тыс. га. Отступление береговой линии будет происходить неравномерно. Наиболее быстрое отступление, согласно характеру батиметрии, будет происходить на восточном и западных мелководьях, где будут потеряны наиболее продуктивные участки, места нагула рыб. Отрицательное влияние понижения уровня озера скажется также на сокращении нерестовых площадей ценных промысловых видов — сазана, карпа, судака, чебака, османа, чебачка и маринки. Снижение прироста ихтиомассы в связи с ожидаемым изменением уровня Иссык-Куля приведет к тому, что уловы упадут до 5 тыс. ц.

Еще значительнее к 2000 г. снизится рыбопродуктивность за счет роста эвтрофирования в прибрежной зоне озера. Если в целом по озеру средняя концентрация фосфора повысится не более чем на 0,003 мг P/d, то в его прибрежной зоне картина будет иной. Как указывалось, фосфор, поступающий с водосбора, существенно увеличит содержание этого элемента в прибрежных водах и создаст условия для усиления фотосинтеза. К 2000 г. усилится и поступление органических веществ с берегов, особенно легкоокисляющихся фракций. Этот фактор в сочетании с ростом биопродуктивности прибрежных вод вызовет увеличение концентрации лабильных органических веществ в прибрежной зоне, что в свою очередь скажется на кислородном режиме прибрежной акватории. Содержание кислорода в придонных водах заливов может заметно ухудшиться, вплоть до возникновения анаэробных зон (при отсутствии ветрового перемешивания). Возрастет величина БПК прибрежных вод.

Указанные изменения экологических условий в прибрежной зоне Иссык-Куля приведут к снижению рыбопродуктивности озера, и уловы только за счет прироста ихтиомассы от естественного воспроизводства рыб составят не более 2,2 тыс. ц.

8.3. Выводы и предложения

1. Озеро Иссык-Куль – второе по глубине озеро СССР – вследствие прекрасных климатических условий представляет собой объект, перспективный для рекреаций и лечебных целей.

2. Современная географическая тенденция общей увлажненности Средней Азии, и в частности бассейна озера, направлена на дальнейшее снижение ее уровня. Озеро с начала XIX столетия под влиянием устойчивых климатических тенденций, в последнее время усиливающихся разбором воды притоков на орошение, понижает свой уровень, к 2000 г. можно ожидать дальнейшего падения его еще на 1,5–1,8 м.

3. Единственный реальный путь борьбы с понижением уровня – переброска в озеро воды из соседних речных бассейнов, например вод р. Ара-Бель-Суу или р. Каркары и, возможно, воды р. Сары-Джаз.

4. Озеро имеет слабосоленоватую воду с преобладанием хлоридов и сульфатов (6,0 г/л), бедную органическим веществом. Водная масса озера хорошо аэрирована. Санитарное состояние озера хорошее, но отдельные заливы и затоны подвергаются загрязняющему воздействию.

5. По средней продукции фитопланктона и зоопланктона (соответственно 31,0 г/м² и 26 г/м²) озеро относится к олиготрофным. Благодаря высокой прозрачности воды донная растительность хорошо развита до глубины 40 м.

6. Озеро обладает низкой естественной рыбопродуктивностью, усиливаемой сокращением нерестовых площадей, происходящим при понижении уровня воды.

7. В целях охраны природы озера и его народнохозяйственной ценности необходимо ограничение транзита автотранспорта по берегам озера, судов с механическими двигателями по озеру, а также сокращение неорганизованного туризма на побережье.

Л и т е р а т у р а

- А з ы к о в а Э.К., К о р о т а е в В.Н. Литология зоны пляжа и донные отложения озера. – В кн.: Озеро Иссык-Куль. Фрунзе, 1978, с. 59–77.
- А з ы к о в а Э.К., М е л ь н и к о в а А.П. Природные комплексы береговой зоны оз. Иссык-Куль. – В кн.: Прибрежная зона оз. Иссык-Куль. Фрунзе, 1979, с. 103–137.
- Б о л ь ш а к о в М.Н. Водные ресурсы рек Советского Тянь-Шаня и методы их расчета. Фрунзе, 1974. 306 с.
- Б о н д а р е в Л.Г., З а б и р о в Р.Д. Физико-химические свойства воды. – В кн.: Озеро Иссык-Куль. Фрунзе, 1978, с. 122–126.
- Г о л у б е в Г.Н. Весенне-летний сток рек Иссык-Кульской котловины. – В кн.: Работы Тянь-Шаньской физико-географической станции. Фрунзе, 1964, вып. 7, с. 35–46.

- Г у т е л ь м а х е р Б.Л. Фосфорный режим реки Тюп и Тюпско-го залива оз. Иссык-Куль. - В кн.: Гидробиологические исследования на реке Тюп и Тюпском заливе оз. Иссык-Куль. Л., 1977, с. 17-19.
- З а б и р о в Р.Д. Современное и древнее оледенение в бассейне оз. Иссык-Куль. - В кн.: Гляциологические исследования на Тянь-Шане. Фрунзе, 1975, с. 47-62.
- З а б и р о в Р.Д., Х е й ф е ц М.Н. Общая гидрологическая характеристика бассейна и водный баланс озера. - В кн.: Озеро Иссык-Куль. Фрунзе, 1978, с. 98-102.
- К а д ы р о в В.К. О влиянии речного стока на химический состав воды прибрежной зоны оз. Иссык-Куль. - Докл. АН СССР, 1965, т. 163, № 6, с. 1470-1473.
- К а д ы р о в В.К. Новые данные об ионно-солевом составе воды оз. Иссык-Куль. - Докл. АН СССР, 1968, т. 150, № 2, с. 396-398.
- К а д ы р о в В.К. Содержание органического вещества в воде оз. Иссык-Куль и его притоках. - В кн.: Вопросы водного хозяйства: Гидрохимия. Фрунзе, 1973, вып. 27, с. 11-19.
- К а д ы р о в В.К. Основные черты гидрохимии оз. Иссык-Куль. - В кн.: Круговой оборот вещества и энергии в озерных водоемах. Новосибирск, 1975, с. 168-172.
- К а д ы р о в В.К., Т у р д а к о в а И. К гидрохимии заливов и затонов оз. Иссык-Куль. - В кн.: Вопросы водного хозяйства: Гидрохимия. Фрунзе, 1966, вып. 3, ч. 2, с. 8-29.
- К а п л и н с к и й М.Н., К о с у х и н а М.И. Динамика водного баланса оз. Иссык-Куль при современном состоянии и на перспективу. - В кн.: Вопросы водного хозяйства, Фрунзе, 1978, вып. 44, с. 103-115.
- К а п л и н с к и й М.И., Т и м ч е н к о Л.С. Водный баланс озера Иссык-Куль за многолетний период. - Тр. САРНИГМИ, 1977, вып. 50 (131), с. 87-101.
- К о д ы е в Г.В. Морфометрическая характеристика оз. Иссык-Куль. - Изв. ВГО, 1973, т. 105, вып. 4, с. 299-306.
- К о р о в и н В.И., Х е й ф е ц М.Н. Многолетние колебания уровня озера Иссык-Куль и причины его резкого понижения в первой половине XX столетия. - В кн.: Проблемы географии Киргизии. Фрунзе, 1975, с. 90-91.
- К р и н и ц к а я Р.Р. Вопросы охраны природы. - В кн.: Озеро Иссык-Куль. Фрунзе, 1978, с. 188-197.
- М а т в е е в В.П. Данные по распределению кислорода и хлора в оз. Иссык-Куль. - Изв. ГГИ, 1929, т. 6, № 24, с. 35-38.
- М а т в е е в В.П. О солености оз. Иссык-Куль. - Зап. ГГИ, 1932, т. 6, с. 79-91.
- М а т в е е в В.П. Гидрологические исследования на оз. Иссык-Куль в 1932 г. - В кн.: Озеро Иссык-Куль: Тр. Киргизск. компл. экспед. 1931-1933 гг. М.; Л., 1935, т. 3, вып. 2. 183 с.
- М о л ч а н о в И.В. Озеро Иссык-Куль. Л., 1946. 148 с.

- Мордухай-Болтовской Ф.Д. Каспийская фауна в Азово-Черноморском бассейне. Л., 1960, 288 с.
- Орлова Т.Б. Некоторые данные по волновому режиму оз. Иссык-Куль. - В кн.: Физическая география Прииссыккуля. Фрунзе, 1970, с. 34-47.
- Орлова Т.Б. Термический режим. - В кн.: Озеро Иссык-Куль. Фрунзе, 1978, с. 133-138.
- Сапожников Д.Г., Виселкина М.В. Современные осадки оз. Иссык-Куль и его заливов. - Тр. ИГЕМ, 1960, вып. 36, с. 224.
- Соболев Л.Н. Очерк растительности Иссык-Кульской котловины. Фрунзе, 1976. 108 с.
- Ставиский Я.С. О некоторых закономерностях температурного обмена вод оз. Иссык-Куль. - В кн.: Озера и водохранилища Средней Азии. Л., 1977, с. 75-80. (Тр. САРНИГМИ; вып. 50 (131)).
- Хейфец М.Н. Волнения и сейши. - В кн.: Озеро Иссык-Куль. Фрунзе, 1978, с. 138-144.
- Шнитников А.В. Водные ресурсы озера Иссык-Куль. - Водные ресурсы, 1977, № 5, с. 5-19.
- Шнитников А.В. Иссык-Куль. - Природа, охрана и перспективы использования озера. Фрунзе, 1979. 95 с.
- Шнитников А.В. Озеро Иссык-Куль. - В кн.: Озера Тянь-Шаня и их использование. Л., 1980, с. 5-69.

Изучение больших озер нашей страны показывает, что изменение их облика в настоящее время зависит не столько от природных условий, сколько от антропогенного воздействия. Основные природные факторы, которые определяют черты озера как водного объекта (климат, морфометрия, особенности стока с водосбора), в естественных условиях не столь динамичны, чтобы их изменения могли быть заметны в сравнительно небольшой, обозримый во времени, период. Наоборот, изменения в озерах, наблюдаемые в последние десятилетия, связаны в основном с воздействием все возрастающей хозяйственной деятельности.

Рассмотрение многофакторной зависимости между режимом озер и уровнем хозяйственной освоенности их водосборов, а также проводимыми в их бассейнах гидротехническими мероприятиями позволяет установить характер современных и наметить вероятные экологические изменения рассмотренных крупных озер СССР. Это дает возможность представить использование их природных ресурсов в перспективе, а в некоторых случаях и оценить возможность существования озер как природных объектов народнохозяйственной ценности.

Рассмотренные крупные озера в зависимости от их физико-географических условий и степени антропогенного влияния можно разделить прежде всего на две группы: на озера, расположенные в зоне избыточного увлажнения, — озера Северо-Запада ЕТС и озера, находящиеся в зоне недостаточного увлажнения на территории АТС.

Озера Северо-Запада ЕТС расположены в экономически развитом промышленном районе и это, с одной стороны, поднимает значение использования их природных ресурсов, с другой — делает их бассейны более подверженными антропогенному воздействию. Различия в морфометрии позволяют разделить их на глубоководные и мелководные.

Большие глубоководные озера Ладожское и Онежское имеют малую проточность, что способствует аккумуляции в них веществ, выносимых с водосбора, и высокую прозрачность воды, благоприятствующую фотосинтезу. Все это снижает возможности сопротивления их антропогенному влиянию, и лишь их холодноводность и большая водная масса до времени сдерживают их эвтрофирование. Повышение трофического уровня Ладожского озера, происшедшее в послед-

ние годы, показывает, как быстро может быть нарушено экологическое равновесие даже крупного озера при увеличении поступления в него больших объемов промышленных и хозяйственных вод.

Онежское озеро в будущем может оказаться в таком же положении, если не будет осуществлен комплекс водоохраных мероприятий.

Интенсивность антропогенного воздействия на мелководные озера Чудско-Псковское и Ильмень, связанного с промышленными, хозяйственно-бытовыми и сельскохозяйственными стоками с водосборов, пока снижается рядом гидрофизических факторов, таких как высокая проточность, перемешиваемость при малых глубинах, низкая прозрачность, защитная роль мощных макрофитов литорали и др. Все это способствует обмену питательными веществами и создает высокую биологическую продуктивность озер. Только кардинальные изменения гидрологического режима, связанные с изменением морфометрии и водного баланса, могут создать условия для нарушения их существования.

Другая часть озер, расположенных в АТС, - Чаны и Балхаш - бессточна. Они находятся в зоне недостаточного увлажнения и в малонаселенной местности, поэтому основной угрозой для них является снижение объема внешнего притока: в оз. Чаны - в результате естественного процесса засушливости, а в оз. Балхаш - вследствие создания водохранилищ на р. Или. Если в ближайшее время не будут предприняты решительные меры, направленные на увеличение внешнего притока в эти озера, то через два-три десятилетия они потеряют свое народнохозяйственное значение.

Особое положение занимает горное олиготрофное озеро Иссык-Куль, пока еще мало затронутое антропогенным влиянием. Однако отсутствие стока, высокая прозрачность воды, повышенное естественное содержание фосфора - все это делает экосистему озера уязвимой при возрастании антропогенного воздействия. Для сохранения этого озера и рационального использования его природных ресурсов необходимо создание научно обоснованной и сбалансированной во всех звеньях программы оптимального водопользования.

В соответствии с тем состоянием, в каком находятся в настоящее время эти озера, и с учетом тех изменений, которые могут возникнуть в них за период до 2000 г., составлены конкретные рекомендации для каждого озера, направленные на максимально возможное сохранение их природных ресурсов. Некоторые из предлагаемых рекомендаций являются общими для всех больших озер СССР. Это в первую очередь относится к предотвращению загрязнения озер промышленными стоками и к организации рыбного хозяйства.

Поступление в озера промышленных сточных вод чрезвычайно опасно по своим последствиям для озерных экосистем. Положение усугубляется тем, что основное количество загрязнителей нередко поступает в озера вопреки и в нарушение государственных постановлений об охране водных ресурсов, что делает невозможным прогноз содержания этих загрязнителей в озерной воде. Решение проблемы рационального использования природных ресурсов крупных

озер в дальнейшем немислимо без строжайшего контроля со стороны соответствующих органов за выполнением водоохранных мероприятий и нормативов очистки сточных вод промышленных предприятий.

Рыбное хозяйство исследуемых озер уже в настоящее время терпит значительные убытки в результате отрицательного антропогенного воздействия на озера со стороны любительского и промышленного рыболовства, водохозяйственного строительства, загрязнения промышленно-бытовыми и сельскохозяйственными стоками.

Успешное развитие рыбного хозяйства на крупных озерах связано с реализацией широкой программы рыбоохранных и рыбоводномелиоративных работ, предложенных институтами-соисполнителями рыбохозяйственного профиля в рамках настоящей работы. Однако осуществление этой программы целесообразно только при соблюдении требований рыбного хозяйства к качеству озерных вод со стороны всех водопользователей.

О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
Предисловие	3
Введение	6
Литература	10
Г л а в а 1. Ладожское озеро	12
1.1. Современное состояние озера	12
Физико-географические условия и морфометрия ...	12
Гидрологический режим	15
Химический состав воды	19
Гидробиологическая характеристика	25
Ихтиофауна	33
1.2. Возможные изменения природных ресурсов	36
Водные ресурсы	36
Качество воды	38
Биоресурсы	42
Рыбное хозяйство	44
1.3. Выводы и предложения	46
Литература	48
Г л а в а 2. Онежское озеро	51
2.1. Современное состояние озера	51
Физико-географические условия и морфометрия ...	51
Гидрологический режим	52
Химический состав воды	54
Гидробиологическая характеристика	60
Ихтиофауна	68
2.2. Возможные изменения природных ресурсов	70
Водные ресурсы	70
Качество воды	74
Биоресурсы	76
Рыбное хозяйство	77
2.3. Выводы и предложения	79
Литература	80
Г л а в а 3. Озеро Ильмень	81
3.1. Современное состояние озера	81
Физико-географические условия и морфометрия ...	81
Гидрологический режим	83
Химический состав воды	86
Гидробиологическая характеристика	91
Ихтиофауна	94
3.2. Возможные изменения природных ресурсов	95
Водные ресурсы	95
Качество воды	97
Биоресурсы	99
Рыбное хозяйство	100
	283

	3.3. Выводы и предложения	102
	Литература	103
Г л а в а 4.	Чудско-Псковское озеро	105
	4.1. Современное состояние озера	105
	Физико-географические условия и морфометрия ...	105
	Гидрологический режим	107
	Химический состав воды	110
	Гидробиологическая характеристика	114
	Ихтиофауна	115
	4.2. Возможные изменения природных ресурсов	118
	Водные ресурсы	118
	Качество воды	122
	Биоресурсы	123
	Рыбное хозяйство	125
	4.3. Выводы и предложения	127
	Литература	128
Г л а в а 5.	Озеро Белое	130
	5.1. Современное состояние озера	130
	Физико-географические условия и морфометрия ...	130
	Гидрологический режим	134
	Химический состав воды	138
	Гидробиологическая характеристика	140
	Ихтиофауна	146
	5.2. Возможные изменения природных ресурсов	149
	Водные ресурсы	149
	Качество воды	150
	Биоресурсы	151
	Рыбное хозяйство	155
	5.3. Выводы и предложения	157
	Литература	158
Г л а в а 6.	Озеро Чаны	160
	6.1. Современное состояние озера	160
	Физико-географические условия и морфометрия ...	160
	Гидрологический режим	166
	Химический состав воды	177
	Гидробиологическая характеристика	181
	Ихтиофауна	190
	6.2. Возможные изменения природных ресурсов	194
	Водные ресурсы	194
	Качество воды	197
	Биоресурсы	198
	Рыбное хозяйство	199
	6.3. Выводы и предложения	200
	Литература	203
Г л а в а 7.	Озеро Балхаш	205
	7.1. Современное состояние озера	205
	Физико-географические условия и морфометрия ...	205
	Гидрологический режим	209
	Химический состав воды	215
	Гидробиологическая характеристика	220
	Ихтиофауна	222

7.2.	Возможные изменения природных ресурсов	225
	Водные ресурсы	225
	Качество воды	233
	Рыбное хозяйство	238
7.3.	Выводы и предложения	242
	Литература	244
Глава 8.	Озеро Иссык-Куль	246
8.1.	Современное состояние озера	246
	Физико-географические условия и морфометрия ...	246
	Гидрологический режим	250
	Химический состав воды	260
	Гидробиологическая характеристика	262
	Ихтиофауна	268
8.2.	Возможные изменения природных ресурсов	271
	Водные ресурсы	271
	Качество воды	272
	Биоресурсы	274
	Рыбное хозяйство	275
8.3.	Выводы и предложения	277
	Литература	277
	Закключение	280

ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ
БОЛЬШИХ ОЗЕР СССР
И ВЕРОЯТНЫЕ ИХ ИЗМЕНЕНИЯ

Утверждено к печати
Институтом озероведения АН СССР

Редактор издательства Е.А. Семенова
Художник И.П. Кремлев
Технический редактор Е.В. Поликтова
Корректоры С.В. Добрянская и С.В. Феофанова

ИБ № 20572

Подписано к печати 29.12.83. М-19444. Формат 60 x 90 1/16. Бумага
для глубокой печати. Печать офсетная. Усл. печ. л. 18. Усл. кр.-отт. 18.
Уч.-изд. л. 18.93. Тираж 850. Тип. зак. № 689. Цена 3 р. 30 к.

Издательство „Наука“. Ленинградское отделение
199164, Ленинград, В-164, Менделеевская лин., 1

Ордена Трудового Красного Знамени
Первая типография издательства „Наука“
199034, Ленинград, В-34, 9 линия, 12

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА „НАУКА“
МОЖНО ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ЗАКАЗАТЬ
В МАГАЗИНАХ КОНТОРЫ „АКАДЕМКНИГА“.

Для получения книг почтой заказы просим направлять по адресу:
117192 Москва, В-192, Мичуринский пр., 12. Магазин „Книга -
почтой“ Центральной конторы „Академкнига“;

197345 Ленинград, П-345, Петрозаводская ул., 7. Магазин
„Книга - почтой“ Северо-Западной конторы „Академкнига“,

- 480091 Алма-Ата, ул. Фурманова, 91/97 („Книга - почтой“);
370005 Баку, ул. Джапаридзе, 13;
320093 Днепропетровск, пр. Гагарина, 24 („Книга - почтой“);
734001 Душанбе, пр. Ленина, 95 („Книга - почтой“);
375002 Ереван, ул. Туманяна, 31;
664033 Иркутск, ул. Лермонтова, 289;
252030 Киев, ул. Ленина, 42;
252030 Киев, ул. Пирогова, 2;
252142 Киев, пр. Вернадского, 79;
252030 Киев, ул. Пирогова, 4 („Книга - почтой“);
277012 Кишинев, пр. Ленина, 148 („Книга - почтой“);
343900 Краматорск Донецкой обл., ул. Марата, 1;
660049 Красноярск, пр. Мира, 84;
443002 Куйбышев, пр. Ленина, 2 („Книга - почтой“)
191104 Ленинград, Литейный пр., 57;
199164 Ленинград, Таможенный пер., 2;
199034 Ленинград, 9 линия, 16;
220012 Минск, Ленинский пр., 72 („Книга - почтой“);
103009 Москва, ул. Горького, 8;
117312 Москва, ул. Вавилова, 55/7;
630076 Новосибирск, Красный пр., 51;
630090 Новосибирск, Академгородок, Морской пр., 22 („Книга -
почтой“);
142292 Пушкино Московской обл., МР „В“, 1;
620151 Свердловск, ул. Мамина-Сибиряка, 137 („Книга - почтой“);

- 700029 Ташкент, ул. Ленина, 73;
700100 Ташкент, ул. Шота Руставели, 43;
700187 Ташкент, ул. Дружбы народов, 6 („Книга - почтой“);
634050 Томск, наб. реки Ушайки, 18;
450059 Уфа, ул. Р. Зорге, 10 („Книга - почтой“);
450025 Уфа, Коммунистическая ул., 49;
720001 Фрунзе, бульв. Дзержинского, 42 („Книга - почтой“);
310078 Харьков, ул. Чернышевского, 87 („Книга - почтой“).

4200