# ГИДРОЛОГИЯ

# озер Воже и Лача

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ ОЗЕРОВЕДЕНИЯ

# ГИДРОЛОГИЯ ОЗЕР ВОЖЕ И ЛАЧА

## (В СВЯЗИ С ПЕРЕБРОСКОЙ СЕВЕРНЫХ ВОД В БАССЕЙН р. ВОЛГИ)

2763

ЛЕНИНГРАД
«НАУКА»
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
1979

Институт Геологических наук АН Арм. ССР
Библиотека

УДК 551.481.1.

Гидрология озер Воже и Лача (в связи с переброской северных вод в бассейн р. Волги). Л., „Наука", 1979. 288 с.

В книге обобщены результаты многолетних исследований озер Воже и Лача, связанных с задачей прогнозирования ожидаемых изменений гидрохимического и гидробиологического режимов озер при переброске части стока северных вод в бассейн р. Волги. Дается характеристика водного режима, динамики водных масс, тепловых процессов. Составлены водный, радиационный и тепловой балансы как за полный цикл колебаний увлажненности, так и за отдельные его фазы – маловодную и многоводную. Приводятся состав и особенности формирования донных отложений и гидрохимического режима воды. Лит. – 80 назв., ил. – 71, табл. 123.

Ответственный редактор
Т.И. МАЛИНИНА

Г $\frac{20903-694}{055(02)-79}$ 420-78 © Издательство „Наука", 1979 г.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В документах, принятых XXV съездом КПСС, предусмотрено проведение научных исследований, осуществление на их основе проектных проработок, связанных с проблемой переброски части стока северных вод в бассейн р. Волги, и совершенствование прогнозирования антропогенного влияния на окружающую среду (Материалы XXV съезда КПСС. М., Политиздат, 1976, с. 143, 175, 203).

Как один из вариантов проблемы планируется включение в систему переброски вод на юг крупных озер – Кубенского, Воже и Лача. Вполне понятно, что основой для разработки проекта переброски должны стать современные научные знания о процессах, протекающих в крупных мелководных водоемах. Для достижения этого в Институте озероведения АН СССР была создана Вологодско-Архангельская экспедиция, в задачу которой входило получение всесторонних лимнологических характеристик этих водоемов и климатических особенностей региона, в котором расположены озера.

В составе экспедиции работали два отряда – кубенский, исследовавший озеро того же названия, и северный, которому было поручено всестороннее изучение озер Воже и Лача. Полевые изыскания велись в 1972–1975 гг.

Основной способ сбора полевого материала состоял в комплексных рейсах маломерных судов по постоянным сеткам станций, охватывавшим всю акваторию озер. В них принимали участие исследователи различных специальностей. Специализированные рейсы судов имели своей целью изучение отдельных элементов режима озер – термики, течений, водной растительности, химизма вод и т. д. Кроме того, отбирались пробы вод притоков озер на химический анализ. Рейсы судов сопровождались периодическими авианаблюдениями. В течение экспедиционного периода действовали водомерные посты с самописцами уровня.

На основе обработки и анализа полевых и литературных материалов были созданы коллективные монографии „Озеро Кубенское" в трех частях, изданная в 1977 г., предлагаемая читателю „Гидрология озер Воже и Лача", а также „Гидробиология озер Воже и Лача".

В монографии „Озеро Кубенское", посвященной водоему, экосистема которого подвергнется наибольшему изменению при осу-

ществлении переброски северных вод в бассейн р. Волги, помимо изложения закономерностей протекания собственно лимнологических процессов была дана характеристика физико-географических особенностей окружающего региона: вскрыты закономерности распределения климатических факторов, радиационного режима и т. д. В ней же приводятся прогнозы изменений гидрохимического и гидробиологического режима. Поскольку озера Воже и Лача находятся в том же регионе, авторы настоящей монографии сочли возможным опустить климатическую характеристику бассейнов. В предлагаемом издании дается характеристика водного, теплового и гидрохимического режимов, состава и распределения донных отложений в озерах. За многолетний период, включающий полный цикл колебания увлажненности, рассчитаны водный и тепловой балансы. Составлены карты-схемы течений в озерах, распределения химических элементов и донных отложений. Прогноз ожидаемых изменений химического и биологического и отчасти гидрологического режимов озер Воже и Лача приводится в книге „Гидробиология озер Воже и Лача", в которой изложены также особенности формирования растительных и животных сообществ, динамика их численности, характер самоочищения исследованных водоемов.

В процессе подготовки рукописи к изданию авторы получили много ценных советов и замечаний от ряда лиц и организаций. Всем им они приносят искреннюю благодарность.

Глава 1

# ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ БАССЕЙНА ОЗЕР

Озера Воже и Лача относятся к бассейну р. Онеги, впадающей в Белое море, и расположены на территории Вологодской и Архангельской областей. Они приурочены к пониженным участкам древнеозерных равнин, образовавшихся на месте обширных приледниковых озер. Котловины озер, имеющие доледниковое происхождение, позднее были преобразованы деятельностью ледника.

Озеро Воже вытянуто с ССЗ на ЮЮВ на 48 км, его площадь - 418 км$^2$, объем - 0.599 км$^3$, средняя ширина при отметке уровня 122 м - 9 км. В северной части оно несколько шире ($B_{макс}$ = =14 км), чем в южной ($B_{макс}$ = 8 км). Изрезанность береговой линии в целом незначительна и достаточно выражена лишь на восточном берегу в южной части озера, в районе рек Вожеги, Укмы, Кустомы. На западе в берег озера глубоко врезаются два залива: оз. Еломское площадью 1.8 км$^2$ и оз. Мольское площадью 1.5 км$^2$. В северной части озера расположен о. Спасский размером 0.01 км$^2$.

Озеро Лача вытянуто с севера на юг на 33 км при отметке уровня 118 м. Оно занимает площадь 345 км$^2$, его объем - 0.549 км$^3$, средняя ширина - 10 км, максимальная - 14 км. Береговая линия имеет плавные очертания, нарушаемые лишь в юго-западной части озера.

Из-за равнинности окружающей территории морфометрические характеристики обоих озер чутко реагируют на изменения уровня воды. В настоящей монографии все воднобалансовые расчеты произведены для среднего многолетнего уровня за период с 1951 по 1973 г., отметка которого на оз. Воже составила 121.1 м, а на оз. Лача - 117.7 м. При этих отметках уровней площадь первого равна 316 км$^2$, объем - 0.268 км$^3$, второго - 330 км$^2$ и 0.441 км$^3$. Максимальная же глубина их не превышает 5 м, а средняя при среднем многолетнем уровне составляет 0.9 м на оз. Воже и 1.3 на оз. Лача.

Наибольшие глубины (до 5 м) в оз. Воже приурочены к южной, более узкой части, но площадь, занятая этой ложбиной, незначительна. Факт существования этой ложбины и ее продолжения в оз. Лача навел на мысль о былом здесь расположении русла р. Онеги. В

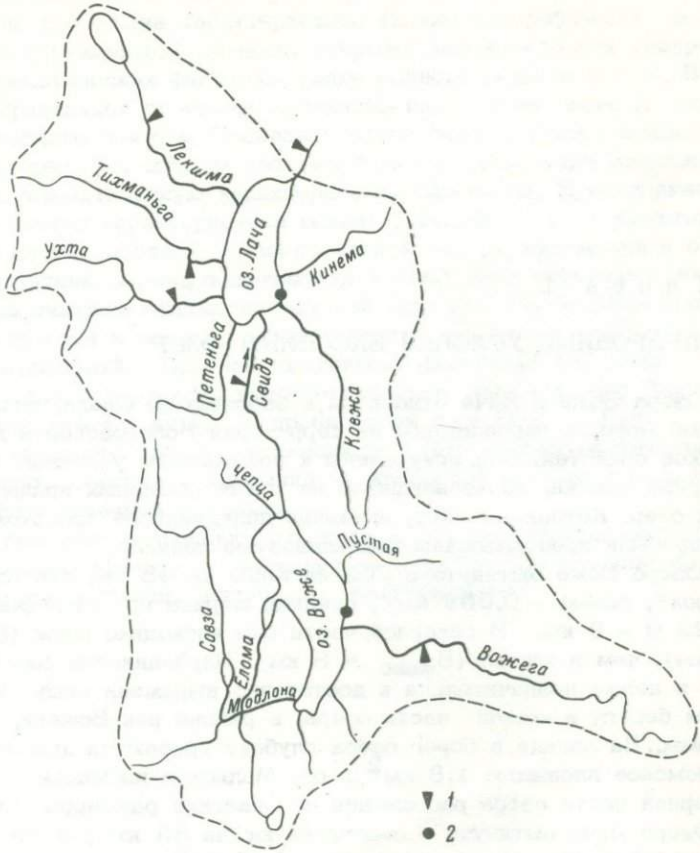



Рис. 1. Схема бассейна озер Воже и Лача.

1 – посты Гидрометслужбы; 2 – водомерные посты.

оз. Воже повсеместно хорошо выражена прибрежная полоса с глубиной до 1.5–2.0 м. Северная часть озера более мелководна и характеризуется наличием мелей. Одна из них в виде валунной гряды пересекает эту часть озера с запада на восток на уровне о. Спасский. От нее по направлению к р. Свиди ответвляются три узкие полосы, хорошо прослеживающиеся по развитию на них высшей водной растительности.

В оз. Лача северная часть тоже более мелководна, чем южная, а наибольшие глубины располагаются вдоль всего восточного побережья и в южной части вдоль западного берега. Мелководные участки зарастают макрофитами. Зарастаемость озера составляет 48% (Распопов, 1975).

Котловина оз. Воже плоская, сильно заболоченная, с низкими берегами, особенно в северо-западной части, где видны следы разрушения берега под воздействием прибоя и льда. Из наиболее ранних литературных источников известно, что западный берег глубоко вдавался мысом в озеро и был направлен в сторону о. Спасского, куда вброд на телегах добирались жители с. Чаронда. Сейчас о. Спасский находится в 7 км от западного берега, а постройки с. Чаронда были еще раньше отнесены в глубь берега. Береговая линия восточного и южного берегов наступает на озеро за счет выноса рек Вожеги и Модлоны.

Низкие берега характерны и для оз. Лача, при этом восточный несколько выше, чем западный, и более подвергнут размыву, в результате чего у мысов Каменный и Ольгский усыпан валунами и галькой.

Котловина оз. Воже обследовалась экспедицией Вологодского педагогического института. Геоморфологами установлено там наличие 4 террас. Повсеместно выражены I и II террасы. Площадки плоские, имеют слабый наклон в сторону озера. На восточном берегу они у́же, чем на западном. Ширина I террасы изменяется от 200 м до 2.5 км, второй - не превышает 1.5 км. В высокую воду первая терраса почти полностью затопляется и поэтому почти целиком заторфована. На второй развиты верховые болота. Третья и четвертая - озерно-ледниковые абразионные. Ширина третьей террасы в целом, колеблясь от 250 м до 2.5 км, на восточном побережье больше, чем на западном.

Бассейн озер Воже и Лача занимает 12130 км$^2$, из них на бассейн оз. Воже приходится 5870 км$^2$. Протяженность бассейна с севера на юг составляет 200 км, ширина его в суженной части - 60-80 км (рис. 1). Водосбор представляет собой озерно-ледниковую равнину со следами древних береговых валов и уступов озерных террас и занимает Воже-Лачинскую низину, которая на юге переходит в Кубено-Сухонскую и на юго-западе - в Молого-Шекснинскую. С запада она ограничена Андомской возвышенностью, а с востока - Коношско-Няндомской. Возвышенность Ветреного Пояса образует северное обрамление этой низины.

В геологическом отношении бассейн расположен в пределах юго-восточного склона Балтийского щита, который сложен докембрийскими кристаллическими породами - гнейсами, гранитами, гранито-гнейсами. Глубина их залегания в районе - 500-1000 м. На кристаллических породах сформировалась толща осадочных пород, представленных отложениями пермского и каменноугольного периодов. Осадочные отложения на территории водосбора простираются в виде полос, направленных с юго-запада на северо-восток (рис. 2). Юго-восточная часть водосбора сложена верхнепермскими отложениями казанского яруса, представленными известняками, доломитами, мергелями, доломитизированными известняками, песчаниками и глинами. Породы загипсованы. Центральная часть водосбора занята отложениями уфимского яруса - красноцветными глинами,

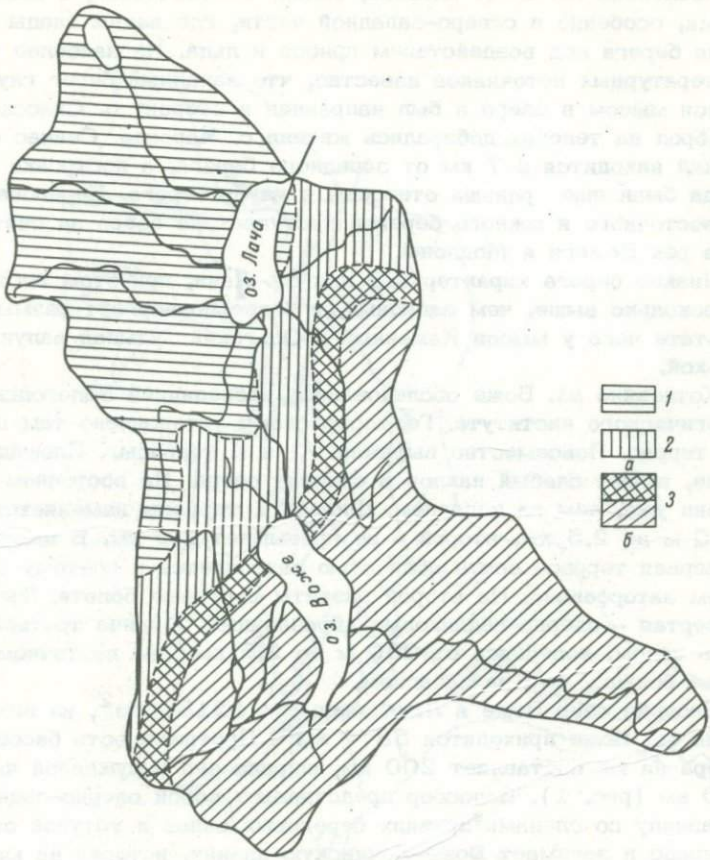



Рис. 2. Геологическая схема бассейна озер Воже и Лача.

1 – верхний и средний карбон; 2 – нижняя пермь; 3 – средняя пермь; а – уфимский ярус, б – казанский ярус.

алевролитами, мергелями, повсеместно загипсованными. Ширина этих отложений – 6 км, их мощность в районе Чарозера – 4–5 м (Пахтусова, 1969). Здесь же, в центральной части водосбора, проходит и полоса отложений нижней перми, к которым относятся в основном ангидриты и гипсы с прослоями доломитов и загипсованных известняков (Буслаега, Федотова, 1969).

В северо-западной части водосбора распространены каменноугольные отложения: известняки, доломиты, мергели (Пахтусова, 1969). Породы сильно загипсованы. В местах выхода их на поверхность развит карст. Значительно закарстовано западное побережье оз. Лача, в районе г. Каргополя, верхнее течение р. Онеги.

Поверхность водосбора образуют рыхлые четвертичные отложения, средняя мощность которых составляет 5-15 м. По происхождению они относятся к ледниковым, флювиогляциальным, озерно-ледниковым и болотным образованиям различного возраста, а по составу представлены глинами, суглинками, песками, супесями, гравием и галькой (Савинов, 1965). Основная часть водосбора покрыта ледниковыми отложениями в виде валунных суглинков, образовавшихся в результате переработки ледником коренных пород (Соколов, 1957).

Коренные склоны котловин озер покрыты древними озерно-ледниковыми отложениями - суглинками, супесями, реже песками. По долинам крупных рек встречены древние озерно-аллювиальные отложения в виде тяжелых супесей и суглинков с песчаными или гравийно-галечными линзами. Вдоль рек, впадающих в оз. Лача, распространены флювиогляциальные отложения. Современные озерно-аллювиальные отложения слагают низкую террасу озера. В приозерных низинах на западном, южном и юго-восточном берегах оз. Воже, в бассейне р. Свиди, вдоль ее правого берега, развиты болотные образования.

В подземном питании рек бассейна принимают участие воды каменноугольных, пермских и четвертичных отложений. В областях погребенных долин и конечно-моренных гряд подземные воды четвертичных отложений играют основную роль в формировании подземного стока рек. По химическому составу они гидрокарбонатные кальциевые.

Характерной особенностью вод дочетвертичных пород является увеличение их минерализации с глубиной и переход из одного гидрохимического класса в другой. Отложения казанского яруса характеризуются неравномерной, но значительной водообильностью, а воды, которые они заключают, относятся к водам пластово-трещинного типа. Вскрытые скважинами на глубине 9-96 м, эти воды имеют дебит 0.1-1.5 л/сек. До глубины 50-80 м от поверхности в основном распространены пресные гидрокарбонатно-сульфатные кальциево-магниевые, сульфатно-карбонатные кальциево-магниевые и гидрокарбонатные кальциевые воды с минерализацией до 1 г/л. Но нередки случаи, когда в пределах этих же глубин встречаются воды значительной минерализации - 5-16 г/л. (Буслаева, Федотова, 1969).

Воды уфимского яруса изучены слабо. По имеющимся данным, водообильность пород этого яруса незначительна. Дебит скважин - 0.2-0.4 л/сек. Воды пресные, гидрокарбонатные кальциевые. Нижнепермские отложения слабо водообильны. Воды, которые они заключают, выходят на поверхность в виде источников и вскрыты скважинами на глубине 15-100 м. До глубины 50-80 м встречаются воды с минерализацией 1 и 1-3 г/л, по составу - сульфатные кальциевые. Там, где нет гипсоносных пород на площади распространения водоносного комплекса нижней перми, подземные воды в основном гидрокарбонатного кальциевого состава или гидрокарбонатно-сульфатного кальциевого с минерализацией до 1 г/л.

Каменноугольные отложения характеризуются повышенной, но неравномерной водообильностью. Пресные воды, которые они содержат, до глубины 80-120 м имеют минерализацию до 1 г/л и по химическому составу относятся к гидрокарбонатным кальциевым, а с увеличением минерализации переходят в сульфатные кальциевые.

В долине р. Свиди, на берегу оз. Лача, находятся сероводородные источники, а на западном берегу оз. Лача, в окрестностях Каргополя, развиты процессы карста, благодаря которым здесь встречаются исчезающие речки и озера, а для района в целом характерна значительная заболоченность, увеличение подземной составляющей стока рек.

Климатические условия района определяются взаимодействием радиационных и циркуляционных факторов, причем последние в формировании климата данной территории играют ведущую роль. Климат района умеренно континентальный, с продолжительной, но мягкой зимой и умеренно теплым летом. Для него характерно частое вторжение арктических масс воздуха, интенсивная циклоническая деятельность и неустойчивость погоды. Атлантические массы воздуха вызывают зимой потепление, пасмурную погоду, обильные осадки. Летом они приносят переменную облачность, осадки, похолодание и ветер. Арктическим воздушным массам сопутствует антициклональный тип погоды.

Расчетный период для составления водного баланса (1951-1973 гг.) охватывает полный цикл колебаний увлажненности, выделенный по водности В.А. Кирилловой (Озеро Кубенское, ч. I, 1977). Внутри этого периода 1951-1962 гг. относятся к многоводной фазе, а 1963-1973 гг. - к маловодной.

По А.А. Гирсу (1959), с 1949 г. началась новая эпоха атмосферной циркуляции - Е + С, для которой характерно преобладание восточного типа (Е) циркуляции при повышенной роли меридионального (С). В ней по циркуляционной обстановке выделяются циклы, охватывающие 1949-1963 и 1964-1973 гг., которые по времени практически совпадают с различными фазами водности. Согласно данным А.Ф. Изотовой (Озеро Кубенское, ч. I, 1977) о распределении форм циркуляции по фазам водности и за расчетный период (табл. 1), последний характеризуется преобладанием восточной формы циркуляции.

Циркуляционным условиям многоводной фазы (1951-1962) свойственна господствующая роль Е - формы при усилении W-формы в течение всего года. В холодный период отмечается ослабление формы С. В маловодную фазу за год повышается роль восточной (Е) формы при уменьшении роли западной, особенно в теплый период.

Для того чтобы получить представление о климатических условиях в бассейне за период 1951-1973 гг., рассмотрим ход некоторых метеоэлементов по показаниям станций Каргополь (оз. Лача) и Чарозеро (оз. Воже).

Таблица 1

Повторяемость (в %) форм циркуляции

| Период | За год | | | XI–III | | | IУ–X | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | W | E | C | W | E | C | W | E | C |
| 1951–1973 (расчетный) | 25 | 47 | 28 | 27 | 49 | 24 | 23 | 48 | 29 |
| 1951–1962 (многоводная фаза) | 30 | 42 | 28 | 30 | 50 | 20 | 28 | 43 | 29 |
| 1963–1973 (маловодная фаза) | 21 | 51 | 28 | 23 | 49 | 28 | 19 | 53 | 28 |

В связи с тем что ст. Чарозеро находится южнее ст. Каргополь, в показаниях их температуры воздуха наблюдаются некоторые различия, которые зимой появляются резче, чем летом. Средняя годовая температура воздуха за исследуемый период по ст. Каргополь равна 1.4°, по ст. Чарозеро – 1.8° при максимальных 3.0 и 3.3° (1957 г.) и минимальных 0.5 и 0.2° (в 1966 г.), соответственно. Наиболее холодный месяц года – январь (иногда февраль) с температурой воздуха –12.3 и –12.0°. За последние 23 года средняя месячная температура этого месяца изменялась в пределах от –5.6° (1971) г. до –22.3° по ст. Каргополь и от –4.8 (1971 г.) до –20.8° (1968 г.) по ст. Чарозеро. Температура воздуха самого теплого месяца – июля, по данным обеих станций, – 16.3°. По ст. Каргополь ее крайние значения за расчетный период – 20.2 (1960 г.) и 12.2° (1956 г.).

Согласно А.Ф. Изотовой (Озеро Кубенское, ч. I, 1977), внутри цикла теплыми годами были 1957, 1961 и 1972, холодными – 1956, 1966 и 1969.

Зима в районе умеренно холодная, но продолжительная (5–6 месяцев). Начало зимы падает на начало второй декады ноября. Продолжительность периода с устойчивыми морозами – 128 дней по ст. Каргополь и 122 дня по ст. Чарозеро. Безморозный период составляет в среднем 109 дней.

Циклоническая деятельность способствует выпадению осадков. Особенно обильные осадки приносят циклоны с Черного и Средиземного морей. Среднее многолетнее количество осадков по ст. Каргополь – 776 мм, по ст. Чарозеро – 796 мм. Наибольшим количеством осадков отличается 1966 г. (1005 мм), наименьшим – 1972 г. (567 мм) за счет уменьшения осадков в летний период. В теплый период года выпадает бо́льшая часть осадков, составляющая 64% годовой суммы. Меньшее количество осадков, выпадающих зимой, связано с более устойчивой температурной стратификацией в холодный период и прохождением циклонов, которые приносят

осадки более продолжительные, но менее интенсивные, чем летние (Антипов, 1957). По ст. Каргополь в теплый период выпадает 499 мм осадков, в холодный – 277 мм; по ст. Чарозеро – 510 мм в теплый и 286 мм в холодный. Общее число дней с осадками в году велико – 189 (ст. Каргополь), причем максимальное за месяц (20) приходится на зимний период (декабрь-январь), в летний оно уменьшается до 12-14.

Зимние осадки выпадают преимущественно в виде снега, хотя часты случаи выпадения и смешанных осадков, а в отдельных случаях возможен и дождь. Число дней со снежным покровом – 163 (ст. Каргополь). Максимальный рост снежного покрова происходит от ноября к январю, в период циклонической деятельности. Наибольшая высота снежного покрова за декаду – 44 см – отмечена во второй декаде марта.

В связи с развитием циклонической деятельности, сопровождающейся образованием плотных облаков, облачность в районе высокая. Средняя годовая общая облачность по ст. Каргополь достигает 7.8 баллов, по ст. Чарозеро – 7.4 балла. Летом облачность меньше, чем зимой: 7.1-7.3 балла по ст. Каргополь и 6.1-6.3 по ст. Чарозеро. Нижняя облачность по ст. Чарозеро, наоборот, выше, чем по ст. Каргополь, и ее среднее годовое значение – 5.7 балла, а по ст. Каргополь – 5.1 балла. Число пасмурных дней в году по ст. Каргополь составляет 199 при минимальном летом 11.8 (июль).

Преобладающими ветрами в районе оз. Лача (ст. Каргополь) являются ветры южного и юго-западного направлений, в районе оз. Воже – западного и юго-западного. В летний период (май-август) на оз. Лача несколько возрастает повторяемость северных и северо-восточных ветров, а на оз. Воже – северных и северо-западных.

Средняя годовая скорость за рассматриваемый период как в районе оз. Лача, так и в районе оз. Воже составляет 3.9 м/сек. с ее максимальным значением (ст. Каргополь) 4.5 м/сек. в 1957 г. и минимальным – 3.1 м/сек. в 1972 г. В зимний период скорость ветра выше (4.9 м/сек. в 1953 и 1957 гг.), чем летом (2.7 м/сек. в 1972 г.). Наиболее распространенными являются ветры силой 0-5 м/сек., повторяемость которых составляет 75% в год. Случается ветер и более 15 м/сек., но его повторяемость менее 5%. Число дней с таким ветром в районе оз. Лача – 17, а оз. Воже – 6 дней.

Такова краткая характеристика расчетного периода, совпадающего с полным циклом увлажненности. Рассмотрим многоводную (1951-1962) и маловодную (1963-1973 гг.) фазы этого периода.

В работе А.Ф. Изотовой (Озеро Кубенское, ч. 1, 1977) дается анализ особенностей многоводной и маловодной фаз, иллюстрируемых большим табличным материалом, поэтому здесь лишь кратко остановимся на этом вопросе.

Таблица 2

Средние величины метеоэлементов по показаниям станций Каргополь (числитель) и Чарозеро (знаменатель) (по А.Ф. Изотовой)

| Период | Температура воздуха, °С | | | Абсолютная влажность, мб | | | Скорость ветра, м/сек. | | | Осадки, мм | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | XI-III | IV-X | за год | XI-III | IV-X | за год | XI-III | IV-X | за год | XI-III | IV-X | за год |
| 1951-1973 | -9.3 / -8.7 | 9.1 / 9.4 | 1.4 / 1.8 | 3.0 / 3.1 | 9.4 / 9.3 | 6.8 / 6.9 | 4.3 / 4.2 | 3.6 / 3.6 | 3.9 / 3.9 | 277 / 356 | 499 / 510 | 776 / 796 |
| 1951-1962 | -8.8 / -8.3 | 9.0 / 9.3 | 1.6 / 2.0 | 3.1 / 3.2 | 9.5 / 9.0 | 6.9 / 7.0 | 4.7 / 4.5 | 3.9 / 3.8 | 4.2 / 4.1 | 251 / 270 | 497 / 529 | 748 / 799 |
| 1963-1973 | -9.9 / -9.1 | 9.1 / 9.5 | 1.2 / 1.6 | 3.0 / 3.1 | 9.4 / 9.6 | 6.7 / 6.8 | 3.8 / 3.9 | 3.2 / 3.4 | 3.5 / 3.6 | 304 / 304 | 501 / 491 | 805 / 795 |

В табл. 2, заимствованной у А.Ф. Изотовой, приводятся осредненные за год и отдельно за теплый (IУ-Х) и холодный (Х1-III) периоды года величины метеоэлементов по фазам водности.

По термическим условиям многоводная фаза была несколько теплее всего периода (на 0.2°) за счет более высоких значений зимних температур, что вызвано усилением W-формы циркуляции. Маловодная фаза была более прохладной за счет низких температур в холодный период года.

Величины осадков не проявляют четкой зависимости от форм атмосферной циркуляции. По показаниям ст. Каргополь, количество осадков за теплую часть года оставалось постоянным в течение всего периода и в отдельные фазы, а изменения годовых величин осадков вызывались изменениями их количества за холодный период. На ст. Чарозеро средние годовые суммы осадков за весь период и в отдельные фазы не менялись, а лишь перераспределялись по периодам внутри года. На обеих станциях минимум осадков отмечается в холодный период многоводной фазы. На ст. Чарозеро в многоводную фазу наибольшее количество осадков выпало в теплый период. Изменения значений абсолютной влажности вызывается изменениями температуры воздуха. Наибольшие скорости ветра наблюдались в многоводную фазу, наименьшие - в маловодную.

Избыточное увлажнение, малые уклоны поверхности, распространение водонепроницаемых моренных глин и суглинков благоприятствуют развитию в рассматриваемом регионе болот. Большинство существующих болот в бассейне - следствие заболачивания лесов под воздействием верховодки (Абрамова, 1965). В бассейне распространены как верховые, так и низинные болота при преобладании верховых. Заболоченность бассейна довольна высокая и составляет 15% (Гидрографические характеристики..., 1971). На степень заболоченности в различных частях водосбора большое влияние оказывает рельеф: наибольшее количество болот находится в пониженных равнинных частях водосбора, а в повышенных и более расчлененных встречаются реже (Филенко, 1966). В подтверждение этому заболоченность юго-восточной части водосбора в бассейне р. Вожеги наименьшая и составляет 1%, а наиболее заболоченными являются районы, непосредственно примыкающие к озеру.

По данным Т.Г. Абрамовой (1965), заболоченность территории вокруг оз. Воже достигает 30%. Здесь распространены верховые сосново-кустарничково-пушицевые или переходные кустарничково-осоковые болота, часто встречаются сосновые и сосново-березовые. К северу от оз. Воже, в бассейнах рек Свиди и Чепцы, простираются болота Большая Чисть (глубина - до 3 м, длина - 20 км, ширина - 5 км), Долгая Чисть, Долгое (длина - 50 км, максимальная ширина - 10 км). Вдоль западного берега оз. Воже протянулись огромные пространства Чарондских болот. На восточном берегу, в междуречье Пустой и Вожеги, раскинулось болото площадью более 100 км$^2$. С южной стороны подходят еще более обширные болотные пространства. К западу от оз. Лача находятся болота

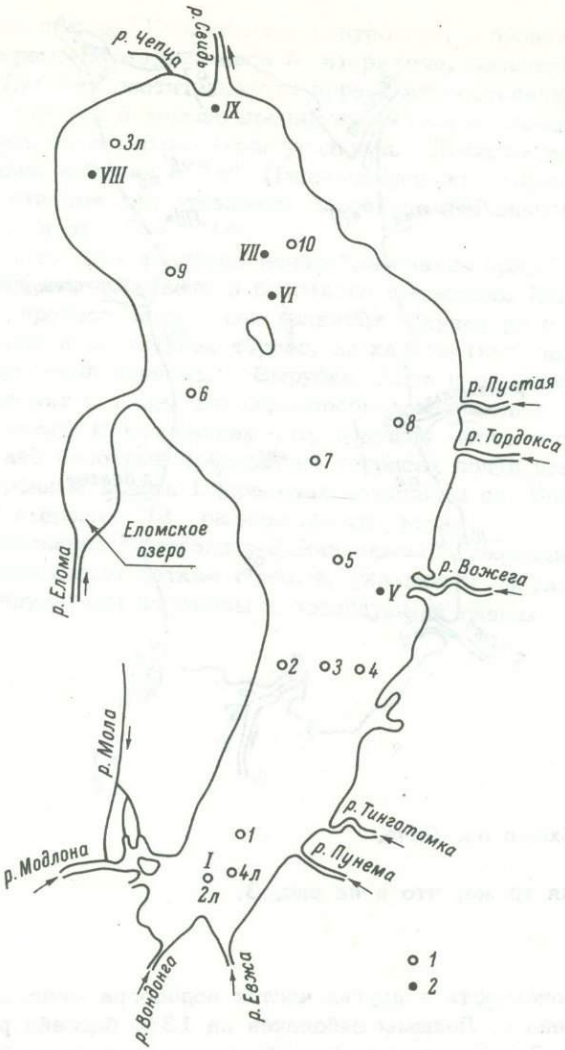



Рис. 3. Схема оз. Воже.

1 – станции наблюдений по полной программе; 2 – станции термических наблюдений.

Нешпахта, Ягремское, на востоке – Кинемское, Средняя Чисть, Сварское; в бассейне р. Ковжи – Кемское, к югу от Лача – болото Большое. Поскольку заболоченность вокруг озер высокая, населенные пункты обычно располагаются на так называемых горбышах – возвышенностях.

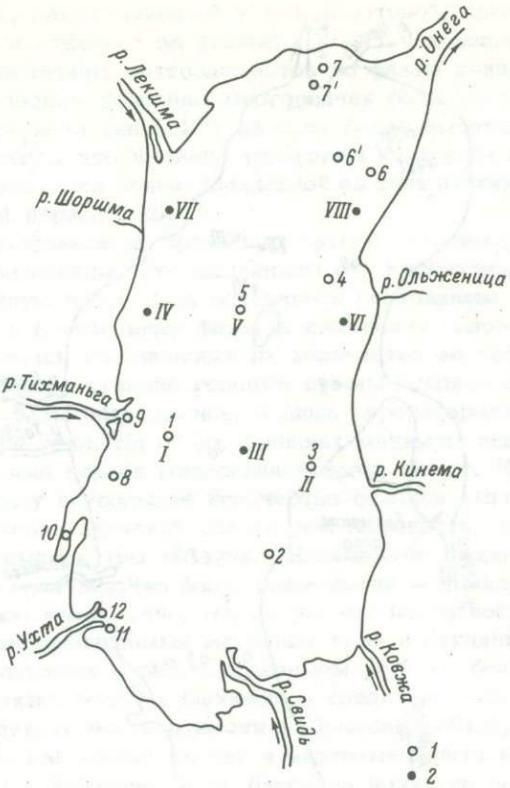



Рис. 4. Схема оз. Лача.

Обозначения те же, что и на рис. 3.

Заболоченность в других частях водосбора меняется от 9 до 22%. Бассейн р. Лекшмы заболочен на 13%, бассейн р. Тихманьги на 22%. Заболоченность бассейнов рек восточного побережья оз. Лача составляет 9% в бассейне р. Кинемы и 17% в бассейне р. Ковжи, в бассейне рек Модлоны и Еломы – 16%.

По характеру растительности водосборный бассейн относится к подзоне тайги. По данным экспедиционных исследований группы сотрудников Вологодского педагогического института, лесная растительность в районе представлена в основном 7 формациями: сосняками, ельниками, березняками, осинниками, черноольшаниками, сероольшаниками, ивняками. Господствующими являются сосняки. Наиболее распространены сфагновые сосняки.

Дно котловин озер покрыто низкорослым изреженным лесом. Высокоствольные леса встречаются вдоль побережий рек и озер,

где улучшается дренаж. Еловые леса приурочены к бровке второй террасы и буграм. Березовые леса – вторичные, возникли на месте ельников. Луговая растительность играет второстепенную роль. Возвышенные участки и хорошо дренируемые склоны высоких террас заняты сельскохозяйственными угодьями. Лесистость в бассейне озер довольна высокая – 74% (Гидрографические характеристики..., 1971). Рассчитанные для отдельных бассейнов рек значения лесистости изменяются от 65 до 90%.

Совокупность всех факторов почвообразования приводит к развитию подзолистого, дернового и болотного процессов. Подзолообразовательный процесс наибольшее развитие получил на склонах озерных котловин и на уступах террас, на карбонатных породах проявляется дерновый процесс. Вырубка лесов и освоение земель под пашни приводят к тому, что подзолообразовательный процесс уступает дерновому. В котловинах озер ведущее место в почвообразовании занимает болотный процесс: на террасах почти повсеместно образуются торфяные почвы. В пределах котловины оз. Воже В.В. Комиссаровым выделено 32 разновидности почв.

Все исследования Вологодско-Архангельской экспедиции проводились по постоянным сеткам станций, указанным на рисунках 3 и 4, а их результаты изложены в последующих главах монографии.

2763

Институт геологических наук АН УССР Библиотека

2420

Глава 2

# ВОДНЫЙ БАЛАНС И УРОВЕННЫЙ РЕЖИМ

## 2.1 Водный режим рек

Водосборный бассейн озер Воже и Лача представляет собой равнинную территорию с развитой речной сетью и относительно благоприятными условиями для формирования стока рек. Небольшие уклоны местности в условиях избыточного увлажнения в сочетании с неглубоким залеганием грунтовых вод приводят к заболачиванию обширных территорий.

Природные условия района определили большую водоносность рек со средним многолетним модулем годового стока около 10 л/сек·км$^2$ и высокую естественную зарегулированность их режима ($\varphi$ = 0.6) вследствие значительного запаса влаги, аккумулированного в озерах и болотах.

В питании рек района ведущую роль играют талые снеговые воды, составляя 60–70% годового стока, дождевые воды – 20–30%, подземные – 10–20%. Основной фазой гидрологического режима рек является весеннее половодье, сменяющееся короткой летней меженью, за которой следует период осеннего повышения стока от дождей, а с установлением ледостава – переход на зимнюю межень. На формирование стока рек в отдельные сезоны, помимо общих погодных условий, влияет характер подстилающей поверхности водосборов, в частности их озерность и заболоченность, определяющие естественную зарегулированность режима. Влияние больших озер сказывается на внутригодовом распределении стока вытекающих из них рек, отличающихся более растянутым и сглаженным половодьем, повышенным стоком летней межени, распластанными паводками.

Гидрологическая изученность притоков озер Воже и Лача неодинакова как по территории, так и по продолжительности наблюдений. Из шести действующих постов только один относится к водосбору оз. Воже. Наиболее продолжительные наблюдения (с 1913 г.) ведутся на р. Онеге, в 16 км от истока, в створе Надпорожского Погоста, замыкающем сток с обширного водосбор-

Таблица 3

Гидрологические пункты наблюдений в бассейне озер Воже и Лача

| Река, пункт | Расстояние от устья, км | Площадь водосбора, км$^2$ | Период наблюдений |
|---|---|---|---|
| Онега, Надпорожский Погост | 400 | 12800 | С 1913 |
| Лекшма, с. Лядины | 54 | 321 | С 1959 |
| Тихманьга, д. Прокино | 5.0 | 750 | С 1951 |
| Ухта, д. Еремино | 9.6 | 865 | С 1962 |
| Свидь, д. Горки | 44 | 6450 | С 1941 |
| Вожега, д. Назаровская | 28 | 1590 | С 1955 |

ного бассейна обоих озер. С 1941 г. проводятся наблюдения на р. Свиди, на посту в д. Горки, отражающем сток из оз. Воже, в 50-х годах начались наблюдения за режимом рек на остальных постах (табл. 3, рис. 1).

Существующие гидрологические посты отражают условия формирования поверхностного притока в оз. Лача - с 70%, а в оз. Воже - с 27% площади бассейна озер.

Для получения основных гидрологических характеристик режима рек в качестве расчетного был взят период с 1951 по 1973 г., представляющий цикл внутривековых колебаний увлажненности, принятый для данного района Северного края. Согласно многолетним данным поста Надпорожский Погост, на р. Онеге модульный коэффициент годового стока данного цикла равен 1.02; многоводной фазы, включающей 1951-1962 гг., - 1.12; маловодной фазы, охватывающей 1963-1973 гг., - 0.92 (рис. 5). По рекам Лекшма, Ухта и Вожега, располагающим наблюдениями за более короткий ряд, чем расчетный период, было сделано восстановление средних годовых расходов воды для 5-6 недостающих лет и их распределение по месяцам по методу аналогии.

Формирование стока рек в период с 1951 по 1973 г. проходило в условиях развития восточной и повышенного значения меридиональной форм атмосферной циркуляции. В целом для указанных лет характерно равномерное развитие восточной формы в течение холодного времени года с одновременным увеличением ее в 60-х годах в теплую половину года за счет сокращения западного переноса воздушных масс, что привело к маловодной фазе 1963-1973 гг. Меридиональная форма атмосферной циркуляции была ослаблена в холодный период многоводной фазы (1951-1962 гг.) при равномерном ее распределении в теплое время года в течение всего 23-летнего периода. Температурные условия на протяжении

Рис. 5. Интегральные кривые модульных коэффициентов годового стока рек Сухоны (А, д. Рабаньга) и Онеги (Б, Надпорожский Погост).

всего цикла в среднем были близки норме, а годовые осадки превышали ее как в теплое, так и холодное время года. Однако в многоводную фазу отмечалось наибольшее увеличение осадков в летне-осенние месяцы, а в маловодную - в зимний период, что сказалось на особенностях формирования стока рек в соответствующие сезоны.

Кроме климатических условий, существенное влияние на водный режим рек оказывают местные природные факторы, определяющие не столько водоносность рек в целом сходную для всего района, сколько распределение их стока в году, долю отдельных источников питания. Такими факторами в пределах бассейнов озер Воже и Лача являются некоторая неоднородность гидрологических условий, особенности подстилающей поверхности и гидрографии водосборов. Несмотря на незначительность колебания годового стока рек по территории района, все же отмечаются определенные тенденции в изменении модуля годового стока рек, который на реках Свиди и Онеге составляет 9.4 л/сек·км$^2$, на остальных реках - 10.2-10.6 л/сек·км$^2$. В маловодную фазу эти пределы были соответственно равны 8.0-8.4 и 9.6 л/сек·км$^2$, в многоводную фазу - 10.3 и 11.8 л/сек·км$^2$.

Сочетание сравнительно высокого положения уровня грунтовых вод и повышенной водообильности пород обеспечило меньшие потери влаги на просачивание, что сказалось на увеличении водо-

носности притоков западного побережья оз. Лача в период маловодной фазы, которые характеризуются модулем годового стока около 9.5 л/сек·км$^2$, в то время как на восточном побережье оз. Воже эта характеристика составляет 8.6 л/сек·км$^2$.

По материалам 23-летних наблюдений, годовой сток рек испытывает небольшие колебания. Соотношение максимальных и минимальных средних годовых расходов составляет 2.6-2.8, коэффициент вариации - около 0.30. Наибольшие модули среднего годового стока, отмеченные на большинстве рек в 1966 г., составили 12.5-16.6 л/сек·км$^2$, наименьшие в 1973 г. - 4.9-6.7 л/сек·км$^2$. Внутригодовой режим рек района характеризуется незначительными коэффициентами изменчивости среднего месячного стока (Филенко, 1966). Отношения максимальных и минимальных средних месячных расходов воды составляют на озерных реках 5-6, на остальных - 40-42, минимальные средние месячные расходы летней межени соответственно в 2-3 и 8-10 раз меньше максимальных средних месячных характеристик весеннего стока рек. Коэффициент неравномерности распределения внутригодового стока, представляющий отношение амплитуды колебания средних месячных расходов воды к среднему годовому расходу, также невелик: для рек Свиди и Онеги он составляет 1.5-2.0, для остальных рек - около 5.

## Гидрологическая характеристика притоков оз. Воже

В оз. Воже впадает около 20 притоков, 10 из них имеют длину 10 и более км (табл. 4). Реки отличаются слабым уклоном, небольшим эрозионным врезом и большей частью относятся к болотному типу. Самый крупный приток оз. Воже - р. Модлона - вытекает из оз. Вещозера и впадает в южный залив, называемый Мольским озером, двумя рукавами. Река включает в себя систему трех сравнительно крупных притоков: р. Совзу, впадающую в оз. Вещозеро, замыкающее почти половину водосбора р. Модлоны; р. Ухтомку, берущую начало в оз. Долгом, и р. Перешну с истоком из оз. Перешного, дренирующую Чарондские болота, которые занимают восточную часть ее водосбора. В 10 км от устья р. Модлоны ответвляется северный рукав - р. Елома, впадающая в Еломский залив, глубоко врезающийся в западное побережье оз. Воже. Длина р. Еломы - 24 км, площадь частного водосбора - 120 км$^2$, почти треть его занята болотами. Река течет среди топких берегов, разливаясь в среднем течении широкими озеровидными плесами.

Характерной особенностью р. Модлоны являются слабые уклоны русла на всем ее 27-километровом протяжении, а также широкое распространение болот (16%) и заболоченных лесов (табл. 4). Река протекает в низких топких берегах, в слабо разработанной долине, довольно извилистая; из-за небольшого уклона, особенно в приустьевой части, находится в подпоре от оз. Воже, при северо-восточных ветрах в реке наблюдаются обратные течения. Посколь-

Таблица 4

Основные гидрографические характеристики притоков оз. Воже

| Река | Длина, км | Площадь, км$^2$ | Озерность | Заболоченность | Лесистость | Средний многолетний годовой сток, м$^3$/сек |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | % | | | |
| Модлона | 27 | 2300 | 1 | 16 | 76 | 21.5 |
| Мола | 16 | 62.0 | 0 | 62 | 38 | 0.50 |
| Чепца | 32 | 196 | <1 | 30 | 67 | 1.80 |
| Ханега | 10 | 49.0 | 0 | 61 | 39 | 0.45 |
| Пустая | 48 | 297 | <1 | 4 | 95 | 2.80 |
| Тордокса | 10 | 105 | 0 | 11 | 81 | 1.00 |
| Вожега | 140 | 1980 | <1 | 1 | 87 | 19.0 |
| Тинготомка | 18 | 55.1 | 0 | 14 | 68 | 0.45 |
| Пунема | 20 | 144 | 0 | 7 | 68 | 1.35 |
| Вондонга | 21 | 180 | 0 | 32 | 68 | 1.75 |

ку сведения о стоке р. Модлоны отсутствуют, можно предположительно считать, что наличие болот, заболоченных лесов, озер на основных ее притоках, слабые уклоны и подпор от оз. Воже оказывают влияние на ее режим, способствуя распластыванию весеннего половодья и повышению стока летней межени. По аналогии с изученными реками района средний годовой сток р. Модлоны (вместе с р. Еломой) принят равным 21.5 м$^3$/сек. Доля р. Модлоны в общем притоке в оз. Воже составляет около 38%. В Мольское озеро, кроме р. Модлоны, впадают еще две реки – Мола и Пельшма, дренирующие Чарондские болота.

Второй по величине приток оз. Воже – р. Вожега – впадает с восточного берега тремя рукавами, образуя в устье обширную дельту. В отличие от р. Модлоны водосборный бассейн р. Вожеги представляет холмистую равнину, на 87% поросшую лесом; показатели заболоченности и залесенности ее бассейна – менее 1%. Река Вожега – единственный приток оз. Воже, по которому имеются сведения о стоке. Средний годовой сток р. Вожеги, приведенный к устью, составляет 19.0 м$^3$/сек, что дает около 34% общего притока в озеро.

Среди остальных притоков оз. Воже наиболее значительны – реки Пустая, Чепца, Вондонга, Пунема. Их сток невелик и в соответствии с площадями водосборов по аналогии с изученными реками в среднем за год для отдельных рек принят равным 1.5–3.0 м$^3$/сек.

В северной части оз. Воже вытекает р. Свидь, соединяющая его с оз. Лача. Длина р. Свиди 64 км, площадь собственного водосбора (от истока до устья) составляет 560 км$^2$, около 37% его площади занято болотами, большей частью осоковыми, с хорошо разложившимся торфом. В верхнем и нижнем течении р. Свидь протекает среди низких берегов, затопляемых весенними водами; в среднем течении реки берега повышаются местами до 8-13 м, сложены красной глиной. В 40-44 км от устья находятся Свидские пороги, образованные широкой каменистой грядой. В низовьях р. Свидь испытывает подпор от оз. Лача и при северных ветрах имеет обратное течение. Боковые притоки Свиди берут начало в окрестных болотах, они незначительны и бывают полноводны только в весеннее время.

Слабая гидрологическая изученность притоков оз. Воже позволяет составить представление об особенностях водного режима только одной р. Вожеги по данным поста в д. Назаровская, замыкающего 80% ее водосбора. Формирование стока реки происходит в условиях облесенной территории с показателями заболоченности и озерности менее 1%. Основная фаза водного режима - половодье - на р. Вожеге начинается в середине апреля, достигает пика в начале мая и заканчивается в конце месяца. На весенний сток р. Вожеги приходится 70.3% его годовой величины. Наибольшие средние месячные расходы воды отмечаются в мае. При среднем значении около 76 м$^3$/сек в многоводные годы майские расходы воды составляли 154 (1961 г.) и 136 (1966 г.), м$^3$/сек, причем срочные расходы воды соответственно достигали 474 и 284 м$^3$/сек, модули стока - 298 и 179 л/сек·км$^2$. Характерной особенностью р. Вожеги являются значительная доля апрельского стока реки, которая, по многолетним данным, равна 24% годового стока, в то время как на притоках оз. Лача (кроме озерных рек) она всего лишь 12-13%.

В годы с ранним половодьем наибольшие средние месячные расходы приходятся на апрель; в отдельные годы они превышали средний майский сток, как, например, в 1962 и 1973 гг., когда достигали 107 и 88.8 м$^3$/сек. Коэффициент изменчивости максимальных расходов в период весеннего половодья составляет 0.50.

На долю летнего меженного стока на р. Вожеге приходится 7.2% его годовой величины. Наименьшие средние месячные расходы воды наблюдаются обычно в июле; при среднем значении, равном 6.40 м$^3$/сек, они колеблются от 1.10 (1973 г.) до 17.7 (1962 г.) м$^3$/сек. Наименьшие средние месячные расходы летней межени, равные 0.54 и 0.64 м$^3$/сек, приходились на август 1960 и 1973 гг., характеризующийся модулями стока 0.3-0.4 л/сек·км$^2$. Коэффициент изменчивости среднего месячного минимального стока равен 0.65.

В период осенних дождевых паводков средние месячные расходы воды в отдельные годы достигали 34.9-48.3 м$^3$/сек, почти в 2 раза превысив средние многолетние характеристики соот-

ветствующих месяцев. Осенний сток р. Вожеги составляет 17.3% годового объема. По особенностям сезонного распределения стока р. Вожега ближе к режиму соседних притоков оз. Кубенского – рек Уфтюги и Кубены (в среднем течении), водосборные бассейны которых имеют сходные гидрографические показатели (высокие показатели лесистости, незначительное распространение болот и озер). В годы работы Вологодско-Архангельской экспедиции при формировании годового стока р.Вожеги значительно возросла роль талых вод, на долю которых приходилось 82–87% общей величины. Несмотря на то, что суммарный сток за весну был ниже многолетнего значения, средние расходы отдельных месяцев оказались довольно велики – в 1972 г. сток мая составил 66.8 $м^3$/сек, в 1973 г. сток апреля, равный 88.8 $м^3$/сек, превзошел средние майские величины.

В гораздо большей мере общая маловодность рассматриваемых лет проявилась в период летне-осенней межени, на протяжении которой средние месячные расходы воды были в несколько раз меньше своих многолетних значений. В 1972 г. за время с июля по октябрь расходы изменялись от 1.31 до 1.82 $м^3$/сек; в 1973 г. период с низкими средними месячными расходами воды сократился до 3 месяцев, за время которых они колебались от 0.64 до 1.22 $м^3$/сек; в 1974 г. наиболее маловодным месяцем был июль со средним стоком 1.50 $м^3$/сек. Маловодность летне-осеннего периода обусловила соответственное уменьшение зимнего стока, наиболее отличавшегося от многолетних значений в марте 1972 и феврале 1974 г., когда он снизился до 1.20 $м^3$/сек, или 0.8 л/сек·$км^2$.

В силу слабой изученности притоков оз. Воже определить сток основных рек и общее поступление поверхностных вод в озеро, необходимые для составления его водного баланса, можно только пользуясь методом аналогии (табл. 5). Несмотря на малую изменчивость модуля годового стока рек на обширной территории бассейнов всех трех озер – Кубенского, Воже и Лача, в расчетах использовалась его средняя взвешенная по площади величина. Исходными данными послужили средние годовые расходы воды по 13 постам, приведенные к одному периоду – циклу, а также к многоводной и маловодной фазам колебания увлажненности. При выборе рек-аналогов для определения внутригодового стока неизученных притоков оз. Воже принималось во внимание в основном сходство гидрографических показателей сравниваемых рек. Для неизученных притоков оз. Воже с большой (14–62%) заболоченностью водосборов в качестве аналога использовался приток оз. Лача – р. Тихманьга (д. Прокино), для незаболоченных водосборов – р. Вожега (д. Назаровская).

На основе сходства условий формирования стока на водосборах рек Модлоны и Тихманьги можно предположить, что режим главного притока оз. Воже характеризуется некоторым уменьшением доли весеннего половодья и повышением стока летне-осенней межени. Вероятно, для Модлоны в качестве многолетних показа-

Таблица 5

Средние месячные расходы воды (в $м^3$/сек) основных притоков оз. Воже, принятые при составлении баланса за 1951-1973 гг.

| Река | I | II | III | IУ | У | У1 | УII | УIII | IX | X | X1 | XII | Среднее за год |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Модлона | 3.10 | 2.32 | 2.32 | 34.6 | 101 | 23.0 | 13.4 | 11.9 | 18.1 | 25.3 | 16.0 | 6.71 | 21.5 |
| Вожега | 2.96 | 2.51 | 2.05 | 54.3 | 89.4 | 16.6 | 7.52 | 8.89 | 9.58 | 17.6 | 12.3 | 4.33 | 19.0 |
| Пустая | 0.44 | 0.37 | 0.30 | 8.00 | 13.2 | 2.45 | 1.11 | 1.31 | 1.41 | 2.58 | 1.81 | 0.64 | 2.80 |
| Остальные реки | 1.85 | 1.42 | 1.38 | 22.1 | 63.0 | 13.3 | 7.54 | 6.90 | 10.2 | 14.7 | 9.33 | 3.82 | 13.0 |

телей внутригодового распределения стока можно принять следующие данные: весна - 61%, лето - 10%, осень - 23%, зима - 6% от годовой величины.

Использование метода аналогии позволило рассчитать месячный приток воды в оз. Воже в среднем за полный цикл, отдельные фазы и характерные годы. Средний многолетний годовой приток в озеро получился равным 1.777 км$^3$, в многоводную фазу составил 2.108 км$^3$, в маловодную - 1.465 км$^3$, в многоводном 1966 г. поверхностный приток достиг 2.794 км$^3$, в маловодном 1973 г. сократился до 1.186 км$^3$.

Многолетние гидрологические наблюдения на р. Свиди (д. Горки) позволяют с достаточной надежностью оценить сток воды из оз. Воже за принятые цикл и фазы различной водности, проанализировать особенности его внутригодового режима, а также колебания по годам. По средним многолетним данным, из оз. Воже в течение года вытекает 1.892 км$^3$ воды, в многоводном 1966 г. сток увеличился до 2.760 км$^3$, в маловодном 1973 г. сократился до 1.300 км$^3$. Внутригодовое распределение стока из озера отличается равномерностью. Как у всякой реки, испытывающей озерное регулирование, режим Свиди характеризуется сглаженным половодьем и высокой летне-осенней меженью. На долю ее весеннего стока приходится 40.5%, летнего и осеннего - 42.3%, зимнего - 17.2% годовой величины.

Средние многолетние характеристики общего притока в оз. Воже, полученные методом аналогии, дали сравнительно небольшие невязки водного баланса (разд. 2.3 наст. изд.). Гораздо значительнее, в отдельные месяцы до 60-90%, они оказались при сведении баланса за годы работы Вологодско-Архангельской экспедиции. Это объясняется тем, что трехлетний период исследований оз. Воже включал два маловодных года и один с водностью рек ниже нормы, когда влияние местных физико-географических факторов проявляется в более сложном взаимодействии, что отразилось на результатах расчетов сезонного стока неизученных рек. По этой причине поверхностный приток в оз. Воже за 1972-1974 гг. определялся как остаточный член водного баланса, другие составляющие которого, а именно - сток, осадки, испарение, сработка и аккумуляция воды в озере, были досточно надежны. Полученный таким способом общий приток в озеро был использован для установления режима р. Модлоны за годы исследований. Для этого из общего притока в озеро исключался сток р. Вожеги, приведенный к устью, и рассчитывалось внутригодовое распределение оставшейся части. Поскольку основную роль в ее режиме играл сток р. Модлоны, полученные процентные характеристики были использованы для определения ее средних месячных расходов воды за 1972-1974гг. Судя по этим данным, сток р. Модлоны в весенние месяцы 1972 и 1974 гг. был на 10-20% меньше стока р. Вожеги, в среднем составлявшего 45-50 м$^3$/сек, но зато на протяжении всей летне-осенней межени водность р. Модлоны, напротив,

значительно (в 6–8 раз) превосходила водность р. Вожеги, характеризуясь средними месячными расходами воды в пределах 5–9 $м^3$/сек.

В маловодном 1973 г. различия в режиме двух главных притоков оз. Воже проявились еще заметнее. Весенний подъем уровня воды в озере был вызван в основном более ранним поступлением поверхностных вод с водосбора р. Вожеги, режим которой в период половодья отличался значительным преобладанием апрельского стока, на что указывалось выше. На р. Модлоне, напротив, расходы воды в апреле, рассчитанные по водному балансу, оказались в несколько раз меньше, чем на р. Вожеге, половодье оказалось низким и растянутым.

## Гидрологическая характеристика притоков оз. Лача

Озеро Лача принимает 19 притоков, из которых 9 имеют длину более 10 км, остальные представляют собой ручьи и временные водотоки. По сравнению с преимущественно небольшими реками в бассейне оз. Воже притоки оз. Лача отличаются значительными водосборами (свыше 470 $км^2$) и длиной, превышающей 50 км (табл. 6). Самый крупный приток – р. Свидь – впадает в южную часть озера, дренирует территорию в 6850 $км^2$, занимающую 56.5% водосборного бассейна озера. Средний годовой расход воды в устье, равный 63 $м^3$/сек, составляет почти половину общего поверхностного притока в оз. Лача. Значительно уступает ей второй по величине приток – р. Ковжа. Из-за отсутствия на ней гидрологических постов средний годовой расход воды в устье в соответствии с модулем стока изученных рек принят равным 11 $м^3$/сек. Близка ей по размерам р. Лекшма, берущая начало из оз. Лекшмозера (площадь зеркала – 54.4 $км^2$, водосбора – 197 $км^2$), оказывающего регулирующее влияние на ее режим. К югу от р. Лекшмы расположены устья еще трех притоков – Тихманьги, Ухты, Петеньги со средними годовыми расходами воды от 5.10 до 7.97 $м^3$/сек.

Характерной особенностью водосборов рек западного побережья оз. Лача является широкое распространение на их территории болот и заболоченных лесов. В отличие от западных притоков в бассейнах Ковжи и Кинемы заболоченные леса развиты в меньшей степени и приурочены в основном к районам скопления болот. Равнинный рельеф местности определил гидрографические особенности рек, отличающихся слабо разработанными долинами, извилистым руслом, небольшими уклонами, изменяющимися от 0.50 до 1.1% м/км у западных и до 0.28–0.30 м/км у восточных притоков озера.

В северной части оз. Лача берет начало р. Онега – одна из крупнейших рек Северного края. Ее длина – 416 км, площадь водосбора – 56900 $км^2$. Почти на всем своем протяжении река протекает по широкой Онежской впадине, местами сильно заболоченной, среди невысоких берегов, образуя пороги на участках

Таблица 6

Основные гидрографические характеристики притоков оз. Лача

| Река | Длина, км | Площадь, км$^2$ | Озерность, % | Заболоченность, % | Лесистость, % | Средний многолетний годовой сток, м$^3$/сек |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Свидь | 64 | 6850 | 7 | 16 | 70 | 60.0 |
| Петеньга | 79 | 501 | 0 | 10 | 78 | 5.10 |
| Ухта | 84 | 876 | <1 | 15 | 80 | 9.12 |
| Тихманьга | 84 | 770 | <1 | 22 | 73 | 7.97 |
| Шоршма | 18 | 43.6 | 0 | 6 | 94 | 0.45 |
| Корма | 13 | 32.0 | 0 | 3 | 97 | 0.25 |
| Лекшма | 73 | 1070 | 7 | 13 | 71 | 11.2 |
| Кинема | 50 | 470 | 1 | 9 | 90 | 4.70 |
| Ковжа | 108 | 1080 | <1 | 17 | 81 | 11.2 |

выхода коренных пород. Водный режим в верховьях Онеги испытывает регулирующее воздействие озер Лача и Воже, что проявляется в более равномерном внутригодовом распределении ее стока и меньшей амплитуде колебания уровней по сравнению с остальной частью реки. Средний годовой расход р. Онеги меняется от истока к устью от 120 до 505 м$^3$/сек.

Сравнительно хорошая гидрологическая изученность притоков оз. Лача позволяет рассматривать особенности формирования стока рек в условиях водосборов, отличающихся по своим гидрографическим показателям.

Ограниченный 1963-1973 гг. период наблюдений на реках Лекшма и Ухта позволяет сравнить особенности их режима с другими притоками только за маловодную фазу (табл. 7). По характеру сезонного распределения стока среди изученных притоков оз. Лача выделяются две группы: реки с относительно равномерным распределением внутригодового стока и реки с повышенным стоком летне-осенней межени.

К первой группе относятся Свидь и Лекшма, отличающиеся, благодаря озерному регулированию, сравнительно высокой водностью в течение всего года. Растянутый спад половодья, высокая летняя межень, сглаженные осенние паводки - все это обусловило особенности режима р. Свиди, у которой на весенние месяцы приходится в среднем за цикл 40.5%, на летне-осенний период - 42.3%, на зиму - 17.2% годового стока. Судя по средним данным за маловодную фазу, сходный режим имеет и р. Лекшма, водомерный пост на

Таблица 7

Распределение стока (в %) по сезонам на притоках озер Воже и Лача

| Река, пункт | Период | Весна (IV–VI) | Лето (VII–VIII) | Осень (IX–XI) | Зима (XII–III) |
|---|---|---|---|---|---|
| Онега, Надпорожский Погост | 1951–1962 | 40.4 | 20.2 | 23.6 | 15.8 |
| | 1963–1973 | 44.7 | 19.2 | 19.1 | 17.0 |
| | 1951–1973 | 42.5 | 19.7 | 21.6 | 16.2 |
| Лекшма, с. Лядины | 1963–1973 | 47.7 | 13.2 | 18.9 | 20.2 |
| Тихманьга, д. Прокино | 1951–1962 | 60.3 | 10.9 | 24.2 | 4.6 |
| | 1963–1973 | 64.4 | 7.9 | 20.7 | 7.0 |
| | 1951–1973 | 61.6 | 9.8 | 23.0 | 5.6 |
| Ухта, д. Еремино | 1963–1973 | 65.8 | 6.7 | 20.8 | 6.7 |
| Свидь, д. Горки | 1951–1962 | 38.7 | 22.0 | 22.6 | 16.7 |
| | 1963–1973 | 43.1 | 20.5 | 18.4 | 18.0 |
| | 1951–1973 | 40.5 | 21.5 | 20.8 | 17.2 |
| Вожега, д. Назаровская | 1951–1962 | 66.5 | 9.4 | 19.4 | 4.7 |
| | 1963–1973 | 75.9 | 3.8 | 14.1 | 6.2 |
| | 1951–1973 | 70.3 | 7.2 | 17.3 | 5.2 |

которой у д. Лядины замыкает водосбор, характеризующийся величиной озерности около 18%. Меньшая зарегулированность режима р. Лекшмы по сравнению с р. Свидью объясняется тем, что оз. Лекшмозеро дренирует сток рек с 62% площади, а оз. Воже – с 97% площади водосбора в пределах замыкающих створов соответствующих постов.

Ко второй группе относятся западные притоки оз. Лача – Тихманьга и Ухта, отличительной особенностью водосборов которых является широкое распространение болот и заболоченных лесов, а также их приуроченность к району положительного влияния карста на сток рек (Бабкин, 1974). Однако из-за малого количества сведений по гидрогеологии района и существования только единичных постов, расположенных в устьях рек, оценить степень влияния карста на режим западных притоков оз. Лача не представляется возможным. Характер внутригодового распределения стока рек Тихманьги и Ухты, отличающийся в основном более повышенным стоком летней межени, можно объяснить как влиянием карста, так и большой заболоченностью водосборов, оказывающей регулирующее

действие на режим рек в весенне-летние месяцы (Изотов, 1974). Сравнение, сделанное за маловодную фазу, показывает, что у этих рек на весну приходилось 64-66%, на лето - 7-8%, осень - 21% годового стока, тогда как на р. Вожеге эти величины в соответствующие сезоны составили 76, 4 и 14%. В то же время в весенний период средний модуль стока рек Тихманьги и Ухты, равный 25 л/сек·км$^2$, всего лишь на 4-5% меньше, чем на р. Вожеге (в маловодные годы эта разница возрастает до 24-28%), в летне-осенние месяцы относительная водность этих рек значительно выше. В маловодную фазу средние месячные модули стока Тихманьги и Ухты, изменяясь с июля по октябрь от 3 до 11 л/сек·км$^2$, почти в два раза были больше соответствующих модулей р. Вожеги.

В зимнюю межень условия дренирования водосборов малыми притоками озер сходны между собой. На протяжении всей зимы средние месячные модули стока этих рек были близки между собой, изменяясь от 1.6 в январе до 1.1 л/сек·км$^2$ в марте. Основываясь на выявленных различиях в сезонном режиме и учитывая вероятность совокупного влияния болот, заболоченных лесов и карста, сток рек Тихманьги и Ухты в период устойчивой летней межени можно отнести за счет болотно-подземного питания.

Несмотря на некоторые различия в сезонном распределении стока рек, основной фазой их гидрологического режима является весеннее половодье. Начинается оно в середине апреля, достигает пика в начале мая и заканчивается на большинстве притоков в первой декаде июня, на реках Лекшме и Свиди из-за озерного регулирования стока конец половодья приходится на середину-конец июля. По сравнению с расположенным южнее водосборным бассейном оз. Кубенского наступление половодья на притоках оз. Лача запаздывает в среднем на 3-5 дней. Наибольшие средние месячные расходы воды на Тихманьге и Ухте наблюдаются обычно в мае, в отдельные годы - в апреле. По данным постов, замыкающих 97-99% площади водосборов, средний майский расход воды составляет на р. Тихманьге (д. Прокино) 37.6 м$^3$/сек, на р. Ухте (д. Еремино) - 45.3 м$^3$/сек. В годы с высоким половодьем, каким является 1966 г., средние месячные расходы мая достигали соответственно 76.5 и 93.7 м$^3$/сек, в период прохождения пика половодья срочные расходы воды возросли до 163 и 218 м$^3$/сек, модуль стока - до 210-250 л/сек·км$^2$.

В период летней межени минимальные средние месячные расходы воды приходятся на август, снижаясь до 4.4-4.8 м$^3$/сек, в низкую межень 1972 г. они составляли 0.55-0.60 м$^3$/сек, что соответствовало модулю стока 0.6-0.8 л/сек·км$^2$. Ежегодно летне-осенняя межень на реках нарушается дождевыми паводками, наибольшие расходы воды во время которых обычно бывают приурочены к октябрю - 9.5-10.5 м$^3$/сек. Зимний режим рек протекает в условиях устойчивого ледостава, сохраняющегося в среднем 160-170 дней - от первой декады ноября до начала третьей декады апреля. Минимальные средние месячные расходы зимы приходятся

Таблица 8

Средние месячные расходы воды (в $м^3$/сек) притоков оз. Лача, принятые при составлении водного баланса за 1951-1973 гг.

| Река | I | II | III | IУ | У | У1 | УII | УIII | IX | X | X1 | XII | Среднее за год |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Лекшма | 6.99 | 6.32 | 6.65 | 12.6 | 34.5 | 14.4 | 11.0 | 8.20 | 7.66 | 10.5 | 9.41 | 6.72 | 11.2 |
| Тихманьга | 1.18 | 0.93 | 0.89 | 12.7 | 37.6 | 8.51 | 4.93 | 4.42 | 6.67 | 9.38 | 5.98 | 2.46 | 7.97 |
| Ухта | 1.31 | 1.08 | 0.94 | 13.9 | 45.3 | 9.52 | 5.09 | 4.84 | 7.45 | 10.7 | 6.66 | 2.62 | 9.12 |
| Свидь | 32.2 | 28.4 | 27.0 | 41.9 | 127 | 123 | 89.0 | 64.9 | 53.6 | 52.2 | 44.6 | 36.4 | 60.0 |
| Кинема | 0.68 | 0.56 | 0.51 | 7.16 | 23.3 | 4.90 | 2.65 | 2.48 | 3.84 | 5.53 | 3.50 | 1.30 | 4.70 |
| Ковжа | 1.74 | 1.48 | 1.21 | 32.0 | 52.7 | 9.81 | 4.44 | 5.24 | 5.64 | 10.3 | 7.26 | 2.55 | 11.2 |
| Остальные реки | 1.22 | 0.93 | 0.87 | 22.0 | 52.6 | 9.13 | 4.75 | 4.88 | 6.97 | 10.6 | 7.28 | 2.47 | 10.3 |

на март – 0.90–0.95 $м^3$/сек. В период оттепелей отмечаются паводки, в отдельные месяцы в 1.5–2 раза увеличивающие сток рек по сравнению с его средними многолетними значениями.

Из-за озерного регулирования режим половодья р. Свиди отличается плавным ходом, высокой водностью на протяжении двух весенних месяцев – мая и июня со средними месячными расходами воды 123 и 127 $м^3$/сек и колебаниями их в пределах от 211 (май 1955 и 1966 гг.) до 60.0 $м^3$/сек (май 1973г.). Максимальные срочные расходы воды, отмеченные на Свиди (д. Горки), достигали 263 (1955 г.) и 258 $м^3$/сек (1966 г.) при модуле стока около 40 л/сек·$км^2$. По многолетним данным, плавный спад воды на р. Свиди происходит в течение всего летне-осенне-зимнего периода, заканчиваясь только в марте – минимальном по стоку месяце в году со средним расходом воды 27.0 $м^3$/сек и модулем стока 4.2 л/сек·$км^2$.

Как уже отмечалось ранее, существующая гидрометрическая сеть отражает сток рек с 70% водосборного бассейна оз. Лача, далее 10% составляет площадь, расположенная ниже створов, остальную территорию занимают водосборы неизученных рек Кинемы, Ковжи, Петеньги (16%) и межбассейновые участки (4%). При расчетах поверхностного притока в оз. Лача определение стока неизученных рек проводилось методом аналогии. Подобно тому, как это было сделано для оз. Воже, средний годовой сток с неизученных водосборов определялся по среднему взвешенному модулю, принятому для полного цикла, отдельных фаз и характерных лет. Внутригодовое распределение стока неизученных рек проводилось по аналогам, выбор которых обосновывался территориальной близостью, размерами водосборов, гидрографическими характеристиками бассейнов. У изученных рек приведение стока от гидрометрического створа к устью было сделано только для р. Лекшмы с сохранением внутригодового режима по имеющемуся посту, без учета влияния боковых притоков. Сток рек Свиди, Ухты и Тихманьги оставлялся без изменений в соответствии с данными их постов, замыкающих 94–99% площади водосборов (табл. 8).

Рассчитанный годовой приток воды в оз. Лача в среднем за цикл составил 3.610 $км^3$, в многоводную фазу он достигал 4.073 $км^3$, в маловодную сократился до 3.145 $км^3$. В общем поступлении поверхностных вод на долю Свиди приходится около 2 $км^3$, причем сравнительно равномерное распределение стока реки обеспечивает преобладание ее вод в течение большей части года. Только в апреле и мае приток за счет малых рек в 2–2.5 раза превышает водность Свиди, но уже с июня по август она дает воды в 2–3 раза больше, чем поступает с остальной части бассейна. В сентябре-ноябре сток Свиди и малых притоков выравнивается, а затем в течение всей зимы в питании озера сохраняется преобладание свидской воды, по объему более чем в 2 раза превышающей долю остальных рек. Наибольший приток воды в оз. Лача приходится на май – 0.994 $км^3$, наименьший на февраль – 0.089 $км^3$.

Гидрометрический створ, замыкающий систему обоих озер Воже и Лача, расположен в 16 км от истока р. Онеги. Участок водосбора от истока до поста охватывает территорию в 357 км$^2$ и представляет холмистую равнину, где около 16% занимают болота, 2% озера и 65% площади приходится на леса. В силу незначительности доли притока с этой территории гидрологические данные по посту можно считать в достаточной мере отражающими режим стока воды из оз. Лача без внесения поправок на площадь.

Судя по многолетним наблюдениям, в среднем за год из оз. Лача вытекает 3.784 км$^3$ воды, в многоводном 1966 г. сток возрос до 5.595 км$^3$, в маловодном 1973 г. сократился до 2.175 км$^3$. Основной сброс воды из озера происходит в течение мая-июня, на долю которых приходится 37% от стока за год. Интенсивное нарастание расхода воды в истоке р. Онеги начинается в конце второй декады апреля и достигает пика во второй половине мая, после чего происходит замедленный спад воды, растягивающийся на 2-3 месяца. Средняя дата окончания половодья р. Онеги приходится на третью декаду июля, его общая продолжительность - 100 дней. Сток воды из озера в летние месяцы довольно высок и составляет в сумме за июль и август 20% годовой величины, на осень приходится 21%, на зиму - 16%.

По данным поста Надпорожский Погост, максимальный суточный расход воды из озера, достигавший 868 м$^3$/сек, был отмечен во время пика половодья весной 1916 г., минимальный пик наблюдался весной 1940 г. и составил 142 м$^3$/сек (Ресурсы, 1973). В пределах 23-летнего расчетного периода в 1966 г. максимальный суточный расход воды из озера был равен 625 м$^3$/сек, в маловодном 1973 г. он снизился до 273 м$^3$/сек. Пониженный сток воды из озера наблюдался весной в 1956, 1960, 1963 г., когда пик половодья не превышал 250-290 м$^3$/сек, все три года по водности были ниже нормы, а формирование весеннего стока происходило в условиях низких зимних уровней воды в озере и сокращенного поступления в него поверхностных вод.

Отмеченные особенности внутриговодового распределения стока воды из оз. Лача сохраняются в маловодную и многоводную фазы колебания увлажненности с незначительным изменением сезонных характеристик в пределах 2-3% (табл. 7).

По гидрологическим условиям годы работы Вологодско-Архангельской экспедиции приходились на конец маловодной фазы внутривекового колебания увлажненности, начавшейся в 1963 г. Режим рек формировался при значительном преобладании восточной формы циркуляции и ослабленного влияния, а в отдельные месяцы и полного отсутствия, западного и меридионального переноса воздушных масс. На протяжении 1972-1974 гг. отмечалось существование длительных теплых периодов со средней месячной температурой воздуха более чем на 2° выше нормы. В 1972 г. исключительно теплым было лето, в 1973 г. - весна, в 1974 г. - осень. Разнообразными были и условия зимы, повлиявшие на формирование

весеннего стока. Зима 1971/72 г. оказалась холодной и малоснежной, а 1972/73 и 1973/74 – теплой с осадками в пределах нормы. Атмосферные осадки за год были на 26% ниже нормы только в 1972 г., они превышали ее в 1973 и сравнялись с ней в 1974 г. (разд. 2.2, наст. изд.). Несмотря на это, годовой сток рек оказался ниже средних многолетний значений во все три года. Особенно маловодными (с обеспеченностью 92–96%) были 1972 и 1973гг.; обеспеченность годового стока рек 1974 г., равная 75%, позволяет отнести его к числу средних по водности. По данным поста Надпорожский Погост на р. Онеге, замыкающего систему обоих озеро, модуль годового стока в 1972 г. составлял 6.5 л/сек·км$^2$, в 1973 г. сократился до 5.4, в 1974 г. увеличился до 7.8 при среднем многолетнем модуле, равном 9.5 л/сек·км$^2$.

Внутригодовое распределение стока рек по сезонам в 1972 и 1973 гг. было аналогичным ходу, характерному для маловодной фазы. Оно отличалось значительным преобладанием весеннего (75–85%) и резким сокращением доли летнего стока (1.5–5.5%). На зимний сток в эти два года приходилось от 5 до 10%, на осень – от 5 до 15% общей годовой величины. Сезонное распределение стока в 1974 г. было сходно со средним многолетним режимом. На реках с озерным регулированием для большинства сезонов отклонения от многолетних данных были незначительными, особенности маловодных лет сказались в основном на весеннем стоке, доля которого возросла до 50–53%.

Характерной особенностью режима рек в 1972–1974 гг. является пониженная водность во все сезоны. Весеннее половодье на западных притоках оз. Лача в 1972 и 1974 гг. было на 20%, а в 1973 г. – на 30–40% меньше средних размеров. На р. Вожеге в течение трех лет половодье не отличалось более чем на 20% от средней величины, хотя сток апреля 1973 г. почти в 2 раза превысил среднее значение, принятое для этого месяца. Летом 1972 и 1973 гг. из-за сокращения осадков почти в 2 раза по сравнению с нормой средние расходы воды на большинстве рек были в 5–7 раз меньше многолетних, а продолжительность периода устойчивой низкой межени составляла около 2–2.5 месяцев. На реках с озерным регулированием летний сток этих лет уменьшался лишь в 2–4 раза по сравнению со средними значениями, а его колебания отражали режим, свойственный затянутому спаду весеннего половодья.

Относительно засушливые летние месяцы определили пониженный сток рек и в осенний период, несмотря на то, что количество осадков в это время было близко норме. Сток рек в течение сентября–ноября в 1972 г. был в среднем в 6–7, а в 1973 г. – в 2–4 раза меньше многолетних значений. Исключение составляли реки, вытекающие из озер, их сток был только в 1.5–2 раза меньше характерного для этого времени года. Летне-осенняя межень на реках района в 1974 г. имела неустойчивый режим с хорошо выраженными, сменяющими друг друга 5–6 дождевыми па-

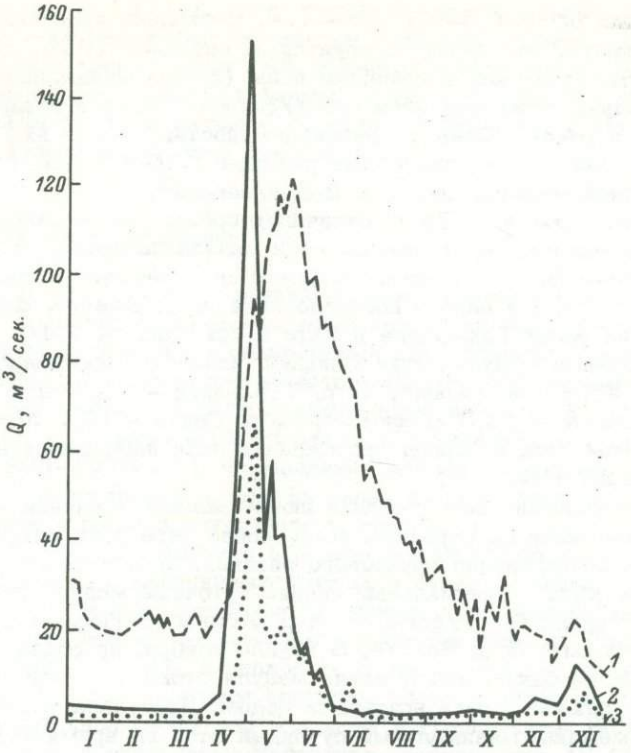



Рис. 6. Гидрографы стока рек за 1972 г.

1 – р. Свидь, д. Горки; 2 – р. Вожега, д. Назаровская; 3 – р. Тихманьга, д. Прокино.

водками. Сток рек на протяжении этого периода был близок многолетним значениям кроме р. Вожеги, где он оказался почти в 2 раза меньше нормы.

В 1972 г. весенний подъем воды на р. Вожеге начался 3 апреля, достиг пика 29 апреля, во время которого модуль стока составлял 117 л/сек·км$^2$, и закончился 16 июня. На реках Ухте и Тихманьге начало половодья приходилось на 12–13 апреля, пик – 4–5 мая, с модулем стока 85–94 л/сек·км$^2$, окончание – на 30 июня. На спаде половодья на всех трех реках отмечались небольшие дождевые паводки, в результате которых переход рек на меженный режим произошел только в июле: на р. Вожеге – 15 июля, на р. Тихманьге – 1 июля и на Ухте – 16 июля. Далее почти до середины октября на притоках оз. Лача отмечалась устойчивая межень, в течение которой питание рек (судя по гидрографам стока) происходило исключительно за счет грунтовых вод (рис. 6). Модули стока

составляли около 0.6–0.7 л/сек·км$^2$. Несколько иной была межень на р. Вожеге, где наряду с грунтовым питанием (65%) значительную долю составляли паводочные воды (35%); минимальный за межень модуль стока равнялся 0.5 л/сек·км$^2$. Хотя в первых числах ноября на реках района установился ледостав, режим их был паводковый, в декабре максимальные расходы в 10–12 раз превосходили сток летней межени, достигая 8–9 л/сек·км$^2$.

Режим рек в 1973 г. отличался прежде всего ранним и дружным половодьем, наступившим за 2 недели до срока. На притоках озер Лача и Воже оно началось почти одновременно в последних числах марта, 14 апреля достигло пика на р. Вожеге, спустя неделю – на реках Тихманьге и Ухте и закончилось 7–10 июня. Максимальные модули стока в период половодья составляли на р. Ухте – 79.7 л/сек·км$^2$, на р. Тихманьге – 71.3 л/сек·км$^2$, на р. Лекшме – 42.5 л/сек·км$^2$, на р. Свиди – 15.2 л/сек·км$^2$. Наибольший сток в период прохождения пика наблюдался на р. Вожеге – 228 л/сек·км$^2$.

Превысившие норму осадки июня вызвали дождевой паводок, продолжавшийся до середины июля, после чего реки вступили в пору преимущественно грунтового питания, продолжавшуюся до 8–12 октября. Минимальные летние суточные модули стока составляли около 0.8 л/сек·км$^2$ на р. Ухте и р. Тихманьге и 0.3 л/сек·км$^2$ на р. Вожеге. В начале ноября, на спаде осенних дождевых паводков, достигавших модуля стока в период пика около 10 л/сек·км$^2$, реки покрылись льдом. Наступила устойчивая зимняя межень, минимальный суточный сток во время которой на многих реках снижался до 0.3–0.8 л/сек·км$^2$. На озерных реках он был выше: на р. Лекшме – 3.7 л/сек·км$^2$, на р. Свиди – 1.3 л/сек·км$^2$.

В 1974 г. интенсивный подъем воды в реках начался в первых числах мая, а спустя две недели половодье достигло пика, который для рек Ухты и Тихманьги был максимальным за все три года, с модулем стока около 100 л/сек·км$^2$. Не менее интенсивный спад половодья закончился 22–23 июня, после чего реки вступили в паводочный режим, вызванный превышающими норму летне-осенними осадками и продолжавшийся до момента наступления ледостава в начале декабря. На незарегулированных реках максимальные модули дождевого стока в летний период колебались в пределах 10–18 л/сек·км$^2$, в октябре они достигали 19–24 л/сек·км$^2$. Минимальный сток рек, приходящийся на короткий (1–2 дня) период между паводками, составлял на западных притоках оз. Лача 1.3–2.1 л/сек·км$^2$, на р. Вожеге – 0.4 л/сек·км$^2$, на озерных реках – 5–6 л/сек·км$^2$, т.е. был аналогичен характеристикам устойчивой межени.

Расчленение гидрографов стока рек Тихманьги, Ухты и Вожеги, проведенное для 1972–1974 гг., показало, что по соотношению основных источников питания 1974 г. был близок к средним многолетним показателям, в 1972 г. на снеговое питание приходи-

лось 75-80%, дождевое - 10-15%, подземное - 8-13% общего годового стока. В 1973 г. доля снеговых вод сократилась до 65-70% за счет увеличения поземного и дождевого стока, составляющих соответственно 15 и 18%. Незначительное преобладание доли дождевого стока над подземным, характерное для средних показателей источников питания, сохранилось во все годы экспедиционных исследований озер Воже и Лача.

## 2.2 Осадки и испарение

Озера Лача и Воже - большие и мелководные, как и Кубенское, слабо изучены в гидрологическом отношении. Они расположены в зоне избыточного увлажнения с однородными климатическими условиями.

Водный баланс озер составляется за последний полный цикл увлажненности (1951-1973гг.), выделенный по водности (Кириллова, 1974), и за фазы - многоводную (1951-1962 гг.) и маловодную (1963-1973 гг.). Определение элементов водного баланса - осадков и испарения - одна из задач комплексного исследования озер Лача и Воже в естественном состоянии.

Роль осадков и испарения в водном балансе этих озер невелика по сравнению с величинами притока и стока (Малинина, Татаринова, 1975). По предварительным расчетам, в среднем за период 1951-1973 гг. осадки составили в водном балансе оз. Лача - 7.2%, оз. Воже - 14.8%, а испарение с поверхности - соответственно 5.6 и 9.1%. Эти величины получены расчетным путем, поскольку специальных наблюдений над осадками в годы работы Вологодско-Архангельской экспедиции Института озероведения АН СССР не проводилось. Единичные гидрологические съемки озер в течение трех полевых сезонов 1972-1974 гг. и работы стационара (3, УП-18.УШ 1973 г.) на острове в восточной части оз. Воже в устье р. Вожеги, где выполнялся комплекс гидрологических и метеорологических наблюдений над элементами приводного слоя, не позволили определить испарение по натурным данным за длительный период.

Осадки и испарение с поверхности озер Лача и Воже определены расчетным путем.

Методика расчета атмосферных осадков, выпадающих на озера Лача, Воже и Кубенское, изложена в материалах комплексных исследований озер Лача и Воже (1975) и монографии „Озеро Кубенское" (ч. I, 1977).

Многолетние суммы осадков определены как средние арифметические из показаний 8 постов и станций для оз. Лача (Конево, Орлово, Няндома, Каргополь, Полоха, Прокино, Горки, Б. Заволошье) и 9 - для оз. Воже (Горки, Б. Заволошье, Перхино, Огибаловская, Чарозеро, Вожега, Вашки, Коварзино, Угол), расположенные по периферии озер. По этим станциям и постам многолетние суммы осадков с поправками к показаниям осадкомера взяты из Справоч-

Таблица 9

Средние месячные суммы осадков (в мм) на озера за многолетний период (1891-1965 гг.)

| Озеро | I | II | III | IУ | У | У1 | УII | УIII | IX | X | X1 | XII | Сумма за год |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Лача | 54 | 41 | 44 | 43 | 51 | 72 | 74 | 77 | 76 | 63 | 58 | 58 | 711 |
| Воже | 58 | 46 | 50 | 46 | 54 | 73 | 78 | 82 | 74 | 65 | 61 | 63 | 750 |

ника по климату СССР (1968, вып. 1, ч. 1У). Многолетние суммы осадков, выпадающих на поверхность озер Лача и Воже, составили соответственно 711 и 750 мм, что на 2-7% меньше многолетних сумм осадков на эти озера, приведенных А.Г. Прониным (1970). Внутригодовое распределение их приведено в табл. 9.

По средним данным, на холодный период (X1-III) приходится 36-37% от годовой суммы, на теплый (1У-X) - 64-63%. Наибольшее количество осадков выпадает в июне-сентябре (41-42%).

Переход к пересчету осадков на озеро за конкретный период (1951-1973 гг.) выполнен по одной опорной станции на каждом озере с более длительным и полным рядом наблюдений, поскольку колебания осадков как во времени, так и по рассматриваемой территории невелики. В качестве опорной для оз. Лача принята ст. Каргополь, а для Воже - Чарозеро. В табл. 10 приведены поправки, с введением которых определяются осадки на озера Лача и Воже по осадкам со всеми поправками к показаниям осадкомера на станциях Каргополь и Чарозеро за соответствующий период.

В табл. 11 приведены средние суммы осадков на озера Лача и Воже.

Сравнивая данные таблиц 9 и 11, можно заметить, что количество осадков за 1951-1973 гг. на озерах Лача и Воже было несколько больше (на 86 и 39 мм, или 11 и 5%), чем за многолетний период. Количество их за теплый период составило на оз. Лача - 64%, на оз. Воже - 67% годовых сумм. Соответственно на холодный период приходится 36 и 33%. Соотношение количества их за фазы водности изменяется незначительно. Внутри года разных фаз водности наблюдается некоторое перераспределение осадков. В теплый период многоводной фазы (1951-1962) осадков выпадало несколько больше (66-69%), в маловодную (1963-1973), наоборот, меньше (61-64%), чем среднее многолетнее их количество.

Аномальными по осадкам за расчетный период были 1966 г. (многоводный) и 1972 г. (маловодный). Эти годы по условиям увлажнения были выделены и для оз. Кубенского.

Таблица 10

Поправки (в мм) к показаниям станций Каргополь и Чарозеро для расчета месячных сумм осадков на озера Лача и Воже

| | I | II | III | IУ | У | У1 | УII | УIII | IX | X | X1 | XII | За год |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Каргополь | 3 | 1 | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 | -2 | 1 | 5 | 5 | 3 | 21 |
| Чарозеро | -2 | -4 | -9 | 0 | 2 | 3 | 2 | 1 | 5 | 5 | -4 | -6 | -7 |

Таблица 11

Средние месячные суммы осадков (в мм) на озера Лача (числитель) и Воже (знаменатель) за расчетный период и отдельные фазы водности

| Период | I | II | III | IУ | У | У1 | УII | УIII | IX | X | X1 | XII | Сумма за год |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1951-1973 | 61/57 | 45/39 | 51/44 | 55/56 | 57/61 | 78/80 | 83/94 | 77/79 | 80/81 | 77/77 | 65/60 | 68/61 | 797/789 |
| 1951-1962 | 60/63 | 43/38 | 42/36 | 46/52 | 54/61 | 77/93 | 92/103 | 89/91 | 86/83 | 61/64 | 59/51 | 60/57 | 769/792 |
| 1963-1973 | 62/49 | 47/41 | 59/53 | 65/62 | 61/61 | 78/66 | 72/84 | 64/65 | 75/79 | 94/92 | 72/70 | 77/66 | 826/788 |

Изменчивость атмосферных осадков в районе исследуемых озер в холодный период несколько больше, чем в теплый. Как видно из табл. 12, коэффициент изменчивости ($C_v$) осадков, рассчитанных на озера, сравнительно одинаков в соответствующие периоды времени на озерах Лача, Воже и Кубенское и несколько меньше, чем $C_v$ для этих периодов, по данным отдельных метеостанций (Каргополь).

Диапазон колебания сумм осадков во времени довольно широк. В табл. 13 приведены суммы осадков различной обеспеченности за год и отдельные периоды года расчетного ряда. Межгодовые амплитуды колебания атмосферных осадков на озерах Лача и Воже в 9 месяцах года составляют больше 100 мм, минимальные характерны для зимних (январь, февраль), максимальные - для летних (июнь-август) месяцев (табл. 14).

Многолетнее испарение с поверхности озер Лача и Воже, приведенное в одной из последних работ, соответственно равно 490 и

Таблица 12

Коэффициент изменчивости ($C_v$) и среднее квадратическое отклонение ($\sigma$) осадков за 1951-1973 гг.

| Станция или озеро | XI-III | | IV-X | | За год | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $C_v$ | $\sigma$ | $C_v$ | $\sigma$ | $C_v$ | $\sigma$ |
| Каргополь | 0.32 | 78 | 0.21 | 92 | 0.19 | 130 |
| Лача | 0.24 | 69 | 0.14 | 72 | 0.17 | 137 |
| Воже | 0.25 | 66 | 0.16 | 86 | 0.13 | 102 |
| Кубенское | 0.24 | 54 | 0.15 | 72 | 0.12 | 83 |

Таблица 13

Осадки (в мм) различной обеспеченности на озера Лача (числитель) и Воже (знаменатель) за 1951-1973 гг.

| Период | 5% | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% | 95% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| XI-III | 450/350 | 410/343 | 340/335 | 300/320 | 280/300 | 260/270 | 260/250 | 250/220 | 230/200 | 190/160 | 160/140 |
| IV-X | 660/680 | 610/650 | 560/600 | 540/560 | 520/530 | 510/520 | 500/510 | 480/480 | 440/460 | 390/390 | 360/330 |
| 1-XII | 1010/1000 | 950/920 | 880/860 | 840/835 | 820/830 | 810/810 | 790/790 | 760/760 | 710/730 | 640/650 | 600/570 |

479 мм (Пронин, 1970). В „Ресурсах поверхностных вод Северного края" оно оценено в 485 и 529 мм за период IV-X (1972). Нашей задачей было определить величину испарения с поверхности озер Лача и Воже за последний цикл увлажненности и выявить изменение ее в разные фазы водности с целью уточнения испарения в водном балансе.

Расчеты произведены по гидрометеорологической формуле А.П. Браславского и З.А. Викулиной (1954) с уточненным коэффициентом из Технических указаний ГГИ (1969).

$$E = 0.14n\,(e_0 - e_2)(1 + 0.72V_2)\ \text{мм/мес.}$$

Таблица 14

Межгодовые амплитуды колебания осадков (в мм) на озера Лача и Воже за 1951-1973 гг.

| Осадки | I | II | III | IУ | У | У1 | УII | УIII | IX | X | X1 | XII | За год |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Оз. Лача | | | | | | | |
| Наибольшие | 98/1962 | 76/1966 | 111/1966 | 128/1966 | 138/1969 | 139/1963 | 180/1954 | 268/1961 | 152/1952 | 133/1966 | 126/1969 | 134/1965 | 1026/1966 |
| Наименьшие | 21/1972 | 11/1953 | 9/1959 | 14/1965 | 14/1959 | 26/1969 | 25/1973 | 2/1955 | 20/1961 | 10/1961 | 36/1958 | 30/1955 | 588/1972 |
| Амплитуда | 77 | 65 | 102 | 114 | 124 | 113 | 155 | 266 | 132 | 123 | 90 | 104 | 438 |
| | | | | | | Оз. Воже | | | | | | | |
| Наибольшие | 102/1971 | 96/1973 | 134/1966 | 115/1966 | 128/1969 | 187/1959 | 159/1951 | 181/1961 | 169/1952 | 131/1967 | 150/1969 | 145/1965 | 1039/1966 |
| Наименьшие | 24/1972 | 3/1953 | 11/1956 | 20/1963 | 19/1959 | 23/1968 | 28/1967 | 7/1955 | 37/1972 | 19/1951 | 16/1966 | 18/1955 | 549/1972 |
| Амплитуда | 88 | 93 | 123 | 95 | 109 | 164 | 131 | 174 | 132 | 112 | 134 | 127 | 490 |

Таблица 15

Испарение (в мм) с поверхности озер Лача (числитель) и Воже (знаменатель) за расчетный период и фазы водности

| Период | IУ | У | У1 | УII | УIII | IX | X | X1 | IУ-X1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1951-1973 | 18/16 | 34/49 | 104/99 | 96/95 | 72/80 | 33/40 | 20/17 | 20/17 | 398/413 |
| 1951-1962 | 18/17 | 31/55 | 99/97 | 93/89 | 73/77 | 33/39 | 20/18 | 19/18 | 386/410 |
| 1963-1973 | 18/15 | 38/42 | 108/101 | 101/101 | 72/82 | 33/41 | 22/16 | 21/16 | 413/414 |

Исходные параметры для расчета: абсолютная влажность воздуха над поверхностью озера ($e_2$) определена по влажности на метеостанции с месячной поправкой, рассчитанной по методике ТУ. Скорость ветра ($V_2$) принята по метеостанции. Опорными станциями, как и в расчете осадков, взяты ст. Каргополь - для оз. Лача и Чарозеро - для оз. Воже. Температура поверхности воды с мая по октябрь, необходимая для определения максимальной упругости водяного пара ($e_0$), получена из данных А.И. Тихомирова и А.Н. Егорова (разд. 4.4 наст. изд.). Результаты расчета месячных и годовых величин испарения с поверхности озер Лача и Воже использованы при составлении их водного баланса. Здесь мы приводим величины испарения, средние за период и фазы водности (табл. 15).

Сравнение величин испарения с озер Лача и Воже показало, что за период IУ-X1 в многоводную фазу (1951-1962) испарялось на 1-3% меньше, в маловодную - на 1-4% больше по сравнению со средней за период 1951-1973 гг.

Рассчитанная величина испарения за последний цикл увлажненности на 17-25% меньше, чем в приведенных ранее работах за многолетний период, и близка к средней многолетней величине испарения с водной поверхности испарительного бассейна площадью 20 $м^2$ по карте-схеме из Технических указаний ГГИ (1969). Наибольшее испарение с озер наблюдалось в 1959 г., наименьшее - в 1957 г.. В отдельные месяцы различия в величинах испарения достигают значительных величин, о чем свидетельствуют межгодовые амплитуды их изменения (табл. 16).

Наибольшие величины испарения приурочены в основном к теплым и очень теплым (5 из 8) по термическим условиям месяцам, наименьшие - в 5 месяцах из 8 приходились на нормальные и холодные.

Таблица 16

Межгодовые амплитуды колебания испарения (в мм) с озер Лача и Воже за 1951-1973 гг.

| Осадки | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | За год |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Оз. Лача | | | | | |
| Наибольшие | 33/1965 | 73/1973 | 180/1961 | 142/1973 | 115/1955 | 56/1963 | 52/1967 | 50/1967 | 514/1959 |
| Наименьшие | 6/1962 | 9/1961 | 50/1951 | 62/1957 | 33/1957 | 12/1952 | 8/1969 | 8/1961 | 297/1957 |
| Амплитуда | 27 | 64 | 130 | 80 | 82 | 44 | 44 | 42 | 217 |
| | | | | Оз. Воже | | | | | |
| Наибольшие | 33/1965 | 85/1960 | 151/1965 | 128/1970 | 141/1959 | 82/1968 | 30/1959 | 32/1952 | 575/1959 |
| Наименьшие | 3/1967 | 20/1964 | 55/1963 | 52/1957 | 20/1957 | 15/1966 | 2/1967 | 3/1955 | 320/1957 |
| Амплитуда | 30 | 65 | 96 | 76 | 121 | 67 | 28 | 29 | 255 |

Таблица 17

Осадки ($x$) на озера Лача и Воже и испарение ($E$) с них в отдельные периоды года за 1951-1973 гг.

| Озеро | I-XII | | | IУ-X | | | У1-УIII | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $x$ | $E$ | $E$ от $x$, % | $x$ | $E$ | $E$ от $x$, % | $x$ | $E$ | $E$ от $x$, % |
| | мм | | | мм | | | мм | | |
| Лача | 797 | 387 | 48 | 507 | 378 | 75 | 237 | 272 | 115 |
| Воже | 789 | 410 | 52 | 528 | 396 | 75 | 253 | 274 | 108 |

Средние годовые суммы испарения за цикл увлажненности на всех трех озерах мало отличаются по величине. Испарение несколько возрастает от оз. Лача к Воже и Кубенскому (проявление широтной зональности).

Сравнение атмосферных осадков и испарения с поверхности озер (табл. 17) показывает, что за период 1951-1973 гг. годовая величина испарения с озер Лача и Воже (387 и 410 мм) составляет соответственно 48 и 52% годовой суммы осадков (797 и 789 мм), выпадающих на их поверхность.

За теплый период (IУ-X) на испарение расходуется 75% осадков, выпавших на зеркало озер в эти месяцы. В период интенсивного нагревания (У1-УIII) имеет место дефицит атмосферных осадков (8-15%) и испарение частично происходит за счет понижения уровня озера.

## 2.3 Водный баланс

Первые сведения о водном балансе озер Воже и Лача опубликованы в Трудах Всесоюзного симпозиума по проблемам пресноводных озер (Пронин, 1970). Поскольку автор располагал очень ограниченными данными непосредственных наблюдений над элементами водного баланса, то для расчетов он использовал главным образом средние многолетние значения гидрологических и метеорологических элементов, опубликованных в справочниках или картах.

Рассчитанный за период 1911-1964 гг. водный баланс оз. Воже отнесен к его площади, равной 416 км$^2$, что соответствует отметке уровня 122 м абс. выс., которая почти на метр превышает среднюю многолетнюю. Это обстоятельство следует тем более подчеркнуть, что у озер подобного типа в зависимости от отметки уровня значительно меняются размеры площади и объема и, следовательно, элементы водного баланса, выраженные в слое воды,

должны менять свое значение в зависимости от той площади, к которой отнесены. Приток воды в озеро, по данным указанной выше работы, составил 3941 мм, или 1.628 км$^3$, а сток из него – 4265 мм, или 1.768 км$^3$. Осадки и испарение соответственно равны 803 и 479 мм.

В той же работе приводятся данные о водном балансе оз. Лача за период 1881-1969 гг. для площади озера, равной 334 км$^2$, что соответствует отметке уровня 117.8 м абс. выс., почти совпадающей со средней многолетней (117.7 м абс. выс.) за выбранный нами расчетный период (1951-1973 гг.).

Два года спустя данные по водному балансу озер Лача и Воже были опубликованы в Ресурсах поверхностных вод (1972), где прямо указывалось, что они носят ориентировочный характер как из-за недостаточного освещения измерениями поверхностного притока, так и из-за невысокой точности исходных данных для расчета осадков на зеркало озера и потерь на испарение. Водный баланс озер Лача и Воже приведен, как указано в работе, для осредненного года без уточнения периода, для которого проводилось осреднение. По данным этого источника, общий приход воды в оз. Воже составил 2.253 км$^3$ (из них 86.1% – приток в озеро, 13.9%– атмосферные осадки). В расходной части баланса сток из озера равен 1.880 км$^3$ (83.5%), а испарение – 0.220 км$^3$ (9.8%). Для оз. Лача приток в озеро равен 3.810 км$^3$ (94.5% приходной части баланса), осадки – 0.221 км$^3$, сток из него – 3.730 км$^3$, испарение – 0.162 км$^3$.

Водный баланс озер Воже и Лача, приводимый в Ресурсах поверхностных вод, значительно отличается от данных первого источника, где общая сумма приходной части водного баланса почти на четверть меньше, чем в Ресурсах.

Источником ошибок при расчете водного баланса могут быть различные причины и, пожалуй, одной из важных причин несоответствия составляющих водного баланса является неодинаковый период, выбранный для расчета разными авторами. Поэтому дальнейшие уточнения водного баланса озер Воже и Лача должны заключаться как в более тщательном расчете отдельных элементов водного баланса, так и в обосновании расчетного периода.

В настоящее время в литературе утвердилась теория о циклическом характере колебаний основных компонентов, определяющих водный баланс. Согласно этой теории, периоды повышенной увлажненности в бассейнах сменяются периодами пониженной увлажненности. В работе А.В. Шнитникова (1966), посвященной исследованию колебаний увлажненности бассейнов Северо-Запада европейской части СССР, анализируются колебания уровня крупных озер Прибалтики. На основе анализа колебания уровня озер и стока рек бассейна Ладожского озера, который близок по своим физико-географическим характеристикам к бассейнам озер Воже и Лача, за истекшее столетие А.В. Шнитниковым выделено три полных внутри-

Таблица 18

Приращения уровня (в см) оз. Воже по показаниям в/п Тордокса

| Год | I | II | III | IУ | У | У1 | УII | УIII | IX | X | X1 | XII | За год |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1951 | -1 | -5 | -2 | +161 | -7 | +4 | -12 | -50 | -35 | -23 | -12 | -8 | +10 |
| 1952 | -6 | -4 | -7 | +81 | +66 | -38 | -37 | -19 | +5 | +22 | +5 | -18 | +50 |
| 1953 | -16 | -19 | -16 | +157 | -8 | -2 | -52 | -22 | -6 | +14 | -21 | -17 | -8 |
| 1954 | -14 | -15 | -13 | +31 | +74 | -37 | -25 | -10 | -15 | +8 | +24 | -15 | -7 |
| 1955 | -13 | -13 | -9 | +51 | +163 | -15 | -61 | -59 | -34 | -14 | +1 | -8 | -10 |
| 1956 | -13 | -11 | -16 | +16 | +111 | -40 | -24 | +10 | -6 | +15 | -8 | -20 | +14 |
| 1957 | -9 | -11 | -8 | +60 | +89 | -46 | -34 | -1 | -1 | +31 | -8 | -26 | +36 |
| 1958 | -18 | -16 | -17 | +11 | +171 | -47 | -60 | -25 | -18 | +11 | -11 | -5 | -24 |
| 1959 | -15 | -12 | -12 | +84 | +69 | -37 | -38 | -38 | -6 | -5 | -8 | -9 | -27 |
| 1960 | -9 | -8 | -10 | +101 | +1 | -33 | -29 | -23 | -8 | -4 | +4 | -4 | -22 |
| 1961 | -13 | -3 | -6 | +6 | +225 | -53 | -54 | +28 | -4 | -38 | -22 | -14 | +52 |
| 1962 | -13 | -13 | -14 | +158 | +18 | -62 | -31 | -35 | +23 | -11 | -4 | -10 | +6 |
| 1963 | -19 | -19 | -10 | +68 | +4 | -28 | -14 | -26 | -13 | +1 | +8 | -4 | -52 |
| 1964 | -8 | -8 | -9 | +57 | +82 | -42 | -34 | -28 | -8 | +3 | +12 | -4 | +13 |
| 1965 | -3 | -7 | -13 | +42 | +92 | -39 | -25 | -22 | -22 | -2 | +6 | -3 | +4 |
| 1966 | -5 | -6 | -5 | +96 | +143 | -60 | -65 | -57 | +8 | +13 | -24 | -14 | +24 |
| 1967 | -23 | -13 | -8 | +105 | -2 | -37 | -37 | -18 | -16 | +12 | +21 | -3 | -19 |
| 1968 | -14 | -7 | -7 | +110 | +48 | -60 | -42 | -26 | -18 | +3 | -15 | -6 | -34 |
| 1969 | -4 | -5 | -15 | +104 | +83 | -43 | -42 | -38 | -12 | +7 | +51 | +4 | +90 |
| 1970 | -21 | -19 | -19 | +50 | +11 | -18 | -34 | -24 | -12 | 0 | -1 | -6 | -93 |
| 1971 | -2 | -3 | -2 | +64 | +92 | -38 | -44 | -28 | -15 | -2 | +5 | -2 | +25 |
| 1972 | -7 | -8 | -9 | +72 | +49 | -37 | -34 | -28 | -16 | -2 | -5 | +1 | -34 |
| 1973 | -4 | -4 | -3 | +119 | -20 | -31 | -37 | -16 | +2 | -4 | +3 | -6 | -1 |
| 1974 | -4 | 0 | -5 | +11 | +163 | -36 | -41 | -23 | -26 | -6 | +18 | +4 | +55 |

Таблица 19

Приращения уровня (в см) оз. Лача по показаниям в/п Нокола

| Год | I | II | III | IУ | У | У1 | УII | УIII | IX | X | X1 | XII | За год |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1951 | -2 | 0 | -3 | +130 | -17 | +6 | -29 | -34 | -23 | -17 | -6 | -3 | +2 |
| 1952 | -3 | -3 | -1 | +74 | +67 | -51 | -45 | -18 | +26 | +10 | -6 | -13 | +37 |
| 1953 | -8 | -11 | -7 | +160 | -32 | -18 | -55 | -19 | -1 | +34 | -28 | -15 | 0 |
| 1954 | -15 | -11 | -6 | +23 | +63 | -39 | -6 | -20 | -4 | +13 | +25 | -30 | -7 |
| 1955 | -10 | -10 | -4 | +31 | +171 | -46 | -65 | -48 | -22 | -3 | +3 | -10 | -13 |
| 1956 | -12 | -12 | -3 | +17 | +87 | -42 | -18 | +18 | -9 | +13 | -16 | -9 | +14 |
| 1957 | -8 | -7 | -9 | +32 | +96 | -44 | -35 | +4 | +17 | +23 | -17 | -24 | +28 |
| 1958 | -11 | -14 | -11 | +7 | +183 | -89 | -55 | -8 | -16 | +5 | -7 | -14 | -30 |
| 1959 | -7 | -6 | -6 | +53 | +62 | -32 | -30 | -27 | +9 | -9 | -13 | -11 | -17 |
| 1960 | -8 | -3 | -3 | +91 | -7 | -27 | -21 | -25 | +15 | -5 | -8 | -5 | -6 |
| 1961 | -5 | -4 | 0 | +4 | +190 | -78 | -38 | +52 | -22 | -44 | -21 | -12 | +22 |
| 1962 | -3 | -9 | +1 | +150 | -18 | -60 | -2 | -36 | +34 | -23 | -4 | -19 | +11 |
| 1963 | -10 | -14 | -9 | +82 | +1 | -32 | 0 | -30 | -20 | +6 | +4 | -8 | -30 |
| 1964 | -12 | -3 | -5 | +48 | +72 | -52 | -28 | -16 | -5 | +5 | +2 | -1 | +5 |
| 1965 | -5 | -6 | -3 | +47 | +70 | -47 | -13 | -18 | -12 | -4 | +1 | -7 | +3 |
| 1966 | -11 | +1 | -4 | +38 | +210 | -116 | -46 | -39 | +5 | +28 | -26 | -18 | +22 |
| 1967 | -19 | -14 | -2 | +79 | +25 | -41 | -40 | -13 | +1 | +9 | +14 | -14 | -15 |
| 1968 | -13 | -11 | +5 | +67 | +89 | -81 | -36 | -23 | -6 | +9 | -4 | -11 | -15 |
| 1969 | -5 | -6 | -7 | +80 | +88 | -68 | -34 | -32 | -10 | +15 | +27 | +12 | +60 |
| 1970 | -16 | -21 | -15 | +45 | +24 | -25 | -27 | -23 | +2 | +2 | -6 | -7 | -67 |
| 1971 | -2 | -3 | +2 | +24 | +128 | -62 | -38 | -29 | +1 | +13 | -9 | -12 | +13 |
| 1972 | -10 | -6 | -4 | +46 | +63 | -42 | -36 | -21 | -6 | -4 | +2 | +3 | -15 |
| 1973 | -10 | -3 | -2 | +104 | -23 | -27 | -30 | -14 | -3 | +11 | -4 | -5 | -6 |
| 1974 | -7 | -2 | 0 | +11 | +128 | -41 | -38 | -7 | -25 | +3 | -15 | -9 | -2 |

вековых цикла продолжительностью 25–33 года. Каждый цикл включает многоводную и маловодную фазы.

Анализ уровенного режима и стока р. Сухоны позволил выделить подобные циклы и для бассейна оз. Кубенское (Кириллова, 1976). Последний из этих циклов, продолжавшийся с 1951 по 1973 г., был принят нами в качестве расчетного периода для определения среднего многолетнего водного баланса оз. Кубенского (Озеро Кубенское, ч. I, 1977). Данные о выделении циклов были подтверждены анализом стока р. Онеги, вытекающей из оз. Лача (разд. 2.1 наст. изд.). Это обстоятельство, а также и то, что озера Воже и Лача находятся в сходных с оз. Кубенским физико-географических условиях, позволило нам для определения среднего многолетнего водного баланса этих озер в качестве расчетного периода принять тот же период, что и для оз. Кубенского, т.е. с 1951 по 1973 г. В дальнейшем, говоря о средних многолетних значениях элементов баланса, будем подразумевать характеристики, осредненные за период 1951–1973 гг.

Кроме средних многолетних рассчитаны величины водного баланса отдельно для многоводной (1951–1962 гг.) и маловодной (1963–1973 гг.) фаз этого цикла, а также для экстремальных лет. И, наконец, несколько подробнее освещен водный баланс для лет работы на озерах комплексной экспедиции Института озероведения, т.е. для 1972–1974 гг.

Для расчета водного баланса принято следующее уравнение:

$$y_{пр} + x \pm y_{подз} - y_{ст} - z = \pm \Delta H ,$$

где $y_{пр}$ – речной приток, $x$ – осадки на поверхность озера, $y_{подз}$ – подземный приток и сток, $y_{ст}$ – сток из озера, $z$ – испарение, $\Delta H$ – приращение уровня (сработка и аккумуляция).

Методика, использованная для расчета отдельных составляющих водного баланса, изложена в соответствующих разделах настоящей книги. Остановимся лишь на характеристике режима годового накопления воды в озере, для чего были выполнены расчеты годового хода наполнения озера по данным уровенных наблюдений.

Величина приращения уровня вычислялась на первое число каждого месяца и на 1 января каждого года по данным водомерных постов (в/п Тордокса – на оз. Воже и в/п Нокола – на оз. Лача). Существуют разные методы исключения денивеляционных колебаний при определении уровня на первое число каждого месяца. В данной работе приращение уровня рассчитывалось как среднеарифметическое значение из отметок 5 последних дней предыдущего месяца и 5 первых дней последующего (табл. 18, 19).

Водный баланс озер Воже и Лача приведен к среднему многолетнему уровню за принятый нами расчетный период, равному соответственно 121.1 и 117.7 м абс. выс. Площади озер для указанных уровней составляют 316 км$^2$ для Воже и 330 км$^2$ для Лача.

Таблица 20

Водные балансы озер за 1951-1973 гг.

| Приход | Объем, $10^6$ м$^3$ | Слой, мм | % | Расход | Объем, $10^6$ м$^3$ | Слой, мм | % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Оз. Воже | | | | |
| Речной приток | 1774 | 5622 | 87.7 | Сток из озера | 1892 | 6001 | 93.6 |
| Осадки и конденсация | 248 | 789 | 12.3 | Испарение | 130 | 410 | 6.4 |
| Сумма | 2022 | 6411 | 100 | Сумма | 2022 | 6411 | 100 |
| | | | Оз. Лача | | | | |
| Речной приток | 3648 | 10805 | 92.8 | Сток из озера | 3784 | 11215 | 96.4 |
| Осадки и конденсация | 263 | 810 | 7.2 | Испарение | 127 | 400 | 3.6 |
| Сумма | 3911 | 11615 | 100 | Сумма | 3911 | 11615 | 100 |

Водосборный бассейн оз. Воже является составной частью бассейна оз. Лача. Весь сток, формирующийся в бассейне оз. Воже, поступает затем в оз. Лача. Поэтому целесообразно рассмотреть водные балансы этих двух озер именно в такой последовательности.

Приходную часть водного баланса озер составляют атмосферные осадки, выпадающие на поверхность озера, и речной приток. Для оз. Воже величина атмосферных осадков за полный расчетный период равна 789 мм (разд. 2.2 наст. изд.), речного притока – $1777 \cdot 10^6$ м$^3$, или 5622 мм (разд. 2.1 наст. изд.). Общий приход воды в озеро равен 2,025 км$^3$.

Расход же из озера, состоящий из стока р. Свиди, равного $1892 \cdot 10^6$ м$^3$ (разд. 2.1 наст. изд.), и испарения – $130 \cdot 10^6$ м$^3$ (разд. 2.2 наст. изд.) в сумме равен $2022 \cdot 10^6$ м$^3$. Разница между расходом и приходом, или невязка баланса, равна $3 \cdot 10^6$ м$^3$. Совершенно очевидно, что поскольку не происходит прогрессивного повышения уровня озера, то приход воды в него не может преобладать над расходом. Что же является источником невязки?

Некоторые авторы разницу между приходной и расходной частями водного баланса относят за счет неучтенного подземного притока, определить который непосредственно пока еще очень трудно. Для озер Воже и Лача такое объяснение вряд ли верно. Так как эти озера мелководные, то в них не могут поступать глубоко залегающие подземные воды. Поступление же вод, заключенных в толще грунтов, которые могут представлять значительную величину, учтено в суммарном стоке рек, дренирующих водосборный бассейн. Следует заметить, что для озер Северо-Запада вообще, где хорошо развита речная сеть, роль грунтового стока, попадающего в озера непосредственно, а не приносимого реками, в водном балансе невелика (Бакастов, 1959; Малинина, 1966).

Вышеприведенные соображения подсказывают, что разницу между приходной и расходной частями водного баланса оз. Воже целесообразно отнести не за счет грунтового стока, а за счет речного притока. Именно этот элемент водного баланса определяется менее точно, чем остальные, поскольку только 25% площади бассейна обеспечены данными наблюдений над стоком рек. Со всей остальной площади сток определялся расчетным путем. Следовательно, уменьшив приходную часть водного баланса на $3 \cdot 10^6$ м$^3$ (что, в сущности, составляет всего лишь 0,2% от приходной части баланса), получим уточненный водный баланс оз. Воже (табл. 20).

По той же методике был подсчитан водный баланс и для оз. Лача (табл. 20). Сток р. Свиди, вытекающей из него, составляет более половины приходной части водного баланса оз. Лача, общая величина которого равна $3911 \cdot 10^6$ м$^3$ (из них $3648 \cdot 10^6$ м$^3$ – речной приток и $263 \cdot 10^6$ м$^3$ – атмосферные осадки). Расходная часть баланса оз. Лача складывается из стока из озера по р. Онеге, равного $3784 \cdot 10^6$ м$^3$, и испарения – $127 \cdot 10^6$ м$^3$.

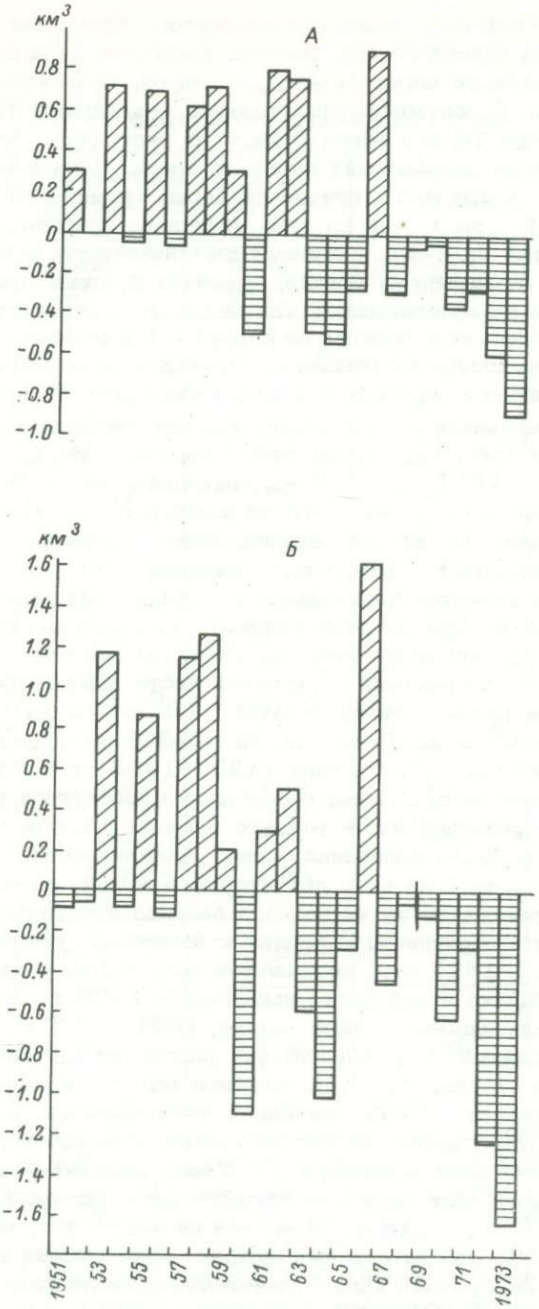



Рис. 7. Годовые величины приходной части баланса (в отклонениях от средней многолетней величины) озер Воже (А) и Лача (Б).

Для обоих озер основным элементом приходной части баланса является речной приток. Для оз. Воже его доля достигает почти 88% приходной части баланса, а для оз. Лача еще больше – почти 93%. Доля атмосферных осадков невелика: 12% для озера Воже и всего 7% для озера Лача. В расходной части баланса основная роль принадлежит стоку из озера. Доля испарения совсем ничтожна – всего 3–6% приходной части баланса. В целом за многолетний период сток из озер несколько преобладал над притоком, примерно на 4–6%. Компенсируют некоторую недостачу речного притока атмосферные осадки, величина которых значительно (почти в 2 раза) превышает испарение. Но поскольку ни осадки на зеркало озер, ни испарение не играют существенной роли в водном балансе озер, колебание объема его приходной и расходной частей от года к году целиком определяется изменением речного притока и стока.

Рассматривая составляющие водного баланса за весь расчетный период (рис. 7), можем отметить, что в первую половину периода, т.е. с 1951 по 1962 г., приходная часть баланса как оз. Воже, так и оз. Лача почти за каждый год была либо близка к среднему значению за весь период, либо превышала его. Исключение составляет 1960 г., который на общем фоне лет с повышенной водностью оказался маловодным. В этот год величина атмосферных осадков уменьшилась на 15%, а испарение увеличилось почти на 20%. Но главное, что определило резкое сокращение приходной части водного баланса, – это уменьшение речного стока на 408 $\cdot$ $10^6$ $м^3$ в оз. Воже и на 840 $\cdot$ $10^6$ $м^3$ в оз. Лача, т.е. на 25–30% по сравнению с нормой. В целом же 12-летний период (1951–1962 гг.) характеризуется повышенными по сравнению со средней многолетней величиной объемами приходной части водного баланса и составляет многоводную фазу цикла колебаний общей увлажненности.

Почти в течение всех лет второй половины расчетного периода объем расходной части водного баланса преобладает над приходной, что постепенно приводит к понижению уровня озер. Эти годы (1962–1973 гг.) составляют маловодную фазу расчетного периода. Однако в ней резко выделяется 1966 г., который явился самым многоводным за весь период 1951–1973 гг.

Для каждой из указанных фаз рассчитан водный баланс каждого озера (табл. 21, 22). Невязка водного баланса для отдельных фаз составляет 1,5–3% приходной части баланса. В многоводную фазу приходная часть баланса несколько превышает расходную, а в маловодную фазу – наоборот. Увеличение объема приходной части водного баланса в многоводную фазу для оз. Воже равна 347 $\cdot$ $10^6$ $м^3$, а для оз. Лача – 419 $\cdot$ $10^6$ $м^3$, что составляет 16 и 10%, соответственно, средней многолетней величины. Причиной этому послужило значительное увеличение притока в озера. В оз. Воже приток увеличился на 18%, в оз. Лача – на 13%, в то время как количество атмосферных осадков возросло всего на 4–5%. В расходной части водного баланса за многовод-

Таблица 21

Водный баланс оз. Воже за отдельные фазы водности

| Составляющая баланса | Многоводная фаза (1951-1962 гг.) | | Маловодная фаза (1963-1973 гг.) | |
|---|---|---|---|---|
| | объем, $x10^6$ $м^3$ | слой, мм | объем, $x10^6$ $м^3$ | слой, мм |
| | Приход | | | |
| Речной приток | 2108 | 6387 | 1465 | 4867 |
| Осадки | 261 | 792 | 237 | 788 |
| Сработка уровня | - | - | 23 | 70 |
| Сумма | 2369 | 7179 | 1725 | 5725 |
| | Расход | | | |
| Сток из озера | 2144 | 6496 | 1627 | 5405 |
| Испарение | 135 | 411 | 123 | 408 |
| Аккумуляция | 19 | 58 | - | - |
| Сумма | 2298 | 6965 | 1750 | 5813 |
| Невязка баланса | +71 | +214 | -25 | -88 |

ную фазу основные изменения произошли за счет изменения стока из озер. Сток р. Свиди увеличился на 14%, а р. Онеги, вытекающей из оз. Лача, - на 11%. Испарение с поверхности оз. Воже в многоводную фазу осталось таким же, как и за полный цикл. С оз. Лача оно уменьшилось на 5%.

В многоводную фазу при общем увеличении объема приходной части водного баланса происходит некоторое изменение в процентном распределении его составляющих. Доля основных элементов водного баланса - притока и стока - увеличивается до 90-97%, а второстепенных - уменьшается (до 7-10% - атмос-

Таблица 22

Водный баланс оз. Лача за отдельные фазы водности

| Составляющая баланса | Многоводная фаза (1951–1962 гг.) | | Маловодная фаза (1963–1973 гг.) | |
|---|---|---|---|---|
| | объем $\times 10^6$ м$^3$ | слой мм | объем $\times 10^6$ м$^3$ | слой мм |
| | Приход | | | |
| Речной приток | 4073 | 12194 | 3145 | 9767 |
| Осадки | 257 | 769 | 266 | 826 |
| Сработка уровня | – | – | 14 | 43 |
| Сумма | 4330 | 12963 | 3425 | 10636 |
| | Расход | | | |
| Сток из озера | 4131 | 12368 | 3405 | 10574 |
| Испарение | 125 | 376 | 129 | 402 |
| Аккумуляция | 11 | 34 | – | – |
| Сумма | 4267 | 12778 | 3534 | 10976 |
| Невязка | +63 | +185 | –109 | –340 |

ферные осадки и до 6–3% – испарение). Постоянное преобладание приходной части водного баланса над расходной в многоводную фазу привело к подъему уровня озер(на 40 см – оз. Лача, на 70 см – оз. Воже).

В маловодную фазу, которая характеризуется более засушливой и теплой погодой, поступление воды в озеро несколько сокращается. Речной приток в оз. Воже уменьшился на 17% по сравнению со средней величиной, а в оз. Лача – на 15%. Величина осадков почти не изменилась. Сток из оз. Воже за маловодную фазу уменьшился на 16%, а из оз. Лача – на 13%. В целом объем приходной

Таблица 23

Водный баланс (в мм) озер Воже и Лача в экстремальные годы

| Составляющая баланса | Приход | | Составляющая баланса | Расход | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Воже | Лача | | Воже | Лача |
| | 1966 г. (многоводный) | | | | |
| Приток | 7384 | 14676 | Сток | 7845 | 15353 |
| Осадки | 1040 | 1042 | Испарение | 355 | 423 |
| | | | Аккумуляция | 240 | 220 |
| Сумма | 8424 | 15618 | Сумма | 8440 | 15996 |
| Невязка | 16 | 278 | | | |
| | 1973 г. (маловодный) | | | | |
| Приток | 3673 | 6654 | Сток | 4038 | 6952 |
| Осадки | 827 | 886 | Испарение | 447 | 527 |
| Сработка | 10 | 60 | | | |
| Сумма | 4510 | 7600 | Сумма | 4485 | 7479 |
| Невязка | | | | 25 | 121 |

части водного баланса оз. Воже уменьшился на 15%, а оз. Лача – на 12%. Несколько изменилось и соотношение отдельных составляющих водного баланса. Если в многоводную фазу приток и сток достигали 90–97% объема приходной части баланса, то в маловодную фазу доля притока сократилась до 85–91%. Вместе с тем доля атмосферных осадков и испарения в водном балансе озер возросла. Систематическое уменьшение приходной части водного баланса по сравнению со средней величиной в течение маловодной фазы привело к постепенному расходованию запасов воды самого озера и снижению его уровня, который с 1962 по 1973 г. упал на 77 см на оз. Воже и на 75 см – на оз. Лача.

Еще большее отклонение составляющих водного баланса от средних многолетних величин происходит в экстремальные годы (табл. 23). Самым многоводным за расчетный период был 1966 г. В этом году атмосферных осадков выпало почти на 30% больше

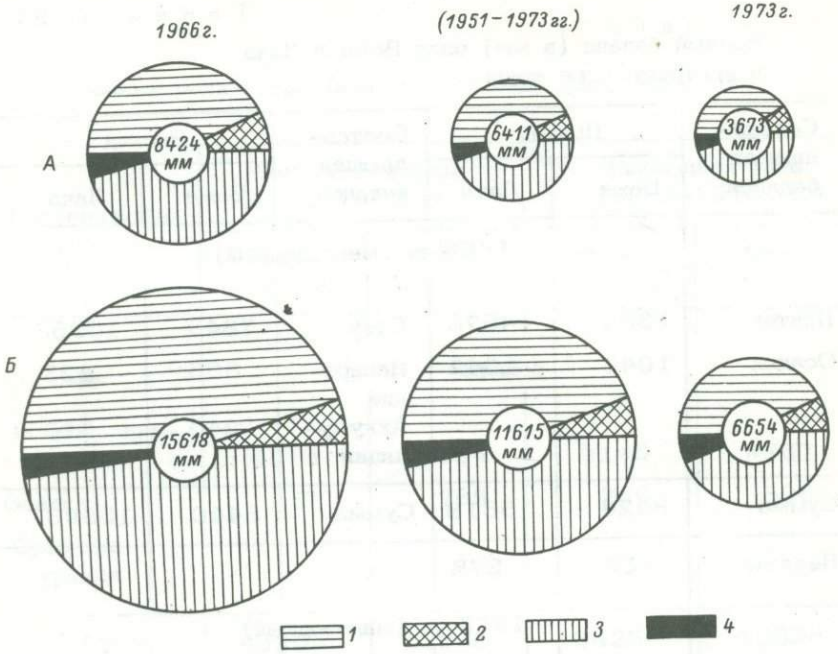



Рис. 8. Водные балансы озер Воже (а) и Лача (б) за многолетний период и экстремальные годы.

1 – речной приток; 2 – осадки; 3 – речной сток; 4 – испарение.

средней многолетней величины, в то же время испарение уменьшилось на 12%. Увеличиение осадков и уменьшение испарения привело к значительному увеличению речного притока (на 32% выше нормы на оз. Лача и на 34% – на оз. Воже), что в свою очередь способствовало накоплению воды в озерах и повышению их уровня. Средний годовой уровень за 1966 г. на оз. Лача увеличился на 26 см по сравнению со средним многолетним за период 1951–1973 гг., а на оз. Воже – на 36 см.

В маловодный 1973 г. объем приходной части водного баланса сократился по сравнению со средней величиной на 34% на оз. Воже и на 36% на оз. Лача. Причиной этому послужило резкое уменьшение (почти на 40%) притока в озера. В результате в 1973 г. наблюдалось значительное понижение уровня озер (на 44 см – на оз. Воже и на 31 см – на оз. Лача). Резкому сокращению притока воды в озера в 1973 г. и понижению их уровня способствовало и то обстоятельство, что 1973 г. предшествовал целый ряд лет с пониженной водностью.

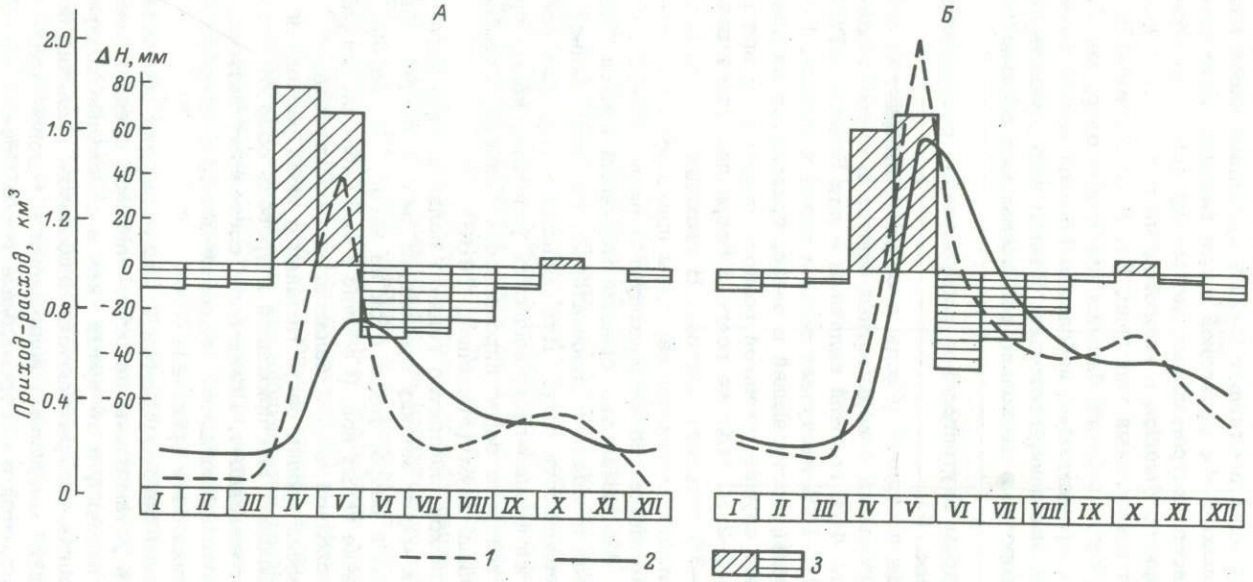



Рис. 9. Приход–расход и приращение уровня озер Воже (А) и Лача (Б) за многолетний период (по средним месячным данным).

1 – приход; 2 – расход; 3 – приращение уровня.

В экстремальные годы меняется соотношение составляющих водного баланса. Так, в маловодный 1973 г. доля осадков повышается до 15-18% в приходной части баланса, а доля испарения достигает почти 10%. В многоводный год роль осадков и испарения сокращается: осадки едва достигают 6-11% приходной части баланса, испарение - только 3-4% расходной части баланса. Если сравнить объем водных балансов экстремальных лет между собой, то объем приходной части водного баланса в многоводный год почти в два раза больше, чем в маловодный год (рис. 8). Резкое изменение объемов приходной части водного баланса для таких озер, как Лача и Воже, имеющих сравнительно небольшие объемы водной массы, имеет существенное значение, поскольку объемы воды, участвующие в ежегодном круговороте, в несколько раз превышают объемы самого озера.

Далее рассмотрим внутригодовое распределение составляющих водного баланса (рис. 9).

В течение года поступление воды в озеро происходит крайне неравномерно. Наибольший поверхностный приток в озеро наблюдается в мае (почти 40% годовой величины - для Воже и 27% - для Лача). Около 12-17% поступает воды в озера в апреле. Почти половина всей воды, поступающей в озера, приходится на два весенних месяца, что служит причиной резкого подъема уровня в эти месяцы - на 1.5-2 м. Меньше всего в озера поступает воды в марте, примерно 1-3% годового прихода. В расходной части водного баланса наибольшие месячные величины приходятся на май-июнь. За эти два месяца из озера расходуется около 36-38% от годовой величины. Максимальный средний месячный приход воды в озеро в 12-14 раз превышает минимальный, что свидетельствует о малой зарегулированности озер. Для больших и глубоких озер, находящихся в тех же физико-географических условиях, например для Ладожского, у которого зарегулированность большая, подобное соотношение равно лишь двум (Малинина, 1966).

Общий годовой ход элементов водного баланса озер характеризуется тем, что к марту месяцу происходит резкое сокращение как поступления воды в озеро, так и сток из него. В апреле начинается поступление талых вод. И обычно в мае наблюдается равенство приходной и расходной частей баланса, что соответствует максимальному стоянию уровня озер. Начиная с июня расходная часть баланса преобладает над приходной и уровень озер от месяца к месяцу до конца года падает. Исключение составляет октябрь, когда почти постоянно наблюдаются дождевые паводки, способствующие подъему уровня озер (рис. 9).

Отмеченные выше закономерности в распределении составляющих водного баланса установлены на основе анализа средних многолетних месячных величин, в то время как в отдельные конкретные годы они не всегда выдерживаются. Наибольшие различия по сравнению со средними месячными величинами в годовом ходе составляющих наблюдаются в экстремальные годы. Прежде всего

Таблица 24

Водные балансы (в мм) озер за 1972 и 1974 годы.

| Составляющая баланса | Воже | | Лача | |
|---|---|---|---|---|
| | 1972 | 1974 | 1972 | 1974 |
| Приток | 4285 | 5053 | 7887 | 9301 |
| Осадки | 549 | 831 | 588 | 786 |
| Конденсация | 7 | 9 | 9 | 8 |
| Сработка | 240 | - | 150 | 20 |
| Сумма | 5081 | 5893 | 8634 | 10115 |
| Сток из озера | 4558 | 4952 | 8168 | 9614 |
| Испарение | 493 | 349 | 400 | 432 |
| Аккумуляция | - | 550 | - | - |
| Сумма | 5051 | 5851 | 8568 | 100046 |
| Невязка | +30 | +42 | +66 | +69 |

это относится к суммарным величинам составляющих водного баланса. Так, в многоводный 1966 г. суммарный месячный приход воды в озеро почти за каждый месяц, но особенно весной, значительно превышал средние многолетние величины, в результате чего за два весенних месяца (апрель-май) уровень воды в озерах Воже и Лача поднялся почти на 2.5 м. Маловодный 1973 г. отличался от среднего года не только меньшим поступлением воды в озера, но и иным внутригодовым распределением составляющих водного баланса. Так, максимальное поступление воды в озера происходило не в мае, как обычно, а в апреле. В результате именно в апреле наблюдалось значительное повышение уровня озер (на 119 см на оз. Воже и на 104 см на оз. Лача). В мае же расход воды из озер преобладал над приходом и уровни воды в озерах понизились примерно на 20 см, что наблюдается крайне редко в это время.

Маловодный 1973 г. входит в тот период, когда работала комплексная экспедиция Института озероведения по изучению озер Лача и Воже. Полевые работы проводились в течение трех лет - 1972-1974. Все три года работы экспедиции относятся к маловодным годам. Объем как расходной, так и приходной частей баланса был в 1973 г. ниже средней многолетней величины почти на 40% и на 12-16% в два других года (табл. 24). Внутригодовое распределение элементов водного баланса в годы работы экспедиции в общих чертах повторяет распределение средних месячных

данных за многолетний период. Основное отличие заключается в уменьшении абсолютных значений составляющих баланса.

Озера Воже и Лача находятся в одинаковых физико-географических условиях. Величина атмосферных осадков, выпадающих как на поверхности озер, так и на их водосборы, примерно одинакова. Близки и величины испарения, и тем не менее объем приходной части водного баланса оз. Воже примерно в два раза меньше, чем оз. Лача. Оба озера относятся к группе сточных водоемов, площади их близки между собой, но количество воды, поступающее в течение года и выраженное в слое, на оз. Воже немногим больше 6 м, а на оз. Лача - около 12 м. Главной причиной, обусловливающей указанные различия, является соотношение площади озера и площади его водосбора. Хотя озера Воже и Лача имеют примерно одинаковые площади поверхности озер, но совсем разные по площади водосборные бассейны, а следовательно, и коэффициенты удельного водосбора (отношение площади водосбора к площади озера). Если для оз. Воже такое соотношение равно 15, то для оз. Лача эта величина достигает 36. Именно потому, что в оз. Лача вода поступает с площади бассейна, в два раза превышающего бассейн оз. Воже, то слой ее на поверхности озера (а площади поверхности обоих озер почти одинаковы) составляет величину в 12 м.

Интересно сопоставить водный баланс рассмотренных озер с водным балансом озера Кубенского. Озеро Кубенское расположено на том же Северо-Западе европейской части СССР, поэтому климатические условия и факторы, определяющие условия формирования стока всех трех озер, близки между собой. Сравнивая удельные водосборы озер, можем отметить, что коэффициены удельного водосбора озер Лача и Кубенского почти равны (35-36), а водные балансы очень близки между собой. Общий приход воды в оз. Лача в среднем за многолетний период на 0.4 км$^3$ меньше, чем в оз. Кубенское, что составляет около 10%. У обоих озер 93% приходной части баланса составляет речной приток и только около 7% - атмосферные осадки. Одинаково распределение составляющих водного баланса и в расходной части (более 96% - сток и менее 4% - испарение).

Сравнивая водные балансы озер Лача, Воже и Кубенское с другими крупными озерами, расположенными в той же зоне избыточного увлажнения, можно увидеть значительные различия как в абсолютной величине составляющих, так и в соотношении элементов водного баланса. Такой анализ был сделан в монографии „Озеро Кубенское" (ч. I, 1977), где сравнивались элементы водного баланса восьми крупных озер Северо-Запада европейской части СССР. Было показано, что объемы водных балансов рассмотренных озер меняются довольно значительно. Количество воды, поступающее в озера за год, выраженное в слое воды на их поверхность, меняется от 2 до 13 м. Основной причиной этого, как

уже указывалось при анализе водного баланса озер Воже и Лача, является величина удельного водосбора.

Группа озер с удельными водосборами более 30, к которой относятся Лача, Кубенское, Ильмень, Рыбинское водохранилище, получают большое количество воды в течение года (слой более 10-13 м). В другую группу озер - с удельными водосборами около 2-5 - входят такие, как Белое, Онежское и др. Они получают за год слой воды всего в 2-3 м. И, наконец, между этими крайними группами находятся озера Воже, Имандра, Выгозеро с удельными водосборами 14-16. Слой воды, поступающий за год в эти озера, достигает 5-6 м.

Морфометрические показатели озер оказывают существенное влияние не только на абсолютную величину элементов водного баланса, но и на величину водообмена. Эта величина зависит от соотношения объема приточной воды в озеро и объема самого озера (коэффициент условного водообмена). Для больших и глубоких озер, таких, скажем, как Ладожское, Онежское, коэффициент условного водообмена равен всего 0.1, т.е. можно считать условно, что вода таких озер обменивается за 10-12 лет. У другой группы озер, таких как Лача, Кубенское, к ним же можно отнести и Воже, коэффициент условного обмена равен 2-5, т.е. во много раз больше, чем у озер первой группы. Озера Лача, Воже, Кубенское сравнительно большие по площади, но мелководные, с небольшим объемом водной массы, ежегодно получают количество воды, в несколько раз превышающее их собственный объем. Условно можно считать, что вода этих озер обменивается в течение года несколько раз.

Водный баланс озер Лача, Воже и Кубенское в будущем претерпит значительные изменения. Предполагаемая переброска части стока северных рек в бассейн Волги затронет и эти озера. Произойдет изъятие части стока этих озер, что приведет к изменению как абсолютных значений элементов водного баланса, так и к изменению их соотношения в приходной и расходной частях баланса.

Настоящая работа может послужить основой для оценки предстоящих преобразований.

## 2.4 Уровенный режим

В настоящее время на озерах Лача и Воже действует по одному водомерному посту (рис. 1). Материалы наблюдений этих постов, опубликованные в гидрологических ежегодниках, а также взятые из фондов Северного Управления ГМС, и легли в основу характеристики уровенного режима названных озер. Краткая характеристика уровней озер Лача и Воже дана в Ресурсах поверхностных вод СССР (1972). В справочнике „Основные гидрологические характеристики" (1966) приводятся значения средних месячных и годовых уровней за весь период наблюдений: с 1926 по 1970 г. - для оз. Лача, и с 1932 по 1970 г. - для оз. Воже. Нами рассмотрен уровенный режим озер Лача и Воже за период

Таблица 25

Средние месячные уровни над „0" графика по показаниям в/п устье р. Тордоксы за расчетный период, фазы водности, в экстремальные годы и годы работы экспедиции

„0" гр. - 119.17 м абс. выс.

| Период | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Среднее за год |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1951-1973 | 163 | 153 | 143 | 159 | 270 | 267 | 228 | 196 | 179 | 176 | 178 | 173 | 190 |
| 1951-1962 | 167 | 155 | 145 | 159 | 280 | 280 | 243 | 212 | 198 | 196 | 194 | 185 | 201 |
| 1963-1973 | 160 | 150 | 141 | 158 | 259 | 253 | 212 | 178 | 158 | 154 | 159 | 160 | 179 |
| 1966 | 163 | 157 | 151 | 166 | 345 | 362 | 296 | 234 | 206 | 224 | 217 | 194 | 226 |
| 1972 | 155 | 146 | 137 | 150 | 246 | 239 | 195 | 157 | 138 | 129 | 126 | 124 | 162 |
| 1973 | 122 | 119 | 115 | 156 | 226 | 197 | 162 | 139 | 127 | 129 | 129 | 125 | 146 |
| 1974 | 121 | 119 | 117 | 117 | 217 | 277 | 238 | 197 | 175 | 157 | 164 | 178 | 173 |

Таблица 26

Средние месячные уровни над „0" графика по показаниям в/п Нокола за расчетный период, фазы водности, в экстремальные годы и годы работы экспедиции

„0" гр. - 115.77 м абс. выс.

| Период | I | II | III | IУ | У | У1 | УII | УIII | IX | X | X1 | XII | Среднее за год |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1951-1973 | 168 | 159 | 152 | 166 | 271 | 257 | 217 | 192 | 182 | 183 | 185 | 177 | 192 |
| 1951-1962 | 169 | 161 | 155 | 167 | 279 | 265 | 227 | 203 | 197 | 198 | 196 | 183 | 200 |
| 1963-1973 | 166 | 157 | 150 | 165 | 262 | 248 | 206 | 180 | 164 | 167 | 173 | 171 | 184 |
| 1966 | 162 | 154 | 154 | 166 | 327 | 340 | 260 | 219 | 193 | 222 | 219 | 198 | 218 |
| 1972 | 159 | 151 | 145 | 153 | 247 | 237 | 191 | 161 | 150 | 145 | 145 | 149 | 169 |
| 1973 | 146 | 137 | 133 | 178 | 232 | 196 | 171 | 150 | 146 | 149 | 150 | 146 | 161 |
| 1974 | 139 | 135 | 134 | 139 | 221 | 263 | 211 | 188 | 169 | 160 | 172 | 175 | 176 |

с 1951 по 1973 г., для которого был составлен водный баланс. Рассчитанные нами средние месячные уровни за этот период близки по своим значениям к тем, что приведены в справочнике „Основные гидрологические характеристики" (1966). Годовая величина уровня за период с 1926 по 1970 г. на оз. Лача на 3 см ниже, а на оз. Воже на 1932-1970 гг. точно совпала с рассчитанной нами для периода 1951-1973 гг.

Озера Лача и Воже однотипны по годовому ходу уровня. Большие по площади, но мелководные, эти озера расположены в зоне избыточного увлажнения. Реки, питающие озера, характеризуются высоким весенним половодьем и низкой зимней меженью. В годовом ходе уровня озер Лача и Воже, обусловленном соотношением приходной и расходной частей водного баланса, также четко выражена сезонность. Минимальные уровни как на Лача, так и на Воже чаще всего наблюдаются в марте. Весенний подъем уровня, связанный с началом таяния снега в бассейнах озер, начинается в среднем с середины апреля. Время начала подъема уровня, его интенсивность и высота зависят от многих факторов: высоты предпаводкового уровня, запасов снега на водосборе, метеорологических условий в зимнее и весеннее время. Максимальные уровни на озерах Лача и Воже, как правило, бывают в мае, иногда в июне, после чего начинается медленный спад уровня, прерываемый в отдельные годы дождевыми паводками.

Характеристика средних многолетних значений уровня озер Лача и Воже дана за период с 1951 по 1973 г., который включает две фазы: многоводную, с 1951 по 1962 г., и маловодную, с 1963 по 1973 г. (табл. 25, 26). В годы, составляющие многоводную фазу, и на Лача, и на Воже преобладали годовые отметки уровня выше средней многолетней величины (рис. 10). Минимальное положительное отклонение на оз. Воже в 1951 г. равнялось 5 см, максимальное в 1962 г. - 33 см. На оз. Лача минимальное положительное отклонение в 1959 г. было равно 5 см, максимальное в 1962 г. составляло 27 см. В многоводную фазу на озерах Лача и Воже средние месячные величины уровня были выше средних месячных многолетних (табл. 25, 26).

Обеспеченность годового уровня в многоводную фазу распределялась таким образом: на оз. Воже 5 лет были с обеспеченностью от 8 до 24%, 6 лет - с обеспеченностью от 25 до 75% и только один 1960 г. имел обеспеченность 88%. На оз. Лача 5 лет из 12 имели обеспеченность от 4 до 24%, 6 лет - от 25 до 75% и только один 1960 г. с обеспеченностью 80%. Уменьшение водности рек в бассейнах рассматриваемых озер отразилось на их уровенном режиме. В маловодную фазу, длившуюся с 1963 по 1973 г., на озерах Лача и Воже годовые отметки уровня были ниже средних многолетних (рис. 10). Наименьшее отрицательное отклонение 1969 г. равнялось на оз. Воже - 2 см, на оз. Лача - 1 см, максимальное отрицательное отклонение в экстремально маловодном 1973 г. достигло на оз. Лача 31 см, а на оз. Воже - 47 см.

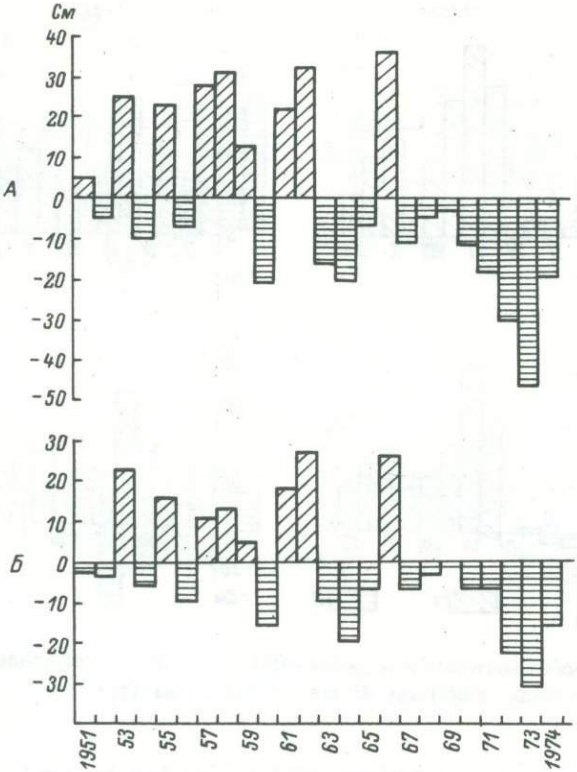



Рис. 10. График отклонений средних годовых уровней озер Воже (А, в/п устье р. Тордоксы) и Лача (Б, в/п Нокола) от среднего многолетнего их значения за расчетный период.

В годы, составляющие маловодную фазу, в течение всего года месячные уровни на озерах Лача и Воже были ниже средних месячных многолетних значений (табл. 25, 26). Обеспеченность годового уровня в маловодную фазу распределялась следующим образом: на оз. Лача 7 лет были с обеспеченностью от 36 до 72%, 3 года – от 88 до 96% и только 1966 г. был многоводным с обеспеченностью 8%. На оз. Воже 6 лет были с обеспеченностью от 25 до 75%, 4 года – от 76 до 96% и, так же как на Лача, 1966 г. был многоводным с обеспеченностью 4%.

Средний многолетний уровень оз. Лача за расчетный период (1951–1973 гг.) равен 192 см над „0" графика (117.69 м абс. выс.), увеличивается в многоводную фазу на 8 см и на ту же величину уменьшается в маловодную (табл. 26). Амплитуда колебаний между наивысшим и наинизшим средним месячным уров-

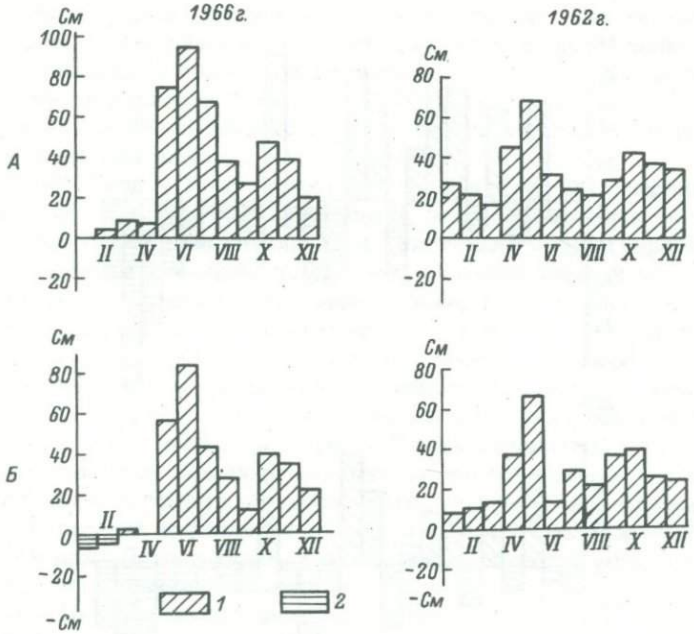



Рис. 11. График отклонений месячных уровней от многолетних за многоводные годы для озер Воже (А) и Лача (Б).

нем оз. Лача за период 1951–1973 гг. по в/п Нокола составила 207 см, максимальная годовая амплитуда средних месяных уровней в многоводном 1966 г. была равна 186 см, минимальная в 1954 г. – 77 см, средняя за период – 123 см. Высшие за год средние месячные уровни за рассматриваемый период изменялись в пределах 219–340 см (117.96–119.17 м абс. выс.), низшие – в пределах 133–169 см (117.10–117.46 м абс. выс.).

Средний многолетний уровень оз. Воже за период 1951–1973 гг. составляет 190 см над „0" графика (121.10 м абс. выс.), увеличиваясь в многоводную фазу на 11 см и настолько же уменьшаясь в маловодную (табл. 25). Амплитуда колебаний между наивысшим и наинизшим средним месячным уровнем за этот период по в/п устье р. Тордокса составила 247 см, максимальная амплитуда средних месячных уровней в 1966 г. была равна 211 см, минимальная в 1954 г. – 80 см, средняя за период – 140 см. Высшие за год средние месячные уровни за расчетный период изменялись в пределах 226–362 см (121.46–122.82 м абс. выс.), низшие – в пределах 115–164 см (120.35–120.84 м абс. выс.).

Многоводными для озер Лача и Воже были 1962 и 1966 гг. Каждый из этих лет имеет свои особенности в годовом ходе уровня.

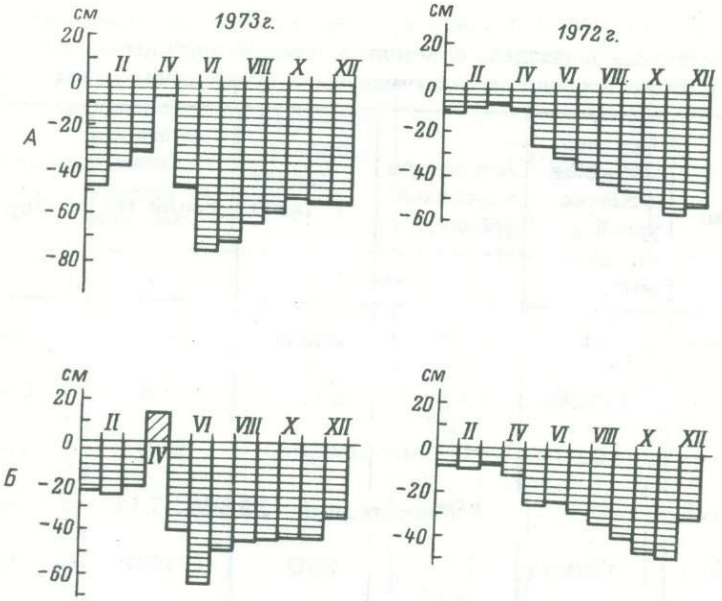



Рис. 12. График отклонений месячных уровней от многолетних за маловодные годы для озер Воже (А) и Лача (б).

Высокие зимние уровни 1962 г. способствовали тому, что при значительном стоке месячные уровни в течение всего года были выше средних многолетних отметок (рис. 11), а годовая величина уровня в 1962 г. была выше средней многолетней на Лача – на 27 см, на Воже – на 33см. В 1966 г. низкие зимние уровни сменились интенсивным весенним подъемом уровня в мае-июне. Максимальные уровни в 1966 г. наблюдались в июне. Отклонение среднего месячного уровня в июне от многолетней его отметки составляло на Лача – 83 см, на Воже – 95 см (рис. 11). 1966 г. характеризуется самой большой амплитудой средних месячных уровней.

Годы работы на озерах Лача и Воже экспедиции Института озероведения (1972-1974 гг.) совпали с концом маловодной фазы. Все три года были маловодными, а экстремально маловодным для Лача и Воже был 1973 г. Средняя годовая отметка уровня на оз. Воже в 1972 г. была на 28 см, в 1973 г. – на 44 см и в 1974 г. на 17 см ниже средней многолетней за период. Для оз. Лача эти отклонения от средней многолетней величины составляли в 1972 г. – 23 см, в 1973 г. – 31 см, в 1974 г. – 16 см.

Минимальные уровни в 1972 г. на Лача и Воже наблюдались в марте. Весенний подъем уровня начался с середины апреля и продолжался до середины мая. Высота подъема на оз. Воже составила 125 см, на оз. Лача – 126 см при средней интенсивности

Таблица 27

Изменение площадей, объемов и средней глубины оз. Воже в среднем, многоводном и маловодном годах

| Месяц | Средняя месячная отметка уровня, м. абс. выс. | Амплитуда колебаний уровня, см | F, км$^2$ | V, млн м$^3$ | $H_{ср}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Средний | | | |
| Март | 120.63 | 127 | 236 | 139 | 0.6 |
| Май | 121.90 | | 408 | 560 | 1.4 |
| | | Многоводный (1966) | | | |
| Март | 120.71 | 211 | 250 | 160 | 0.64 |
| Июнь | 122.82 | | 588 | 1068 | 1.8 |
| | | Маловодный (1973) | | | |
| Март | 120.32 | 111 | 155 | 82 | 0.5 |
| Май | 121.43 | | 359 | 378 | 1.05 |

подъема 5 см/сутки. Высокие уровни на озерах держались недолго – 25–30 дней, что соответствует средней продолжительности стояния высоких вод на этих озерах. С середины июня начался медленный спад, продолжавшийся до конца года. И на Лача, и на Воже в течение всего 1972 г. месячные уровни были ниже средних многолетних значений уровня соответствующего месяца. Отрицательные отклонения нарастали от марта к концу года, достигая максимальных значений в ноябре: 52 см – на оз. Воже и 40 см – на оз. Лача (рис. 12).

Особенностью уровенного режима 1973 г. является более раннее в сравнении со средней датой начало весеннего половодья на реках бассейна и как следствие – более ранний подъем уровня воды на озерах, который в 1973 г. начался 1 апреля и продолжался до конца месяца, достигнув в первой декаде мая максимальных значений. Общая продолжительность подъема уровня на оз. Во-

Таблица 28

Изменение площадей, объемов и средней глубины оз. Лача в среднем, многоводном и маловодном годах

| Месяц | Средняя месячная отметка уровня, м абс. выс. | Амплитуда колебания уровня, см | F, км$^2$ | V, млн м$^3$ | $H_{ср}$, м |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Средний | | | |
| Март | 117.29 | 119 | 292 | 316 | 1.08 |
| Май | 118.48 | | 374 | 723 | 1.93 |
| | | Многоводный (1966) | | | |
| Март | 117.31 | 186 | 294 | 322 | 1.1 |
| Июнь | 119.17 | | 416 | 993 | 2.4 |
| | | Маловодный (1973) | | | |
| Март | 117.10 | 99 | 270 | 263 | 0.97 |
| Май | 118.09 | | 352 | 577 | 1.64 |

же - 30 дней, высота подъема - 120 см, средняя его интенсивность - 4 см в сутки.

Подъем уровня на оз. Лача продолжался 40 дней, общая высота подъема составила 120 см при средней интенсивности 3 см в сутки, но в отдельные дни уровень поднимался на 10 см в сутки. С конца мая, на месяц раньше средней даты, на озерах начался спад уровня. Так как половодье в 1973 г. было невысоким, то летние отметки уровня на озерах были самыми низкими за расчетный период. При сравнении средних месячных уровней за многолетний период со средними месячными уровнями за 1973 г. обращает на себя внимание тот факт, что уровни 1973 г. (кроме апреля на оз. Лача) значительно ниже средних месячных многолетних (рис. 12). Величина отрицательных отклонений уровней 1973 г от многолетних наибольшая за весь период 1951-1973 гг.

Особенностью 1974 г. является более позднее по сравнению со средней датой и с предыдущим 1973 г. начало весеннего подъема уровня воды на озерах Лача и Воже, состоявшегося в первых числах мая и продолжавшегося до его конца. Половодье 1974 г.

было поздним, но достаточно интенсивным, в результате чего уровень в апреле и мае был значительно ниже многолетних отметок для мая, а в июне и июле, наоборот, достаточно высоким для маловодного года.

Анализ колебаний уровня озер Лача и Воже свидетельствует о большой изменчивости положения уровня как в течение года, так и от года к году. Изменения уровня на мелководных и плоских озерах ведут к значительным изменениям их площадей и объемов. В таблицах 27 и 28 приведены изменения площади, объема и средней глубины озер Лача и Воже для среднего, многоводного и маловодного года при изменении уровня этих озер от минимального к максимальному.

Глава 3

# ДИНАМИКА ВОДНЫХ МАСС

## 3.1. Течения и внутренний водообмен

Течения осуществляют внутренний водообмен в озерах и водохранилищах и оказывают большое влияние на формирование различных элементов гидрологического, гидрохимического и гидробиологического режимов водоемов, управляют процессами образования донных отложений. Без учета режима течений нельзя решить и такую практическую задачу, как, например, составление прогноза изменения гидрохимического и гидробиологического режимов озер Воже и Лача после осуществления предполагаемых перебросок вод этих озер в южные засушливые районы страны. Тем не менее течения многих водоемов изучены еще недостаточно подробно, а у большинства не исследованы вообще. Нет и надежных методов экспериментальных исследований и расчета с учетом всех основных сил, действующих в реальных условиях.

Все это в полной мере относится к озерам Воже и Лача, течения и внутренний водообмен которых до последнего времени не изучались. Не было ни косвенных, ни инструментальных данных, свидетельствующих о движении водных масс этих озер.

### Методика исследований

Задача исследований заключалась в составлении схем течений озер для разных скоростей и направлений ветра. Полевые работы проводились экспедицией в течение трех летних сезонов (июнь-август) 1972-1974 гг., при этом в 1972 г. - в основном на оз. Лача, в 1973-1974 гг. - на оз. Воже. В программу наблюдений над течениями входили площадные съемки элементов течений и съемки течений отдельных районов озера. За весь период выполнено 6 площадных съемок течений оз. Воже и 4 - оз. Лача и ряд съемок отдельно северной и южной части озер. Кроме того,

на озерах учащенно проводились наблюдения на стандартных станциях (оз. Воже – станции 1 и 3, оз. Лача – ст. 1).

Элементы течений измерялись морскими вертушками с облегченной лопастью с заякоренной лодки на двух горизонтах: у поверхности (глубина 0.5 м) и у дна. Помимо измерений характеристик течений, на станциях проводились измерения скорости и направления ветра на высоте 2 м над водной поверхностью.

Для построения схем течений озера необходим массовый материал натурных наблюдений, охватывающий всю акваторию озера и разные гидрометеорологические ситуации. Поскольку полученного натурного материала оказалось явно недостаточно для выполнения поставленной задачи, был выполнен расчет элементов течений. Натурные же данные использовались для проверки результатов расчета, а кроме того – для получения ряда отдельных характеристик течений.

Исследуемые водоемы при большой площади очень мелководны: средняя глубина оз. Воже – 0.9 м, оз. Лача – 1.3 м. Благодаря своей мелководности они прогреваются летом до дна и имеют однородное распределение температуры по площади (Тихомиров, Егоров, 1975). Последнее обстоятельство свидетельствует об отсутствии устойчивых плотностных течений в этих озерах. Несмотря на то, что условный водообмен этих озер значителен (оз. Воже – 3.5, оз. Лача – 7.4), они не являются проточными водоемами. Стоковые течения, возникающие от притоков, проявляются лишь в приустьевых участках озер. Отсутствие плотностных и локальное проявление стоковых течений позволяет отвести главную роль в переносе водных масс озер ветровым течениям.

Ветровые течения водоемов рассчитывались по эмпирическому методу И.М. Соскина (1962), используемому в расчетах морских течений. Метод основан на анализе и обобщении большого материала наблюдений над элементами течений, полученного на плавучих маяках. Проведен анализ двух основных характеристик ветровых течений: углов отклонения поверхностного течения от направления ветра ($\alpha$) и ветровых коэффициентов ($\lambda$).

Углы отклонения поверхностного течения от направления ветра для озер Воже и Лача, полученные по материалам экспедиции, имеют тот же порядок, что и использованные в методе И.М. Соскина. Ветровые же коэффициенты для оз. Воже колеблются в пределах 1–2.1%, для оз. Лача – от 0.8% до 1.7%, т.е. в первом случае в 1.5, а во втором – в два раза меньше, чем таковые в указанном методе. Поэтому при расчетах ветровых течений исследуемых озер углы отклонения поверхностного течения от направления ветра определялись по таблицам (Соскин, 1962) в зависимости от азимута ветра и глубины водоема, а ветровые коэффициенты, взятые из тех же таблиц, уменьшались соответственно в 1.5 и 2 раза.

Ветровые течения озер

Ветровые течения в летний период - период часто меняющихся по направлению ветров - имеют неустановившийся характер. Мелководность водоемов обусловливает довольно резкие изменения их направления и скорости, которые так же быстро развиваются, как и затухают. В летнее время периоды устойчивых по направлению течений разделяются между собой продолжительными периодами неустойчивых. И только осенью, когда ветры становятся более устойчивыми по направлению и скорости их превышают 5 м/сек., устойчивые системы течений наблюдаются в течение более длительных периодов.

Ветровые течения озер рассчитывались вышеописанным методом для ветров различных румбов (северного и северо-западного, юго-восточного и юго-западного, северо-восточного и восточного) и скоростей (2.5, 3.5, 5.0 и 10 м/сек.). Для получения детальной картины распределения течений по площади водоемов на соответствующих схемах, помимо станций, на которых проводились непосредственные измерения, обозначены точки с элементами течений, полученными расчетным путем (на схемах - станции со штрихом).

Результаты расчета и данные натурных наблюдений легли в основу построения схем течений озер для разных направлений ветра. Эти схемы свидетельствуют о неплохом совпадении элементов течений, полученных расчетным путем, с измеренными. При устойчивых ветрах северного и северо-западного направлений поверхностное течение в озерах направлено в южную часть озера (рис. 13). На оз. Воже, в южной его части, течение несколько отклоняется к восточному берегу. При ветрах противоположных румбов, т.е. юго-западных-юго-восточных, поверхностное течение направлено в сторону направления ветра, т.е. в северную часть озера (рис. 14).

К сожалению, используемый метод расчета течений имеет существенное ограничение: он применим к расчету только поверхностных течений. О придонных течениях этих озер можно судить только по результатам измерений. Как показывают наблюдения, в большинстве случаев придонные течения противоположны по направлению поверхностным, т.е. являются компенсационными. Так, придонное компенсационное противотечение хорошо выражено при ветрах с северной составляющей вдоль западного берега южной части оз. Воже и вдоль восточного берега оз. Лача. Возникновение двух таких разнонаправленных потоков характерно для водоемов удлиненной формы, при действии вдоль них равномерного по ширине ветра, вызывающего сгонно-нагонные колебания уровня.

В штилевую погоду и при слабых неустойчивых ветрах в озерах наблюдаются остаточные течения, а также ярче проявляются стоковые. Так, на оз. Воже при отсутствии ветра поверхност-

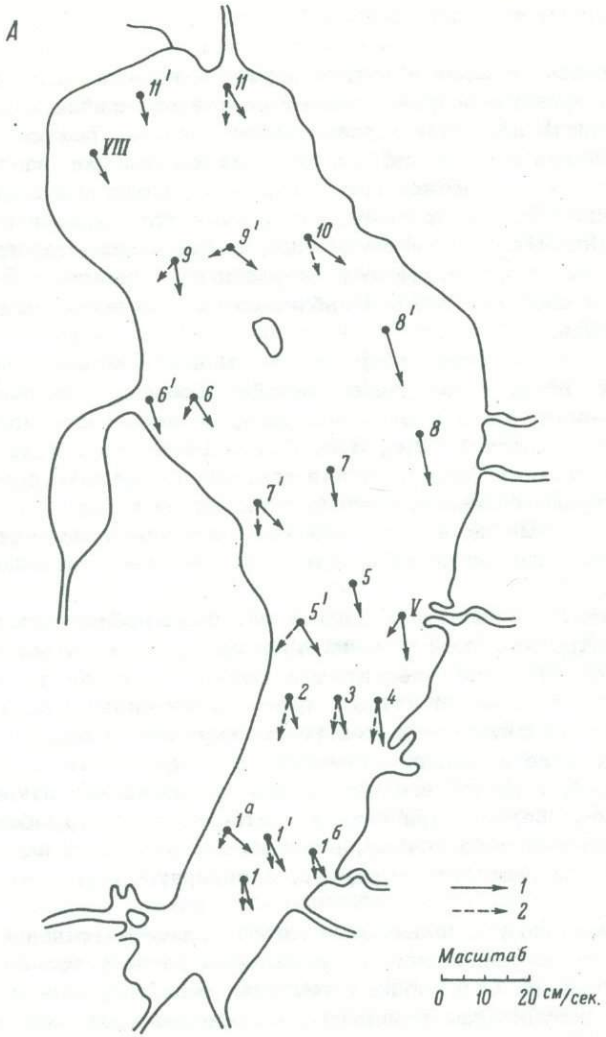



Рис. 13. Схемы течений в озерах Воже (А) и Лача (Б) при северном и северо-западном ветре.

Векторы течений: 1 – рассчитанные, 2 – измеренные.

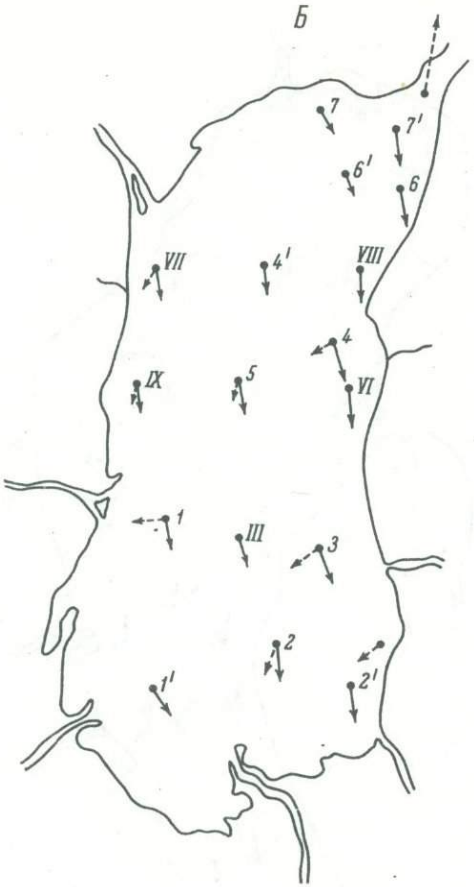



Рис. 13 (продолжение).

ное течение на большинстве станций направлено в северную часть озера, а у дна наблюдается компенсационное противотечение (рис. 15).

Средние скорости поверхностных течений на озерах при скорости ветра 3–5 м/сек. составляют 7–10 см/сек., причем на оз. Воже они несколько выше (9.6 см/сек.), чем на оз. Лача (7.6 см/сек.). Наибольшие зафиксированные скорости течений при этих скоростях ветра составляют 16–17 см/сек. на оз. Воже и 12–13 см/сек. на оз. Лача. При ветрах с северной составляющей наибольшие скорости течений приурочены к восточному берегу, с южной составляющей – к западному. Средние скорости придонных течений меньше скоростей поверхностных течений и составляют 5.0–5.5 см/сек. Наибольшие скорости

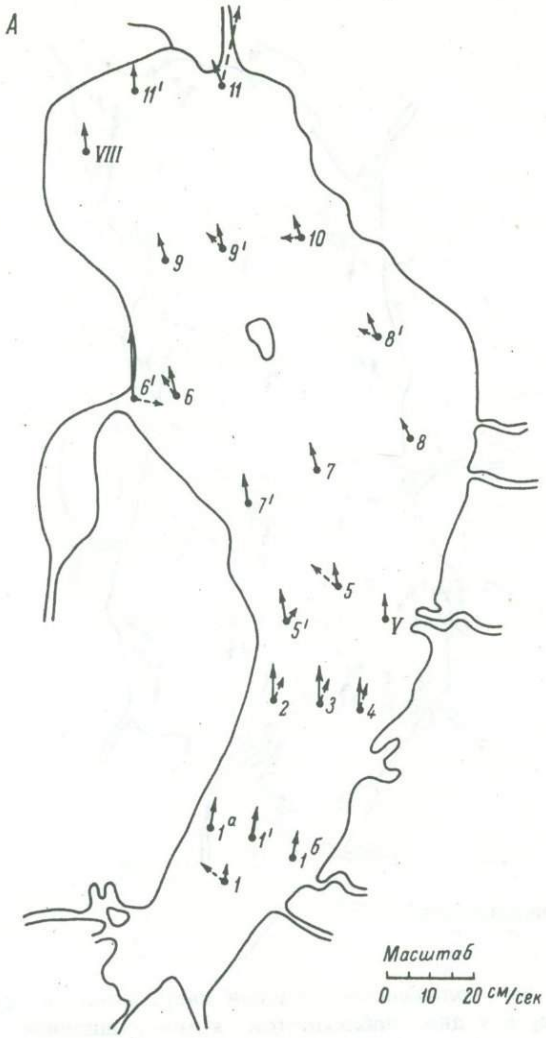



Рис. 14. Схемы течений в озерах Воже (А) и Лача (Б) при юго-западном и юго-восточном ветрах.

Условные обозначения те же, что и на рис. 13.

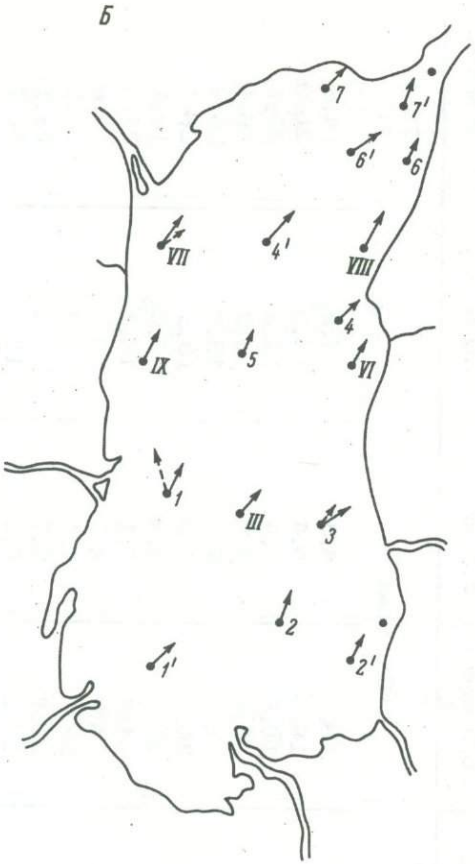



Рис. 14 (продолжение).

придонных течений достигали на оз. Воже 13.9 см/сек., а на оз. Лача - 11.4 см/сек. - у западного берега южной части озера. О характере распределения скоростей поверхностных течений по площади озер при разных направлениях и скоростях ветра можно судить по данным табл. 29.

Анализ многолетних данных направлений ветра показывает, что в районе оз. Лача (ст. Каргополь) преобладающими в году являются ветры южного и юго-западного направлений, оз. Воже (ст. Чарозеро) - западного и юго-западного направлений. Ветры этих направлений господствуют в течение всего года, за исключением мая-августа, когда значительную роль в районе оз. Лача играют северные и северо-восточные, в районе оз. Воже - северные и северо-западные ветры (табл. 30). Ветры

Таблица 29

Скорости поверхностных течений в озерах (в см/сек.) в зависимости от направления и силы ветра

| № станции | С–СЗ | | | ЮЗ–ЮВ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3.5 м/сек. | 5.0 м/сек. | 10.0 м/сек. | 3.5 м/сек. | 5.0 м/сек. | 10.0 м/сек. |
| | Оз. Воже | | | | | |
| 1 | 6.5 | 9.2 | 18.6 | 4.3 | 7.9 | 14.8 |
| 1а | 6.9 | 9.8 | 19.8 | 6.4 | 13.0 | 26.0 |
| 1′ | 6.9 | 9.8 | 19.8 | 6.4 | 12.9 | 25.7 |
| 1б | 8.3 | 11.9 | 23.8 | 4.6 | 9.2 | 18.4 |
| 2 | 7.0 | 10.0 | 19.9 | 6.9 | 13.0 | 26.2 |
| 3 | 7.1 | 10.1 | 20.3 | 7.0 | 13.3 | 26.7 |
| 4 | 9.8 | 13.9 | 27.8 | 4.8 | 9.5 | 19.1 |
| 5′ | 7.5 | 10.7 | 21.4 | 7.1 | 14.3 | 28.6 |
| 5 | 7.2 | 10.4 | 14.9 | 4.5 | 9.0 | 18.0 |
| у | 9.9 | 14.2 | 28.4 | 4.7 | 9.4 | 18.9 |
| 6 | 7.3 | 10.4 | 20.9 | 6.7 | 14.0 | 28.1 |
| 6′ | 7.1 | 10.1 | 20.2 | 6.6 | 13.3 | 26.7 |
| 7′ | 7.0 | 9.9 | 19.9 | 4.4 | 8.8 | 17.6 |
| 7 | 7.6 | 10.7 | 21.5 | 7.1 | 14.4 | 28.7 |
| 8 | 11.5 | 16.4 | 32.9 | 4.9 | 9.8 | 19.7 |
| 8′ | 11.7 | 16.7 | 33.4 | 5.3 | 10.6 | 21.3 |
| 9 | 6.6 | 9.4 | 18.9 | 6.6 | 13.2 | 26.5 |
| 9′ | 6.7 | 9.5 | 19.1 | 5.0 | 10.0 | 20.0 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 11.2 | 16.0 | 32.1 | 4.9 | 9.8 | 19.7 |
| УIII | 7.1 | 10.1 | 20.2 | 6.6 | 13.3 | 26.7 |
| 11 | 7.4 | 10.4 | 21.1 | 4.3 | 9.2 | 18.4 |
| 11′ | 5.2 | 7.4 | 14.8 | 13.6 | 27.1 | 54.2 |
| | | | Оз. Лача | | | |
| 1′ | 5.5 | 7.9 | 15.8 | | 8.8 | 17.6 |
| 2′ | 7.8 | 11.0 | 22.0 | | 6.8 | 13.7 |
| 2 | 7.5 | 10.7 | 21.4 | | 6.8 | 13.8 |
| 1 | 5.1 | 7.2 | 14.5 | | 8.9 | 17.8 |
| III | 5.3 | 7.6 | 15.2 | | 6.3 | 12.7 |
| 3 | 8.7 | 12.4 | 24.9 | | 6.2 | 12.4 |
| 1У | 5.0 | 7.2 | 14.4 | | 8.9 | 17.9 |
| 5 | 5.2 | 7.4 | 14.9 | | 7.0 | 14.0 |
| У1 | 7.6 | 10.9 | 21.8 | | 6.7 | 13.4 |
| 4 | 8.8 | 12.6 | 25.2 | | 6.9 | 13.8 |
| УII | 5.3 | 7.6 | 15.2 | | 8.9 | 18.0 |
| 4′ | 5.3 | 7.5 | 15.1 | | 9.2 | 18.2 |
| УIII | 6.2 | 9.0 | 17.9 | | 9.4 | 18.8 |
| 6′ | 4.1 | 5.7 | 11.5 | | 9.7 | 19.4 |
| 6 | 7.0 | 10.0 | 20.1 | | 6.7 | 13.5 |
| 7 | 4.4 | 6.2 | 12.5 | | 9.6 | 19.0 |
| 7 | 7.2 | 10.4 | 20.8 | | 6.9 | 13.8 |

Таблица 30

Повторяемость (в %) направления ветра на станциях Каргополь (числитель) и Чарозеро (знаменатель) за 1936-1960 гг.

| Месяц | С | СВ | В | ЮВ | Ю | ЮЗ | З | СЗ | Штиль |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I | 13/12 | 9/4 | 6/4 | 10/12 | 31/16 | 18/21 | 7/18 | 5/13 | 1/6 |
| II | 10/11 | 10/5 | 8/6 | 10/19 | 32/16 | 15/16 | 8/16 | 7/11 | 2/7 |
| III | 17/13 | 9/5 | 8/7 | 6/10 | 21/12 | 19/17 | 11/21 | 9/15 | 2/6 |
| IУ | 13/9 | 9/6 | 5/6 | 6/10 | 27/18 | 20/22 | 11/18 | 9/11 | 3/6 |
| У | 21/19 | 15/9 | 6/7 | 5/9 | 15/8 | 15/16 | 12/17 | 11/15 | 2/5 |
| У1 | 18/15 | 13/7 | 6/6 | 6/9 | 15/8 | 17/19 | 15/21 | 10/15 | 1/7 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| VII | 20/19 | 19/13 | 7/8 | 8/10 | 14/8 | 14/13 | 9/16 | 9/13 | 2/10 |
| VIII | 15/16 | 13/7 | 8/7 | 8/10 | 18/10 | 17/17 | 11/18 | 10/15 | 3/9 |
| IX | 14/11 | 9/5 | 5/3 | 7/9 | 19/13 | 20/22 | 14/23 | 12/14 | 3/7 |
| X | 14/11 | 8/6 | 5/3 | 6/7 | 22/12 | 21/26 | 13/22 | 11/13 | 2/4 |
| XI | 8/8 | 6/4 | 5/5 | 8/14 | 34/20 | 23/26 | 9/14 | 7/9 | 1/5 |
| XII | 10/9 | 8/3 | 6/4 | 8/14 | 34/20 | 19/22 | 9/18 | 6/10 | 2/7 |
| За год | 14/13 | 11/6 | 6/5 | 7/11 | 24/14 | 18/20 | 11/18 | 9/13 | 2/7 |

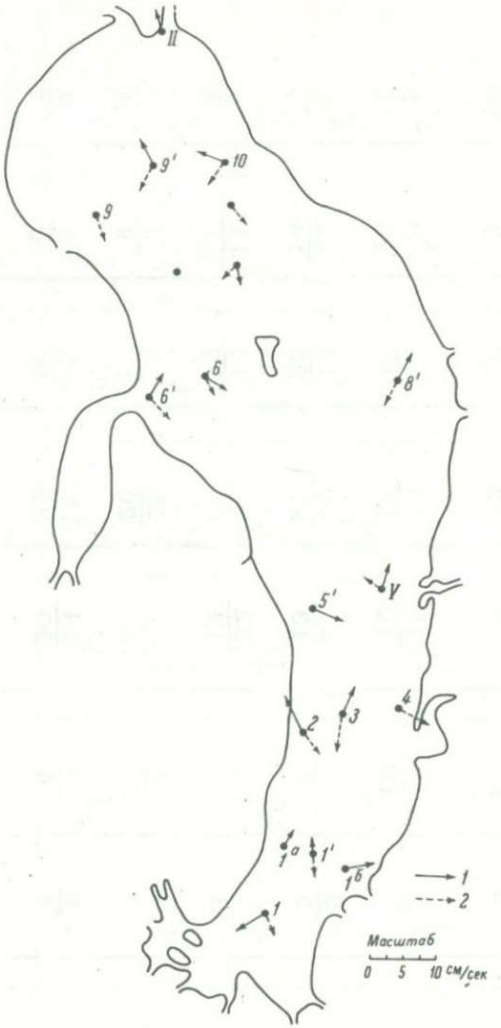



Рис. 15. Схема течений в оз. Воже при штиле.

Векторы течений: 1 – поверхностные, 2 – придонные.

восточного направления в районе исследований наблюдаются редко (5-8%).

Средние месячные скорости ветра составляют 3-5 м/сек., при этом зимой и в переходные периоды года они несколько выше, чем летом. Господствующими в рассматриваемом районе являются ветры со скоростью 0-5 м/сек. Их повторяемость составляет 75%. Во все месяцы года наблюдаются ветры со скоростью более 11 м/сек., однако их повторяемость в среднем не превышает 5%. Среднее число дней с сильным ветром (>15 м/сек.) за год составляет по ст. Каргополь - 17, по ст. Чарозеро - 6. В отдельные годы и месяцы повторяемость направлений ветра различной скорости может значительно изменяться. Однако в годы работы экспедиции (1972-1974 гг.) распределение повторяемостей направлений ветра в периоды открытой воды было аналогично таковому в многолетнем плане. Средние месячные скорости ветра в эти годы были ниже средних месячных скоростей ветра за многолетний период, а в отдельные месяцы периода открытой воды - даже на 1.7-1.9 м/сек.

В период открытой воды ветры большую часть времени обычно неустойчивы по силе и направлению, но бывают продолжительные периоды с обратной картиной. Эти ветры могут быть как с южной, так и с северной составляющей. Выделить более устойчивые и менее устойчивые по направлению ветры трудно, однако можно отметить, что ветры чисто восточные и западные крайне редки и, как правило, непродолжительны. Продолжительность ветров одного направления может доходить до 5-7 дней. Периоды устойчивых по направлению ветров чаще всего наблюдаются в июне-июле. В переходные периоды года - мае и сентябре - продолжительность действия ветров одного направления значительно снижается и обычно не превышает 3 дней, но зато до 2-3 суток может удлиняться продолжительность действия ветра значительных скоростей (5-10 м/сек.), что для летнего времени года не характерно.

При таком распределении повторяемостей направлений ветра в периоды открытой воды преобладающими системами течений на озерах являются те, что представлены на рисунках 13 и 14. Наибольшую устойчивость они имеют в июне-июле. Ветер силой до 5 м/сек., господствующий в течение года, не вызывает и значительных скоростей течений. На оз. Воже преобладают скорости течений до 10 см/сек., на оз. Лача - до 7 см/сек.

## Стоковые течения

Зоны распространения стока рек в озерах специально не исследовались, но из опыта изучения стоковых течений на других внутренних водоемах известно, что уклон, создаваемый притоком и стоком, в большинстве случаев практически не ощутим.

Речной поток втекает в водоем в виде турбулентной струи, поэтому для масс воды, охваченных стоковым течением, характерно образование водоворотных зон. Согласно лабораторным и теоретическим исследованиям, при выходе на мелководье струя резко расширяется и скорости речного потока быстро гасятся. Скорость и дальность проникновения стоковых течений в водоем зависят главным образом от соотношения объемов поступающей и аккумулирующей в нем воды, т.е. от коэффициента условного водообмена.

У оз. Воже коэффициент условного водообмена равен 3.5 и, следовательно, оно относится к группе аккумулятивно-транзитных водоемов. В такого типа водоемах транзит выражен слабо. Стоковые течения прослеживаются в них на отдельных участках, причем в местах впадения реки наблюдается затухающее, а в истоке - нарастающее течение. Поскольку исследуемые озера очень мелководны, растекание речной струи и уменьшение скоростей в них происходят быстрее, чем в глубоководных озерах.

Реки, впадающие в оз. Воже, отличаются слабым уклоном и относятся преимущественно к болотному типу. Самый крупный приток оз. Воже - р. Модлона с ее северным рукавом - р. Еломой, впадающей в Еломский залив в 10 км от устья Модлоны. Средний годовой многолетний (1951-1973 гг.) сток ее принят равным 21.5 $м^3$/сек. (разд. 2.1., наст. изд.). Сравнительно небольшая величина среднего расхода р. Модлоны, часть стока которой к тому же идет по р. Еломе в Еломский залив, не вызывает в озере сколько-нибудь значительных стоковых течений. Однако в период весеннего половодья расход ее увеличивается до 101 $м^3$/сек. (средний месячный за май). И если учесть, что средний годовой расход р. Кубены такой же, то, опираясь на результаты расчета проникновения стокового течения от р. Кубены в оз. Кубенское (Озеро Кубенское, ч. 1, 1977), можно заключить, что при максимальных расходах р. Модлоны сток от нее распространяется в оз. Воже на расстояние до 1.5 км от устья, а на большем удалении скорость течения не превышает 3 см/сек.

Второй по величине приток оз. Воже - р. Вожега - впадает с восточного берега, образуя в устье несколько рукавов. Средний годовой (многолетний) сток реки - 19 $м^3$/сек., средний за май (период весеннего половодья) - 89 $м^3$/сек., т.е. того же порядка, что и расходы р. Модлоны, а следовательно, и распространение стокового течения от р. Вожеги будет таким же, как и от р. Модлоны, т.е. в пределах приустьевого участка озера. Остальные притоки оз. Воже - Чепца, Вондонга, Евжа, Пунема, Тинготома и Тордокса - имеют средние годовые многолетние расходы, не превышающие 2 $м^3$/сек., и только в мае средний месячный расход повышается у некоторых из них (Чепца и Вондонга) до 8.5 $м^3$/сек. Стоковые течения в озере от этих рек крайне слабы. Сток из оз. Воже осуществляется р. Свидь, средний годовой (многолетний) расход которой составляет 60 $м^3$/сек. Скорости течений в прилегающем к истоку участке озера не испытывают замет-

ного влияния реки и только в самой реке они значительно возрастают по сравнению со скоростями течений в озере – до 20 см/сек.

Коэффициент условного водообмена оз. Лача хоть и значителен (7.4), но в нем, как и в оз. Воже, стоковые течения ощутимы только в районах впадения рек. У главного притока озера – р. Свиди – средний годовой сток (многолетний) равен 60 м$^3$/сек., в период весеннего половодья средний месячный расход (май-июнь) увеличивается до 127 м$^3$/сек. При таких расходах даже во время весеннего паводка стоковые течения распространяются в озере не более чем до 2-2.5 км. Другие притоки озера – реки Ковжа, Лехшма, Ухта, Тихманьга, Кинема со средними годовыми расходами 5-11 м$^3$/сек., а в периоды весенних паводков – до 50 м$^3$/сек. (р. Ковжа) – создают еще более слабые стоковые течения, влияние которых ограничивается приустьевым участком озера. Сток из озера осуществляется р. Онегой (средний многолетний годовой сток – 120 м$^3$/сек.), которая так же, как и р. Свидь в истоке, не оказывает заметного влияния на режим течений в прилегающем районе озера. Скорости течений значительны только в самой реке – до 20 см/сек. Годы исследований озер Воже и Лача приходятся на маловодную фазу (1963-1973 гг.) внутривекового цикла колебания увлажненности, за время которой приток в озера сократился соответственно на 18 и 13%, а сток из озер – на 14 и 10% по сравнению с притоком-стоком за полный цикл (1951-1973 гг.). А следовательно, и зоны распространения речных вод в озерах в годы работы экспедиции были еще меньше. Ослабляющее влияние на транзит через озера оказывает также регулирующая их способность: если приток в озера имеет ярко выраженный сезонный ход (весной – 65% общего годового притока), то сток распределен в течение года более или менее равномерно.

Таким образом, внутренний водообмен озер осуществляется ветровыми течениями, которые в отдельные периоды имеют довольно установившийся характер. Явно выраженного транзита в озерах, создаваемого притоком и стоком, не наблюдается. Транзитные течения возникают только в моменты совпадения по направлению ветровых течений со стоковыми. При встречных же ветрах, т.е. ветрах с северной составляющей, стоковые течения значительно ослабляются и видоизменяются, а перенос водных масс осуществляется ветровыми течениями.

## 3.2. Режим волнения

Характеристики режима волнения на акваториях озер Воже и Лача получены расчетным путем по данным о ветре.

Исходными данными для расчета режима волнения на оз. Лача послужили материалы многолетних наблюдений над скоростью и направлением ветра (1936-1960 гг.) на метеостанции Каргополь. Для расчетов режимных характеристик волнения на оз. Воже

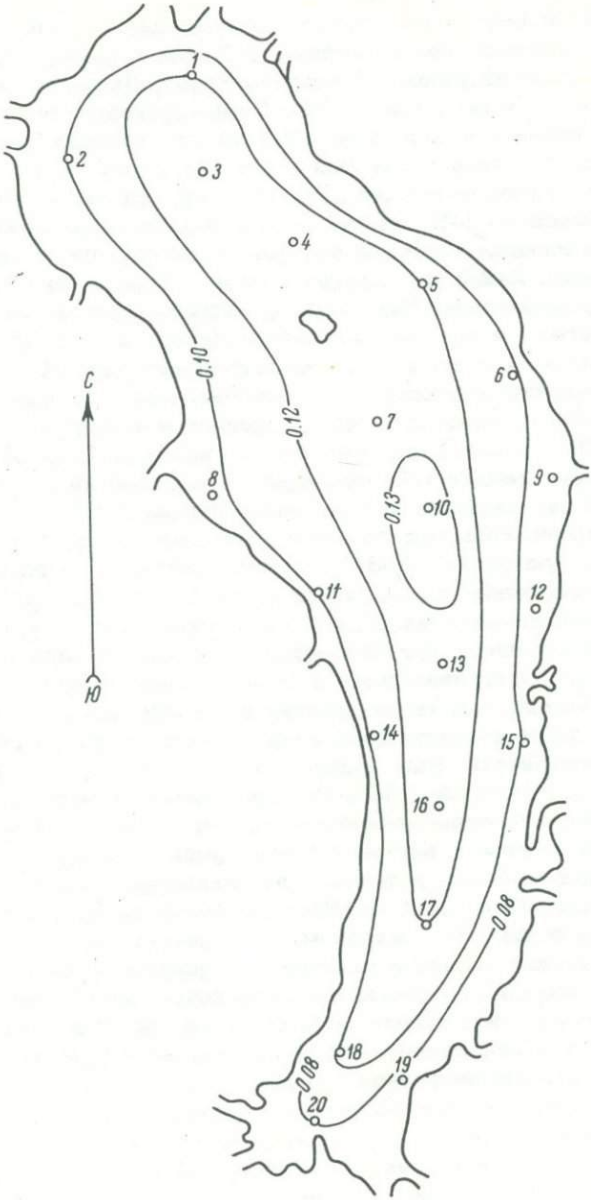



Рис. 16. Схема распределения по оз. Воже средней высоты волн (в м) 50%-ной режимной обеспеченности.

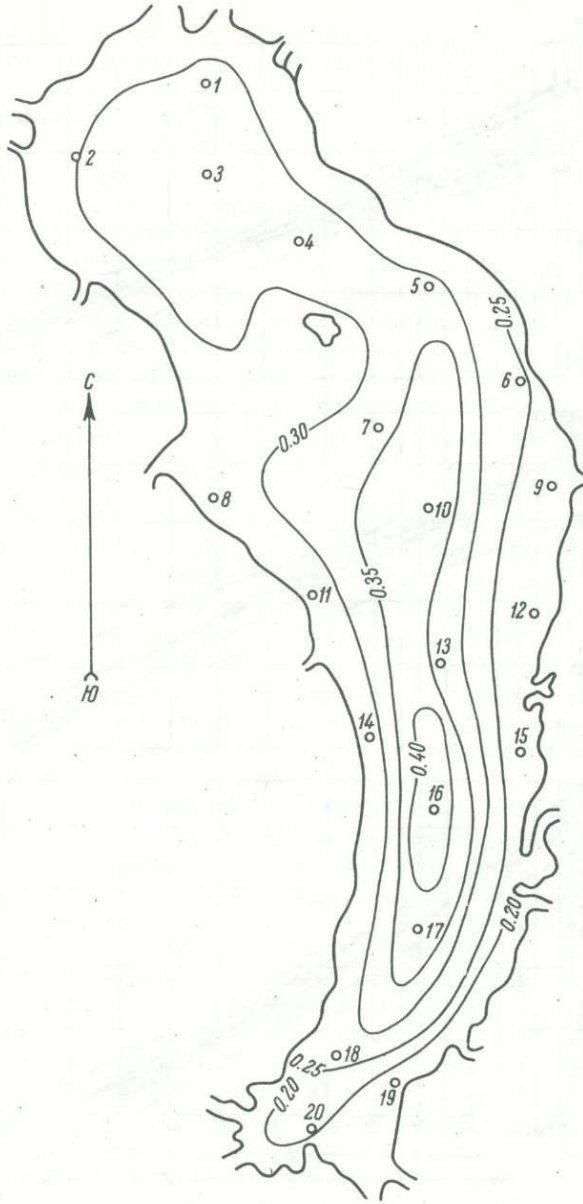



Рис. 17. Схема распределения по оз. Воже средней высоты волн (в м) 3%-ной режимной обеспеченности.

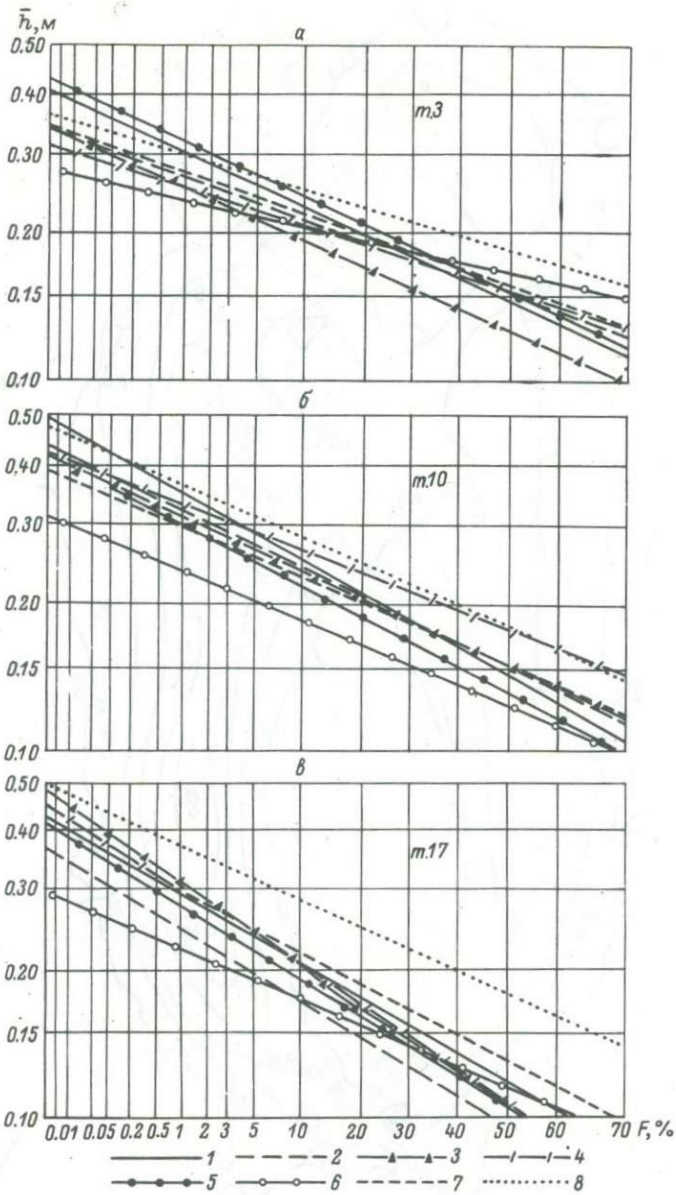



Рис. 18. Вероятность превышения ( F, %) градаций средней высоты волн ($\bar{h}$,м) по направлениям в разных частях оз. Воже.

а – северная; б – центральная; в – южная. 1 – северо-западное; 2 – западное; 3 – юго-западное; 4 – южное; 5 – юго-восточное; 6 – восточное; 7 – северо-восточное; 8 – северное.

принята средняя повторяемость скоростей ветра по градациям на метеостанциях Каргополь и Коробово по наблюдениям с 1961 по 1971 г.

Необходимо отметить, что различия в распределении скоростей ветра в этих пунктах невелики. Средняя скорость ветра в период открытой воды на ст. Каргополь составляет 4.1 м/сек., а на ст. Коробово – 4.5 м/сек.; скорости ветра 3%-ной вероятности превышения – соответственно 11 и 10 м/сек.

Расчеты параметров волн производились по методу, рекомендованному в Руководстве по расчету параметров волн (1969). Пригодность этого метода была ранее проверена на примере мелководного оз. Кубенского (Озеро Кубенское, ч. 1, 1977).

По сравнению с оз. Кубенским озера Воже и Лача еще более мелководны. Если средняя глубина оз. Кубенского составляет 2.5 м, то озер Лача и Воже – 1.6 и 1.4 м соответственно, а критерий мелководности – $\frac{V}{\sqrt{gH}}$ (где V – скорость ветра, g – ускорение силы тяжести, H – глубина) при скорости ветра 5 м/сек., равный у оз. Кубенского 1.0, у озер Лача и Воже составляет соответственно 1.2 и 1.4. Поскольку средние длины разгона волн у всех трех озер близки (Кубенское – 8.2, Лача – 8.0, Воже – 7.2), сравнение их по критерию мелководности вполне правомерно.

Из сказанного следует, что зависимость размера волн от глубины, а распределения их по акватории – от рельефа дна у озер Воже и Лача еще более тесная, чем у оз. Кубенского.

Как показывают расчеты по 20 точкам, равномерно расположенным по акватории оз. Воже, средняя высота волн при скорости ветра 50%-ной режимной обеспеченности изменяется от 0.08 до 0.13 м (рис. 16). Наибольшие средние высоты волн (до 0.4 м) при ветре 3%-ной режимной обеспеченности отмечаются в южной половине озера (рис. 17). Вероятность возникновения волн со средней высотой более 0.20 м изменяется по длине озера от 3 до 40%, более 0.30 м – от 0 до 7%, а от 0.4 до 0.5 м – менее 0.3%. Последние возможны лишь при ветрах северного направления. При ветрах восточного направления средние высоты волн не превышают 0.30 м (рис. 18, а, б, в). Высота волн 1%-ной обеспеченности при скорости ветра 3%-ной режимной обеспеченности изменяется по акватории оз. Воже от 0.60 до 0.80 м, а средний период волн – от 1.6 до 2.6 сек. Это подтверждают и данные наблюдений над волнением по максимально-минимальной волномерной вехе в районе устья р. Вожеги от 25-27 июля 1973 г., которые показали, что при ветре ССЗ направления скоростью до 10-12 м/сек. высота волн на глубине 0.5 м достигает 0.27 м, а средний период – 2.2 сек.

Конфигурация береговой черты и распределение глубин на оз. Лача способствуют проявлению различий в режиме волнения как по длине, так и по ширине озера (рис. 19). Зона наибольшего волнения располагается вдоль восточного берега северной половины

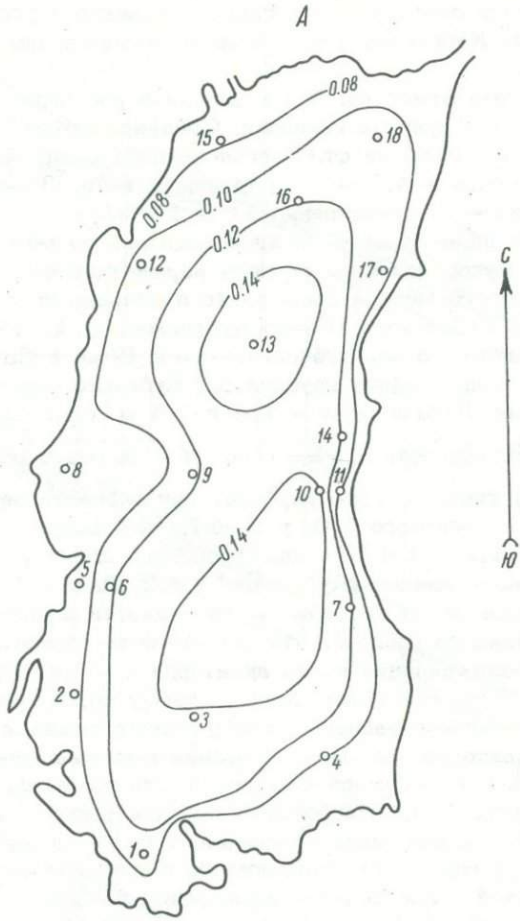



Рис. 19. Схема распределения по оз. Лача средней высоты волн (в м) 50%-ной (А) и 3%-ной (Б) режимной обеспеченности.

озера. Расчеты по 18 точкам, расположенным по акватории озера, показывают, что средняя высота волн 50%-ной режимной обеспеченности изменяется от 0.08 до 0.14 м, а 3%-ной режимной обеспеченности – от 0.20 до 0.40 м (рис. 19а, б). Вероятность превышения средних высот волн 0.20 м изменяется по озеру от 5 до 40%. Средняя высота волн более 0.30 м в разных районах озера имеет вероятность от 0.05 до 13%; а более 0.40 м – от 0 до 3%. Средняя высота волн от 0.50 до 0.60 возможна лишь в районе т. 13 (рис. 20). Наибольшее волнение развивается на озере при северных и южных направлениях ветра, наименьшее –

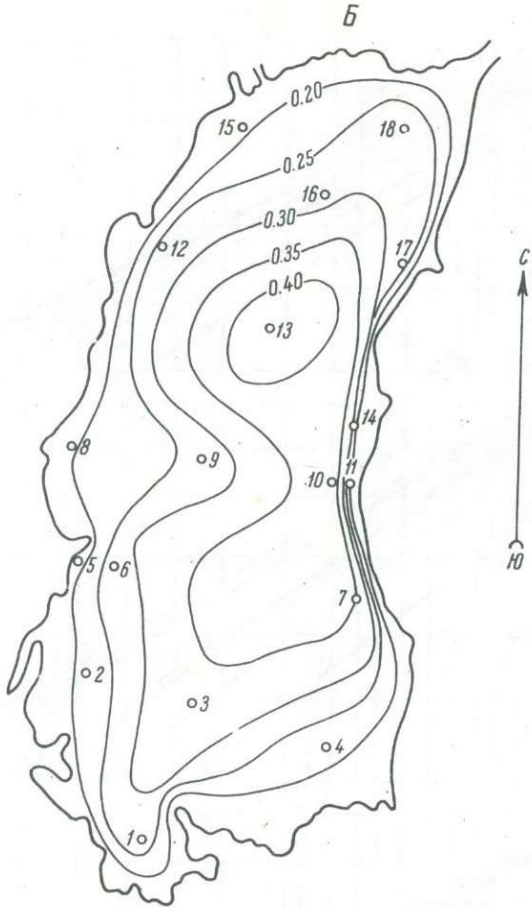



Рис. 19 (продолжение).

при восточных (рис. 20). Высота волн 1%-ной обеспеченности при скоростях ветра 3%-ной режимной обеспеченности изменяется по акватории оз. Лача от 0.60 до 1.00 м, а средний период - от 1.8 до 2.5 сек. По данным наблюдений над волнением на волномерном пункте Северного УГМС близ с. Нокола (1969-1970 гг.), на глубине 1.1 м высота волн, близкая к 1%-ной обеспеченности при скоростях ветра 10-11 м/сек., составляет 0.65-0.70 м, а средний период - 2.0-2.3 сек. Таким образом, расчетные элементы волн оказываются достаточно близкими к наблюденным.

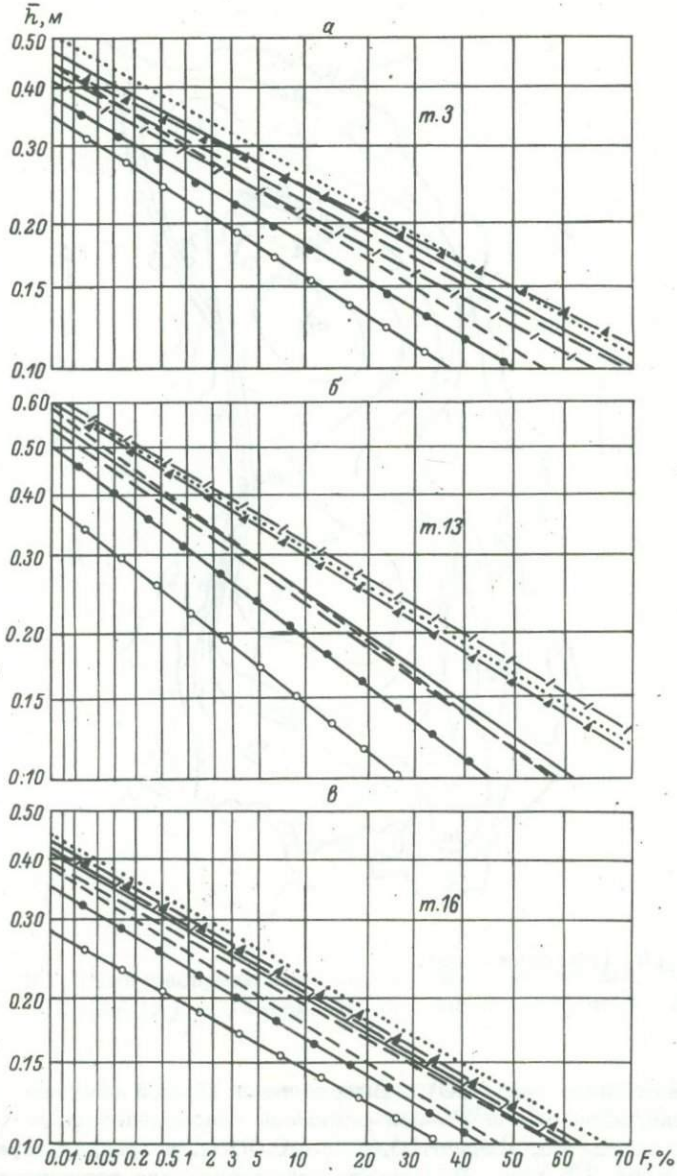



Рис. 20. Вероятность превышения ( F, %) градаций средних высот ( $\bar{h}$, м) по направлениям в разных частях оз. Лача.

а – северная; б – центральная; в – южная. Остальные обозначения те же, что и на рис. 18.

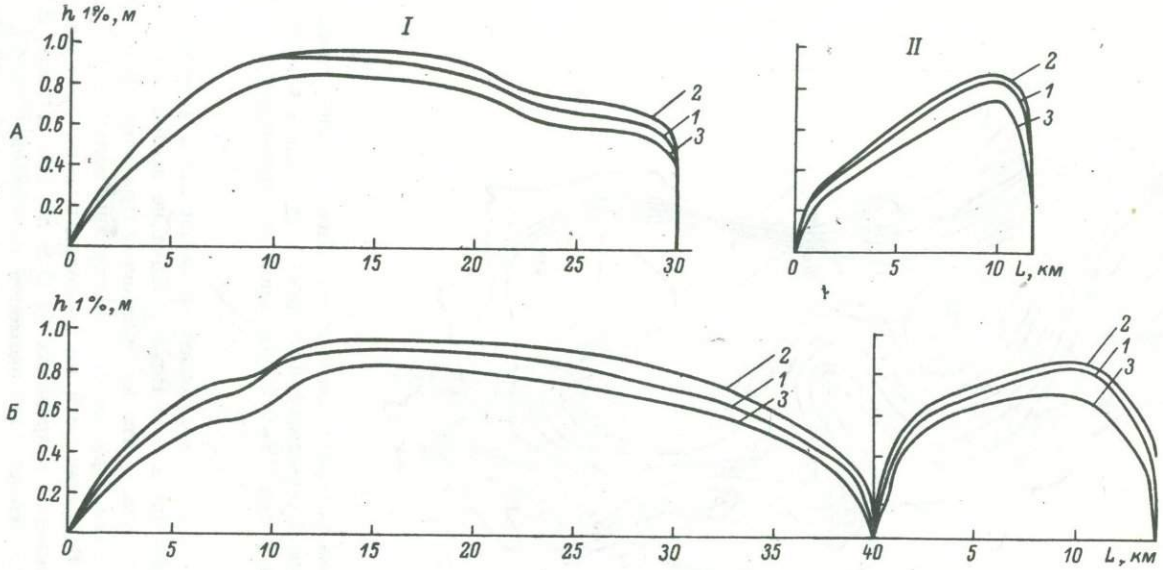



Рис. 21. Рассчитанные высоты волн на продольном (I) и поперечном (II) разрезах озер Лача (А) и Воже (Б) для скорости ветра 10 м/сек. при среднем (1), наивысшем (2) и наинизшем (3) уровнях воды.

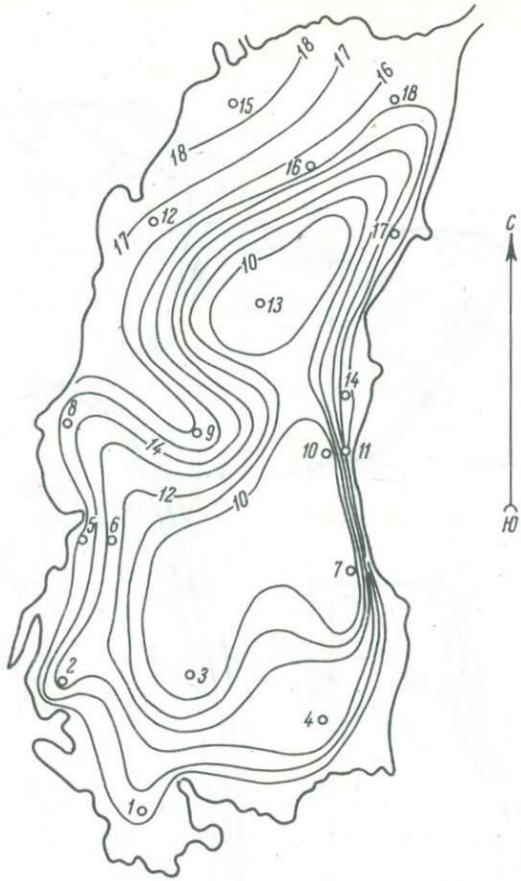



Рис. 22. Схема распределения по оз. Лача средней горизонтальной составляющей орбитальной скорости ($\pm V_{макс}$, см/сек.) волнового движения у дна 3%-ной режимной обеспеченности.

Разность между наивысшими и наинизшими уровнями воды в открытый период на озерах Воже и Лача не превышает 1 м (см. разд. 2.4 наст. изд.), что не оказывает существенного влияния на режим волнения. При изменении глубины воды на 1 м высота волн 1%-ной обеспеченности на продольных и поперечных профилях озер изменяется в пределах от 0.8 до 1.0 м (рис. 21).

Если исходить из повторяемости направлений ветра, то наиболее частому волновому воздействию на озерах Воже и Лача подвергаются Ю, ЮВ, В и СВ берега, а наименее частому – З и СЗ участки берега. В среднем по акваториям озер Воже и Лача средняя для 20 и 18 расчетных точек высота волн 1%-ной

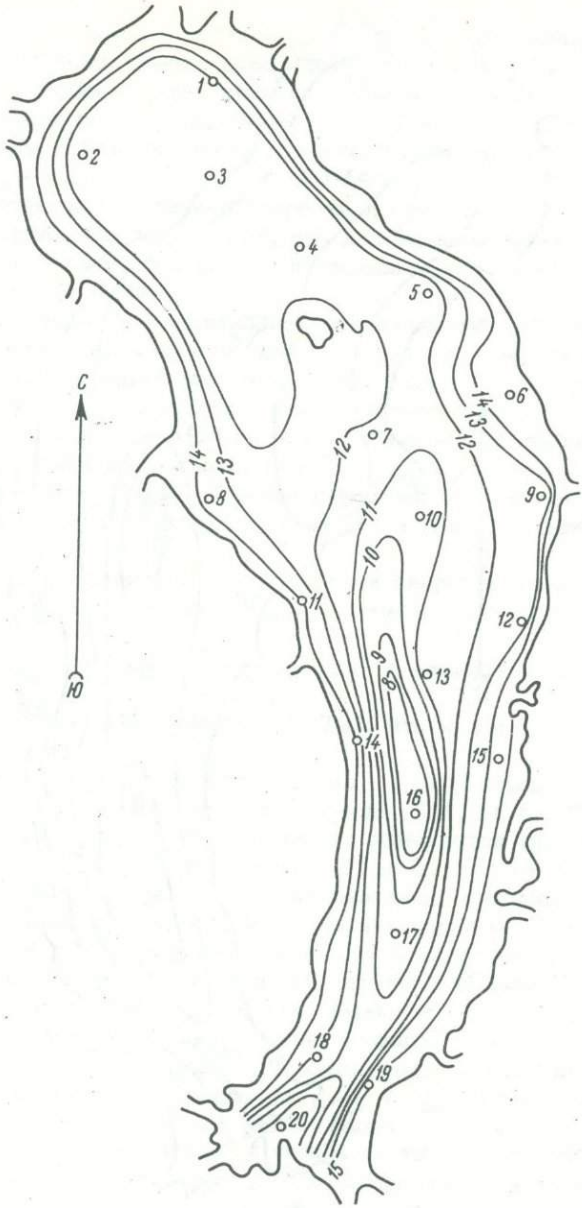



Рис. 23. Схема распределения по оз. Воже средней горизонтальной составляющей орбитальной скорости ($\pm V_{макс}$, см/сек.) волнового движения у дна 3%-ной режимной обеспеченности.

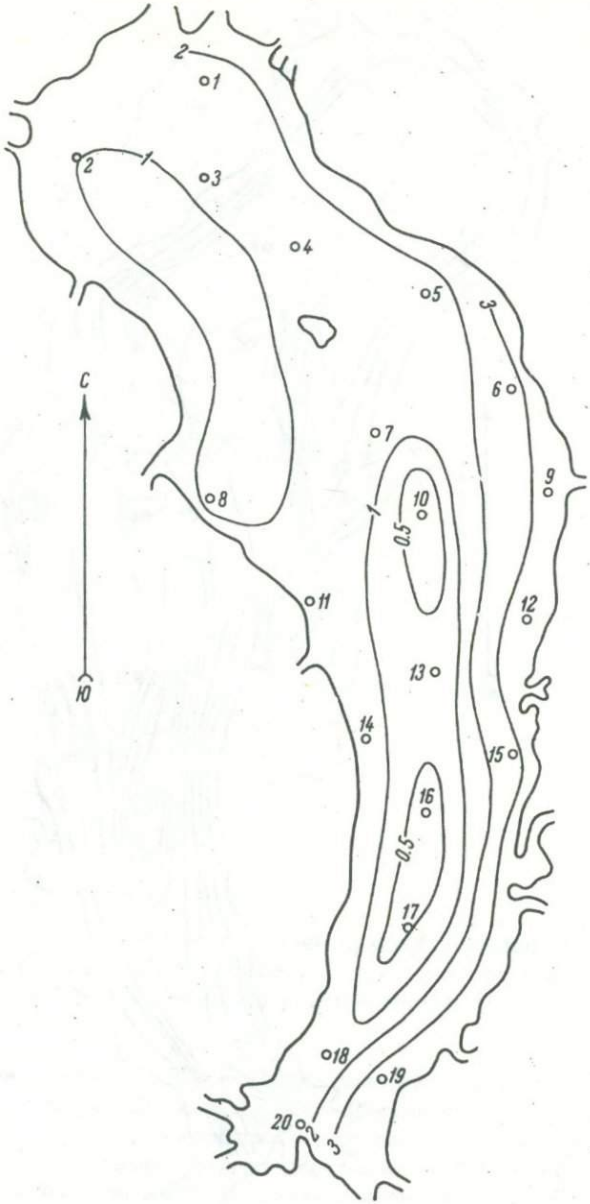



Рис. 24. Схема распределения по оз. Воже средней горизонтальной составляющей орбитальной скорости ($\pm V_{макс}$, см/сек.) волнового движения у дна 50%-ной режимной обеспеченности.

обеспеченности 50%-ной режимной повторяемости составляет 0.26 м, а средняя длина волн 1%-ной обеспеченности - 5.4 и 5.1 м. В отличие от оз. Кубенского, где средняя глубина озера близка к 0.65 $\lambda_0$, средняя глубина оз. Воже (1.4 м) и Лача (1.6 м) оказалась почти в 2 раза меньше величин 0.65 $\lambda_0$, равных 2.8 и 2.7 м ($\lambda_0$ - средняя длина волн 50%-ной режимной обеспеченности, рассчитанная по средней скорости и средней длине разгона ветра). Это сравнение показывает, что дно на акваториях озер Воже и Лача находится под более интенсивным волновым воздействием, чем на оз. Кубенском.

Расчеты средней горизонтальной составляющей орбитальной скорости волнового движения на дне ($V_{макс}$) для озер Воже и Лача по данным о средней высоте и длине волн 50%-ной режимной обеспеченности показали, что действительно среднее по озеру $V_{макс}$ для этих озер (Воже - 2.5, Лача - 2.8 см/сек.) больше, чем для оз. Кубенского, где $V_{макс}$ составляет 1.8 см/сек.; среднее по акватории $V_{макс}$ 3%-ной режимной обеспеченности составляет для оз. Кубенского 10.4 см/сек., а для озер Воже и Лача - 12.1 и 13.7 см/сек.

Расчеты горизонтальной составляющей скорости орбитального движения при волнении на дне ($V_{макс}$) произведены по той же формуле ($V_{макс} = \pm \frac{h}{\sqrt{\frac{2\lambda}{\pi g} Sh \frac{4\pi}{\lambda} H}}$, где $h$ - высота волны, $\lambda$ - длина, $H$ - глубина) (Кожевников, 1972), что и для оз. Кубенского.

Распределение по акватории водоема $V_{макс}$ определяется рельефом дна и распределением высот волн. Так, на оз. Воже $V_{макс}$ 3%-ной режимной обеспеченности изменяется (при изменении глубины в расчетных точках от 0.8 до 3.7 м) от 8 до 15 см/сек., а на оз. Лача при том же диапазоне глубины - от 10 до 18 см/сек. (рис. 22, 23). По акватории оз. Кубенского $V_{макс}$ 3%-ной режимной обеспеченности изменяется приблизительно в тех же пределах (от 8 до 16 см/сек.) (Озеро Кубенское, ч. 1, 1977). Однако районы дна, где $V_{макс} > 10$ см/сек., на озерах Воже и Лача имеют значительно большую площадь, чем на оз. Кубенском (рис. 22, 23). Широкие участки дна, где $V_{макс}$ 3%-ной обеспеченности >10 см/сек. (а $V_{макс}$ 1%-ной обеспеченности >25 см/сек.) на оз. Воже располагаются в северной, а на оз. Лача в северо-западной и южной частях озера (рис. 24, 25). В этих районах дна процессы размыва грунта и движение наносов наиболее вероятны. В узкой же прибрежной зоне наибольшая волновая активность распространена вдоль восточных берегов озер.

Рассчитанные средние высоты волн различной режимной обеспеченности на озерах Воже и Лача имеют тот же порядок, что и на оз. Кубенском, однако распределение высот волн по акватории каждого из них имеет свои особенности, связанные с раз-

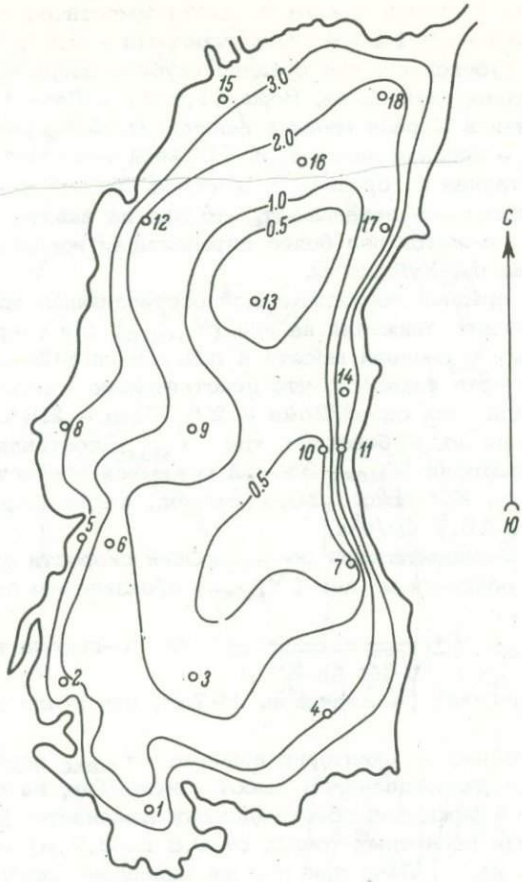



Рис. 25. Схема распределения по оз. Лача средней горизонтальной составляющей орбитальной скорости ($\pm V_{макс}$, см/сек.) волнового движения у дна 50%-ной режимной обеспеченности.

личиями в строении рельефа дна и форме зеркала озера. Наибольшее волнение отмечается в центральной части оз. Кубенского, в южной – оз. Воже и северной половине оз. Лача.

Вследствие большей мелководности взаимодействие волн с дном на акваториях озер Воже и Лача более интенсивно, чем на оз. Кубенском. Так, горизонтальная составляющая скорости движения на дне двух первых в 1.3 раза больше, чем на оз. Кубенском. Волнение в мелководных условиях является одним из основных факторов, регулирующих другие лимнологические процессы.

Глава 4

# ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ И БАЛАНС

## 4.1. Радиационный баланс

Радиационный баланс озер Воже и Лача за многолетний период получен тем же расчетным методом, что и оз. Кубенского, по схеме

$$B = B_к + B_д \text{ , или } B = Q\ (1 - A) - E_{эф}$$

(Озеро Кубенское, ч. 1, 1977 г., разд. 5.1).

Поскольку для умеренной зоны из двух важнейших климатообразующих факторов – радиационного и циркуляционного – определяющим является циркуляционный, то главная задача при характеристике многолетнего ряда элементов радиационного баланса состояла в необходимости отразить именно такую взаимосвязь между этими двумя факторами. Составляющие радиационного баланса были рассчитаны в среднем за период 1950–1974 гг., который представляет единую циркуляционную эпоху, и для каждого месяца в течение этого периода (для расчета теплового баланса определялись также средние за 1951–1973 гг., за редким исключением не отличающиеся от средних для всей эпохи).

В работе, посвященной оз. Кубенскому, дана подробная характеристика циркуляционной обстановки расчетного периода на основании типизации Вангенгейма-Гирса и определен циркуляционный индекс каждого месяца (Озеро Кубенское, ч. 1, 1977 г., табл. 71). Отмечено, что 1950–1974 гг. отличаются значительными межгодовыми контрастами радиационных характеристик, связанных с чередованием двух типов меридиональной циркуляции – E и C. Тип W по радиационным характеристикам для изучаемого района близок к типу C, но участие его за этот период незначительно.

По данным полевых наблюдений на оз. Кубенском составлены режимные характеристики элементов радиационного баланса, которые стали основой в определении и уточнении необходимых параметров для применяемых расчетных формул. За опорные актино-

Таблица 31

Месячные величины возможной суммарной радиации (в ккал./см$^2$)

| Озеро | V | V1 | VII | VIII | 1X | X | $\Sigma_{V-X}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Воже | 19.3 | 20.8 | 19.4 | 15.2 | 9.9 | 5.6 | 90.2 |
| Лача | 19.1 | 20.7 | 19.2 | 15.0 | 9.6 | 5.2 | 88.8 |

метрические данные приняты показания ст. Каргополь, имеющей ряд наблюдений с 1955 г., для характеристики солнечного сияния использованы также наблюдения по ст. Тотьма. Необходимые метеорологические величины для расчета радиационного баланса оз. Воже получены по ст. Чарозеро, оз. Лача – по ст. Каргополь.

Поскольку при расчете радиационного баланса оз. Кубенского уже были подробно рассмотрены условия облачности, прозрачности атмосферы, солнечного сияния для всей изучаемой территории, занятой озерами Кубенским, Воже и Лача, то здесь ограничимся лишь общими выводами, касающимися этих характеристик, а также краткими указаниями о примененной методике расчета (подробнее см.: Озеро Кубенское, ч. I, разд. 5.1).

Для расчета суммарной радиации использована формула Савинова–Онгстрема. Возможные величины суммарной радиации получены по имеющимся срочным данным наблюдений за суммарной радиацией на ст. Каргополь. Для оз. Воже, так же как и для оз. Кубенского, величины возможной радиации получены путем широтной интерполяции данных по ст. Каргополь (табл. 31).

По рассчитанным величинам возможной суммарной радиации и измеренным суммам радиации на ст. Каргополь определено значение коэффициента $k$ для формулы Савинова–Онгстрема:

| V | V1 | VII | VIII | 1X | X |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.44 | 0.49 | 0.50 | 0.42 | 0.30 | 0.25 |

Среднеширотный коэффициент $k$ для $\varphi$ –60°, по Т.Г. Берлянд (1961), равен 0.40.

Расчет альбедо суммарной радиации поверхности озер Воже и Лача произведен по формуле П.П. Кузьмина и по соотношению числа ясных и пасмурных дней. Для определения $A_S$ и $A_D$ (альбедо для прямой и рассеянной радиации) использованы графики зависимости альбедо от облачности и высоты солнца, полученные для оз. Кубенского (Озеро Кубенское, ч. I, рис. 64). Допустимость такого использования правомерна, так как основной показатель – прозрачность воды озера, из-за которого могли бы возникнуть различия в альбедо исследуемых озер, у них практически совпадает.

На озерах Воже и Лача прозрачность воды измерялась белым диском во время гидрологических и гидрохимических работ. На оз. Кубенском такие наблюдения проводились регулярно и одновременно с актинометрическими наблюдениями. Сопоставление близких по времени наблюдений на всех трех озерах обнаруживает расхождение в величинах прозрачности, в среднем составляющее 0.2–0.3 м для штилевой погоды. Так, прозрачность на оз. Кубенском в июле-августе 1972 г. (ст. 1) (Озеро Кубенское, ч. I, 1977, рис. 2) составила 1.2–1.3 м, на оз. Лача (ст. 1) – 1.0–1.3 м (рис. 4); в июне-июле 1973 г. на оз. Кубенском – 1.2–1.3 м, в июле на оз. Воже (ст. 5) – 1.0 м (рис. 3); в августе 1973 г. на оз. Кубенском – 1.0–1.1 м, на оз. Лача (ст. 1 и 5) – 0.9–1.1 м; в июле-августе 1974 г. на оз. Кубенском (ст. I–1У) – 1.2–1.0 м, в июле 1974 г. на оз. Воже (ст. 8 и 10) – 1.0–1.1 м.

Эффективное излучение поверхности озер Воже и Лача вычислялось по формуле Т.В. Кирилловой. Коэффициент c, учитывающий влияние облачности, для всех трех озер и всех месяцев теплого периода принят равным 0.6. Температура и влажность воздуха над озерами Воже и Лача рассчитаны А.Ф. Изотовой (разд. 4.2. наст. изд.), температура поверхности воды – А.И. Тихомировым и А.Н. Егоровым (разд. 4.4., наст. изд.).

С о л н е ч н о е  с и я н и е. Средняя многолетняя продолжительность солнечного сияния и ее относительные величины (отношение действительной продолжительности солнечного сияния к ее возможной величине) подсчитаны по показаниям станций Каргополь и Тотьма (Озеро Кубенское, ч. I, 1977, табл. 75). Установлено, что число часов солнечного сияния значительно изменяется из года в год с хорошо выраженной тенденцией увеличения на 3–5% в среднем за открытый период в годы с преобладанием циркуляции типа Е по сравнению с годами, характеризующимися значительным участием циркуляции типа С. Так, для суммы за июнь-август в среднем за 1950–1955 гг. (преобладала циркуляция типа Е) продолжительность солнечного сияния по ст. Каргополь составила 54% от возможной величины, за 1956–1965 гг. (смешанная циркуляция типа Е + С) – 48%, а за годы 1966–1974 гг. (тип Е) – 53%. У экстремальных месячных сумм продолжительности солнечного сияния такая зависимость от типа циркуляции проявляется еще более четко (Озеро Кубенское, ч. I, 1977, табл. 76). Абсолютный месячный максимум числа часов солнечного сияния за период 1950–1974 гг. приходится на июль 1973 г. и составляет 378 часов, или 72% от возможной величины при среднем многолетнем значении в этом месяце 52%. Разница максимум-минимум достигает 30–40% для летних месяцев и 20% – для всего открытого периода.

К о э ф ф и ц и е н т  п р о з р а ч н о с т и  атмосферы рассчитан по срочным наблюдениям интенсивности прямой радиации на ст. Каргополь за весь имеющийся ряд наблюдений – 1955–1974 гг. Многолетний ход коэффициента прозрачности

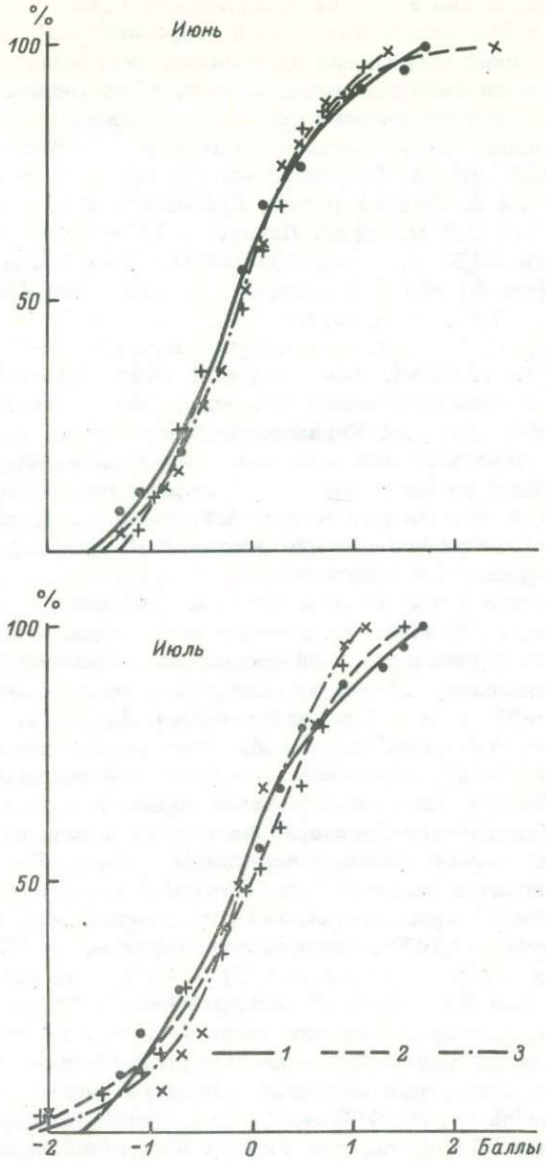



Рис. 26. Вероятность отклонения общей облачности от средней многолетней в месяцы максимального нагревания.

1 – Коробово, 2 – Чарозеро, 3 – Каргополь.

(средний за май–октябрь) показывает (Озеро Кубенское, ч. I, 1977, рис. 71) более высокие его значения в годы со смешанной циркуляцией – с индексом E + C (1956–1965 гг.) и более низкие его значения при типе E (1966–1974 гг.). Амплитуда крайних сезонных значений за весь 20-летний период составляет более 13% от среднего многолетнего сезонного значения, равного 0.747.

Облачность. В расчетах элементов радиационного баланса общая облачность используется как один из определяющих параметров. Поэтому значительный интерес представляет определение вероятности наблюдения над территорией именно среднего балла облачности. На рис. 26 приведены кривые вероятности отклонений общей облачности от средней многолетней в месяцы максимального нагревания водной массы озер.

Устойчивость типа кривых вероятности свидетельствует прежде всего о синхронности происходящих изменений условий облачности над всей изучаемой территорией. Характер кривых также говорит о том, что крайние градации как высоких, так и низких баллов облачности наблюдаются редко: в 70–80% числа случаев балл облачности отличается от среднего многолетнего на ± 1 балл, т.е. характеристики облачного покрова над территорией весьма устойчивы (модальные и среднеарифметические значения практически совпадают).

Общая облачность имеет тенденцию к увеличению с юга на север с разностью средних месячных величин между показаниями трех станций (Коробово, Чарозеро, Каргополь) в 1 балл. Доля нижней облачности по отношению к общей в среднем в течение открытого периода составляет более 70%, уменьшаясь до 55–50% в июне месяце и увеличиваясь в октябре до 85%. При этом в месяцы с ярко выраженным типом E-циркуляции доля нижней облачности в общей на 15–20% меньше, чем при типах C и W. Средние месячные величины облачности при разных типах циркуляции отличаются между собой, причем при типах C и W они значительно выше, чем при типе E (табл. 32).

Суммарная радиация. Рассчитанные для озер Воже и Лача величины суммарной радиации за многолетний период приводятся в таблицах 33 и 34. Сумма средних месячных величин суммарной радиации за май–август составляет почти 90% их сезонной суммы и около 60% годовой. Максимальные средние месячные величины приходятся на июнь месяц. Доля суммарной радиации, достигающей земной поверхности, в мае–июне (в среднем за весь 25-летний период) составляет 60–70% возможной величины, причем в годы с преобладанием циркуляции типа E она увеличивается до 75%. Отношение суммарной радиации к возможной на оз. Лача в среднем на 3–5% меньше, чем на оз. Кубенском, что хорошо согласуется с увеличением среднего балла облачности с юга на север.

Таблица 32

Средние месячные величины общей (числитель) и нижней (знаменатель) облачности (в баллах) за 1950–1974 гг. при различных типах циркуляции по станциям Коробово (1), Чарозеро (2), Каргополь (3)

| | V | | | VI | | | VII | | | VIII | | | IX | | | X | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Ср. многолетнее | 6.7/4.2 | 6.8/4.9 | 7.4/4.5 | 6.2/3.5 | 6.4/4.4 | 7.3/3.9 | 6.2/3.7 | 6.4/4.6 | 7.1/3.7 | 6.4/3.8 | 6.6/4.8 | 7.2/4.3 | 7.4/5.1 | 7.7/6.2 | 8.1/5.8 | 8.3/6.7 | 8.5/7.3 | 8.7/7.3 |
| E | 5.5/3.3 | 5.5/3.4 | 6.8/4.1 | 5.8/3.2 | 6.2/4.0 | 7.0/4.3 | 5.1/2.8 | 5.6/3.7 | 7.0/3.2 | 5.7/3.0 | 6.0/4.0 | 6.6/3.7 | – | – | – | 8.0/6.0 | 8.5/6.4 | 8.4/7.3 |
| W и C | 6.8/4.8 | 7.4/5.7 | 7.5/4.6 | 7.0/4.3 | 7.3/5.7 | 8.1/4.9 | 7.3/5.3 | 7.4/5.9 | 7.3/4.6 | 7.5/4.8 | 8.4/6.4 | 8.7/5.3 | 7.7/5.6 | 8.2/7.0 | 8.3/5.8 | 8.3/6.8 | 8.4/7.1 | 8.8/7.2 |

Таблица 33

Суммарная радиация (в ккал./см$^2$·мес.) на оз. Воже

| Год | V | VI | VII | VIII | IX | X | $\Sigma_{V_X}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1950 | 12.0 | 14.5 | 12.2 | 9.7 | 4.0 | 2.1 | 54.5 |
| 1951 | 10.8 | 13.7 | 12.4 | 11.2 | 5.3 | 1.8 | 55.2 |
| 1952 | 10.8 | 13.5 | 12.4 | 8.4 | 3.8 | 1.7 | 50.4 |
| 1953 | 11.6 | 14.5 | 12.8 | 8.5 | 4.0 | 2.2 | 53.6 |
| 1954 | 11.4 | 13.1 | 12.4 | 8.4 | 4.6 | 1.6 | 51.8 |
| 1955 | 10.2 | 11.8 | 13.2 | 10.5 | 4.4 | 2.0 | 52.1 |
| 1956 | 12.0 | 14.5 | 11.6 | 7.8 | 4.2 | 2.4 | 52.5 |
| 1957 | 11.8 | 12.7 | 14.0 | 8.5 | 4.2 | 1.8 | 53.0 |
| 1958 | 10.6 | 13.3 | 13.6 | 9.0 | 4.4 | 2.0 | 52.9 |
| 1959 | 13.3 | 13.7 | 14.0 | 11.1 | 4.2 | 2.0 | 58.2 |
| 1960 | 14.1 | 13.5 | 14.0 | 9.6 | 4.4 | 2.5 | 58.1 |
| 1961 | 11.8 | 15.4 | 12.8 | 8.5 | 5.0 | 2.1 | 55.6 |
| 1962 | 11.2 | 13.3 | 13.0 | 8.6 | 4.8 | 2.3 | 53.2 |
| 1963 | 13.1 | 12.9 | 13.2 | 10.3 | 5.6 | 1.8 | 56.9 |
| 1964 | 11.6 | 15.0 | 13.2 | 9.0 | 4.8 | 2.0 | 55.6 |
| 1965 | 12.0 | 14.5 | 12.8 | 9.6 | 4.6 | 2.1 | 55.6 |
| 1966 | 12.5 | 15.0 | 12.4 | 8.5 | 3.6 | 2.4 | 54.6 |
| 1967 | 12.4 | 13.9 | 14.4 | 9.1 | 5.1 | 2.0 | 56.9 |
| 1968 | 11.0 | 13.9 | 12.0 | 9.1 | 5.1 | 2.0 | 53.1 |
| 1969 | 12.4 | 14.1 | 12.8 | 10.5 | 4.0 | 1.8 | 55.6 |
| 1970 | 12.9 | 14.8 | 14.0 | 9.7 | 4.2 | 1.7 | 57.3 |
| 1971 | 11.8 | 13.9 | 12.8 | 9.6 | 5.3 | 2.3 | 55.7 |
| 1972 | 12.7 | 15.0 | 14.7 | 11.1 | 5.0 | 2.1 | 60.6 |
| 1973 | 13.5 | 14.4 | 15.1 | 9.9 | 4.5 | 2.2 | 59.6 |
| 1974 | 11.6 | 15.0 | 13.6 | 8.6 | 5.6 | 2.0 | 56.4 |
| Среднее за 1950–1974 | 12.0 | 13.9 | 13.2 | 9.4 | 4.5 | 2.0 | 55.0 |

Таблица 34

Суммарная радиация (в ккал./см$^2$·мес.) на оз. Лача

| Год | V | VI | VII | VIII | IX | X | ΣV–X |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1950 | 11.3 | 13.0 | 10.8 | 9.9 | 4.3 | 2.0 | 51.3 |
| 1951 | 10.7 | 13.9 | 12.3 | 11.5 | 4.6 | 1.9 | 54.9 |
| 1952 | 9.9 | 12.2 | 11.5 | 8.4 | 3.7 | 1.6 | 47.3 |
| 1953 | 10.7 | 12.5 | 12.3 | 8.4 | 4.2 | 2.1 | 51.2 |
| 1954 | 12.2 | 12.6 | 12.7 | 8.2 | 4.1 | 1.6 | 51.4 |
| 1955 | 10.5 | 11.6 | 12.7 | 10.2 | 4.3 | 1.9 | 51.2 |
| 1956 | 11.3 | 13.7 | 10.8 | 6.9 | 3.6 | 2.0 | 48.3 |
| 1957 | 10.9 | 12.4 | 12.7 | 8.2 | 3.6 | 1.6 | 49.4 |
| 1958 | 9.7 | 12.2 | 12.8 | 8.4 | 3.8 | 1.6 | 48.5 |
| 1959 | 12.2 | 12.6 | 12.7 | 9.7 | 3.7 | 1.8 | 52.7 |
| 1960 | 12.4 | 12.2 | 12.3 | 9.3 | 3.6 | 2.2 | 52.0 |
| 1961 | 10.7 | 13.2 | 11.5 | 7.2 | 4.2 | 1.8 | 48.6 |
| 1962 | 10.1 | 11.6 | 11.3 | 7.5 | 4.0 | 1.9 | 46.4 |
| 1963 | 11.3 | 12.0 | 11.9 | 8.7 | 4.8 | 1.8 | 50.5 |
| 1964 | 10.5 | 12.8 | 12.3 | 8.1 | 4.2 | 1.6 | 49.5 |
| 1965 | 11.5 | 13.4 | 11.5 | 8.7 | 4.1 | 1.8 | 51.0 |
| 1966 | 11.3 | 13.7 | 11.5 | 8.1 | 3.4 | 2.1 | 50.2 |
| 1967 | 11.5 | 13.0 | 13.0 | 8.8 | 4.2 | 1.6 | 52.1 |
| 1968 | 10.3 | 12.6 | 11.5 | 8.2 | 4.6 | 1.9 | 49.1 |
| 1969 | 10.7 | 13.0 | 11.9 | 9.6 | 3.7 | 1.6 | 50.5 |
| 1970 | 12.2 | 14.1 | 13.0 | 9.1 | 3.6 | 1.5 | 53.3 |
| 1971 | 11.9 | 13.0 | 12.7 | 8.8 | 5.0 | 2.1 | 52.7 |
| 1972 | 11.8 | 14.2 | 14.5 | 9.9 | 4.3 | 1.6 | 55.8 |
| 1973 | 12.8 | 13.4 | 15.0 | 9.1 | 4.1 | 1.9 | 55.6 |
| 1974 | 10.7 | 14.2 | 13.4 | 7.4 | 5.3 | 1.8 | 52.8 |
| Среднее за 1950–1974 | 11.3 | 13.0 | 12.5 | 8.7 | 4.1 | 1.8 | 51.2 |

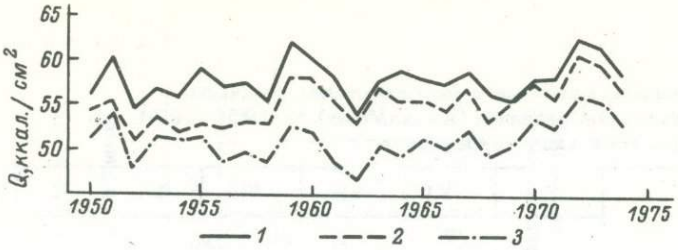



Рис. 27. Многолетний ход суммарной радиации на озерах.

1 - Кубенское, 2 - Воже, 3 - Лача.

Многолетний ход суммарной радиации для всех трех озер изображен на рис. 27. Разница в ее величинах в среднем за 1950-1974 гг. между озерами Кубенским и Воже составляет 2.4 ккал./см$^2$, между озерами Воже и Лача - 3.8 ккал./см$^2$. Таким образом, суммарная амплитуда с юга на север равна 6.2 ккал./см$^2$, а в отдельные годы возрастает до 8-10 ккал./см$^2$ (например, в 1959 и 1962). Разность в средних месячных суммах между озерами в мае-августе составляет около 1 ккал./см$^2$. мес., а в сентябре-октябре - 0.5-0.2 ккал./см$^2$.мес.

На основании рассчитанных данных получены средние величины суммарной радиации для каждого месяца по трем типам циркуляции (табл. 35). Закономерности, установленные для оз. Кубенского, выдерживаются и на озерах Воже и Лача: наиболее высокие значения суммарной радиации соответствуют типу E, типам W и C - более низкие. Эта зависимость сохраняется и для экстремальных лет.

Критерием тесноты связи положительных отклонений суммарной радиации от средней многолетней при преобладании типа E и отрицательных при преобладании типов W и C (на всех трех озерах и ст. Каргополь одновременно) принят показатель

$$\rho = \frac{n_+ - n_-}{n_+ + n_-}, \quad \text{где}$$

$n_+$ - число совпадений знаков аномалии, $n_-$ - число несовпадений знаков аномалии.

Для периода июнь-октябрь этот показатель равен 0.76, для периода май-август он еще выше - 0.85, что свидетельствует о высокой положительной корреляции.

Годы 1956-1965 отличаются значительно бо́льшими контрастами в приходе суммарной радиации, чем годы 1966-1974 (Озеро Кубенское, ч. 1, 1977, табл. 87), но при этом средние ме-

Таблица 35

Средние месячные и экстремальные величины суммарной радиации (в ккал./см$^2$) за 1950-1974 гг. при трех типах циркуляции

| | V | VI | VII | VIII | IX | X | $\Sigma_{V-X}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Оз. Воже | | | |
| W | 10.2 | 13.4 | - | 8.3 | 4.3 | 1.9 | |
| C | 11.4 | 12.8 | 12.3 | 9.0 | 4.4 | 2.0 | |
| E | 12.6 | 14.2 | 13.8 | 9.9 | 5.1 | 2.0 | |
| Среднее за 1950-1974гг. | 12.0 | 13.9 | 13.2 | 9.4 | 4.5 | 2.0 | 55.0 |
| Максимум / Год | 14.1 / 1960 | 15.4 / 1961 | 15.1 / 1973 | 11.2 / 1951 | 5.6 / 1963, 1974 | 2.5 / 1960 | 60.6 / 1972 |
| Индекс | E | E+W | E(CW) | E | E(CW), E(W) | EWC | E |
| Минимум / Год | 10.2 / 1955 | 11.8 / 1955 | 11.6 / 1956 | 7.8 / 1956 | 3.6 / 1966 | 1.6 / 1954 | 50.4 / 1952 |
| Индекс | W | W+C | C | W | C+W | W(C) | W+C |
| Амплитуда | 3.9 | 3.6 | 3.5 | 3.4 | 2.0 | 0.9 | 10.2 |
| | | | | Оз. Лача | | | |
| W | 10.5 | 12.6 | - | 7.5 | 4.2 | 1.7 | |
| C | 11.2 | 12.2 | 11.8 | 8.1 | 3.8 | 1.7 | |
| E | 11.5 | 13.5 | 12.9 | 9.2 | 4.5 | 1.8 | |
| Среднее за 1950-1974гг. | 11.3 | 13.0 | 12.5 | 8.7 | 4.1 | 1.8 | 51.2 |
| Максимум / Год | 12.8 / 1973 | 14.2 / 1973 1974 | 15.0 / 1973 | 10.5 / 1951 | 5.3 / 1974 | 2.2 / 1960 | 55.8 / 1972 |
| Индекс | E | E,E(W) | E(CW) | E | E(W) | EWC | E |
| Минимум / Год | 9.7 / 1958 | 11.6 / 1955 | 10.8 / 1950 | 6.9 / 1956 | 3.4 / 1966 | 1.5 / 1970 | 46.4 / 1962 |
| Индекс | W+E | W+C | C | W | C+W | E(C) | E+W |
| Амплитуда | 3.1 | 2.6 | 4.2 | 3.6 | 1.9 | 0.7 | 9.4 |

Таблица 36

Средние месячные величины суммарной радиации, наблюденные и рассчитанные разными методами за 1950–1974 гг.

| | У | | | У1 | | | УII | | | УIII | | | 1Х | | | Х | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Коробово | – | 12.2 | – | – | 14.4 | – | – | 13.7 | – | – | 9.8 | – | – | 5.1 | – | – | 2.2 | – |
| Вологда* | 12.4 | 12.2 | 12.8 | 14.9 | 14.1 | 15.2 | 13.8 | 13.5 | 14.2 | 10.6 | 9.7 | 10.9 | 5.6 | 5.0 | 5.9 | 2.1 | 2.1 | 2.4 |
| Тотьма | – | 12.5 | 12.6 | – | 14.6 | 15.2 | – | 13.6 | 14.4 | – | 10.0 | 11.0 | – | 4.9 | 5.5 | – | 2.1 | 2.1 |
| Чарозеро | – | 12.1 | – | – | 14.1 | – | – | 13.4 | – | – | 9.4 | – | – | 4.6 | – | – | 1.9 | – |
| Каргополь | 11.4 | 11.3 | 11.8 | 13.2 | 13.2 | 13.9 | 12.7 | 12.6 | 13.8 | 8.8 | 8.7 | 10.3 | 4.3 | 4.2 | 4.9 | 1.8 | 1.8 | 1.9 |

Примечание. 1 – наблюденные данные; 2 – по формуле Савинова–Онгстрема; 3 – по формуле Сивкова; звездочкой отмечены данные, рассчитанные при допущении, что станции Вологда–Молочное и Вологда–Семенково составляют один ряд.

Таблица 37

Альбедо (в %) поверхности воды озер Воже (числитель) и Лача (знаменатель)

| Период | V | V1 | VII | VIII | 1X | X |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Среднее за 1950–1974 | 9.0/9.5 | 8.0/8.0 | 8.0/8.0 | 9.5/10.0 | 10.5/10.5 | 13.0/13.0 |
| 1956 | 9.0/9.0 | 7.5/7.5 | 8.0/8.0 | 9.5/9.5 | 10.5/10.5 | 13.0/13.0 |
| 1972 | 8.5/9.5 | 7.5/8.0 | 7.5/8.0 | 8.5/9.5 | 10.0/10.0 | 13.0/13.0 |
| 1973 | 8.0/9.0 | 7.5/8.0 | 7.5/7.5 | 8.5/9.5 | 10.0/10.5 | 13.0/13.5 |
| 1974 | 9.5/9.5 | 7.5/7.5 | 8.0/8.0 | 10.0/10.0 | 10.0/10.0 | 13.0/13.0 |

сячные величины за каждый из указанных периодов почти не отличаются от средней многолетней за весь период.

Для станций Каргополь, Тотьма и Вологда были рассчитаны также месячные величины суммарной радиации по продолжительности солнечного сияния (Сивков, 1968):

$$Q = 0.0049\ SS_m^{1.31} + 10.5\ (\sin h_0)^{2.1},$$

где $SS_m$ – число часов солнечного сияния; $h_0$ – полуденная высота солнца на 15 число месяца.

В табл. 36 приведены средние за период 1950–1974 гг. величины суммарной радиации, полученные двумя разными методами, в сравнении с наблюденными на ст. Каргополь. Величины суммарной радиации, полученные по формуле С.И. Сивкова, дают значительные отклонения от наблюденных. Поскольку таблицы месячных величин суммарной радиации, полученные по продолжительности солнечного сияния, здесь не приводятся, укажем лишь, что отклонения от наблюденных за каждый месяц достигают еще больших значений, чем средние за многолетний период. Экстремальные отклонения (с разным знаком) по месяцам распределяются следующим образом:

| | V | V1 | VII | VIII | 1X | X |
|---|---|---|---|---|---|---|
| % от средней наблюденной | 23 | 30 | 37 | 60 | 85 | 100 |

Таблица 38

Поглощенная радиация (в ккал./см$^2$·мес.) озер

| | V | V1 | VII | VIII | 1X | X | $\Sigma_{V-X}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Оз. Воже | | | | | | |
| Среднее за 1950–1974 | 10.9 | 12.8 | 12.2 | 8.5 | 4.0 | 1.7 | 50.1 |
| 1956 | 10.9 | 13.4 | 10.7 | 7.0 | 3.8 | 2.1 | 47.9 |
| 1972 | 11.6 | 13.9 | 13.6 | 10.1 | 4.5 | 1.8 | 55.5 |
| 1973 | 12.4 | 13.3 | 14.0 | 9.1 | 4.0 | 1.9 | 54.7 |
| 1974 | 10.5 | 13.9 | 12.5 | 7.7 | 5.0 | 1.7 | 51.3 |
| Максимум / Год | 12.9 / 1960 | 14.3 / 1961 | 14.0 / 1973 | 10.1 / 1972 | 5.0 / 1974 | 2.2 / 1960 | 55.5 / 1972 |
| Индекс | E | E+W | E(CW) | E | E(W) | EWC | E |
| Минимум / Год | 9.2 / 1955 | 10.8 / 1955 | 10.7 / 1956 | 7.0 / 1956 | 3.4 / 1966 | 1.4 / 1954 | 45.9 / 1952 |
| Индекс | W | W+C | C | W | C+W | W(C) | W+C |
| | Оз. Лача | | | | | | |
| Среднее за 1950–1974 | 10.2 | 12.0 | 11.5 | 7.9 | 3.7 | 1.6 | 46.9 |
| 1956 | 10.3 | 12.6 | 9.9 | 6.2 | 3.2 | 1.6 | 43.8 |
| 1972 | 10.7 | 13.1 | 13.4 | 9.0 | 3.9 | 1.4 | 51.5 |
| 1973 | 11.7 | 12.4 | 13.8 | 8.2 | 3.6 | 1.6 | 51.3 |
| 1974 | 9.7 | 13.1 | 12.3 | 6.7 | 4.7 | 1.6 | 48.1 |
| Максимум / Год | 11.7 / 1973 | 13.1 / 1972, 1974 | 13.8 / 1972 | 9.5 / 1951 | 4.7 / 1974 | 1.9 / 1960 | 51.5 / 1972 |
| Индекс | E | E,E(W) | E | E | E(W) | EWC | E |
| Минимум / Год | 8.7 / 1958 | 10.7 / 1955, 1962 | 9.9 / 1956 | 6.2 / 1956 | 3.0 / 1966 | 1.3 / 1970 | 42.1 / 1962 |
| Индекс | W+E | W+C, W(C) | C | W | C+W | E(C) | E+W |

Следует, видимо, признать, что расчет суммарной радиации по формуле С.И. Сивкова для изучаемой территории дает менее точную оценку даже средних многолетних величин, чем формула Савинова-Онгстрема.

А л ь б е д о. Величины альбедо в среднем за период 1950-1974 гг. и для тех лет, за которые рассчитывался тепловой баланс озер, приводятся в табл. 37.

Как показывают ее данные, альбедо озер увеличивается с юга на север очень незначительно - на 0.5-1.0%, что связано с увеличением доли рассеянной радиации в суммарной по мере увеличения в том же направлении общей облачности.

П о г л о щ е н н а я р а д и а ц и я. Поскольку полученные значения альбедо для трех озер различаются очень незначительно, величины поглощенной радиации (табл. 38) сохраняют закономерности, установленные для суммарной радиации. Небольшое увеличение альбедо с юга на север почти не отражается на разности в сезонных суммах суммарной и поглощенной радиации между озерами Кубенским и Лача (6.2 ккал./см$^2$ - суммарная, 5.5 ккал./см$^2$ - поглощенная).

Э ф ф е к т и в н о е и з л у ч е н и е. Месячные суммы эффективного излучения поверхности озер Воже и Лача (таблицы 39 и 40) и Кубенского (Озеро Кубенское, ч. I, 1977, табл. 83) за открытый период меняются очень мало. Максимум эффективного излучения приходится на июнь-июль (3.0-3.1 ккал./см$^2$·мес.), к октябрю эта величина снижается до 2.4-2.6 ккал./см$^2$·мес., причем разница в ней между озерами не превышает 0.2 ккал./см$^2$ (только в мае она между озерами Воже и Лача увеличивается до 0.4 ккал./см$^2$). Таким образом, намечается незначительная тенденция уменьшения эффективного излучения с юга на север.

Вследствие очень тесной зависимости эффекта влияния температуры и влажности воздуха, $E_0$ (т.е. эффективное излучение при ясном небе и без учета разности температур вода-воздух) по величине почти не различается как в сезонном ходе каждого из озер, так и между ними (табл. 41). Влияние облачности ($E_n$, табл. 41) снижает эффективное излучение в среднем за сезон до 55-60% его величины при безоблачном небе.

Разность температур вода-воздух в среднем за период 1950-1974 гг. очень невелика: ее максимальная средняя месячная величина не превышает 2.4° (Воже, июль месяц), причем абсолютный максимум за весь период для всех трех озер отмечен на оз. Кубенском в июле 1974 г. и составляет 3.8°. Разность температур вода-воздух по наблюдениям на оз. Кубенском в июле 1973 г. (в месяц с максимальной величиной суммарной радиации) составила +2.0°, в августе уменьшилась до 1.1°. В условиях длительного стационарного антициклона в августе 1972 г. разность за сутки равнялась 0.2°. Таким образом, разность температур вода-воздух на всех трех озерах не столько способствует увеличению эффективного излучения даже в месяцы максимального

Таблица 39

Эффективное излучение (в ккал./см$^2$·мес.) поверхности воды оз. Воже

| Год | V | V1 | VII | VIII | 1X | X | $\Sigma_{V-X}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1950 | 3.4 | 3.3 | 3.1 | 3.4 | 2.4 | 2.6 | 18.2 |
| 1951 | 3.3 | 3.0 | 2.9 | 3.5 | 3.0 | 2.4 | 18.1 |
| 1952 | 2.9 | 3.0 | 3.0 | 2.8 | 2.1 | 2.5 | 16.3 |
| 1953 | 3.0 | 3.0 | 2.9 | 2.6 | 2.5 | 2.6 | 16.6 |
| 1954 | 2.8 | 2.7 | 2.7 | 2.8 | 2.7 | 2.0 | 15.7 |
| 1955 | 2.5 | 2.6 | 3.4 | 3.8 | 2.5 | 2.3 | 16.1 |
| 1956 | 2.8 | 3.2 | 2.9 | 2.6 | 2.5 | 2.9 | 16.9 |
| 1957 | 3.0 | 2.9 | 3.0 | 2.8 | 2.4 | 2.3 | 15.8 |
| 1958 | 2.5 | 2.9 | 3.5 | 2.8 | 2.7 | 2.4 | 16.8 |
| 1959 | 3.8 | 3.1 | 3.4 | 4.1 | 2.8 | 2.7 | 19.9 |
| 1960 | 4.1 | 3.1 | 3.3 | 3.4 | 2.6 | 3.0 | 19.5 |
| 1961 | 2.7 | 3.5 | 3.0 | 2.7 | 2.8 | 2.6 | 17.3 |
| 1962 | 3.0 | 3.3 | 3.3 | 2.8 | 2.6 | 2.5 | 17.5 |
| 1963 | 3.2 | 2.9 | 3.3 | 3.3 | 2.8 | 2.3 | 17.8 |
| 1964 | 2.6 | 3.4 | 3.2 | 2.9 | 2.8 | 2.2 | 17.1 |
| 1965 | 2.8 | 3.5 | 3.2 | 3.1 | 2.7 | 2.6 | 17.9 |
| 1966 | 2.9 | 3.3 | 3.0 | 3.0 | 2.2 | 2.7 | 17.1 |
| 1967 | 3.0 | 3.2 | 3.8 | 2.8 | 3.0 | 2.2 | 18.0 |
| 1968 | 3.0 | 3.4 | 3.2 | 3.2 | 3.4 | 2.7 | 18.9 |
| 1969 | 3.0 | 3.6 | 3.2 | 3.4 | 2.4 | 2.3 | 17.9 |
| 1970 | 3.5 | 3.2 | 3.7 | 3.5 | 2.6 | 2.3 | 18.9 |
| 1971 | 2.8 | 3.5 | 3.0 | 3.2 | 3.1 | 2.8 | 18.4 |
| 1972 | 3.3 | 3.5 | 3.5 | 3.7 | 3.0 | 2.5 | 19.5 |
| 1973 | 3.8 | 3.3 | 4.1 | 3.1 | 2.8 | 2.6 | 19.7 |
| 1974 | 2.7 | 3.3 | 3.3 | 2.7 | 3.0 | 2.4 | 17.4 |
| Среднее за 1950–1974 | 3.1 | 3.1 | 3.2 | 3.2 | 2.6 | 2.5 | 17.7 |

Таблица 40

Эффективное излучение (в ккал./см$^2$·мес.) поверхности воды оз. Лача

| Год | V | V1 | VII | VIII | 1X | X | Σ V–X |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1950 | 3.0 | 2.9 | 3.5 | 3.2 | 2.4 | 2.5 | 17.5 |
| 1951 | 3.0 | 2.7 | 3.0 | 3.0 | 2.5 | 2.4 | 16.4 |
| 1952 | 2.3 | 2.5 | 2.6 | 2.9 | 2.1 | 2.5 | 14.9 |
| 1953 | 2.6 | 2.4 | 2.8 | 2.8 | 2.6 | 2.7 | 15.9 |
| 1954 | 2.7 | 2.6 | 2.8 | 2.7 | 2.5 | 2.2 | 15.5 |
| 1955 | 2.3 | 2.5 | 3.1 | 3.5 | 2.4 | 2.4 | 15.3 |
| 1956 | 2.5 | 2.8 | 2.9 | 2.4 | 2.5 | 2.7 | 15.8 |
| 1957 | 2.4 | 2.7 | 2.7 | 2.4 | 2.3 | 2.0 | 14.5 |
| 1958 | 2.1 | 2.6 | 3.1 | 2.8 | 2.5 | 2.2 | 15.3 |
| 1959 | 3.1 | 2.8 | 3.1 | 3.4 | 2.5 | 2.6 | 17.5 |
| 1960 | 3.4 | 2.7 | 2.8 | 3.0 | 2.2 | 3.0 | 17.1 |
| 1961 | 2.2 | 2.9 | 2.6 | 2.2 | 2.5 | 2.2 | 14.6 |
| 1962 | 2.4 | 2.7 | 2.7 | 2.6 | 2.3 | 2.5 | 15.2 |
| 1963 | 2.7 | 2.8 | 2.7 | 2.8 | 2.7 | 2.4 | 16.1 |
| 1964 | 2.2 | 3.0 | 3.0 | 2.6 | 2.4 | 2.2 | 15.4 |
| 1965 | 3.2 | 3.0 | 2.8 | 2.8 | 2.4 | 2.4 | 16.6 |
| 1966 | 2.4 | 3.1 | 2.8 | 2.6 | 2.2 | 2.7 | 15.8 |
| 1967 | 3.0 | 3.1 | 3.4 | 2.7 | 2.6 | 2.2 | 17.0 |
| 1968 | 2.5 | 2.9 | 2.9 | 2.6 | 2.8 | 2.7 | 16.4 |
| 1969 | 2.5 | 3.3 | 2.9 | 3.2 | 2.3 | 2.1 | 16.2 |
| 1970 | 3.3 | 3.3 | 3.3 | 3.1 | 2.1 | 2.0 | 17.1 |
| 1971 | 2.8 | 3.2 | 3.2 | 2.9 | 3.0 | 2.7 | 17.8 |
| 1972 | 2.7 | 3.0 | 3.2 | 2.8 | 2.7 | 2.2 | 16.6 |
| 1973 | 3.6 | 3.0 | 4.0 | 3.0 | 2.8 | 2.5 | 18.9 |
| 1974 | 2.5 | 3.0 | 3.0 | 2.6 | 2.7 | 2.3 | 16.1 |
| Среднее за 1950–1974 | 2.7 | 2.9 | 3.0 | 2.9 | 2.5 | 2.4 | 16.4 |

Таблица 41

Эффективное излучение (в ккал./см$^2$·мес.) и разность температур вода-воздух (°С) озер за 1950-1974 гг.

| | V | VI | VII | VIII | IX | X | Σ V-X |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | $E_0$ | | | |
| Кубенское | 5.6 | 5.1 | 4.9 | 5.1 | 5.1 | 5.4 | 31.2 |
| Воже | 5.6 | 5.0 | 4.9 | 5.0 | 5.1 | 5.4 | 31.0 |
| Лача | 5.5 | 5.2 | 5.1 | 5.0 | 5.1 | 5.4 | 31.3 |
| | | | | $E_n$ | | | |
| Кубенское | 3.4 | 3.2 | 3.1 | 3.1 | 2.9 | 2.7 | 18.4 |
| Воже | 3.3 | 3.1 | 3.0 | 3.0 | 2.8 | 2.6 | 17.8 |
| Лача | 3.1 | 2.9 | 3.0 | 2.9 | 2.6 | 2.6 | 17.1 |
| | | | | $E_{эф}$ | | | |
| Кубенское | 3.0 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 2.8 | 2.6 | 17.7 |
| Воже | 3.2 | 3.1 | 3.1 | 3.0 | 2.6 | 2.4 | 17.4 |
| Лача | 2.8 | 3.0 | 3.0 | 2.7 | 2.4 | 2.4 | 16.3 |
| | | | | $\Delta T$ | | | |
| Кубенское | -0.3 | 1.2 | 2.1 | 1.8 | 1.2 | 0.8 | |
| Воже | 0.4 | 2.1 | 2.4 | 1.8 | 1.3 | 0.8 | |
| Лача | -0.6 | 1.7 | 2.3 | 1.3 | 0.8 | 0.6 | |
| | | | | $E_n/E_0$ | | | |
| Кубенское | 61 | 63 | 63 | 61 | 57 | 50 | 59 |
| Воже | 59 | 62 | 61 | 60 | 55 | 48 | 57 |
| Лача | 56 | 56 | 59 | 58 | 51 | 48 | 55 |
| | | | | $E_{эф}/E_0$ | | | |
| Кубенское | 54 | 61 | 63 | 61 | 55 | 48 | 57 |
| Воже | 57 | 62 | 63 | 60 | 51 | 44 | 56 |
| Лача | 51 | 60 | 59 | 54 | 47 | 44 | 52 |

Таблица 42

Средние месячные и экстремальные величины эффективного излучения (в ккал/см$^2$·мес.) озер за 1950–1974 гг. при трех типах циркуляции

| | У | У1 | УII | УIII | 1Х | Х | Σ У–Х |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Оз. Воже | | | |
| W | 2.5 | 3.1 | – | 2.8 | 2.6 | 1.9 | |
| C | 3.1 | 2.9 | 3.0 | 2.9 | 2.7 | 2.5 | |
| E | 3.2 | 3.2 | 3.4 | 3.3 | 2.8 | 2.5 | |
| Среднее за 1950–1974 гг. | 3.1 | 3.1 | 3.2 | 3.2 | 2.6 | 2.5 | 17.7 |
| Максимум | 4.1 | 3.6 | 4.1 | 4.1 | 3.4 | 3.0 | 19.7 |
| Год | 1960 | 1969 | 1973 | 1959 | 1968 | 1960 | 1973 |
| Индекс | E(C)→E | C+E→C+E | E(C)→E(W) | E→E+C | E(C)→E+C | E(CW)→→ECW | E(C) |
| Минимум | 2.5 | 2.6 | 2.8 | 2.6 | 2.1 | 2.0 | 15.7 |
| Год | 1958 | 1955 | 1953 | 1953, 1956 | 1952 | 1954 | 1951 |
| Индекс | E(C)→W+E | W→W+C | E(C)→→WCE | WCE→E+W | W(E)→W+E | W→W(C) | E+W |
| Амплитуда | 1.6 | 1.0 | 1.3 | 1.5 | 1.3 | 1.0 | 4.0 |
| | | | | Оз. Лача | | | |
| W | 2.3 | 2.8 | – | 2.5 | 2.4 | 2.0 | |
| C | 3.0 | 2.8 | 2.9 | 2.6 | 2.5 | 2.4 | |
| E | 2.8 | 2.9 | 3.1 | 2.9 | 2.6 | 2.3 | |
| Среднее за 1950–1974 гг. | 2.7 | 2.9 | 3.0 | 2.9 | 2.5 | 2.4 | 16.4 |
| Максимум | 3.6 | 3.3 | 4.0 | 3.5 | 3.0 | 3.0 | 18.9 |
| Год | 1973 | 1969, 1970 | 1973 | 1955 | 1971 | 1960 | 1973 |
| Индекс | E(W)→E | C+E→C+E, E(C)→E+C | E(C)→→E(CW) | E+C→E(C) | E→E(WC) | E(WC)→→EWC | E(C) |
| Минимум | 2.1 | 2.5 | 2.6 | 2.2 | 2.1 | 2.0 | 14.5 |
| Год | 1958 | 1955 | 1961 | 1961 | 1952 | 1970 | 1957 |
| Индекс | E(C)→W+E | W→W+C | E+W→→E(W) | E(W)→→W(E) | W(E)→→W+E | E(C)+E(C) | E+C |
| Амплитуда | 1.5 | 0.8 | 1.4 | 1.3 | 0.9 | 1.0 | 4.4 |

Таблица 43

Месячные суммы эффективного излучения (в ккал./см$^2$)

| | V | VI | VII | VIII | IX | X |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Озеро* | 3.0 | 3.1 | 3.1 | 2.9 | 2.6 | 2.4 |
| Суша ($\varphi = 60^o$) | 3.7 | 3.7 | 3.6 | 3.0 | 2.4 | 1.8 |
| Каргополь | 3.2 | 3.3 | 3.2 | 2.4 | 1.8 | 1.3 |

* Среднее из трех озер.

нагрева водной массы озер, сколько удерживает его на том уровне, который определяется условиями облачности ( $E_n$ и $E_{эф}$, табл. 41).

Небольшое различие между озерами по условиям облачности (Озеро Кубенское, ч. I, 1977, рис. 69) и столь незначительные разности температур вода-воздух способствуют тому, что и месячные величины эффективного излучения поверхности озер Кубенского, Воже и Лача ( $E_{эф}$, табл. 42) очень мало различаются между собой. Этот вывод хорошо согласуется с ранее опубликованным заключением (Барашкова и др., 1961) о том, что даже в случае существенных различий в абсолютной влажности и температуре воздуха месячные суммы эффективного излучения, зафиксированные в разных пунктах при одинаковых $\Delta T$ и облачности, достаточно близки.

Так же как и у оз. Кубенского, максимально высокие величины эффективного излучения у исследуемых озер приходятся на те месяцы, когда в расчетном и предшествовавшем месяце преобладала циркуляция типа E, минимальные - типы W и C (табл. 42).

Доля эффективного излучения поверхности озер по отношению к величине поглощенной радиации составляет в среднем за сезон 35%, причем в мае-июле она почти не меняется (около 25%), в августе составляет уже 35-40%, в сентябре - 60-65%, в октябре - превышает поглощенную радиацию на 35-50%, т.е. происходит интенсивное охлаждение водной массы. Сравнением эффективного излучения поверхности озер со среднеширотными значениями эффективного излучения поверхности сущи (Барашкова и др., 1961) установлено, что в период нагревания эффективное излучение озер меньше эффективного излучения суши, в период охлаждения - выше (табл. 43).

Сезонная амплитуда эффективного излучения суши больше, чем водной поверхности, но разница в величинах месячных его сумм незначительна. Эффективное излучение водоемов отличается от эффективного излучения прилегающих районов суши вследствие различий в температуре поверхностей, различий в излучении атмосферы над ними и меньшего влияния облачности над водоемами

Таблица 44

Разность температур подстилающей поверхности и воздуха для оз. Лача (1) и ст. Каргополь (2)

| | V | V1 | VII | VIII | 1X | X |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -0.6 | 1.7 | 2.3 | 1.3 | 0.8 | 0.6 |
| 2 | 0.9 | 2.4 | 2.7 | 1.6 | 0.1 | -0.3 |

из-за большей температурной инерции водной массы. Но для изучаемого района первый из перечисленных параметров играет очень незначительную роль. Так, вычисленная разность между температурой суши по ст. Каргополь и температурой водной поверхности оз. Лача за июнь-август была равна нулю, в мае температура суши в среднем на 1° выше температуры поверхности воды, а в сентябре и октябре суша на 2° холоднее поверхности воды. Разности температур подстилающая поверхность-воздух для озера и суши также мало различаются между собой (табл. 44).

При сравнении эффективного излучения озер Кубенского, Воже и Лача с эффективным излучением Рыбинского водохранилища (табл. 45) обнаруживается, что в период нагревания величина его на Рыбинском водохранилище выше (0.6 и 0.4 ккал./см$^2$ в июне и июле соответственно), чем на изучаемых озерах, в период охлаждения - ниже (0.1 и 0.5 в сентябре и октябре). Можно предположить, что причина этого явления кроется в бо́льших размерах Рыбинского водохранилища, благодаря которым в первую половину сезона излучение атмосферы над ним меньше, а во вторую половину больше, чем над изучаемыми озерами. На подобную разницу в сезонном ходе эффективного излучения атмосферы над большими и малыми водоемами указывает Т.В. Кириллова (1970). Но при сравнении исследуемых нами озер с Ладожским и Онежским эта зависимость не обнаруживается.

Величины эффективного излучения поверхности озер Кубенского, Воже и Лача, рассчитанные по методу Т.В. Кирилловой, оказываются несколько меньшими, чем полученные другими методами (табл. 46, а также см.: Озеро Кубенское, ч. I, 1977, табл. 85).

Отсюда, видимо, следует, что формула, предложенная Т.В. Кирилловой, более репрезентативна для неглубоких озер умеренной зоны, чем все другие методы, которые дают завышенные величины, т.е. равные или большие, чем эффективное излучение суши (см. табл. 43).

Радиационный баланс. По рассчитанным величинам поглощенной радиации и эффективного излучения получен радиационный баланс (табл. 47 и 48). Сезонный средний многолетний максимум радиационного баланса приходится

Таблица 45

Эффективное излучение (в ккал./см$^2$·мес.) поверхности крупных озер Северо-Запада европейской части СССР

| Водоем | V | V1 | VII | VIII | 1X | X | $\Sigma_{V-X}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ладожское озеро[1] | 1.5 | 1.4 | 1.7 | 2.4 | 2.6 | 2.4 | 12.0 |
| Онежское озеро[2] | 2.5 | 2.5 | 2.7 | 3.0 | 2.7 | 2.7 | 16.1 |
| Рыбинское водохр.[3] | 2.8 | 3.9 | 3.6 | 3.2 | 2.8 | 1.8 | 18.1 |
| Оз. Кубенское[4] | 3.0 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 2.8 | 2.6 | 17.7 |
| Оз. Воже[4] | 3.2 | 3.1 | 3.1 | 3.0 | 2.6 | 2.4 | 17.4 |
| Оз. Лача[4] | 2.8 | 3.0 | 3.0 | 2.7 | 2.4 | 2.4 | 16.3 |

Примечание. 1 – по данным Н.П. Смирновой (расчет за период 1957-1962); 2 – по данным К.А. Мокиевского (расчет за период 1948-1967); 3 – по данным Е.А. Зайцевой (наблюденные за период 1959-1966); 4 – по данным Э.М. Гореловой (расчет за период 1950-1974).

Таблица 46

Эффективное излучение (в ккал./см$^2$·мес.) озер Воже (числитель) и Лача (знаменатель), рассчитанное различными методами

| Метод | V | V1 | VII | VIII | 1X | X |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Кириллова (1970) | 3.2/2.8 | 3.1/3.0 | 3.1/3.0 | 3.0/2.7 | 2.6/2.4 | 2.4/2.4 |
| Ефимова (1961) | 3.0/2.6 | 3.5/3.2 | 3.6/3.3 | 3.2/2.9 | 2.6/2.4 | 2.3/2.3 |
| Берлянд (1952) | 3.1/2.8 | 3.4/3.2 | 3.5/3.3 | 3.3/3.0 | 2.8/2.8 | 2.7/2.6 |
| Ричардсон (1929) | 3.0/2.7 | 3.6/3.5 | 3.9/3.7 | 3.5/3.4 | 2.9/2.9 | 2.7/2.6 |
| ГГО (номограмма для океанов)(1974) | 3.4/2.7 | 3.7/3.2 | 3.8/3.3 | 3.4/3.1 | 2.7/2.3 | 2.1/2.1 |

Таблица 47

Радиационный баланс оз. Воже (ккал./см$^2$·мес.)

| Год | V | VI | VII | VIII | IX | X | $\Sigma_{V-X}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1950 | 7.5 | 10.1 | 8.1 | 5.4 | 1.2 | -0.8 | 31.5 |
| 1951 | 6.4 | 9.5 | 8.5 | 6.6 | 1.8 | -0.8 | 31.7 |
| 1952 | 6.9 | 9.4 | 8.4 | 4.8 | 1.1 | -1.0 | 29.6 |
| 1953 | 7.5 | 10.3 | 9.0 | 5.0 | 1.1 | -0.7 | 32.1 |
| 1954 | 7.5 | 9.3 | 8.7 | 5.0 | 1.4 | -0.6 | 31.3 |
| 1955 | 7.7 | 8.2 | 8.8 | 5.8 | 1.4 | -0.6 | 31.3 |
| 1956 | 8.1 | 10.2 | 7.8 | 4.4 | 1.3 | -0.8 | 31.0 |
| 1957 | 7.7 | 8.8 | 9.8 | 5.3 | 1.4 | -0.6 | 32.4 |
| 1958 | 7.1 | 9.4 | 9.0 | 5.3 | 1.2 | -0.7 | 31.3 |
| 1959 | 8.4 | 9.5 | 9.5 | 6.0 | 1.0 | -1.0 | 33.4 |
| 1960 | 8.8 | 9.3 | 9.6 | 5.3 | 1.3 | -0.8 | 33.5 |
| 1961 | 8.0 | 10.8 | 8.8 | 4.9 | 1.7 | -0.8 | 33.4 |
| 1962 | 7.1 | 9.0 | 8.7 | 4.9 | 1.7 | -0.5 | 30.9 |
| 1963 | 8.7 | 9.0 | 8.9 | 6.1 | 2.3 | -0.7 | 34.3 |
| 1964 | 7.9 | 10.5 | 9.0 | 5.2 | 1.5 | -0.5 | 33.6 |
| 1965 | 8.1 | 9.9 | 8.6 | 5.6 | 1.4 | -0.8 | 32.8 |
| 1966 | 8.5 | 10.5 | 8.4 | 4.6 | 1.2 | -0.6 | 32.6 |
| 1967 | 8.3 | 9.6 | 9.5 | 5.4 | 1.6 | -0.5 | 33.9 |
| 1968 | 6.9 | 9.4 | 7.8 | 5.0 | 1.2 | -1.0 | 29.3 |
| 1969 | 8.3 | 9.4 | 8.6 | 6.2 | 1.2 | -0.7 | 33.0 |
| 1970 | 8.3 | 10.5 | 9.2 | 5.3 | 1.2 | -0.7 | 33.8 |
| 1971 | 7.9 | 9.3 | 8.8 | 5.4 | 1.7 | -0.8 | 32.3 |
| 1972 | 8.3 | 10.4 | 10.1 | 6.4 | 1.5 | -0.7 | 36.0 |
| 1973 | 8.6 | 10.0 | 9.9 | 6.0 | 1.2 | -0.7 | 35.0 |
| 1974 | 7.8 | 10.6 | 9.2 | 5.0 | 2.0 | -0.7 | 33.9 |
| Среднее за 1950–1974 | 7.8 | 9.7 | 9.0 | 5.3 | 1.4 | -0.8 | 32.4 |

Таблица 48

Радиационный баланс оз. Лача (ккал./см$^2$·мес.)

| Год | V | VI | VII | VIII | IX | X | $\Sigma_{V-X}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1950 | 7.2 | 9.9 | 8.2 | 5.5 | 1.4 | -0.8 | 31.4 |
| 1951 | 6.6 | 10.1 | 8.4 | 6.5 | 1.6 | -0.8 | 32.4 |
| 1952 | 6.7 | 8.8 | 8.0 | 4.7 | 1.2 | -1.1 | 28.3 |
| 1953 | 7.1 | 9.4 | 8.5 | 4.4 | 1.6 | -0.9 | 30.1 |
| 1954 | 8.4 | 9.0 | 8.9 | 4.7 | 1.2 | -0.8 | 31.4 |
| 1955 | 7.2 | 8.2 | 8.6 | 5.5 | 1.4 | -0.8 | 30.3 |
| 1956 | 7.8 | 9.6 | 7.0 | 3.8 | 0.7 | -1.1 | 28.0 |
| 1957 | 7.5 | 8.7 | 9.0 | 5.0 | 0.9 | -0.6 | 30.5 |
| 1958 | 6.6 | 8.7 | 8.7 | 4.7 | 0.9 | -0.8 | 28.8 |
| 1959 | 8.1 | 8.8 | 8.6 | 5.4 | 0.8 | -1.0 | 30.7 |
| 1960 | 7.9 | 8.5 | 8.5 | 5.4 | 1.0 | -1.1 | 30.2 |
| 1961 | 7.4 | 9.3 | 8.0 | 4.3 | 1.3 | -0.6 | 29.7 |
| 1962 | 6.7 | 8.0 | 7.7 | 4.1 | 1.3 | -0.9 | 26.9 |
| 1963 | 7.6 | 8.2 | 8.3 | 5.0 | 1.6 | -0.8 | 29.9 |
| 1964 | 7.3 | 8.8 | 8.4 | 4.7 | 1.4 | -0.8 | 29.8 |
| 1965 | 7.3 | 9.4 | 7.8 | 5.1 | 1.3 | -0.8 | 30.1 |
| 1966 | 7.9 | 9.5 | 7.8 | 4.7 | 0.9 | -0.9 | 29.9 |
| 1967 | 7.4 | 8.9 | 8.6 | 5.3 | 1.2 | -0.8 | 30.6 |
| 1968 | 6.8 | 8.7 | 7.7 | 4.8 | 1.3 | -1.1 | 28.2 |
| 1969 | 7.2 | 8.7 | 8.1 | 5.6 | 1.0 | -0.7 | 29.9 |
| 1970 | 7.7 | 9.7 | 8.7 | 5.1 | 1.0 | -0.7 | 31.[illegible] |
| 1971 | 7.9 | 8.8 | 8.5 | 5.0 | 1.5 | -0.9 | 30.8 |
| 1972 | 8.0 | 10.1 | 10.2 | 6.2 | 1.2 | -0.8 | 34.9 |
| 1973 | 8.1 | 9.4 | 9.8 | 5.2 | 0.8 | -0.7 | 32.4 |
| 1974 | 7.2 | 10.1 | 9.3 | 4.1 | 2.0 | -0.7 | 32.0 |
| Среднее за 1950-1974 | 7.5 | 9.1 | 8.5 | 5.0 | 1.2 | -0.8 | 30.6 |

Таблица 49

Средние месячные и экстремальные величины радиационного баланса (в ккал./см$^2$·мес.) озер за 1950–1974 гг. при трех типах циркуляции

| | V | V1 | VII | VIII | 1X | X | $\Sigma_{V-X}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Оз. Воже | | | | |
| W | 7.7 | 9.2 | - | 4.8 | 1.3 | -0.6 | |
| C | 7.2 | 8.9 | 8.3 | 5.2 | 1.2 | -0.8 | |
| E | 8.2 | 9.9 | 9.3 | 5.7 | 1.7 | -0.7 | |
| Среднее за 1950–1974 | 7.8 | 9.7 | 9.0 | 5.3 | 1.4 | -0.8 | 32.4 |
| Максимум / Год | 8.8 / 1960 | 10.8 / 1961 | 10.1 / 1972 | 6.6 / 1951 | 2.3 / 1963 | -0.5 / 1962, 1967 | 36.0 / 1972 |
| Индекс | E | E+W | E | E | E(CW) | W(CE),W(E) | E |
| Минимум / Год | 6.4 / 1951 | 8.2 / 1955 | 7.8 / 1956,1968 | 4.4 / 1956 | 1.0 / 1959 | -1.0 / 1952,1959,1968 | 29.3 / 1968 |
| Индекс | C | W+C | C,C(W) | W | C+W | E+C, C, W+C | E+C |
| Амплитуда | 2.4 | 2.4 | 2.3 | 2.2 | 1.3 | 0.5 | 6.7 |

Оз. Лача

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| W | 7.2 | 8.8 | – | 4.2 | 1.3 | -0.8 | |
| C | 7.2 | 8.4 | 8.0 | 4.7 | 0.9 | -0.8 | |
| E | 7.6 | 9.5 | 8.8 | 5.4 | 1.4 | -0.8 | |
| Среднее за 1950–1974 | 7.5 | 9.1 | 8.5 | 5.0 | 1.2 | -0.8 | 30.6 |
| Максимум / Год | 8.4 / 1954 | 10.1 / 1951,1972, 1974 | 10.2 / 1972 | 6.5 / 1951 | 2.0 / 1974 | -0.6 / 1957, 1961 | 34.9 / 1972 |
| Индекс | E+C | E,E,E(W) | E | E | E(W) | W, E+W | E |
| Минимум / Год | 6.6 / 1951, 1958 | 8.0 / 1962 | 7.0 / 1956 | 3.8 / 1956 | 0.7 / 1956 | -1.1 / 1952,1956,1968 | 26.9 / 1962 |
| Индекс | C, W+E | W(C) | C | W | C+W | E+C, W+C | E+W |
| Амплитуда | 1.8 | 2.1 | 3.2 | 2.7 | 1.3 | 0.5 | 8.0 |

на июнь месяц; в октябре величины его отрицательны на всех трех озерах, т.е. переход радиационного баланса через нуль происходит, видимо, в конце сентября. Отношение месячных величин радиационного баланса к месячным величинам суммарной радиации (за месяцы с положительным балансом) меняется от 0.65–0.70 в июне-июле до 0.30–0.35 в сентябре. В среднем за сезон это отношение равно 0.60. Сумма радиационного баланса за период нагревания (май-июль) составляет около 80% суммы за весь открытый период. Экстремальные величины радиационного баланса и средние месячные за 1950–1974 гг. для каждого из трех типов циркуляции (табл. 49) обнаруживают те же закономерности, что свойственны и суммарной радиации: циркуляционным условиям типа Е соответствуют максимальные величины радиационного баланса, типам W и C – минимальные, причем средние месячные величины при типе W несколько ниже, чем при типе C, что наблюдалось и для суммарной радиации.

Оценка тесноты связи между знаком отклонения величины радиационного баланса от средней многолетней и циркуляционными условиями была сделана тем же способом, что и для суммарной радиации. Полученные показатели (0.80 – для мая-августа и 0.79 – для мая-октября) свидетельствуют об устойчивой положительной корреляции между величинами радиационного баланса и циркуляционными условиями.

Радиационный баланс оз. Лача был также рассчитан по формуле Т.В. Кирилловой (1970):

$$B = B' + Q'(A' - A) + 4\sigma T^3(T' - T),$$

где $B'$, $Q'$, $A'$ и $T'$ – радиационный баланс, суммарная радиация, альбедо и температура поверхности, измеренные на суше; A и T – альбедо и температура поверхности воды. При расчете этим методом были использованы данные по ст. Каргополь. Сравнение величин радиационного баланса, полученных двумя расчетными методами (табл. 50), свидетельствует о том, что второй метод дает несколько большие величины (на 9% для сезонной суммы). При этом следует помнить, что поскольку расчет баланса по формуле Т.В. Кирилловой не учитывает влияния облачности, то, как указывает сам автор метода (Кириллова, 1970), в этом случае должна наблюдаться тенденция к завышению рассчитанных величин по сравнению с измеренными в среднем на 12%.

Разность в величинах радиационного баланса озер Кубенского, Воже и Лача (табл. 51) составляет 0.3–0.5 ккал./см$^2$·мес. для периода май-август, 0.2–0.4 ккал./см$^2$·мес. для сентября-октября и 2.0–2.5 ккал./см$^2$ – в целом за открытый период, т.е. наблюдается увеличение радиационного баланса с севера на юг по мере роста величины суммарной (а следовательно, и поглощенной) радиации. В табл. 51 приведены сведения о балансе других озер Северо-Запада европейской части СССР.

Таблица 50

Радиационный баланс (в ккал./см$^2$·мес.) оз. Лача, рассчитанный по формуле $B = B_к + B_д$ (1) и формуле Т.В. Кирилловой (2)

| Метод | V | V1 | VII | VIII | 1X | X | $\Sigma_{V-X}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 7.5 | 9.1 | 8.5 | 5.0 | 1.2 | -0.8 | 30.6 |
| 2 | 7.7 | 9.1 | 8.7 | 5.7 | 1.6 | -0.2 | 32.6 |

Таблица 51

Радиационный баланс (в ккал./см$^2$·мес.) крупных озер Северо-Запада европейской части СССР

| Водоем | V | V1 | VII | VIII | 1X | X | $\Sigma_{V-X}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Оз. Ладожское[1] | 10.0 | 12.0 | 11.4 | 6.4 | 2.4 | -0.5 | 41.7 |
| Оз. Онежское[2] | 8.9 | 10.7 | 10.2 | 5.5 | 1.9 | -0.9 | 36.3 |
| Рыбинское водохранилище[3] | (8.4) | (10.4) | 9.5 | 6.6 | 2.6 | 0.3 | 37.8 |
| Оз. Кубенское[4] | 8.2 | 10.2 | 9.6 | 5.9 | 1.8 | -0.6 | 35.0 |
| Оз. Воже[4] | 7.8 | 9.7 | 9.0 | 5.3 | 1.4 | -0.8 | 32.4 |
| Оз. Лача[4] | 7.5 | 9.1 | 8.5 | 5.0 | 1.2 | -0.8 | 30.6 |

Примечание. 1-4 - обозначения те же, что и в табл. 45. В скобках проставлены величины, осредненные за меньшее число лет.

Сравнение приведенных в табл. 51 величин между собой нельзя признать полностью правомерным, так как все они получены разными методами и за неодинаковый период времени. По этим данным можно сделать лишь приближенные выводы. В мае-июле, т.е. в период нагревания, с увеличением размеров водоема (в первую очередь его глубины) радиационный баланс устойчиво возрастает, в августе эта тенденция несколько нарушается; а в сентябре-октябре какой-либо определенной зависимости между глубиной водоема и величиной радиационного баланса на основании данных, приведен-

ных в табл. 51, установить невозможно. При этом, видимо, следует учесть, что при меньших абсолютных значениях величины радиационного баланса в сентябре–октябре все методические и временные несоответствия еще более возрастают. По данным Т.В. Кирилловой (1970), в сентябре–октябре с увеличением глубины водоема радиационный баланс должен уменьшаться.

Сумма радиационного баланса за открытый период для озер Северо-Запада меняется от 41.7 ккал./см$^2$ (Ладожское озеро) до 30.6 ккал./см$^2$ (Лача). Величины радиационного баланса в мае-августе больше радиационного баланса суши (рис. 28 и табл. 52), а в сентябре–октябре – меньше. Таким образом, переход через нуль радиационного баланса поверхности озер происходит раньше, чем суши, что объясняется большим эффективным излучением поверхности водоемов. Максимальное превышение радиационного баланса водоемов над радиационным балансом суши приходится на июнь–июль. Для более глубоких водоемов различия в радиационном балансе водоема и суши больше, чем для более мелких.

Отношение радиационного баланса к суммарной радиации в среднем за сезон для всех трех озер составляет около 0.6, причем в период нагревания водной массы озера (май-июль) оно больше 0.6 и очень мало меняется от месяца к месяцу (рис. 29), а начиная с августа месяца происходит резкое его уменьшение. Ход отношения радиационного баланса суши к суммарной радиации более монотонный, его средняя за сезон величина меньше и равна 0.5.

Таким образом, определяющая роль в формировании радиационного баланса озер Кубенского, Воже и Лача принадлежит величине поступающей суммарной радиации и режиму облачности. И то и другое, в свою очередь, зависит от циркуляционных условий и является их следствием. На рис. 30 показан ход изменения суммарной радиации, радиационного баланса и облачности (в отклонениях от средних величин за 1950–1974 гг.) на фоне циркуляционных характеристик. Отчетливо прослеживается зависимость радиационного режима и облачности от типа циркуляции каждого месяца, что особенно заметно на примере сравнения 1956 и 1972 гг. Преобладание в 1972 г. циркуляции типа Е обеспечивает пониженный облачный фон и высокие величины суммарной радиации и радиационного баланса. В июне 1956 г. преобладание циркуляции типа Е обеспечило величину радиационного баланса значительно выше средней многолетней, но резкая смена типа циркуляции после июня месяца на типы W и C привела к тому, что облачный покров за этот период значительно превысил среднюю многолетнюю величину, а радиационные характеристики имели очень низкое значение.

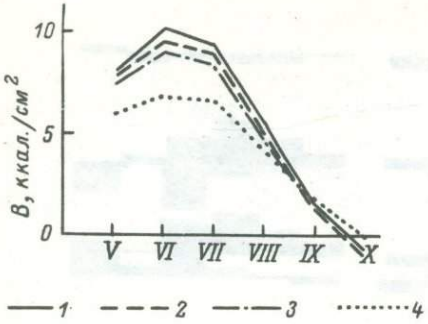



Рис. 28. Радиационный баланс озер Кубенского (1), Воже (2), Лача (3) и суши на ст. Каргополь (4).

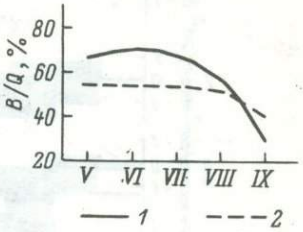



Рис. 29. Отношение радиационного баланса к суммарной радиации для оз. Лача (1) и для суши на ст. Каргополь (2).

Таблица 52

Отношение величины радиационного баланса поверхности озер к величине радиационного баланса суши

| Водоем | V | VI | VII | VIII | IX | X | $\Sigma_{V-X}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Оз. Ладожское | 1.52 | 1.46 | 1.46 | 1.18 | 1.09 | – | 1.37 |
| Оз. Онежское | 1.29 | 1.35 | 1.43 | 1.21 | 0.94 | – | 1.27 |
| Рыбинское водохр. | – | 1.26 | 1.20 | 1.19 | 1.06 | 0.92 | – |
| Оз. Лача* | 1.23 | 1.30 | 1.27 | 1.11 | 0.70 | – | 1.18 |

* Радиационный баланс суши – по ст. Каргополь.

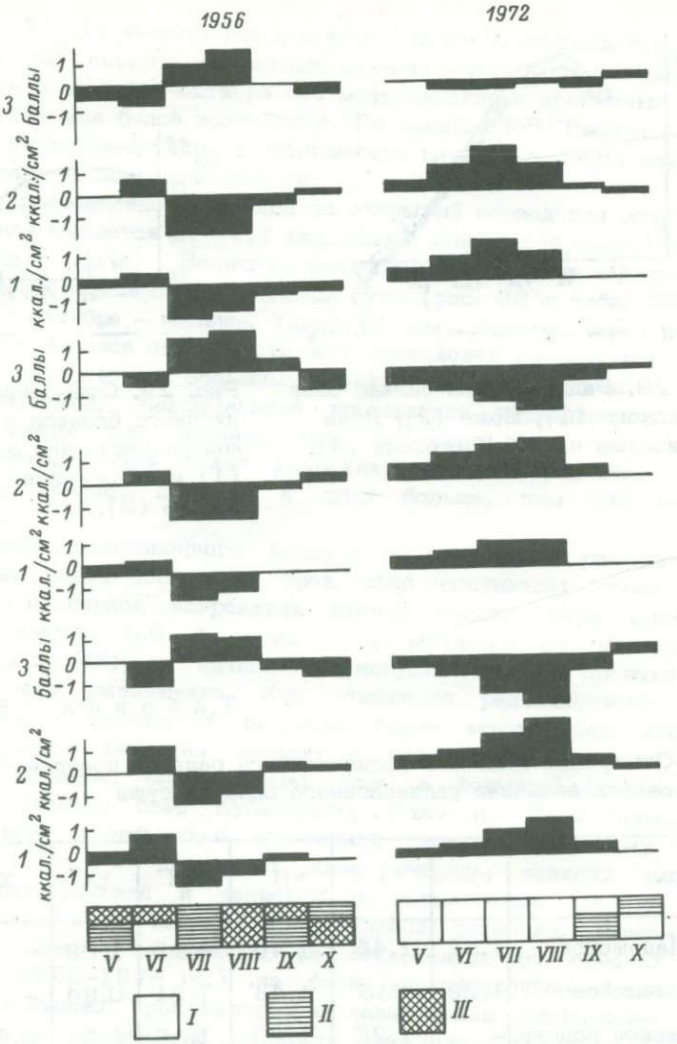



Рис. 30. Радиационный баланс (1), суммарная радиация (2), ка этого периода за годы работы экспедиции и в экстремальные ях от средней за 1950–1974 гг.

Тип циркуляции: I – E, II – C, III – W .

облачность (З) в открытый период и циркуляционная характеристи-
годы на озерах Кубенском (А), Воже (Б) и Лача (В) в отклонени-

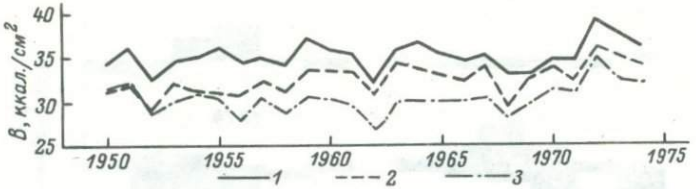



Рис. 31. Многолетний ход радиационного баланса на озерах Кубенском (1), Воже (2), Лача (3).

Многолетний ход радиационного баланса за период 1950-1974 гг. показан на рис. 31. Он свидетельствует о том, что изучаемый период отличается значительными межгодовыми контрастами в радиационных характеристиках, связанных с чередованием двух меридиональных типов циркуляции - Е и С. Максимальная сезонная амплитуда радиационного баланса достигает 6.6 ккал./см$^2$ для оз. Кубенского, 3.0 ккал./см$^2$ - для оз. Воже и 3.8 ккал./см$^2$ - для оз. Лача. Уменьшение амплитуды с юга на север связано с тем, что степень уменьшения суммарной радиации превышает степень уменьшения в том же направлении величины эффективного излучения.

Все вышеизложенные расчеты радиационных характеристик и установленные зависимости их с соответствующими типами циркуляции свидетельствуют о том, что для изучаемого района циркуляция типа Е обеспечивает положительные отклонения в приходе суммарной радиации и радиационного баланса от среднего многолетнего, а типы циркуляции W и С - отрицательные. Отсюда напрашивается вывод, что поскольку изучаемый период имеет циркуляционный индекс Е(С), то средние многолетние величины суммарной радиации для территории, занятой озерами Кубенским, Воже и Лача, и величины радиационного баланса для этих озер за 1950-1974 гг. имеют более высокое значение, чем это было бы в случае преобладания типов циркуляции W и С. При этом уменьшение участия циркуляции типа Е способствовало бы более монотонному ходу радиационных характеристик с меньшими межгодовыми амплитудами (что, видимо, и наблюдалось с конца XIX в. и до середины 20-х годов XX в., когда преобладала циркуляция типа W, и что по прогнозам ожидается в ближайшее десятилетие). Годы работы экспедиции на озерах Кубенском, Воже и Лача (1972-1974 гг.) оказались годами со значительными положительными аномалиями радиационных характеристик.

## 4.2. Потери тепла на испарение и турбулентный обмен с атмосферой

Озера Лача и Воже с теплобалансовой точки зрения изучаются впервые. Элементы теплового режима и их роль в тепловом балансе озер долгое время оставались неизвестными.

Затраты тепла на испарение и турбулентный обмен с атмосферой определены расчетным путем по материалам станций Гидрометслужбы, поскольку специальных исследований в этих направлениях в годы работы Вологодско-Архангельской экспедиции почти не проводилось, за исключением нескольких гидрологических съемок озера и работы в течение 50 суток (июль-август) стационара на острове в восточной части оз. Воже, в устье р. Вожеги, где выполнялся комплекс гидрологических и метеорологических наблюдений над элементами приводного слоя.

На стационаре наблюдения над температурой воздуха и поверхности воды, влажностью, скоростью и направлением ветра, облачностью, давлением проводились ежедневно в метеорологические сроки (через 3 часа), а каждого 5, 10, 15, 20, 25, 30 числа выполнялись учащенные (через 1.5 часа) наблюдения. Работали самописцы температуры и влажности воздуха с суточными механизмами, а также электроконтактный анемометр на высоте 3 м.

Материалы временного стационара позволили проследить закономерности изменения элементов приводного слоя в течение суток при различных метеоусловиях и интенсивность процессов обмена теплом и влагой в прибрежной зоне оз. Воже в летний период. Июль и август 1973 г. в целом по термическим условиям были близки к средним многолетним. По данным самописцев, наблюдался четко выраженный суточный ход температуры и влажности воздуха с амплитудами $7^{\circ}.0$ и 35% соответственно за период 5-31 июля, $7^{\circ}.3$ и 32% за 1-18 августа. Кривые изменения температуры и относительной влажности воздуха в дневные часы несколько асимметричны относительно полудня (рис. 32). Максимум температуры воздуха днем приходился на 16-17 часов, минимум наблюдался около 5 часов утра. Температура и влажность воздуха в июле и августе не имели существенных различий.

Рассчитанные на каждый срок величины потерь тепла на испарение (LE) и турбулентный теплообмен с атмосферой (P) по формулам диффузионного метода позволили выявить закономерности и диапазон их изменения в период наибольшего нагрева поверхности озера и приводного слоя. В июле и августе потери тепла с поверхности на испарение и турбулентный обмен с атмосферой существенно различались по интенсивности. Величины LE в первой половине августа были значительно меньше, чем в июле, а их колебания сравнительно больше, чем колебания P в течение всего периода наблюдений (рис. 33). Максимальных значений - более 0.4 кал./см$^2$ х х мин. - величины LE достигали 7, 8, 13 и 27 июля, а в августе они были меньше 0.3 кал./см$^2$·мин. Суточная величина P в течение

Суточный ход потерь тепла с поверхности оз. Воже, рассчитанных

| Элементы | Июль (5-31) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 00 час. | 03 час. | 06 час. | 09 час. | 12 час. | 15 час. | 18 час. |
| $T_п$, °C | 19.9 | 20.1 | 18.8 | 19.6 | 20.2 | 21.1 | 21.2 |
| $T_a$, °C | 15.3 | 13.0 | 14.2 | 18.3 | 20.2 | 21.8 | 21.4 |
| $e_a$, мб | 12.3 | 11.6 | 11.0 | 11.7 | 11.5 | 11.4 | 11.7 |
| $V_1$, м/сек. | 2.7 | 3.1 | 3.3 | 4.0 | 4.5 | 4.4 | 4.0 |
| LE, кал./см$^2$·мин. | 0.191 | 0.240 | 0.230 | 0.289 | 0.357 | 0.389 | 0.351 |
| P, кал./см$^2$·мин. | 0.052 | 0.092 | 0.064 | 0.022 | 0.00 | -0.013 | -0.003 |

всего периода наблюдений (5 VII - 18 VIII) не превышала 0.1 кал./см$^2$·мин. В течение суток наибольшие потери тепла на испарение приходились на 15 час., наименьшие - на 21-24 час. (рис. 34). Турбулентный обмен с атмосферой в дневные часы был либо невелик, либо приток тепла был направлен к водной поверхности, в ночное время поверхность озера отдавала тепло в атмосферу, величина которого была в 3-5 раз меньше, чем LE (табл. 53).

К сожалению, короткий период наблюдений, проведенный в прибрежной зоне мелководного озера, дает представление о закономерностях и диапазоне колебания интенсивности процессов обмена теплом и влагой только в конкретных условиях и лишь в период максимального нагрева. В нашу же задачу входило определение затрат тепла на испарение и турбулентный обмен с атмосферой озер Лача и Воже за сравнительно большой период (1951-1973 гг.), для которого нет достаточного количества измерений элементов приводного слоя озер. Поэтому единственный путь определения LE и P озер Лача и Воже в настоящее время - это расчет их по данным Гидрометсети.

Элементы приводного слоя, определяющие потери тепла на испарение и турбулентный обмен с атмосферой озер, получены по данным опорных метеостанций с введением поправок к метеоэлементам. Поправки к температуре и абсолютной влажности воздуха метеостанций для расчета их значений на озере определены по методике ТУ (1969) при средней длине разгона воздушного потока, равной 18 км - для оз. Лача и 15 км - для оз. Воже. Длина разгона воздушного потока определена по средней многолетней повторяемости ветра на опорной метеостанции. За опорную для оз. Лача принята ст. Каргополь, для оз. Воже - ст. Чарозеро (табл. 54).

С введением поправок к показаниям температуры и абсолютной влажности воздуха на станциях Каргополь и Чарозеро были определены температура и абсолютная влажность воздуха над озерами Лача и Воже за цикл увлажненности (1951-1973 гг.).

Таблица 53

по наблюденным данным, летом 1973 г.

| | Август (1-18) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 21 час. | 00 час. | 03 час. | 06 час. | 09 час. | 12 час. | 15 час. | 18 час. | 21 час. |
| 20.8 | 18.7 | 19.4 | 18.2 | 18.5 | 19.4 | 20.1 | 20.1 | 19.7 |
| 18.2 | 15.0 | 13.8 | 13.8 | 18.2 | 20.8 | 22.0 | 20.8 | 17.4 |
| 13.0 | 14.2 | 13.7 | 13.0 | 14.6 | 15.2 | 15.9 | 16.1 | 15.6 |
| 2.5 | 2.0 | 2.3 | 2.7 | 2.8 | 3.0 | 3.3 | 2.6 | 2.6 |
| 0.189 | 0.099 | 0.132 | 0.139 | 0.122 | 0.142 | 0.163 | 0.125 | 0.109 |
| 0.027 | 0.031 | 0.054 | 0.050 | 0.004 | -0.018 | -0.026 | -0.008 | 0.022 |

Температура поверхности воды оз. Лача определена по показаниям в/п Нокола, а оз. Воже - по в/п Тордокса с введением месячных поправок за май-октябрь, рассчитанных А.И. Тихомировым на основании материалов экспедиционных исследований 1972-1974 гг. и немногочисленных данных рейдовых вертикалей (по одной на каждом озере), выполняемых Гидрометеослужбой.

Большая площадь и малая глубина озер Лача и Воже повышают их тепловую реакцию на условия погоды и делают закономерным преобладание равновесных условий стратификации в приводном слое. Об этом свидетельствуют средние за 1951-1973 гг. месячные разности температур ($T_o - T_2$) в приводном слое озер, не превышающие для средних условий 2.8° в июле на оз. Воже. Средние за IУ-Х1 1951-1973 гг. разности температур ($T_o - T_2$) и влажностей ($e_o - e_2$) в приводном слое озер Лача и Воже приведены в табл. 55. Сравнение этих разностей показывает, что интенсивность турбулентного теплообмена на этих озерах, определяемая разностью температур, значительно меньше потерь тепла на испарение, прямо пропорциональных разности влажностей во все месяцы периода открытой воды. Скорость ветра в расчетах принята по опорным станциям без приведения к высоте 2 м.

Расчеты потерь тепла на испарение (LE) и турбулентный теплообмен (P) произведены по гидрометеорологическим формулам А.П. Браславского и З.А. Викулиной (1954) с уточненным коэффициентом для испарения по методике Технических указаний ГГИ (1969):

$$P = 5.07n\,(T_o - T_2)\,(1 + 0.72\,V_2)\ \text{кал./см}^2\cdot\text{мес.};$$

$$E = 0.14n\,(e_c - e_2)\,(1 + 0.72\,V_2)\ \text{мм/мес.};$$

$$LE = 595 - 0.565\,T_o\ \text{кал./см}^2\ \text{на 10 мм испарения.}$$

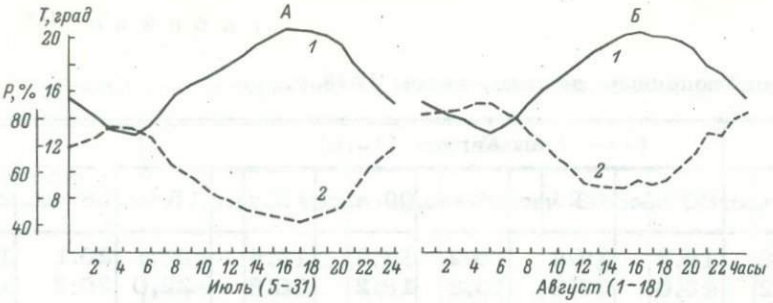



Рис. 32. Суточный ход температуры (1) и относительной влажности (2) воздуха в прибрежной зоне оз. Воже в июле (А) и августе (Б) 1973 г.

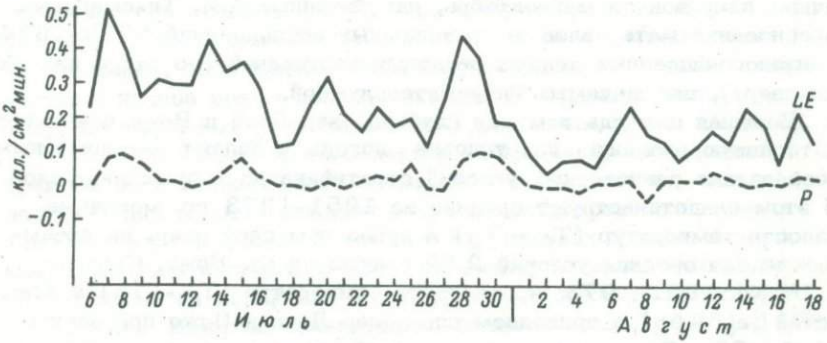



Рис. 33. Средние за сутки затраты тепла на испарение (LE) и турбулентный теплообмен с атмосферой (P) в прибрежной зоне оз. Воже в июле и августе 1973 г.

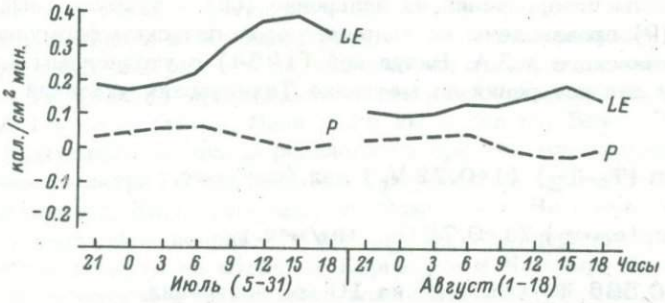



Рис. 34. Суточный ход затрат тепла на испарение (LE) и турбулентный теплообмен с атмосферой (P) на оз. Воже в июле и августе 1973 г.

Таблица 54

Поправки к показаниям станций Каргополь и Чарозеро, определенные по методике ТУ, для расчета температуры (1) и абсолютной влажности (2) воздуха на озерах Лача (числитель) и Воже (знаменатель)

| | 1У | У | У1 | УII | УIII | 1Х | Х | Х1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1, град. | 0.0 / -0.4 | +0.3 / +0.1 | +0.5 / +0.3 | +0.1 / +0.6 | +0.6 / +0.7 | +0.7 / +0.7 | +0.8 / +0.5 | +0.5 / +0.6 |
| 2, мб. | +0.2 / -0.1 | +0.8 / +0.5 | +0.9 / +0.9 | +0.5 / +0.8 | +0.4 / +0.5 | +0.1 / +0.2 | +0.1 / 0.0 | -0.1 / -0.1 |

Таблица 55

Средние месячные разности температур ($T_o-T_2$) и влажностей ($e_o-e_2$) в приводном слое озер Лача (числитель) и Воже (знаменатель) за 1951-1973 гг.

| | 1У | У | У1 | УII | УIII | 1Х | Х | Х1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $T_o-T_2$, °С | -0.2 / -0.5 | -0.6 / 0.3 | 1.8 / 2.2 | 2.0 / 2.3 | 1.3 / 1.8 | 0.9 / 1.3 | 0.6 / 0.8 | 1.8 / 1.8 |
| $e_o-e_2$, мб. | 1.2 / 1.1 | 2.3 / 3.1 | 6.6 / 6.7 | 7.0 / 7.6 | 5.0 / 5.7 | 2.4 / 2.8 | 1.3 / 1.2 | 1.1 / 1.0 |

По этим формулам рассчитаны ежемесячные величины LE и P за период 1951-1973 гг. в целом, в отдельные фазы водности и в аномальные по элементам теплового режима годы и периоды года (табл. 56).

Характер внутригодового распределения LE и P на озерах Лача и Воже не выходит за рамки такового на мелководных озерах умеренной зоны с максимальными затратами тепла на испарение в период наибольшего нагревания. Величины турбулентного теплообмена с атмосферой невелики по абсолютному значению во все месяцы периода открытой воды (У-Х).

Средние за последний цикл увлажненности величины LE за 1У-Х1 равны 23.4 ккал./см$^2$ на оз. Лача и 25.3 ккал./см$^2$ на оз. Воже, величины P - соответственно 3.9 и 5.4 ккал./см$^2$, что составляет 17 и 21% величины LE за этот период. Аналогичная величина получена нами для оз. Кубенского. Незначительность

Таблица 56

Средние месячные и годовые потери тепла (в ккал./см$^2$) на испарение (LE – числитель) и турбулентный теплообмен с атмосферой ( P – знаменатель) с поверхности озер

| Период | I | II | III | 1У | У | У1 | УII | УIII | 1Х | Х | Х1 | XII | Сумма за год |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Оз. Лача | | | | | | | |
| 1951-1973 | -0.4 / -0.1 | -0.1 / -0.6 | 0.1 / -0.6 | 1.1 / -0.2 | 2.1 / -0.4 | 6.0 / 0.9 | 5.7 / 1.0 | 4.2 / 0.7 | 2.0 / 0.4 | 1.2 / 0.4 | 1.1 / 1.1 | -0.2 / -0.3 | 22.8 / 2.3 |
| 1951-1962 | -0.5 / -0.1 | -0.1 / -0.6 | 0.1 / -0.6 | 1.1 / -0.2 | 1.8 / -0.7 | 5.8 / 0.7 | 5.5 / 0.9 | 4.3 / 0.9 | 2.0 / 0.4 | 1.2 / 0.4 | 1.1 / 1.2 | -0.1 / -0.4 | 22.2 / 1.9 |
| 1963-1973 | -0.4 / -0.1 | -0.1 / -0.6 | 0.1 / -0.5 | 1.1 / -0.1 | 2.4 / 0.0 | 6.3 / 1.0 | 5.9 / 1.2 | 4.2 / 0.5 | 1.9 / 0.4 | 1.3 / 0.3 | 1.2 / 1.0 | -0.2 / -0.3 | 23.7 / 2.8 |
| | | | | | | Оз. Воже | | | | | | | |
| 1951-1973 | -0.3 / -0.1 | -0.1 / -0.6 | 0.4 / -0.6 | 1.1 / -0.3 | 2.9 / 0.3 | 6.0 / 1.2 | 6.2 / 1.2 | 4.7 / 1.0 | 2.4 / 0.7 | 1.0 / 0.5 | 1.0 / 1.1 | -0.2 / -0.3 | 25.1 / 4.1 |
| 1951-1962 | -0.3 / -0.1 | -0.1 / -0.6 | 0.5 / -0.6 | 1.2 / -0.2 | 3.3 / 0.7 | 5,9 / 1.3 | 5.8 / 1.1 | 4.5 / 1.1 | 2.3 / 0.5 | 1.1 / 0.6 | 1.0 / 1.1 | -0.1 / -0.3 | 25.1 / 4.6 |
| 1963-1973 | -0.4 / -0.1 | -0.2 / -0.5 | 0.4 / -0.5 | 1.1 / -0.3 | 2.5 / -0.2 | 6.1 / 1.1 | 6.6 / 1.3 | 4.8 / 0.8 | 2.5 / 0.9 | 0.9 / 0.4 | 1.0 / 1.0 | -0.2 / -0.3 | 25.1 / 3.6 |

Таблица 57

Потери тепла на испарение (LE) и турбулентный обмен с атмосферой (P) с поверхности озер в разные периоды года за 1951-1973 гг.

| Озеро | I-XII | | | IУ-X | | | У1-УIII | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | LE | P | $\frac{P}{LE}$,% | LE | P | $\frac{P}{LE}$,% | LE | P | $\frac{P}{LE}$,% |
| Лача | 22.8 | 2.3 | 10 | 22.3 | 2.8 | 13 | 15.9 | 2.6 | 16 |
| Воже | 25.1 | 4.1 | 16 | 24.3 | 4.6 | 19 | 16.9 | 3.4 | 20 |

Таблица 58

Годовые суммарные потери тепла (LE+P ккал./см$^2$) различной обеспеченности с поверхности озер

| Озеро | 5% | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% | 95% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Лача | 35.0 | 32.5 | 29.5 | 27.5 | 26.0 | 25.0 | 24.0 | 23.5 | 22.0 | 19.5 | 17.0 |
| Воже | 43.0 | 38.0 | 33.5 | 31.0 | 29.5 | 28.5 | 27.5 | 26.0 | 24.0 | 22.0 | 20.5 |

доли P в суммарной величине LE+P – явление, характерное для больших мелководных озер рассматриваемой территории, сходных по морфометрическим характеристикам (гл. I, наст. изд.).

Величины тепло- и влагообмена с атмосферой поверхности озер Лача и Воже за период устойчивого ледостава (XII-III) рассчитаны по температуре и влажности воздуха и скорости ветра на станциях Каргополь и Чарозеро. Температура поверхности озер получена как сумма температуры воздуха на опорной станции и поправки, равной для декабря – 0.5°, для января – 0.2°, для февраля – 1.0° и для марта – 0.9°, т.е. так же, как было принято нами и для оз. Кубенского. Расчеты показали, что суммарные величины LE и P за все месяцы холодного периода (X1-III) для средних условий невелики и практически компенсируют друг друга – $\Sigma(LE+P)_{X1-III} \approx 0$. Последнее характерно и для разных фаз водности.

Если за период IУ-X турбулентный теплообмен составляет 13 и 19% на озерах Лача и Воже, то в годовой сумме LE его доля еще меньше – соответственно 10 и 16% (табл. 57). Как видно из данных таблицы, в период интенсивного испарения (У1-УIII) доля P на рассматриваемых озерах не превышает 20% суммы LE за это время. Пределы изменения суммарных теплопотерь

Таблица 59

Сравнение LE и LE+P озер Лача (числитель) и Воже (знаменатель) с суммарной радиацией (Q) и радиационным балансом (B) за 1951-1973 гг.

| Месяц | Q | B | LE | LE+P | LE/Q | LE/B | LE+P/Q | LE+P/B |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | % | | | |
| V | 11.3/12.0 | 7.5/7.8 | 2.1/2.9 | 1.7/3.2 | 19/24 | 28/37 | 15/27 | 23/41 |
| VI | 13.0/13.9 | 9.1/9.7 | 6.0/6.0 | 6.9/7.2 | 46/43 | 66/62 | 53/52 | 76/74 |
| VII | 12.5/13.2 | 8.5/9.0 | 5.7/6.2 | 6.7/7.4 | 46/47 | 67/69 | 54/56 | 79/82 |
| VIII | 8.7/9.4 | 5.0/5.3 | 4.2/4.7 | 4.9/5.7 | 48/50 | 84/89 | 56/61 | 98/108 |
| IX | 4.1/4.5 | 1.3/1.4 | 2.0/2.4 | 2.4/3.1 | 49/53 | 154/171 | 59/69 | 185/222 |
| X | 1.8/2.0 | -0.8/-0.8 | 1.2/1.0 | 1.6/1.5 | 67/50 | - | 89/75 | - |

с поверхности озер на испарение и турбулентный обмен с атмосферой за 1951-1973 гг. значительны (табл. 58).

Сравнение LE и LE+P на озерах Лача и Воже с величинами суммарной радиации (Q) и радиационного баланса (B), полученными Э.М. Гореловой (разд. 4.1., наст. сб.) за период открытой воды (V-X) 1951-1973 гг., показало, что для средних условий за период в целом величины LE на оз. Лача, например, составляют 41% Q и 69% B, а LE+P соответственно 46 и 78%, причем отношение затрат тепла на испарение (LE) и турбулентный обмен с атмосферой (LE+P) к Q и B возрастает от весны к осени (табл. 59). Практически такие же величины получены и для озер Воже и Кубенского. В период июнь-сентябрь доля LE в Q составляет 43-53% для озер Лача и Воже, доля LE в B возрастает от 62-66% в июне до 154-171% в сентябре. В период открытой воды (V-X) разных лет (1956, 1972-1974 гг.) отношение LE/Q и LE/B изменяется в широких пределах (табл. 60).

Таблица 60

Отношение (в %) LE/Q (1) и LE/B (2)
для озер Лача (числитель) и Воже (знаменатель)

| Год | V | | VI | | VII | | VIII | | IX | | X | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 1956 | 6/20 | 9/30 | 47/46 | 65/65 | 56/48 | 86/72 | 48/59 | 87/104 | 70/67 | 358/215 | 90/62 | - |
| 1972 | 15/24 | 23/36 | 37/39 | 51/56 | 50/52 | 71/75 | 51/63 | 81/109 | 35/50 | 125/166 | 44/52 | - |
| 1973 | 41/33 | 64/51 | 57/52 | 81/75 | 56/54 | 86/82 | 51/35 | 88/58 | 50/44 | 250/166 | 81/54 | - |
| 1974 | 11/11 | 22/17 | 42/32 | 59/45 | 44/40 | 64/60 | 54/33 | 98/56 | 45/45 | 120/125 | 56/45 | - |

Большие мелководные озера, такие как Лача, Воже и Кубенское, теряют тепло с поверхности за счет испарения и турбулентного обмена в основном в теплый период (IV–X), и величины этих потерь практически равны годовым. Данные расчета LE и P и их анализ показали, что между величинами суммарных теплопотерь (LE + P) за IV–X и температурой воздуха на опорной метеостанции, а также числом дней с восточной (E) и западной (W) формами циркуляции (табл. 61) существует надежная связь. Такие связи, полученные по материалам 23 лет (1951–1973 гг.), позволяют удлинить расчетный ряд составляющих теплового режима озер (LE+P), роль которых в тепловом балансе значительна. Величины LE и P за сравнительно большой для тепловых процессов период (23 года) по трем крупным мелководным озерам (Лача, Воже, Кубенское), сходным по своим морфометрическим характеристикам и расположенным в одной климатической зоне, свидетельствуют о том, что процессы обмена теплом и влагой поверхности этих озер с атмосферой внутри года протекают единообразно (рис. 35): связи разности влажностей ($e_0 - e_2$), затрат тепла на испарение (LE) и суммарных потерь тепла с поверхности озер (LE + P) с температурой воздуха на опорной метеостанции (рис. 35, а, б, в) криволинейны и практически одинаковы для всех трех озер. Они позволяют, во-первых, упростить методику весьма трудоемких расчетов LE и LE+P; во-вторых, по температуре воздуха на метеостанции получить внутригодовое распределение LE и LE+P с поверхности этих озер за другие годы и предсказать величину LE+P по синоптическому прогнозу; в-третьих,

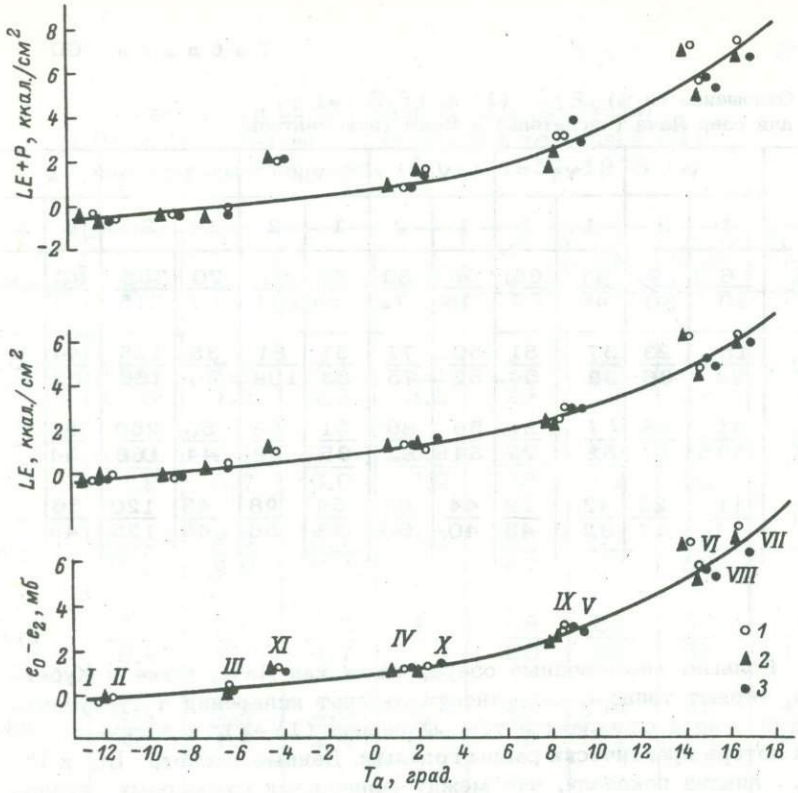



Рис. 35. Разность влажностей ($e_0 - e_a$), затраты тепла на испарение (LE) и суммарный влаго- и теплообмен (LE+P) у мелких озер в зависимости от температуры воздуха ($T_a$) на опорной метеостанции.

1 – оз. Кубенское; 2 – оз. Лача; 3 – оз. Воже.

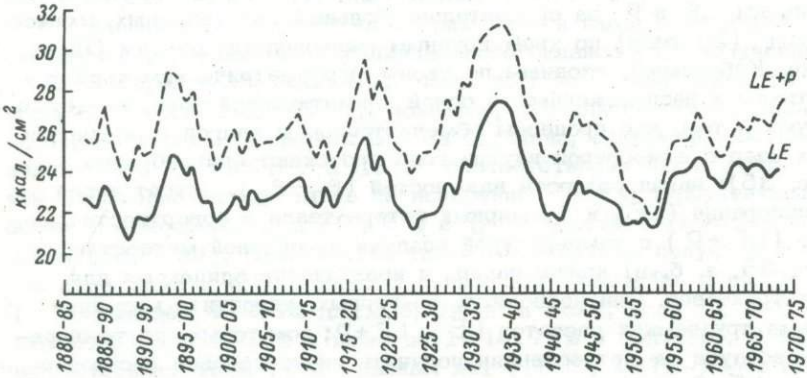



Рис. 36. Восстановленные годовые затраты тепла на испарение (LE) и потери тепла, связанные с влаго- и теплообменом ( + ), на оз. Лача (6-летние скользящие).

Таблица 61

Уравнения связи LE+P за период IУ–X с температурой воздуха ($T_a$) и характером атмосферной циркуляции

| Озеро | Уравнение | $\pm r_n$ | $\pm m$ |
|---|---|---|---|
| Лача | $LE + P = 19 + 0.09 \Sigma T_a$ | 4.1 | 4.9 |
| | $LE + P = 28 - 0.06 \Sigma W$ | 3.7 | 4.8 |
| | $LE + P = 23 + 0.02 \Sigma E$ | 3.6 | 4.8 |
| Воже | $LE + P = 43 - 0.26 \Sigma T_a$ | 4.4 | 6.0 |
| | $LE + P = 31 - 0.11 \Sigma W$ | 4.6 | 5.7 |
| | $LE + P = 28 - 0.02 \Sigma E$ | 4.3 | 5.6 |

Примечание. $r_n$ – средняя арифметическая ошибка; $m$ – средняя квадратическая ошибка.

оценить LE+P других озер с близкими морфометрическими характеристиками по метеоданным станций Гидрометеосети.

По полученным связям, например, произведено восстановление месячных сумм LE и LE+P за период IУ–X для оз. Лача по температуре воздуха на метеостанции Каргополь с 1883 г. (рис. 36).

## 4.3. Тепловой приток и сток

Исследования теплового притока и стока озер с различным водообменом показали, что в тех случаях, когда объем вод, участвующих в водообмене, превышает средний объем водоема, роль рек в тепловых процессах значительно возрастает. Если у Ладожского и Онежского озер, характеризующихся замедленным условным водообменом ($k_{вод}$ = 0.05 – 0.06), тепловой приток и сток составляют соответственно 3–4 и 6–8% радиационного баланса озер, то у оз. Кубенского ($k_{вод}$ = 4.0) на долю тепла, приносимого реками и теряемого со стоком, приходится уже 14 и 24% этой величины (Озеро Кубенское, ч. I, 1977, разд. 3.3. и 5.1.).

Для определения рассматриваемых элементов теплового баланса озер Воже и Лача были использованы материалы о среднем месячном поверхностном притоке и стоке озер, принятые для расчета водного баланса, и сведения о температуре воды рек, приведенные к периоду с 1951 по 1973 гг. Тепловой приток и сток озер определен за указанный период для экстремальных лет (холодного – 1956 г. и теплого – 1972 г.) и за годы работы

Вологодско-Архангельской экспедиции. Все полученные величины в свою очередь относятся к периоду открытой воды – с мая по октябрь.

Существующая на водосборах озер Воже и Лача сеть гидрологических постов неравнозначна как по продолжительности наблюдений, так и по охвату бассейнов рек (разд. 2.1. наст. изд.). Пост на р. Вожеге отражает водный и температурный режим реки с участка, составляющего всего лишь 27% площади водосбора оз. Воже, да и наблюдения за температурой воды на нем ограничены 1956–1965 и 1970–1973 гг. Озеро Лача значительно лучше обеспечено сведениями о температурном режиме притоков. В его бассейне гидрологические посты замыкают 70% площади. Однако наблюдения за температурой воды на притоках оз. Лача имеют разную продолжительность. Полный ряд, охватывающий расчетный период, имеется только у р. Тихманьги. В ряду наблюдений на р. Свиди отсутствуют 1966–1969 гг., на Лекшме и Ухте этот ряд начинается с 1960–1963 гг. Полный он также и у р. Онеги по в/п Надпорожский Погост, данные которого отражают тепловой сток со всей системы обоих озер.

Разная продолжительность наблюдений за температурным режимом потребовала приведения всех имеющихся данных к одному расчетному периоду. Для постов на Лекшме и Ухте это было сделано по р. Тихманьге (д. Прокино), использованной в качестве аналога, а для поста на р. Вожеге данные частично восстановлены по вышерасположенному створу в д. Коневка. Наблюдения, отсутствующие за короткий (4–5 лет) промежуток времени, обычно не восстанавливались. Сравнения средних месячных температур воды в реках за периоды наблюдений разной продолжительности показали, что разница между ними составляет всего несколько десятых градуса. Тот факт, что изменения температуры воды по длине рек данного района, относящихся к категории малых, незначительны, позволил отнести имеющиеся по постам материалы к устьевым участкам.

Не останавливаясь на анализе формирования поверхностного притока воды в озера Воже и Лача, проведенного в разд. 2.1. настоящего издания, отметим, что в период открытой воды в озера поступает около 70% годового притока. Для оз. Воже эта величина составляет 1.270 км$^3$, для оз. Лача – 2.567 км$^3$. Наиболее многоводным месяцем является май, самым маловодным – август. На оз. Воже в силу его меньшей зарегулированности на май приходится 55.7% поверхностного притока за теплое время года, в остальные месяцы – от 6 до 13% этой величины. На оз. Лача благодаря естественной зарегулированности р. Свиди распределение поверхностного притока в течение периода открытой воды более равномерно. Половина общего притока приходится на май и июнь, на остальные месяцы – от 9 до 13%.

Сток воды за теплое полугодие у оз. Воже составляет 1.350 км$^3$, у оз. Лача – 2.732 км$^3$. Почти половина объема

Таблица 62

Средняя месячная температура воды рек в бассейне озер Воже и Лача за 1951-1973 гг.

| Река, пункт | У | У1 | УII | УIII | 1Х | Х | Среднее |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Онега, Надпорожский Погост | 6.5 | 15.7 | 18.6 | 16.7 | 9.9 | 3.3 | 11.8 |
| Лекшма, с. Лядины | 6.9 | 15.6 | 18.3 | 16.3 | 9.7 | 3.9 | 11.8 |
| Тихманьга, д. Прокино | 6.3 | 14.6 | 17.5 | 15.3 | 9.2 | 3.7 | 11.1 |
| Ухта, д. Еремино | 5.6 | 14.6 | 17.8 | 16.1 | 9.3 | 3.7 | 11.2 |
| Свидь, д. Горки | 7.4 | 16.1 | 19.3 | 17.1 | 10.5 | 3.7 | 12.4 |
| Вожега, д. Назаровская | 7.5 | 16.6 | 20.1 | 17.2 | 10.7 | 3.9 | 12.7 |

стока приходится на май и июнь, в остальные месяцы он сокращается довольно плавно, изменяясь от 16-18% в июле до 10% в сентябре от суммарной величины за период открытой воды.

Формирование термического режима рек района в среднем за 23-летний период происходило в температурных условиях, близких к норме. Годовой ход температуры воды на реках в основном повторяет ход температуры воздуха, однако колебания его на реках более плавные и с некоторым отставанием во времени.

Весной вода в реках холоднее воздуха, а в остальные сезоны - теплее. Переход температуры речной воды через 0.2° происходит 20-25 апреля, в мае средняя месячная температура воды составляет от 5.5 до 7.5°. Более низкая весенняя температура отмечается на западных притоках оз. Лача (Ухта, Тихманьга), более высокая - на реках, вытекающих из озер (Лекшма, Свидь, Онега), и на р. Вожеге, водосбор которой занимает наиболее южное положение (табл. 62).

По мере дальнейшего нагревания температура речной воды увеличивается до 14.5-16.5° в июне, достигая наибольшего значения в июле - 17.5-20°. В августе уже обычно наблюдается охлаждение воды до 15-17°, затем в сентябре ее температура резко снижается до 9-10°, а в октябре - до 3-4°. В начале ноября происходит переход температуры воды через 0.2°. Средняя температура речной воды за период с мая по октябрь составляет 11-12.5°.

Указанные пределы колебания температуры воды для отдельных месяцев отражают особенности термического режима рек, связанные не только с географическим положением их водосборов,

но и с условиями питания. Более высокая температура воды характерна для р. Вожеги, являющейся наиболее южной из изученных рек, а также для озерных рек, особенно р. Свиди, вытекающей из оз. Воже, хорошо прогреваемого в силу небольших его глубин. Наиболее низкие температуры отмечаются на западных притоках оз. Лача, на что, помимо более северного положения их водосборов, вероятно, оказывает влияние несколько повышенная роль грунтового питания.

В холодном 1956 г. температура воды в реках, за исключением июня и октября, опустилась на 2-3° ниже среднего многолетнего значения. Во вторую декаду июля средняя температура воды не достигала 13°. Годом с наиболее теплым периодом открытой воды оказался 1972 г. Температура воды в реках в течение июня-августа была на 1.5-4.0° выше средних многолетних характеристик, исключительно теплым был июль со средней температурой речной воды 22-24°. В первую декаду июля средняя температура составляла на озерных реках 25-26°, на западных притоках - 24°, на р. Вожеге - 26.6°; максимальная температура воды в отдельные дни достигала 29-30°.

Что касается двух других лет работы экспедиции, то средняя температура речной воды за рассматриваемое время года была близка или несколько выше средних значений.

В 1973 г. с мая по июль речная вода была на 3-5° теплее, чем обычно. Особенно выделялись майские температуры воды, составившие для большинства рек около 11-12° при норме, равной 6-7°, что связано с интенсивными процессами нагревания, протекающими при температуре воздушных масс на 2.0° выше средних многолетних значений. Аналогичными были и метеорологические условия в июне 1973 г., благодаря которым средняя температура воды на многих реках в этом месяце достигала 17.5-18°.

Затянувшаяся весна 1974 г. определила низкие температуры воды на реках в мае. На многих из них они были наименьшими для данного месяца за весь расчетный период: на притоках озер - около 3-4°, на вытекающих из них реках - около 5°. Однако в июне температура воды уже достигла средних значений, а в июле оказалась почти на 3° выше нормы. Во вторую половину периода открытой воды из-за длительного господства теплых воздушных масс температура в реках превышала многолетние средние показатели.

В процессах теплообмена озер с речными водами играет роль не только количественное соотношение запасов тепла в озерной и речной воде, но и их температурные отличия, влияющие на расположение в водоеме водных масс различного происхождения. Некоторое представление о температурной неоднородности вод озера и втекающих в него рек дает сравнение их средних месячных температур, относящихся к многолетним данным и отдельным годам. Оно показало, что различия в их режиме наиболее заметны в период интенсивного нагревания и менее - во время охлаждения водоемов.

Таблица 63

Тепловой приток и сток оз. Воже (в ккал/см$^2$)

| Период | Элемент | V | V1 | VII | VIII | 1X | X | Σ V-X |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1951-1973 | Приток | 1.32 | 0.60 | 0.44 | 0.41 | 0.37 | 0.21 | 3.35 |
| | Сток | 0.62 | 1.29 | 1.27 | 0.93 | 0.49 | 0.17 | 4.77 |
| | Разность | +0.70 | -0.69 | -0.83 | -0.52 | -0.12 | +0.04 | -1.42 |
| 1956 | Приток | 0.67 | 0.57 | 0.39 | 0.72 | 0.30 | 0.17 | 2.82 |
| | Сток | 0.28 | 1.19 | 0.80 | 0.73 | 0.38 | 0.15 | 3.53 |
| | Разность | +0.39 | -0.62 | -0.41 | -0.01 | -0.08 | +0.02 | -0.71 |
| 1972 | Приток | 0.89 | 0.59 | 0.69 | 0.62 | 0.22 | 0.11 | 3.12 |
| | Сток | 0.56 | 1.29 | 1.41 | 0.96 | 0.38 | 0.11 | 4.71 |
| | Разность | +0.33 | -0.70 | -0.72 | -0.34 | -0.16 | 0 | -1.59 |
| 1973 | Приток | 0.57 | 0.52 | 0.31 | 0.28 | 0.20 | 0.06 | 1.94 |
| | Сток | 0.72 | 0.94 | 0.96 | 0.68 | 0.22 | 0.06 | 3.58 |
| | Разность | -0.15 | -0.42 | -0.65 | -0.40 | -0.02 | 0 | -1.64 |
| 1974 | Приток | 0.71 | 0.94 | 0.53 | 0.44 | 0.24 | 0.18 | 3.04 |
| | Сток | 0.25 | 1.50 | 1.62 | 0.89 | 0.58 | 0.25 | 5.09 |
| | Разность | +0.46 | -0.56 | -1.09 | -0.45 | -0.34 | -0.07 | -2.05 |

Судя по средним многолетним данным, реки Свидь и Онега имеют температуру воды, сходную с температурой поверхностного слоя оз. Лача, за исключением мая, когда различия между ними за счет более теплых вод озера составляют 1.5-2.5°.

Постоянно более холодными, чем озерная вода, остаются реки западного побережья оз. Лача. Отличия температуры вод р. Тихманьги от озерной на протяжении теплого времени года составляют от 2.7° в мае до 1.2° в сентябре; в октябре температура воды выравнивается. Даже в теплые годы, каковыми являются 1972-1974, воды рек Тихманьги и Ухты в отдельные месяцы периода нагревания были на 2-3° холоднее температуры поверхности озера.

Тепловой приток и сток озер Воже и Лача (в ккал./см$^2$) рассчитывался по известной формуле (Богословский, 1960), учитывающей средний месячный водный приток (сток), среднюю месячную температуру и площадь зеркала озера на конец месяца. Для определения теплового притока в оз. Воже использовались данные о среднем месячном объеме поступающих в него речных вод, принятые в расчетах водного баланса озера, и сведения по температуре воды р. Вожеги (д. Назаровская), отнесенные ко всему водосбору.

Благодаря большому водообмену оз. Воже ( $k_{вод}$ = 3.5) тепло, приносимое в него реками за период открытой воды, в среднем составляет в сумме 3.35 ккал./см$^2$ (табл. 63). Наибольший тепловой приток приходится на май, что обусловлено самой большой за год величиной водного притока, хотя и формирующегося при сравнительно низкой температуре речной воды.

В июне, несмотря на то что температура воды в реках увеличивается более чем в 2 раза, тепловой приток уменьшается до 0.60 ккал./см$^2$·мес. за счет резкого сокращения поверхностного притока воды в озеро. В остальные месяцы тепло, приносимое реками, составляет от 0.44 до 0.21 ккал./см$^2$·мес.

В теплом 1972 г., когда температура воды на реках на протяжении июня-августа была выше нормы, тепловой приток за период открытой воды уменьшился до 3.12 ккал./см$^2$ за счет общего сокращения водного притока. Еще меньшим был тепловой приток в 1973 г., самом маловодном за весь расчетный период, который составил всего лишь 1.94 ккал./см$^2$. В мае в озеро поступало менее половины речного тепла, обычного для этого времени года. В 1974 г. из-за позднего наступления половодья максимум теплового притока приходился на июнь.

С большей точностью, чем приток, определен тепловой сток из оз. Воже, составляющие величины для расчета которого принимались по створу на р. Свиди, расположенному в 20 км от истока реки. По средним многолетним данным за время открытой воды оз. Воже теряет со стоком 4.77 ккал./см$^2$, в холодном 1956 г. эта величина была равна 3.53 ккал./см$^2$, в теплом 1972 г. - 4.71 ккал./см$^2$. Наибольшей величины тепловой сток достиг в 1974 г., составив 5.09 ккал./см$^2$, что объясняется увеличе-

нием стока воды из озера в условиях общего повышения водности года при достаточно интенсивном прогревании озерных вод.

Распределение теплового стока из озера по месяцам происходит в несколько иной последовательности, чем поступление речного тепла. Наибольший тепловой сток приходится на конец весны-начало лета. В мае тепловой сток еще невелик из-за низких температур воды в озере, но зато в июне-июле он достигает наибольших значений за весь период открытой воды. В эти два месяца озеро теряет половину суммарного тепла, уходящего со стоком р. Свиди. На фоне рассматриваемого периода и отдельных лет 1974 г. выделяется особенностями режима теплового стока. Малая величина водного стока в мае, вызванная поздним половодьем на реках, и низкая температура воды в озере обусловили незначительный тепловой сток, оказавшийся в 2 раза меньше многолетней характеристики данного месяца. Зато в июне он увеличился в 6 раз, а в июле достиг наибольшего для данного года значения. В эти два месяца тепловой сток из озера был выше средних многолетних величин.

Лучшая гидрологическая изученность водосбора оз. Лача позволяет оценить тепловой приток в него с гораздо большей достоверностью. Тепловой приток в озеро рассчитывался как сумма теплового стока р. Свиди, стока неизученных рек, а также теплового притока с территории, не освещенной данными, для которой температуры речной воды принимались по аналогии с реками Тихманьга и Вожега. Большой водообмен и естественная зарегулированность обусловили повышенную величину теплового притока и стока оз. Лача и некоторые особенности их сезонного режима.

По средним многолетним данным, за время с мая по октябрь в оз. Лача поступает 8.50 ккал./см$^2$ тепла (табл. 64).

Естественная зарегулированность поверхностного притока в оз. Лача обеспечила более равномерное поступление воды в мае-июне. Если на оз. Воже водный приток в июне сокращается почти в 5 раз по сравнению с маем, то на оз. Лача только в 2 раза. В результате этого на оз. Лача наибольший тепловой приток, равный 2.14 ккал./см$^2$·мес., приходится на июнь - время начала интенсивного прогревания речных вод. Однако и в мае благодаря большому водному притоку тепловой приток составляет немногим менее 2 ккал./см$^2$·мес. В остальные месяцы по мере сокращения поступающих в озеро речных вод, несмотря на увеличение температуры воды в реках, тепловой приток постепенно уменьшается, снижаясь к октябрю до 0.35 ккал./см$^2$·мес.

В холодном 1956 г. тепловой приток в оз. Лача за май-октябрь сократился до 6.27 ккал./см$^2$ в основном за счет уменьшения его в мае ввиду низких температур воды на реках, оказавшихся почти на 3° менее нормы. Ниже средних многолетних величин была температура воды и в остальные месяцы при водном притоке, близком норме. В теплом 1972 г. из-за сокращения водного притока в озеро поступление речного тепла в период открытой воды

Таблица 64

Тепловой приток и сток оз. Лача (в ккал./см$^2$)

| Период | Элементы | V | V1 | VII | VIII | 1X | X | Σ V–X |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1951–1973 | Приток | 1.86 | 2.14 | 1.87 | 1.43 | 0.85 | 0.35 | 8.50 |
| | Сток | 1.31 | 2.90 | 2.43 | 1.66 | 0.83 | 0.29 | 9.42 |
| | Разность | +0.55 | –0.76 | –0.56 | –0.23 | +0.02 | +0.06 | –0.92 |
| 1956 | Приток | 0.92 | 1.72 | 1.10 | 1.47 | 0.68 | 0.38 | 6.27 |
| | Сток | 0.44 | 2.42 | 1.37 | 1.43 | 0.78 | 0.27 | 6.71 |
| | Разность | +0.48 | –0.70 | –0.27 | +0.04 | –0.10 | +0.11 | –0.44 |
| 1972 | Приток | 1.66 | 2.34 | 1.67 | 0.92 | 0.35 | 0.10 | 7.04 |
| | Сток | 1.11 | 2.84 | 2.05 | 1.37 | 0.43 | 0.14 | 7.94 |
| | Разность | +0.55 | –0.50 | –0.38 | –0.45 | –0.08 | –0.04 | –0.90 |
| 1973 | Приток | 1.51 | 1.23 | 0.90 | 0.55 | 0.24 | 0.10 | 4.53 |
| | Сток | 1.73 | 1.74 | 1.22 | 0.85 | 0.24 | 0.08 | 5.86 |
| | Разность | –0.22 | –0.51 | –0.32 | –0.30 | 0 | +0.02 | –1.33 |
| 1974 | Приток | 0.94 | 2.71 | 2.09 | 1.32 | 0.72 | 0.38 | 8.16 |
| | Сток | 0.61 | 3.38 | 3.40 | 1.91 | 0.91 | 0.36 | 10.57 |
| | Разность | +0.33 | –0.67 | –1.31 | –0.59 | –0.19 | +0.02 | –2.41 |

сократилось до 7.04 ккал./см$^2$. Самым низким был тепловой приток в маловодном 1973 г. – 4.53 ккал./см$^2$. Наибольшее значение теплового притока, вызванное ранним прогреванием речной воды, приходилось на май. Характерной особенностью 1974 г. была холодная весна с поздним половодьем, обусловившим малую величину теплового притока в мае, почти в 2 раза меньшую среднего значения для этого месяца. Напротив, в июне тепловой приток, формируясь в условиях прохождения максимального стока половодья и прогретых речных вод, превысил норму.

Тепловой сток из оз. Лача незначительно превышает величину теплового притока, составляя в среднем за многолетний период 9.42 ккал./см$^2$. Наибольшие его значения приходятся за май – (2.90 ккал./см$^2$·мес.) и июнь (2.43 ккал./см$^2$·мес.) В маловодном 1973 г. суммарный тепловой сток сократился до 5.86 ккал./см$^2$, а в 1974 г. увеличился до 10.57 ккал./см$^2$ за счет превышающего средние значения стока тепла, приходящегося на июнь–август, вызванного интенсивным прогреванием озера в условиях водного стока, близкого к многолетним характеристикам.

Как показал анализ многолетних данных по озерам Воже и Лача, режим теплового притока и стока хотя и зависит от совокупности двух процессов – формирования водного и температурного режима водоемов, в основном определяется их водным притоком и стоком. Наибольшее значение теплового притока обычно приходится на май или июнь, после чего следует его сокращение, более резкое на оз. Воже и равномерное на оз. Лача. В условиях естественной зарегулированности водного стока обоих озер наступление максимума теплового стока сдвигается на июнь–июль, с последующим его плавным сокращением по мере равномерного уменьшения стока воды из озера. Неоднородность озер приводит к тому, что наибольшие потери тепла со стоком воды (не более 1 ккал./см$^2$·мес.) приходятся на июнь–июль – время наиболее интенсивного прогревания озер. В остальные месяцы величины теплового притока и стока равны между собой за исключением мая, когда озеро накапливает тепло за счет преобладания теплового притока над стоком.

В целом потери тепла озерами за счет преобладания теплового стока невелики и составляют в сумме 1–1.5 ккал./см$^2$.

Сравнение многолетнего режима теплового притока и стока озер Кубенского (Озеро Кубенское, ч. I, 1977), Воже и Лача показало, что соотношение между этими величинами не остается постоянным и зависит от режима водного притока и стока. Поскольку сток воды из озер Воже и Лача испытывает естественное регулирование, сокращение его от весны к осени происходит довольно равномерно, в результате чего величина теплового стока остается довольно большой на протяжении 2–3 месяцев, приходящихся на время интенсивного прогревания озерных вод. На оз. Кубенском, где водный режим испытывает естественное и искусственное регулирование, тепловой сток сохраняет большие значения на протяжении

почти четырех месяцев. Суммарные потери тепла за май–октябрь на этом озере из-за преобладания теплового стока возрастают до 3.6 ккал. см$^2$. На озерах с естественным регулированием водного притока и стока, каким является оз. Лача, общие потери тепла за счет стока оказались наименьшими – менее 1 ккал. см$^2$, что позволяет предположить о транзите речного тепла.

## 4.4. Термический режим и теплозапасы

В термическом отношении озера Воже и Лача изучены слабо. С 1870 г. по 1900 г. на обоих водоемах были проведены рекогносцировочные обследования, связанные с гидротехническими и рыбохозяйственными задачами (Гидрологическая изученность, т. 3. Северный край). С 1941 г. Северное УГМС проводит регулярные наблюдения над температурой воды озер Воже (устье р. Тордоксы) и Лача (с. Нокола). Пост на оз. Воже расположен на восточном, залесенном берегу озера, в устье р. Тордоксы. На оз. Лача пост с. Нокола расположен на восточном берегу, в 2 км к северу от впадения р. Ковжи (рис. 37). С 1961 г. в дополнение к наблюдениям на указанных постах стали проводить наблюдения над температурой воды на рейдовых вертикалях, которые расположены в районах наибольших глубин и удалены от берега на 6 (оз. Лача) и 4 км (оз. Воже) (рис. 37).

Описание термического режима озер Воже и Лача в безледоставный период приводится в монографии „Северный край" (Ресурсы поверхностных вод СССР, 1972). В ней отмечается, что ход температуры воды исследуемых озер в безледоставный период повторяет ход температуры воздуха; указывается на однородность в распределении температуры воды по озеру в результате ветрового перемешивания.

Для более подробного освещения термического режима озер Воже и Лача нами использовались материалы наблюдений на постах ГМС, а также данные полевых наблюдений Вологодско-Архангельской экспедиции над температурой воды, донных отложений и некоторыми метеорологическими элементами: температурой воздуха, скоростью ветра, облачностью и пр.

За годы работы экспедиции (1973–1974 гг.) на оз. Воже были проведены наблюдения над температурой воды и донных отложений на 47 станциях, в том числе в марте 1973 г. – на 3 станциях. На оз. Лача в открытый период было выполнено 14 станций и со льда в марте 1973 г. – 3 станции.

Результаты исследований, проведенных в конце марта 1973 г. на озерах Воже (25 марта) и Лача (23 марта), показали, что вертикальное распределение температуры водной массы и донных отложений характеризуется обратной термической стратификацией. Температура воды у нижней кромки льда составляла 0.2–0.6°, температура придонных слоев воды была около 3°.

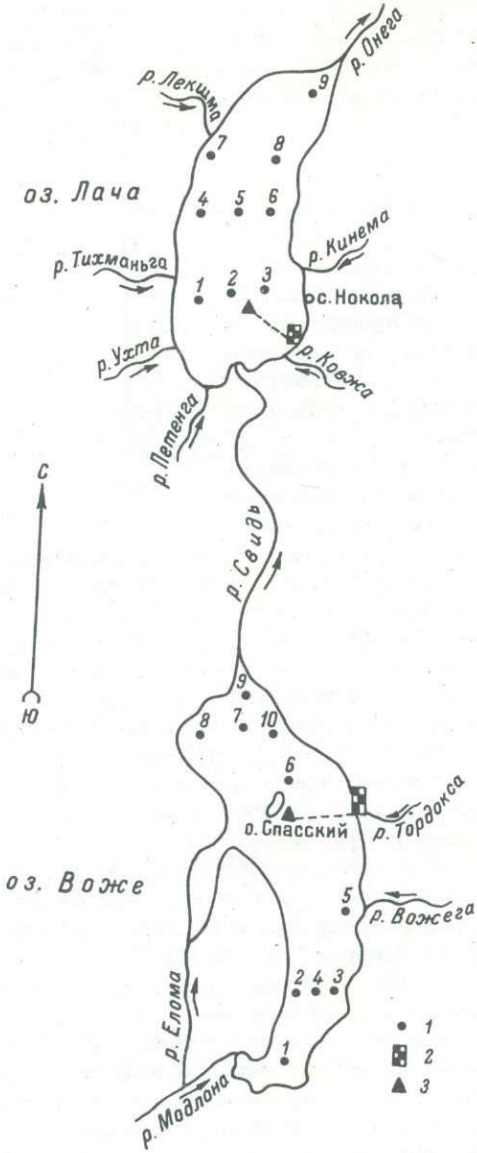



Рис. 37. Схема расположения термических станций (1) Вологодско-Архангельской экспедиции, постов (2) и рейдовых вертикалей (3) ГМС на озерах Воже и Лача.

Наиболее стратифицированным по температуре слоем донных отложений являлся первый от поверхности дна метровый слой.

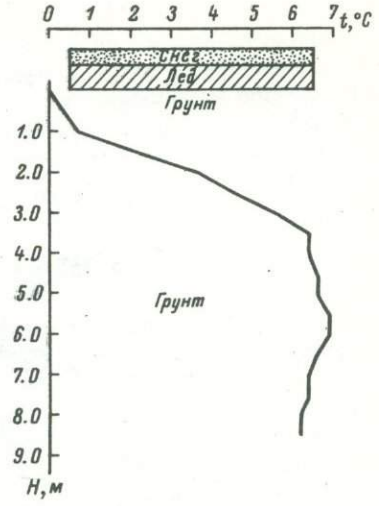



Рис. 38. Вертикальное распределение температуры донных отложений непосредственно подо льдом в южной части оз. Воже 25 марта 1973 г.

Градиенты температуры в нем достигали 1.5–3.5° на метр, во втором метре от поверхности дна – они снижались до 1.0–1.5° и на третьем – не превышали 0.3°. Максимальная температура донных отложений (7.0–7.5°) отмечалась на глубине 4–5 м от поверхности дна.

Обращают на себя внимание результаты, полученные при измерении температуры донных отложений 25 марта 1973 г. на станции, расположенной в южной части оз. Воже (рис. 38). Здесь подо льдом не оказалось слоя воды: лед лежал непосредственно на грунте. Температура донных отложений на этой станции была измерена в 8-метровом слое.

В первом метровом слое донных отложений температура изменялась от 0 до 0.7°. Наиболее стратифицированный по температуре слой (3° на 1 м) лежал в пределах 1.0–2.0 м от нижней кромки льда. В слое 2.0–3.0 м температура изменялась от 3.7 до 5.6°. В нижележащих слоях до отметки 8.5 м градиент температуры не превышал 0.8° на 1 м. Максимальная температура (6.9°) отмечалась в слое 5.5–6.0 м.

Характерной чертой для озер Лача, Воже и Кубенского является оседание льда на их грунт при зимнем снижении уровня воды. Еще в начале зимы в результате снижения уровня воды происходит обнажение дна прибрежных районов. К началу периода весеннего нагревания (первая декада апреля) значительная площадь озерной котловины покрывается осевшим на грунт льдом. Средние многолетние данные об изменении уровня воды (разд. 2.4. наст. изд.) и данные об изменении толщины льда на озерах в марте-апреле (табл. 65) показали, что площадь прибрежной области, обнаженной в результате снижения уровня воды в период с 1 декабря (дата устойчивого ледостава) по 1 апреля (дата максимальной толщины льда), достигает к 1 апреля на оз. Воже – 71 км$^2$, на оз. Лача – 28 км$^2$. Площадь районов озера, где лед лежит на грунте, достигает к 1 апреля на оз. Воже – 172 км$^2$ (при площади озера на 1 апреля – 225 км$^2$), а на оз. Лача – 103 км$^3$ (при площади озера на 1 апреля – 293 км$^2$). Таким образом, за период с 1 декабря по 1 апреля площадь оз. Воже,

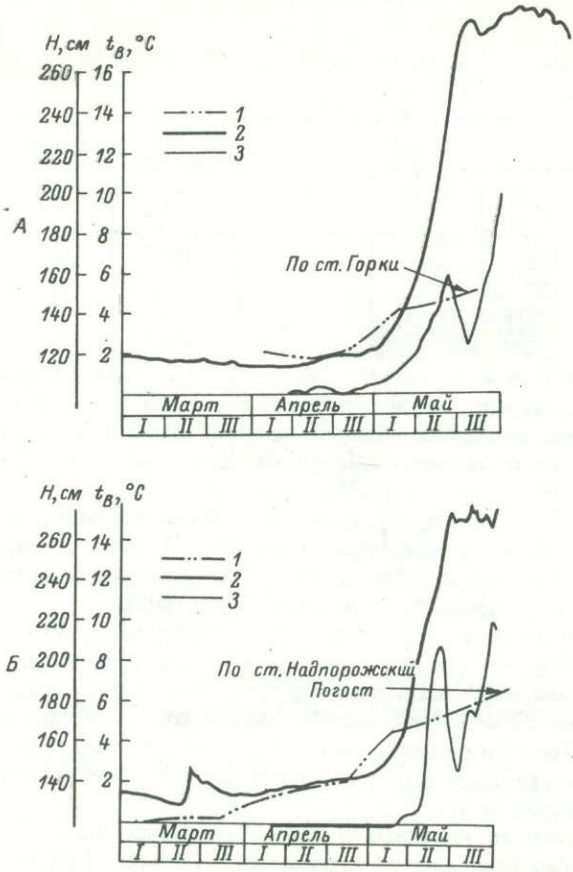



Рис. 39. Изменение температуры воды оз. Воже и р. Свидь (А), оз. Лача и р. Онеги (Б) при изменении уровня воды озер в марте-мае 1974 г.

1 – средняя декадная температура воды реки; 2 – средний суточный уровень воды озера; 3 – средняя суточная температура воды озера.

занятая водой, уменьшается в среднем на 52%, а площадь оз. Лача – на 45%.

Уменьшение объема водной массы озер Воже и Лача к началу поступления талых вод приводит к значительному увеличению водообмена и замещению зимней озерной воды талой водой. Так, например, объем воды оз. Воже к 1 апреля составляет в среднем 0.119 км$^3$. За апрель в озеро поступает 0.227 км$^3$ воды при

Таблица 65

Средняя многолетняя (1945–1970) толщина льда (в см) на озерах в марте–апреле

| Озеро | Март | | | Апрель | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 10 | 20 | 31 | 10 | 20 | 30 |
| Воже | 58 | 59 | 59 | 55 | 47 | 32 |
| Лача | 63 | 66 | 67 | 65 | 60 | 38 |

стоке из него в р. Свидь 0.108 км$^3$. Видно, что объем стока из озера за апрель почти равен объему воды в озере на 1 апреля.

Процесс замещения зимней озерной воды талой водой можно проследить по изменению в марте–апреле температуры воды озера и вытекающей из него реки (рис. 39).

Изменение температуры озерной и речной воды, приведенное на рис. 39, относится к периоду весеннего нагревания, начало которого совпадает с уменьшением в первой декаде апреля толщины льда на озерах Воже и Лача (табл. 66).

Поступление в воду через лед некоторого количества тепла за счет солнечной радиации должно повышать температуру воды озера. Однако, как видно из рис. 39, температура воды на посту ГМС (кривая 3) остается низкой (около 0°) до конца апреля–начала мая. Это объясняется тем, что холодные талые воды, поступая в озеро (кривая 2), вытесняют из него более теплую зимнюю воду (кривая 1).

Поступление холодных талых вод в озеро еще больше снижает теплозапас его донных отложений (Озеро Кубенское, ч. I, 1977).

Влияние талых вод на температуру воды в озере продолжает сказываться до начала интенсивного разрушения ледяного покрова, которое в озерах Воже и Лача, по средним многолетним данным, совпадает с переходом температуры воды на посту ГМС через 0.2° (табл. 66).

Когда температура воды достигает 4°, озера полностью очищаются ото льда (табл. 66), что соответствует наступлению гидрологического лета. С освобождением озер ото льда начинается их интенсивный прогрев и к началу июня температура воды в них обычно превышает 10° (рис. 40), а в отдельные годы даже достигает 18–21°.

Интенсивный прогрев озер в мае–июне обусловливает самые значительные (2.5–3.0°) за открытый период различия в одновременном распределении температуры воды по акватории и глубине озер. С прогревом озер эти различия сглаживаются и вновь увеличиваются к периоду осеннего охлаждения. Однако по времени

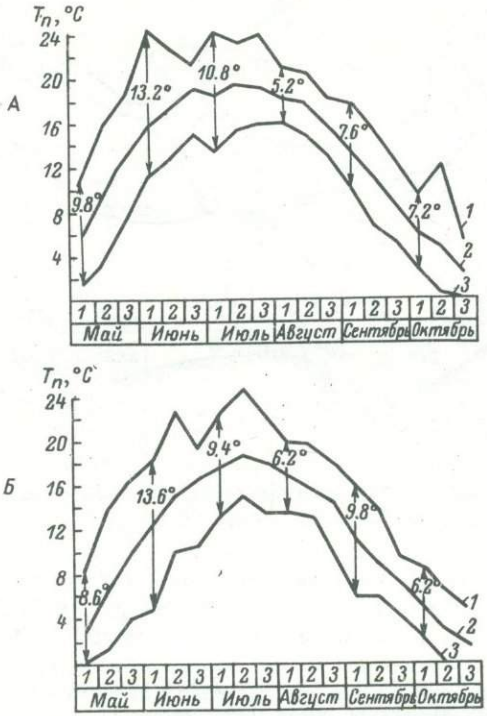



Рис. 40. Ход максимальных (1), минимальных (2) и средних (3) декадных температур поверхности воды озер Воже (А) и Лача (Б) за период 1951-1973 гг., по данным постов ГМС.

значительная горизонтальная и вертикальная температурная стратификация существует недолго. Большая площадь водного зеркала, незначительные средние глубины и низкие берега делают озера Воже и Лача легкодоступными для ветрового перемешивания, поэтому большую часть открытого периода различия в распределении температуры воды по глубине и акватории озер не превышают при безветренной погоде 1-2° (рис. 41). Достаточно небольшого ветрового возмущения водной поверхности, чтобы привести водную массу озер в гомотермичное или близкое к нему состояние.

Однако следует учесть, что в озерах Воже и Лача в течение всего открытого периода существуют некоторые различия между температурой воды в открытой части водоема и температурой воды, измеренной на посту ГМС. Поэтому данные поста ГМС, расположенного в прибрежной части озера, могут быть использованы для характеристики температуры поверхности и водной массы озера только после предварительной обработки. Предварительная обработка температурных данных постов ГМС на озерах Воже и

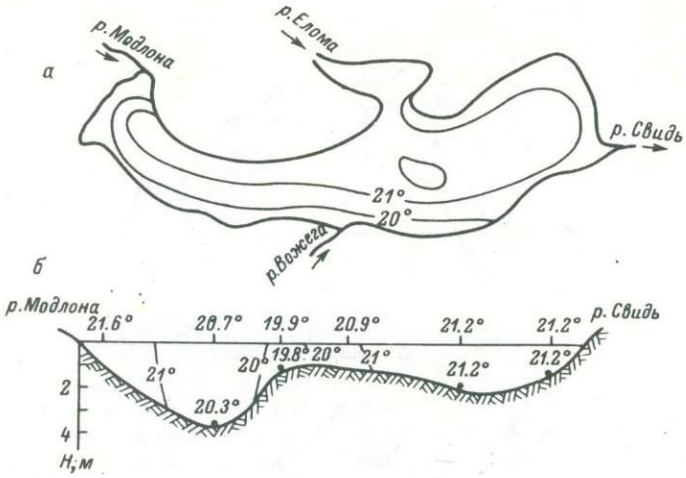



Рис. 41. Распределение температуры воды по поверхности (а) и глубине (б) оз. Воже 19–21 июля 1973 г.

Таблица 66

Средние многолетние (1945–1970) даты перехода весной температуры воды озер через 0.2°, 4°, начала интенсивного разрушения льда и полного очищения от него

| Озеро | Переход через 0.2° | Переход через 4° | Начало интенсивного разрушения льда | Очищение озера ото льда |
|---|---|---|---|---|
| Воже | 27 IУ | 9 У | 30 IУ | 10 У |
| Лача | 29 IУ | 11 У | 28 IУ | 11 У |

Лача заключалась в сравнении средних суточных температур воды по данным постов устье р. Тордоксы (оз. Воже) и с. Нокола (оз. Лача) со срочными данными, полученными на рейдовых вертикалях ГМС с 1961 г. и при экспедиционных исследованиях в 1973–1974 гг. Проведенное сравнение данных позволило получить средние месячные поправки ($\delta T^0_п$) и ($\delta T^0_в$) к температурам воды береговых постов ГМС (табл. 67).

Разность температурных поправок ($\delta T^0_п - \delta T^0_в$) позволяет судить о величине температурной стратификации в водной массе озер Воже и Лача. Используя указанную разность, можно установить,

Поправки к показаниям постов ГМС
для расчета средней месячной температуры
поверхности воды ($T_п^0$) и водной массы ($T_в^0$) озер

| Озеро | Май | | Июнь | | Июль | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\delta T_п^0$ | $\delta T_в^0$ | $\delta T_п^0$ | $\delta T_в^0$ | $\delta T_п^0$ | $\delta T_в^0$ |
| Воже | +0.3 | -0.7 | -0.2 | -0.1 | 0.0 | -0.9 |
| Лача | +0.5 | 0.0 | +0.4 | 0.0 | 0.0 | -0.4 |

| Озеро | Август | | Сентябрь | | Октябрь | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\delta T_п^0$ | $\delta T_в^0$ | $\delta T_п^0$ | $\delta T_в^0$ | $\delta T_п^0$ | $\delta T_в^0$ |
| Воже | 0.0 | -0.6 | 0.0 | -0.3 | 0.0 | 0.0 |
| Лача | -0.2 | -0.4 | 0.0 | 0.0 | +0.2 | +0.4 |

что вертикальная температурная стратификация (относительно средней глубины озера) на оз. Воже в мае составляет 1°, в июне – 0.8°, июле – 0.9°, в августе снижается до 0.6°, в сентябре – до 0.3°, а в октябре водная масса озера находится в гомотермичном состоянии. На оз. Лача температурная стратификация составляет в мае 0.5° и в последующие месяцы – соответственно 0.4, 0.4, 0.2°, в сентябре температура воды по глубине озера выравнивается, а в октябре температура водной массы озера становится выше температуры поверхности на 0.2° вследствие интенсивного охлаждения водоема.

По данным постов ГМС на озерах Воже и Лача и приведенным в табл. 67 поправкам были получены средние месячные температуры поверхности воды ($T_п^0$) и водной массы ($T_в^0$) по формулам $T_п^0 = T_б^0 \pm \delta T_п^0$ и $T_в^0 = T_б^0 \pm \delta T_в^0$, где $T_б^0$ – температура воды по данным берегового поста; $\delta T_п^0$ и $\delta T_в^0$ – поправки. Полученные таким образом средние месячные температуры воды озер Воже и Лача за период колебания увлажненности (1951–1973 гг.) приводятся в табл. 68 за наиболее теплый по сумме температур воды 1972 г., наиболее холодный 1956 г. и годы работы экспедиции (1972–1974 гг.).

Данные, приведенные в табл. 68, дают обобщенную картину изменения температуры воды озер Воже и Лача в течение открытого периода. Чтобы получить более детальное представление об изменении температуры воды этих водоемов в открытый период, рассмотрим рис. 40, на котором приведены кривые изменения

Таблица 68

Средние месячные температуры поверхности воды ($T_п^0$) и водной массы ($T_в^0$) озер Воже (числитель) и Лача (знаменатель)

| Год | Май | | Июнь | | Июль | | Август | | Сентябрь | | Октябрь | | $\Sigma T_п^0$ | $\Sigma T_в^0$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $T_п^0$ | $T_в^0$ | $T_п^0$ | $T_в^0$ | $T_п^0$ | $T_в^0$ | $T_п^0$ | $T_в^0$ | $T_п^0$ | $T_в^0$ | $T_п^0$ | $T_в^0$ | | |
| 1956 | 6.9/4.4 | 5.9/3.9 | 18.0/16.9 | 17.2/16.5 | 16.0/15.7 | 15.1/15.3 | 15.6/14.1 | 15.0/13.9 | 7.7/7.3 | 7.4/7.3 | 3.2/3.1 | 3.2/3.3 | 67.4/61.5 | 63.8/60.2 |
| 1972 | 8.9/7.0 | 7.9/6.5 | 17.9/18.1 | 17.1/17.7 | 22.9/23.0 | 22.0/22.6 | 20.7/19.2 | 20.1/19.0 | 11.0/9.5 | 10.7/9.5 | 3.6/3.2 | 3.6/3.4 | 85.0/80.0 | 81.4/78.7 |
| 1973 | 11.8/12.2 | 10.8/11.7 | 18.6/18.7 | 17.8/18.3 | 19.7/19.4 | 18.8/19.0 | 15.3/15.7 | 14.7/15.5 | 7.0/6.4 | 6.7/6.4 | 1.5/1.6 | 1.5/1.8 | 73.9/74.0 | 70.3/72.7 |
| 1974 | 4.0/4.3 | 3.0/3.8 | 16.8/17.8 | 16.0/17.4 | 22.3/21.9 | 21.4/21.5 | 16.1/16.8 | 15.5/16.6 | 12.4/11.8 | 12.1/11.8 | 6.4/5.6 | 6.4/5.8 | 78.0/78.2 | 74.4/76.9 |
| 1951–1973 | 9.0/7.6 | 8.0/7.1 | 16.6/16.2 | 15.8/15.8 | 19.2/18.5 | 18.3/18.1 | 17.1/16.4 | 16.5/16.2 | 10.4/9.4 | 10.1/9.7 | 3.6/3.4 | 3.6/3.6 | 75.9/71.8 | 72.3/70.5 |

средних декадных температур воды (3) озер Воже и Лача за 1951-1973 гг. и их экстремальные значения (1,2) за тот же период. Из рисунка видно, что за период 1951-1973 гг. наибольшая разность между максимальными и минимальными средними декадными значениями температур воды озер Воже и Лача (13.2-13.6°) отмечается в первой декаде июня. Для оз. Кубенского (Озеро Кубенское, ч. I, 1977) наибольшая амплитуда колебаний средних декадных температур воды приходится также на июнь и достигает 14°. Такие большие амплитуды колебаний температуры воды указывают на значительную изменчивость синоптических условий в районе озер от года к году.

В процессе летнего нагревания температура водной массы озер Воже и Лача продолжает увеличиваться в среднем до второй декады июля (рис. 40), когда наступает максимальный прогрев озера. В отдельные годы максимальный прогрев водной массы озер наступает раньше среднего срока (в 1966 г. - начало третьей декады июня) или позже (в 1967 г. - первая декада августа).

Средняя декадная температура водной массы озер во второй декаде июля составляет в среднем 19.4° на оз. Воже и 18.6° на оз. Лача. Средняя декадная температура воды на оз. Кубенском в это же время составляет 18.9°.

В отдельные годы средняя декадная температура воды в период наибольшего прогрева озер достигает 25° (1972 г.), а наиболее низкие ее значения отмечались за этот период - 15.0° (1956 г.). Средняя суточная температура поверхности воды озер при максимальном их прогреве может достигать 27-29° (1972 г.).

Период осеннего охлаждения на оз. Воже продолжается в среднем до 17 октября, на оз. Лача - до 15 октября, когда температура воды достигает температуры наибольшей плотности (4°). По времени период осеннего охлаждения продолжительней периода летнего нагревания в среднем на 20-30 суток.

Следует отметить, что нагревание и охлаждение озер в открытый период выражается в неоднократном переходе температуры воды через 10 и 15°. По данным наблюдений на посту устье р. Тордоксы (оз. Воже), в 1961-1974 гг. температура воды в период с мая по ноябрь в среднем 4 раза переходила через 10°, 7 раз - через 15°. На оз. Лача за тот же период температура воды переходила 5 раз через 10° и 10 раз через 15°. Средние многолетние даты перехода температуры воды через 0.2°, 4° и 10° в период охлаждения приводятся в табл. 69.

Проследив за изменением температуры воды озер Воже и Лача в открытый период, перейдем к рассмотрению теплозапаса их водной массы, теплового режима донных отложений и их теплозапаса.

Теплозапас озера обычно определяется на первое число каждого месяца с целью определения изменения (приращения) теплозапаса водной массы ($\Delta W_в$) и донных отложений ($\Delta W_г$) за месяц. Для рассматриваемых озер теплозапас и его изменения опре-

Таблица 69

Средние многолетние (1945–1970 гг.) даты перехода осенью температуры воды озер через 0.2°, 4° и 10°

| Озеро | 0.2° | 4° | 10° |
|---|---|---|---|
| Воже | 5 XI | 17 X | 20 IX |
| Лача | 1 XI | 15 X | 16 IX |

делялись для открытого периода (с 1 мая по 1 ноября) за экстремальные годы (1956 и 1972 г.), период увлажненности (1951–1973 гг.), а также за годы работы экспедиции (1972–1974 гг.). На момент определения теплозапас водной массы или донных отложений озера рассчитывался по формуле

$$W = C \cdot H \cdot T^{0} ,$$

где $W$ – теплозапас (в кал./см$^2$); $C$ – объемная теплоемкость (в кал./см$^3$·град.) для воды, принимаемая за единицу; $H$ – средняя толщина слоя (в см), для которого определяется теплозапас; $T^0$ – средняя температура слоя.

Для расчета теплозапаса водной массы на первое число каждого месяца средняя глубина озера ($H$) определялась из данных наблюдений за уровнем воды и морфометрических характеристик. Средняя температура воды на первое число месяца открытого периода снималась с графика хода ее средних декадных значений. Затем в полученное значение температуры воды вводилась соответствующая поправка, осредненная за два смежных месяца (табл. 67). Такой прием определения искомой температуры воды на первое число месяца оказался наиболее корректным (Озеро Кубенское, ч. I, 1977). Полученные таким образом значения температуры воды приводятся в табл. 70. Данные этой таблицы показывают, что температура водной массы оз. Лача, расположенного севернее, в среднем ниже таковой оз. Воже.

По вышеприведенным формулам и данным табл. 70 были подсчитаны теплозапасы водной массы озер Воже и Лача (табл. 71). Как видно из табл. 71, теплозапасы водной массы оз. Лача в период с июня по ноябрь выше таковых оз. Воже. Такое различие объясняется большей средней глубиной оз. Лача.

Прежде чем рассмотреть теплозапасы донных отложений озер Воже и Лача, рассмотрим изменение температуры на различных горизонтах донных отложений в открытый период.

Ранее отмечалось, что в конце ледоставного периода поступление талой воды в озера вызывает снижение температуры их водной массы, и в среднем около 20 апреля теплозапас воды и донных отложений снижается до годового минимума. Только после

Таблица 70

Температура воды озер Воже (числитель) и Лача (знаменатель)

| Период | I V | I V1 | I VII | I VIII | I 1X | I X | I X1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1956 | 1.3/0.2 | 12.4/10.4 | 18.1/18.3 | 15.1/14.2 | 11.6/10.7 | 4.7/5.0 | 0.9/0.9 |
| 1972 | 2.2/1.5 | 14.3/14.0 | 21.3/23.7 | 21.2/20.0 | 15.2/13.2 | 6.3/5.3 | 2.0/0.4 |
| 1973 | 5.8/5.4 | 17.4/17.4 | 18.6/20.8 | 16.8/17.2 | 8.8/10.4 | 3.9/4.0 | 0.2/0.4 |
| 1974 | 1.0/0.2 | 9.0/9.8 | 20.9/21.4 | 18.7/18.7 | 14.9/15.1 | 9.7/10.3 | 2.0/1.4 |
| 1951-1973 | 2.5/1.6 | 12.9/12.3 | 17.5/17.7 | 18.1/17.9 | 14.1/13.2 | 6.3/6.3 | 0.4/0.6 |

Таблица 71

Теплозапас водной массы ($W_B$ ккал./см$^2$) и средняя многолетняя глубина ($H_{ср}$, см) озер Воже (числитель) и Лача (знаменатель)

| Период | I V | I V1 | I VII | I VIII | I 1X | I X | I X1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1956 | 0.1/0.0 | 1.5/1.8 | 1.8/2.6 | 1.2/1.8 | 1.0/1.5 | 0.4/0.7 | 0.1/0.1 |
| 1972 | 0.2/0.2 | 1.8/2.5 | 2.1/3.5 | 1.5/2.4 | 0.9/1.4 | 0.3/0.6 | 0.1/0.0 |
| 1973 | 0.6/0.9 | 1.7/2.6 | 1.4/2.7 | 0.9/1.9 | 0.5/1.0 | 0.2/0.4 | 0.0/0.0 |
| 1974 | 0.1/0.0 | 1.3/1.9 | 2.6/3.5 | 1.8/2.5 | 1.2/2.0 | 0.6/1.2 | 0.1/0.2 |
| 1951-1973 | 0.2/0.2 | 1.8/2.5 | 2.1/2.9 | 1.7/2.5 | 1.1/1.6 | 0.5/0.8 | 0.0/0.1 |
| $H_{ср}$ | 98/150 | 143/199 | 119/165 | 93/141 | 78/125 | 73/125 | 74/128 |



11 420

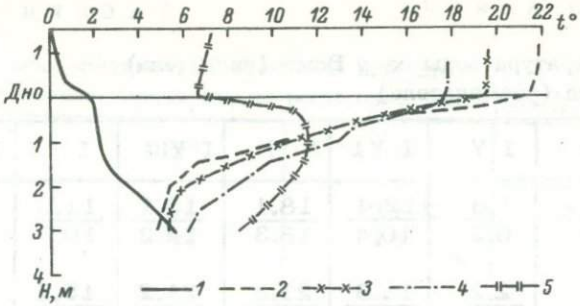



Рис. 42. Вертикальное распределение температуры воды и донных отложений оз. Воже в открытый период на ст. 3.

1 - 25 марта; 2 - 3 июля; 3 - 21 июля; 4 - 3 августа; 5 - 1 сентября.

того, как температура воды озера достигнет 2°, тепловой поток будет направлен от воды к донным отложениям.

Ход температуры донных отложений от весны к осени можно проследить по данным термосъемок оз. Воже, которые велись более часто (рис. 42). Кривая *1* на рис. 42 показывает изменение температуры воды с глубиной и донных отложений в теплоактивном слое (3 м) в конце марта. В это время тепловой поток направлен от грунта в воду. С начала мая, как показали исследования на оз. Кубенском (Озеро Кубенское, ч. I, 1977), тепловой поток направлен от воды к донным отложениям.

В конце мая температура верхнего приводного слоя донных отложений возрастает до 12-14°, а температура нижнего горизонта теплоактивного слоя становится ниже, чем была в конце марта. Понижение температуры донных отложений на горизонте 3 м отмечается и в более позднее время (июле) (рис. 42, кривые *2* и *3*).

На аналогичное снижение температуры донных отложений в Рыбинском водохранилище указывает С.Н. Тачалов (1966). Однако объяснение этому явлению в специальной литературе не дается.

А.А. Пивоваров (1972) указывает на возможный приток грунтовых вод, оказывающих влияние на снижение температуры донных отложений. Действительно, на озерах Воже, Лача и Кубенском данные некоторых термосъемок позволяют предположить влияние притока грунтовых вод на снижение температуры донных отложений в нижнем горизонте теплоактивного слоя. В подтверждение вышесказанному приводится поперечный термический разрез оз. Кубенского, выполненный 30 июня 1974 г. (рис. 43). Полученные данные свидетельствуют о притоке грунтовых вод в озеро, на что указывает снижение температуры донных отложений у западного высокого берега на горизонте от 6 до 8 м от поверхности воды или приблизительно на глубине 1.5-3.0 м от дна, где их

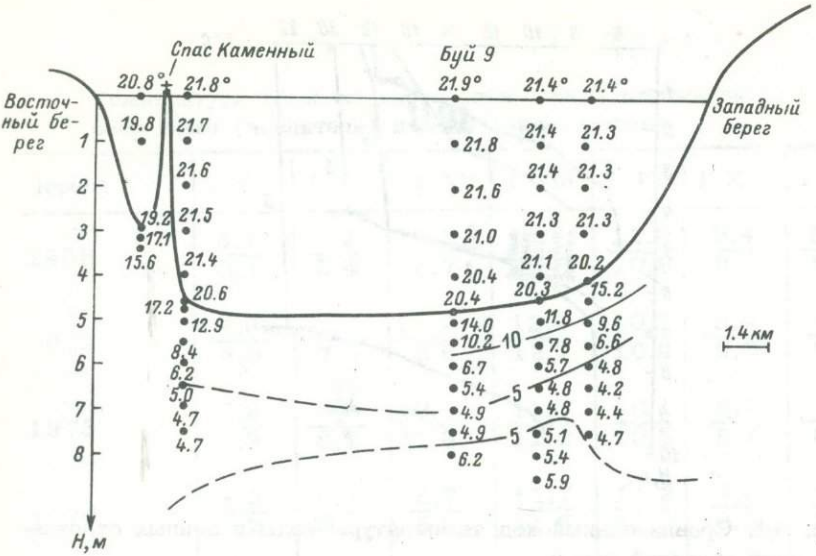



Рис. 43. Термический поперечный разрез оз. Кубенского в районе о. Каменный 30 июня 1974 г.

температура не превышает 5°. Этот слой донных отложений лежит между пятиградусными изотермами. Из сказанного следует, что температурные наблюдения над режимом донных отложений могут служить для определения места притока грунтовых талых вод и при детальных исследованиях по изменению теплозапасов можно судить о количестве подземного стока весной в озеро.

Максимальный прогрев донных отложений исследуемых водоемов наступает на 15–45 дней позже максимального прогрева водной массы, в зависимости от начала очищения озера ото льда.

Несколько иначе идет передача тепла от воды к донным отложениям на озерах, дно которых сплошь покрыто макрофитами (рис. 44). Первые такие данные получены А.И. Тихомировым в 1974 г. для оз. Каниери (Латвийская ССР) и высокогорного оз. Маркаколь (Казахская ССР). Макрофиты на указанных озерах образуют зону между хорошо прогретым слоем воды над ними и в значительной степени ограничивают передачу тепла слою воды ниже их верхней ковровой поверхности. Сравнивая температуру донных отложений озер Воже (рис. 44, кривая 5) и Маркаколь (кривая *2*), можно заметить, что в зарослях подводных макрофитов на оз. Маркаколь скорость передачи тепла от их верхней поверхности ко дну близка скорости передачи тепла в слое донных отложений на оз. Воже. Передача же тепла от воды в слое донных отложений на оз. Зайсан Казахской ССР (кривая *3*), на

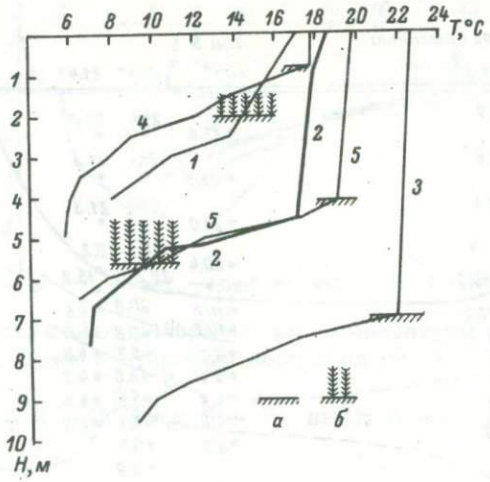



Рис. 44. Сравнительный ход температуры воды и донных отложений озер в **летний** сезон.

1 – Капиери, 28 У1 1974; 2 – Маркаколь, 24 УII 1975; 3 – Зайсан, 16 УII 1975; 4 – Кубенское, 29 УII 1974; 5 – Воже, 3 УIII 1974. а – граница дна, б – заросли макрофитов.

оз. Воже (кривая *5*) и оз. Кубенском (кривая *4*), где отсутствуют заросли подводных макрофитов происходит по одному и тому же закону, о чем свидетельствует аналогичный ход упомянутых выше кривых.

На озерах Воже и Лача прогрев донных отложений заканчивается в конце августа–начале сентября. Наступивший период их охлаждения характеризуется потоком тепла от донных отложений в воду и продолжающейся передачей тепла от верхнего слоя донных отложений нижележащим слоям (рис. 42, кривая *5* ). Передача тепла к нижним горизонтам донных отложений продолжается до октября, а в отдельные годы и весь октябрь (Тачалов, 1968). Мы предполагаем, что температура донных отложений на нижней границе теплоактивного слоя достигает максимального в году значения – 8–9°. В дальнейшем процесс охлаждения охватывает весь теплоактивный слой донных отложений. Распределение температуры в них характеризуется обратной термической стратификацией, которая сохраняется вплоть до периода весеннего нагревания.

Рассмотрим ежемесячное изменение **теплозапасов** донных отложений как одной из составляющей теплового баланса озер Воже и Лача за открытый период. Для этой цели нужно определить теплозапас донных отложений на первое число с мая по октябрь. Объемная теплоемкость донных отложений исследуемых озер была

Таблица 72

Температура теплоактивного слоя донных отложений озер Воже (числитель) и Лача (знаменатель).

| Период | I V | I VI | I VII | I VIII | I IX | I X | I XI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1956 | 3.1 / 3.1 | 5.2 / 5.4 | 9.2 / 8.7 | 11.1 / 10.6 | 11.0 / 10.8 | 9.4 / 9.9 | 8.8 / 9.1 |
| 1972 | 4.9 / 4.8 | 7.6 / 7.6 | 10.2 / 8.6 | 12.4 / 12.7 | 10.9 / 10.9 | 8.4 / 9.0 | 7.5 / 8.0 |
| 1973 | 5.9 / 5.9 | 9.2 / 8.7 | 10.8 / 11.9 | 11.7 / 12.0 | 10.1 / 10.5 | 8.7 / 8.7 | 8.0 / 8.2 |
| 1974 | 3.2 / 3.2 | 5.1 / 5.1 | 8.7 / 8.9 | 11.7 / 11.6 | 11.2 / 11.0 | 9.8 / 9.8 | 8.8 / 8.8 |
| 1951–1973 | 4.3 / 4.2 | 6.8 / 6.7 | 9.7 / 9.5 | 11.7 / 11.7 | 10.8 / 10.8 | 9.1 / 9.3 | 8.3 / 8.5 |

Таблица 73

Теплозапасы теплоактивного слоя донных отложений ( $W_г$ , ккал./см$^2$) озер Воже (числитель) и Лача (знаменатель).

| Период | I V | I VI | I VII | I VIII | I IX | I X | I XI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1956 | 0.6 / 0.8 | 1.1 / 1.5 | 1.9 / 2.4 | 2.3 / 2.9 | 2.3 / 2.9 | 2.0 / 2.7 | 1.8 / 2.5 |
| 1972 | 1.0 / 1.3 | 1.6 / 2.0 | 2.1 / 2.3 | 2.6 / 3.4 | 2.3 / 2.9 | 1.8 / 2.4 | 1.6 / 2.2 |
| 1973 | 1.2 / 1.6 | 1.9 / 2.4 | 2.3 / 3.2 | 2.5 / 3.2 | 2.1 / 2.8 | 1.8 / 2.4 | 1.7 / 2.2 |
| 1974 | 0.7 / 0.9 | 1.1 / 1.4 | 1.8 / 2.4 | 2.6 / 3.1 | 2.4 / 3.0 | 2.1 / 2.6 | 1.8 / 2.4 |
| 1951–1973 | 0.9 / 1.2 | 1.4 / 1.8 | 2.0 / 2.6 | 2.5 / 3.2 | 2.3 / 2.9 | 1.9 / 2.5 | 1.7 / 2.3 |

получена в зависимости от содержания в них органического вещества (Бакастов, 1966).

Исследования А.А. Курочкиной (1975) показали, что большая часть дна оз. Воже занята песками (48.3%), крупноалевритовыми илами (3.2%) и мелкоалевритовыми илами (48.5%). Средневзвешенное по площади содержание органического вещества в донных отложениях оз. Воже составляет 8.2%, что соответствует объемной теплоемкости в 0.7 кал./см$^3$. град. Дно оз. Лача покрыто песками незначительно (11.6%), большая часть его донных отложений представлена мелкоалевритовыми илами (88.4%). Среднее содержание органического вещества в донных отложениях оз. Лача составляет 19.6%, а их объёмная теплоемкость – 0.9 кал./см$^3$.град.

По номограммам изменения температуры донных отложений для оз. Кубенского (Тихомиров, Егоров, 1977) в зависимости от суммы средних суточных температур воды от момента ее перехода через 4$^o$ до даты определения были получены температуры донных отложений озер Воже и Лача (табл. 72). Зная на первое число месяца послойную температуру донных отложений теплоактивного слоя и их объемную теплоемкость, можно вычислить теплозапасы донных отложений (табл. 73). Как показывают полученные результаты, в среднем до 1 августа температура донных отложений оз. Лача ниже таковой оз. Воже, в течение августа температуры донных отложений этих водоемов одинаковы, а с началом осеннего охлаждения температуры донных отложений оз. Лача несколько выше таковых оз. Воже. Эти различия объясняются разными средними глубинами исследуемых озер и температурой их водной массы (табл. 73).

Донные отложения оз. Воже до 1 августа прогреваются больше, а осенью охлаждаются быстрее, чем оз. Лача. Средняя многолетняя величина теплозапаса донных отложений на 1 мая (0.9 ккал./см$^2$ – оз. Воже и 1.2 ккал./см$^2$ – оз. Лача) близка годовому минимуму, величина которого, по данным термосъемок в конце марта 1973 г., составила для оз. Воже – 0.9 ккал./см$^2$ и для оз. Лача – 1.1 ккал./см$^2$.

Теплозапасы донных отложений озер увеличиваются и достигают своего максимального значения в августе (табл. 73). С первых чисел сентября теплозапасы донных отложений начинают уменьшаться и к 1 ноября становятся равными в среднем 1.7 ккал./см$^2$ на оз. Воже и 2.3 ккал./см$^2$ на оз. Лача. Ледостав на исследуемых озерах в среднем наступает 2–3 ноября. Следовательно, за период ледостава с ноября по 1 мая донные отложения оз. Воже передают водной массе около 0.8 ккал./см$^2$, а донные отложения оз. Лача – 1.1 ккал./см$^2$.

Роль донных отложений в тепловом бюджете мелководных озер весьма значительна (табл. 74). Их доля за открытый период составляет от 40% и более процентов, весной – около 90%, а осенью перед ледоставом – 100%. В период ледостава тепло донных отложений поступает в водную массу и снижает возможную

Таблица 74

Теплозапасы водной массы и донных отложений озер Воже (числитель) и Лача (знаменатель) за открытый период 1951–1973 гг.

| Теплозапас | I 1У | I У | I У1 | I У11 | I У111 | I 1Х | I Х | I Х1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Водной массы ($W_в$, ккал./см$^2$) | 0.08 / 0.13 | 0.20 / 0.20 | 1.80 / 2.50 | 2.10 / 2.90 | 1.70 / 2.50 | 1.10 / 1.60 | 0.50 / 0.80 | 0.00 / 0.10 |
| Донных отложений ($W_г$, ккал./см$^2$) | 0.90 / 1.10 | 0.90 / 1.20 | 1.40 / 1.80 | 2.00 / 2.60 | 2.50 / 3.20 | 2.30 / 2.90 | 1.90 / 2.50 | 1.70 / 2.30 |
| Суммарный ($W_в + W_г$), ккал./см$^2$ | 0.98 / 1.23 | 1.10 / 1.40 | 3.20 / 4.30 | 4.10 / 5.50 | 4.20 / 5.70 | 3.40 / 4.50 | 2.40 / 3.30 | 1.70 / 2.40 |
| Донных отложений в долях от суммарного, % | 92 / 89 | 82 / 86 | 44 / 42 | 49 / 47 | 60 / 56 | 68 / 64 | 79 / 76 | 100 / 96 |

площадь промерзания озера до дна. Это благоприятно сказывается на условиях обитания водных организмов озера.

В итоге отметим, что в результате проделанной работы удалось составить четкое представление о термическом режиме озер Воже и Лача: получены средние месячные значения температуры воды и донных отложений, определена роль последних в термическом режиме исследованных водоемов.

## 4.5. Тепловой баланс

Озера Воже и Лача расположены в зоне с неустойчивыми климатическими условиями. Частая смена облачности, температуры и влажности воздуха оказывает значительное влияние на интенсивность и направление теплопотока к поверхности рассматриваемых озер, в значительной мере меняет их тепловое состояние за короткие промежутки времени. Вследствие этого изучение и расчет составляющих теплового баланса рассматриваемых водоемов значительно осложнен. Существующие трудности в расчете составляющих теплового баланса во многих случаях, особенно при отсутствии некоторых данных, преодолеть не удается. Это в значительной мере относится к точности расчета составляющих теплового баланса озер Воже и Лача, где ряд систематических наблюдений был меньше, чем на оз. Кубенском. Наша задача состояла в том, чтобы для озер Воже и Лача в среднем за полный цикл колебания увлажненности (1951-1973 гг.) получить ежемесячные составляющие теплового баланса и сам тепловой баланс с мая по октябрь, а также за экстремальные годы указанного периода (1956 и 1972 гг.) и за годы работы экспедиции 1972-1974 гг.

Радиационный баланс озер Воже и Лача за указанные выше период и годы был рассчитан Э.М. Гореловой (разд. 4.7, наст. изд.); затраты тепла на испарение и турбулентный теплообмен между поверхностью озера и атмосферой - А.Ф. Изотовой (разд. 4.2, наст. изд.); тепловой приток и сток - В.А. Кирилловой (разд. 4.3, наст. изд.); температурный режим, теплозапасы водной массы и донных отложений - А.Н. Егоровым и А.И. Тихомировым (разд. 4.4, наст. изд.).

Уравнение теплового баланса имеет вид суммы основных его составляющих:

$$B + LE \pm P + Q_{пр} - Q_{ст} \pm \Delta W_{в} \pm \Delta W_{г} = 0 ,$$

где $B$ - радиационный баланс; $LE$ - затраты тепла на испарение; $P$ - затраты тепла на турбулентный обмен между поверхностью озера и атмосферой; $Q_{пр}$ - приток тепла с водою рек, впадающих в озеро; $Q_{ст}$ - тепловой сток с водою из озера; $\Delta W_{в}$ - приращение теплозапаса водной массы озера; $\Delta W_{г}$ - приращение теплозапаса донных отложений теплоактивного трехметрового слоя.

Таблица 75

Средние месячные значения составляющих теплового баланса (в ккал./см$^2$·мес.) озер Воже (числитель) и Лача (знаменатель) за 1951-1973 гг.

| Составляющие теплового баланса | V | VI | VII | VIII | IX | X | $\Sigma_{V-X}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B | 7.8 / 7.5 | 9.7 / 9.1 | 9.0 / 8.5 | 5.3 / 5.0 | 1.9 / 1.2 | -0.8 / -0.8 | 32.9 |
| LE | -2.9 / -2.1 | -6.0 / -6.0 | -6.2 / -5.7 | -4.7 / -4.2 | -2.4 / -2.0 | -1.0 / -1.2 | -23.2 |
| P | 0.0 / 0.4 | -1.2 / -0.9 | -1.2 / -1.0 | -1.0 / -0.7 | -0.7 / -0.4 | -0.5 / -0.4 | -4.6 |
| $Q_{пр}$ | 1.3 / 1.9 | 0.6 / 2.1 | 0.4 / 1.9 | 0.4 / 1.4 | 0.4 / 0.8 | 0.2 / 0.4 | 3.3 |
| $Q_{ст}$ | -0.6 / -1.3 | -1.3 / -2.9 | -1.3 / -2.4 | -0.9 / -1.7 | -0.5 / -0.8 | -0.2 / -0.3 | -4.8 |
| $\Delta W_в$ | -1.6 / -2.4 | -0.2 / -0.4 | 0.4 / 0.4 | 0.6 / 0.9 | 0.6 / 0.9 | 0.4 / 0.7 | 0.2 |
| $\Delta W_г$ | -0.5 / -0.7 | -0.6 / -0.8 | -0.4 / -0.6 | 0.2 / 0.2 | 0.4 / 0.4 | 0.2 / 0.2 | -0.7 |
| $\Sigma$ (+) | 9.1 / 9.8 | 10.3 / 11.2 | 9.8 / 10.8 | 6.5 / 7.5 | 3.3 / 3.3 | 0.8 / 1.3 | 36.4 / 39.1 |
| $\Sigma$ (-) | -5.6 / -6.5 | -9.3 / -11.0 | -9.1 / -9.7 | -6.6 / -6.6 | -3.6 / -3.2 | -2.5 / -2.7 | 33.3 / -34.9 |
| $\delta$ | 3.5 / 3.3 | 1.0 / 0.2 | 0.7 / 1.1 | -0.1 / 0.9 | -0.3 / 0.1 | -1.7 / -1.4 | 3.1 / 4.2 |

В уравнение теплового баланса не включены затраты тепла на таяние льда (в мае) и его образование (в октябре). В отдельные годы эти величины в тепловом балансе озер Воже и Лача играют существенную роль. Однако отсутствие сведений о ледовых условиях на рассматриваемых озерах в переходные периоды не позволило учесть влияние льда на величину отдельных составляющих в мае и октябре и затраты тепла на таяние и образование льда. Все прочие составляющие теплового баланса, значение которых не превышало в основном (±) 0.1 ккал./см$^2$·мес., в балансе не учитывались.

Рассмотрим значения составляющих теплового баланса озер Воже и Лача за открытый период в среднем за 1951-1973 гг. (табл. 75). Положительные значения B, P, $Q_{пр}$ указывают на повышение теплозапаса, а отрицательные значения B, LE, P, $Q_{ст}$ – на снижение теплозапаса озёр. Накопление тепла водою ($\Delta W_в$) и донными отложениями ($\Delta W_г$) обозначено отрицательными, а их снижение – положительными знаками. При рассмотрении составляющих теплового баланса оз. Кубенского (Озеро Кубенское, ч. I, 1977) указывалось, что суммы средних многолетних значений радиационного баланса с мая по октябрь для ряда крупных глубоких и мелких озер Северо-Запада близки между собой. Широтное расположение водоемов Кубенского, Воже и Лача способствует тому, что сумма B несколько уменьшается с юга на север. Однако снижение суммы LE и P для этих озер в указанной последовательности не происходит (табл. 75). Для оз. Кубенского они составляют соответственно – 22.7 и – 3.7 ккал./см$^2$ с мая по октябрь за тот же период. Проведенный анализ выявил, что на всех озерах Северо-Запада максимальная величина испарения достигает в тот месяц, когда разность между средней месячной температурой поверхности воды и средней месячной температурой воздуха становится наибольшей и положительной величиной; на крупных озерах – в октябре-ноябре, на мелких – в июне-июле (Озеро Кубенское, ч. I, 1977).

Затраты тепла на испарение являются основной статьей расхода всего поступающего тепла в водную массу рассматриваемых озер за счет лучистой энергии солнца с мая по октябрь и составляют от поглощенного тепла в среднем 70%, что на 5-6% выше, чем на оз. Кубенском, из-за большего различия между температурой водной поверхности этих озер и воздуха.

Турбулентный обмен теплом между водной поверхностью озер и атмосферой составляет для оз. Воже – 14% и для оз. Лача – 10% суммы радиационного баланса с мая по октябрь.

С притоком воды в озере теплозапас его растет, а со стоком – уменьшается. Наибольшее количество тепла за счет притока оз. Воже получает в мае (1.3 ккал./см$^2$·мес., табл. 75) и половину его отдает оз. Лача. В последующие месяцы тепловой сток из оз. Воже выше, чем его приток. В оз. Лача наибольший приток тепла со стоком поступает в июне (2.1 ккал./см$^2$·мес.). В этом же месяце

и его тепловой сток возрастает до максимума (2.9 ккал./см$^2$·мес.). За открытый период тепловой сток из оз. Воже составляет половину теплового притока оз. Лача. Тепловой сток оз. Лача в два раза выше теплового стока оз. Воже. За открытый период разность между тепловым притоком и стоком оз. Воже равна 1.5 ккал./см$^2$, а оз. Лача – 0.9 ккал./см$^2$. Указанная разность, отнесенная к радиационному балансу, у оз. Воже составляет 4.5%, у оз. Лача – 2.9%, а у оз. Кубенского – более 10%. Приведенное сопоставление показывает, что чем меньше зарегулирован сток из озера, тем меньше разность между его тепловым притоком и стоком. Поэтому для водохранилищ в их тепловом балансе очень важно учитывать тепловой приток и сток (Озеро Кубенское, ч. I, 1977).

Теперь обратимся к ежемесячному изменению теплозапасов водной массы и донных отложений озер Воже и Лача (табл. 75). Как показывают данные табл. 75, теплозапас водной массы увеличивается в мае–июне, а донных отложений – в мае–июле. Наибольшее увеличение теплозапаса водной массы (на 1.6–2.4 ккал./см$^2$·мес.) происходит в мае, а донных отложений (на 0.6–0.8 ккал./см$^2$·мес.) – в июне.

Следует особо отметить тот факт, что сумма поступившего тепла в водную массу за май–июнь меньше суммы выделившегося из нее тепла в июле–октябре на 0.1–0.2 ккал./см$^2$ за счет поступления тепла, в водную массу от донных отложений. Количество тепла, поглощенного донными отложениями за май–июль, меньше количества тепла, поглощенного водой, и составляет к концу открытого периода 0.7 ккал./см$^2$ – на оз. Воже и 1.3 ккал./см$^2$ – на оз. Лача. Большое количество тепла, сохраняемое донными отложениями оз. Лача в зимний период, объясняется их значительной теплоемкостью за счет большего содержания в них органического вещества. Роль донных отложений в таких мелководных озерах, как Воже, Лача и Кубенское, состоит не только в абсолютном увеличении теплозапасов этих водоемов, но и в том, что запасенное тепло донными отложениями расходуется медленно в ледоставный период, предотвращает в известной мере промерзание этих озер до дна, сохраняя в них большее количество воды в жидкой фазе, благоприятствуя сохранению рыбы при средней глубине озера, иногда не достигающей и одного метра в зимний период.

Анализ и сопоставление полученных результатов отдельных составляющих теплового баланса за многолетний период (табл. 75) позволяет установить некоторые возможные причины невязок между суммой положительных и отрицательных значений теплового баланса в отдельные месяцы. За май эта невязка достигает наибольшего значения – 3.3–3.5 ккал./см$^2$, а за октябрь – 1.4–1.7 ккал./см$^2$. Если учесть, что почти ежегодно на озере в первой декаде мая и в последней декаде октября существует лед, площадь и толщина которого не учтена при расчете составляющих теплового баланса из-за отсутствия нужных сведений, то, очевидно, по аналогии с полученными расхождениями в сумме

Таблица 76

Средние месячные значения составляющих теплового баланса (в ккал./см$^2$·мес.) оз. Воже в экстремальные годы (1956 и 1972 гг.) расчетного периода и годы работы экспедиции (1972–1974 гг.)

| Составляющие баланса | V | VI | VII | VIII | IX | X | Σ V–X |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1956 | | | | |
| B | 8.1 | 10.2 | 7.8 | 4.4 | 1.3 | –0.8 | 31.0 |
| LE | –2.4 | –6.6 | –5.6 | –4.6 | –2.8 | –1.8 | –23.5 |
| P | 0.7 | –0.3 | –1.5 | –1.5 | –0.3 | –1.0 | –3.9 |
| $Q_{пр}$ | 0.7 | 0.6 | 0.4 | 0.7 | 0.3 | 0.2 | 2.9 |
| $Q_{ст}$ | –0.3 | –1.2 | –0.8 | –0.7 | –0.4 | –0.2 | –3.6 |
| $\Delta W_в$ | –1.5 | –0.2 | 0.5 | 0.2 | 0.6 | 0.3 | –0.1 |
| $\Delta W_г$ | 0.4 | –0.8 | –0.4 | 0.0 | 0.3 | 0.1 | –1.2 |
| Σ(+) | 9.5 | 10.8 | 8.7 | 5.3 | 2.5 | 0.6 | 33.9 |
| Σ(–) | 4.6 | 9.1 | 8.3 | 6.8 | 3.5 | 3.5 | 32.3 |
| δ | 4.9 | 1.7 | 0.4 | –1.5 | –1.0 | –2.9 | 1.6 |
| | | | 1972 | | | | |
| B | 8.3 | 10.4 | 10.1 | 6.4 | 1.5 | –0.7 | 36.0 |
| LE | –3.0 | –5.8 | –7.6 | –7.0 | –2.5 | –1.1 | –27.0 |
| P | –0.3 | –0.8 | –0.8 | –0.6 | –0.9 | –0.2 | –3.6 |
| $Q_{пр}$ | 0.9 | 0.6 | 0.7 | 0.6 | 0.2 | 0.1 | 3.1 |
| $Q_{ст}$ | –0.6 | –1.3 | –1.4 | –0.4 | –0.4 | –0.1 | –4.2 |
| $\Delta W_в$ | –1.6 | –0.4 | 0.6 | 0.7 | 0.5 | 0.2 | 0.0 |
| $\Delta W_г$ | –0.6 | –0.5 | –0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.2 | –0.6 |
| Σ(+) | 9.2 | 11.0 | 11.4 | 8.0 | 2.7 | 0.5 | 39.1 |
| Σ(–) | 6.1 | 8.8 | 10.3 | 8.0 | 3.8 | 2.1 | 35.4 |
| δ | 3.1 | 2.2 | 1.1 | 0.0 | –1.1 | –1.6 | 3.7 |
| | | | 1973 | | | | |
| B | 8.6 | 10.0 | 9.9 | 6.0 | 1.2 | –0.8 | 34.9 |
| LE | –4.4 | –7.7 | –8.1 | –3.5 | –2.0 | –1.2 | –26.7 |
| P | –0.5 | –1.1 | –1.1 | –0.3 | –0.7 | –0.5 | –4.2 |
| $Q_{пр}$ | 0.6 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 2.0 |
| $Q_{ст}$ | –0.7 | –0.9 | –1.0 | –0.7 | –0.2 | –0.1 | –3.6 |
| $\Delta W_в$ | –1.0 | 0.2 | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.2 | 1.0 |
| $\Delta W_г$ | –0.7 | –0.3 | –0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | –0.5 |

Таблица 76 (продолжение)

| Составляющие баланса | V | VI | VII | VIII | IX | X | $\Sigma_{V-X}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1973 | | | |
| $\Sigma(+)$ | 9.2 | 10.7 | 10.7 | 7.1 | 2.3 | 0.4 | 37.9 |
| $\Sigma(-)$ | 7.3 | 9.8 | 10.4 | 4.5 | 2.9 | -2.6 | 35.0 |
| $\delta$ | 1.9 | 0.9 | 0.3 | 2.6 | -0.6 | -2.2 | 2.9 |
| | | | | 1974 | | | |
| B | 7.8 | 10.6 | 9.2 | 5.0 | 2.0 | -0.7 | 33.9 |
| LE | -1.3 | -4.8 | -5.5 | -2.8 | -2.5 | -0.9 | -17.8 |
| P | 0.7 | -0.5 | -1.2 | -0.6 | -0.2 | -0.3 | -2.1 |
| $Q_{пр}$ | 0.7 | 0.9 | 0.5 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 3.0 |
| $Q_{ст}$ | -0.2 | -1.5 | -1.6 | -0.9 | -0.6 | -0.2 | -5.1 |
| $\Delta W_в$ | -1.2 | -1.3 | 0.8 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.0 |
| $\Delta W_г$ | -0.4 | -0.8 | -0.6 | 0.1 | 0.3 | 0.2 | -1.2 |
| $\Sigma(+)$ | 9.2 | 11.5 | 10.5 | 6.1 | 3.1 | 0.9 | 36.9 |
| $\Sigma(-)$ | 3.1 | 8.9 | 8.9 | 4.3 | 3.3 | -2.1 | 26.2 |
| $\delta$ | 6.1 | 2.6 | 1.6 | 1.8 | -0.2 | -1.2 | 10.7 |

положительных и отрицательных значений за другие месяцы (июнь-сентябрь), можно считать, что за многолетний период для открытой воды результаты расчета составляющих получены с удовлетворительной точностью для общего суждения об изменении теплового режима при реконструкции этих водоемов.

За экстремальные годы расчетного периода и отдельные годы работы экспедиции месячные суммы составляющих теплового баланса (табл. 76, 77) получились менее удовлетворительными, чем за весь рассматриваемый период (табл. 75). Этого и следовало ожидать, так как составляющие теплового баланса для озер Воже и Лача получены в основном по расчетным данным, без проведения непосредственных наблюдений над элементами гидрометеорологического режима на указанных водоемах.

В заключение отметим, что приведенные в настоящей главе данные о тепловом режиме и балансе озер Воже и Лача за безледный период являются первыми более полными сведениями.

Основное сходство озер Воже, Лача и Кубенского обусловлено их незначительной средней глубиной (1-3 м) и почти одинаковыми размерами их площади. Они вытянуты цепочкой друг за другом на расстояние 250 км и лежат в одной климатической зоне. Рассмотренные озера в мае получают наибольший теплозапас за счет притока воды и интенсивного поступления солнечного теп-

Таблица 77

Средние месячные значения составляющих теплового баланса (в ккал./см$^2$·мес.) оз. Лача в экстремальные годы (1956 и 1972 гг.) расчетного периода и годы работы экспедиции (1972–1974 гг.)

| Составляющие баланса | V | VI | VII | VIII | IX | X | Σ V–X |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1956 | | | |
| B | 7.8 | 9.8 | 7.0 | 3.8 | 0.7 | -1.1 | 28.0 |
| LE | -0.7 | -6.4 | -6.0 | -3.3 | -2.5 | -1.8 | -20.7 |
| P | 2.0 | 0.2 | -1.9 | -0.8 | -0.3 | -1.0 | -1.8 |
| $Q_{пр}$ | 0.9 | 1.7 | 1.1 | 1.5 | 0.7 | 0.4 | 6.3 |
| $Q_{ст}$ | -0.4 | -2.4 | -1.4 | -1.4 | -0.8 | -0.3 | -6.7 |
| $\Delta W_в$ | -1.8 | -0.8 | 0.8 | 0.3 | 0.8 | 0.5 | -0.2 |
| $\Delta W_г$ | -0.6 | -0.9 | -0.5 | 0.0 | 0.2 | 0.2 | -1.6 |
| Σ(+) | 10.7 | 11.7 | 8.9 | 5.6 | 2.4 | 1.1 | 34.3 |
| Σ(-) | 3.5 | 10.5 | 9.8 | 5.5 | 3.6 | 4.2 | 31.0 |
| δ | 7.2 | 1.2 | -0.9 | 0.1 | -1.2 | -3.1 | 33 |
| | | | | 1972 | | | |
| B | 8.0 | 10.1 | 10.2 | 6.2 | 1.2 | -0.8 | 34.9 |
| LE | -1.8 | 5.2 | -7.2 | -5.0 | -1.5 | -0.7 | -21.4 |
| P | 0.1 | -0.8 | -1.1 | -0.2 | -0.5 | -0.1 | -2.6 |
| $Q_{пр}$ | 1.7 | 2.3 | 1.7 | 0.9 | 0.4 | 0.1 | 7.1 |
| $Q_{ст}$ | -1.1 | -2.8 | -2.0 | -1.4 | -0.4 | -0.1 | -7.8 |
| $\Delta W_в$ | -2.3 | -1.0 | 1.1 | 1.0 | 0.9 | 0.5 | 0.2 |
| $\Delta W_г$ | -0.8 | -0.3 | -1.1 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | -0.9 |
| Σ(+) | 9.8 | 12.4 | 13.0 | 8.6 | 3.0 | 0.9 | 42.2 |
| Σ(-) | 6.0 | 10.1 | 11.4 | 6.6 | 2.4 | 1.7 | 32.7 |
| δ | 3.8 | 2.3 | 1.6 | 2.0 | 0.6 | -0.8 | 9.5 |
| | | | | 1973 | | | |
| B | 8.1 | 9.4 | 9.8 | 5.2 | 0.8 | -0.7 | 32.6 |
| LE | -5.2 | -7.6 | -8.4 | -4.6 | -2.0 | -1.3 | -29.1 |
| P | -1.0 | -1.2 | -1.3 | -0.8 | -0.7 | -0.6 | -5.6 |
| $Q_{пр}$ | 1.5 | 1.2 | 0.9 | 0.6 | 0.2 | 0.1 | 4.5 |
| $Q_{ст}$ | -1.7 | -1.7 | -1.2 | -0.8 | -0.2 | -0.1 | -5.7 |
| $\Delta W_в$ | -1.7 | -0.1 | 0.8 | 0.8 | 0.6 | 0.4 | 0.8 |
| $\Delta W_г$ | -0.8 | -0.9 | 0.0 | 0.4 | 0.5 | 0.1 | -0.7 |

Таблица 77 (продолжение)

| Составляющие баланса | V | VI | VII | VIII | IX | X | Σ V–X |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1973 | | | |
| Σ(+) | 9.6 | 10.6 | 11.5 | 7.0 | 2.1 | 0.6 | 37.9 |
| Σ(-) | 10.4 | 11.5 | 10.9 | 6.2 | 2.9 | 2.7 | 41.1 |
| δ | -0.8 | -0.9 | 0.6 | 0.8 | -0.8 | -2.1 | -3.2 |
| | | | | 1974 | | | |
| B | 7.2 | 10.1 | 9.3 | 4.1 | 2.0 | -0.7 | 32.0 |
| LE | -1.6 | -6.0 | -5.9 | -4.0 | -2.4 | -1.0 | -20.9 |
| P | 0.7 | -0.6 | -0.9 | -0.9 | 0.2 | 0.0 | -1.5 |
| $Q_{пр}$ | 0.9 | 2.7 | 2.1 | 1.3 | 0.7 | 0.4 | 8.1 |
| $Q_{ст}$ | -0.6 | -3.4 | -3.4 | -1.9 | -0.9 | -0.4 | -10.6 |
| $\Delta W_в$ | -1.9 | -1.6 | 1.0 | 0.5 | 0.8 | 1.0 | -0.2 |
| $\Delta W_г$ | -0.5 | -1.0 | -0.7 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | -1.4 |
| Σ(+) | 8.8 | 12.8 | 12.4 | 6.1 | 4.0 | 1.7 | 40.1 |
| Σ(-) | 4.6 | 12.6 | 10.9 | 6.8 | 3.3 | 2.1 | 34.6 |
| δ | 4.2 | 0.2 | 1.5 | -0.7 | 0.7 | -0.4 | 5.5 |

ла. Прогрев водной массы до максимума в озерах Воже и Лача заканчивается в июне–начале июля, Кубенском – в июле. Прогрев их донных отложений завершается в июле. Потери тепла водной массы в основном обусловлены испарением и достигают наибольшего значения в тот месяц, когда разность между температурой воды и воздуха достигает наибольшего и положительного значения (обычно в июле). Для озер Воже и Лача разность между тепловым притоком и стоком находится в пределах 0.9–1.5 ккал./см$^2$ за открытый период. Для оз. Кубенского она составляет 3.6 ккал./см$^2$, что соизмеримо с потерей тепла за указанное время за счет турбулентного теплообмена между поверхностью озера и атмосферой. Это объясняется тем, что сток оз. Кубенского зарегулирован и его водный режим приближается к режиму водохранилища.

Глава 5

# ГИДРОХИМИЯ ОЗЕР И ИХ ПРИТОКОВ

Гидрохимический режим озер Воже и Лача изучен слабо. К источникам сведений, в той или иной мере его касающихся, относятся результаты наблюдений с 1951 г., опубликованные в Ресурсах поверхностных вод (1972); характеристика минерализации и ионного стока р. Свиди, приведенная в работе Р.А. Филенко (1964); характеристика малых озер в бассейне оз. Воже, изученных экспедицией Вологодского педагогического института (Воробьев, 1974), и отчет о работе на оз. Лача экспедиции СевНИОРХа в 1967–1968 гг.

Гидрохимические исследования на озерах Воже и Лача проводились Институтом озероведения в течение 1972–1974 гг., в 1972 г. основное внимание было уделено оз. Лача, а в 1973–1974 гг. – оз. Воже. В летне-осенний период (с конца мая по октябрь) ежемесячно проводились съемки озер по стандартной сетке станций (см. рис. 3, 4), а в промежуточные сроки (в среднем 1 раз в 10–15 дней) дополнительно велись наблюдения на опорных станциях. Зимние работы на озерах проводились в марте 1972 и 1973 гг. На основных притоках озера с июля 1972 г. по сентябрь 1973 г. ежемесячно отбирались пробы воды на анализ ионного состава, на мелких притоках выполнены единичные наблюдения. Характеристика притоков по режиму органического вещества и биогенных элементов дается по материалам летних наблюдений. Предварительные результаты наблюдений на этих озерах опубликованы в книге „Озера Лача и Воже" (1975).

Определение большинства компонентов состава воды выполнялось стандартными методами, широко используемыми в гидрохимической практике (Алекин, 1954; Алекин и др., 1973; Драчев и др., 1953). Для устранения влияния окраски воды при определении содержания минерального фосфора применялось компарирование, а имитационный раствор для определения кремния готовился на испытуемой воде. Определение содержания растворенного кислорода в 1972 г. проводилось методом Винклера, а с 1973 г. – с помощью электрохимического анализатора растворенного кислорода UT 6803, изготовленного Тартуским Государственным университетом. Калибровка прибора выполнялась путем сравнения с методом Винклера. Содер-

жание сульфатов определялось при концентрации иона $SO_4^{2-}$ до 50 мг/л колориметрическим полумикрометодом (Соловьева, 1966), при содержании $SO_4^{2-}$ выше 50 мг/л – весовым методом. Содержание щелочных металлов рассчитывалось по разности между суммой эквивалентов анионов и щелочноземельных металлов, а в 1974 г. выполнялось прямое определение $Na^+$ и $K^+$ методом пламенной фотометрии. При определении органического углерода использовался ампульный персульфатный метод Мензеля и Ваккара в модификации Э.А. Румянцевой (1977).

В выполнении анализов принимали участие Л.И. Соломахина и Т.М. Поливанова. Содержание органического углерода определялось Э.А. Румянцевой и Д.З. Ульяновой, общего фосфора – А.Г. Бакулиной.

## 5.1. Гидрохимия притоков оз. Воже

### Общая минерализация и ионный состав

Общая минерализация и состав воды оз. Воже и его притоков определяются прежде всего климатическими условиями района и особенностями литологического состава пород на водосборе.

Превышение осадков над испарением, обусловливающее хорошую промытость почв и грунтов, способствует формированию в этом районе вод, имеющих малую минерализацию. В то же время широкое распространение на водосборе имеют осадочные породы палеозойского возраста, залегающие на кристаллическом фундаменте. Подземные воды пермских отложений образуют первый от поверхности (после четвертичного) водоносный горизонт, широко дренируемый реками, и определяют повышенную минерализацию поверхностных вод региона. Грунтовые и слабонапорные воды четвертичных отложений малообильны и имеют подчиненное значение в формировании подземного стока, особенно в маловодные годы (Гидрогеология СССР, 1969).

Р е к а  М о д л о н а. Общая минерализация воды р. Модлоны изменяется от 78 мг/л в период весенного половодья до 363 мг/л в зимнюю межень, т.е. в 4.6 раза (табл. 78, рис. 45) (понижение $\Sigma_u$ в феврале-марте 1973 г. вызвано оттепелями). Летние дождевые паводки слабо сказываются на изменении $\Sigma_u$ благодаря высокой заболоченности территории (16%) и естественному регулированию стока. С мая по сентябрь общая минерализация воды реки медленно возрастает (в 1.5–2.0 раза).

По ионному составу воды р. Модлоны относятся к гидрокарбонатному классу кальциевой группы и имеют обычно индекс $C_{II}^{Ca}$ или $C_{II-III}^{Ca}$. Гидрокарбонатные ионы составляют 48–68 экв.% (32–194 мг/л). Большую роль в анионном составе воды играют сульфатные ионы, составляющие 28–45 экв.% анионной части в меженный период, а во время весенного паводка дающие равную часть с гидрокарбонатами

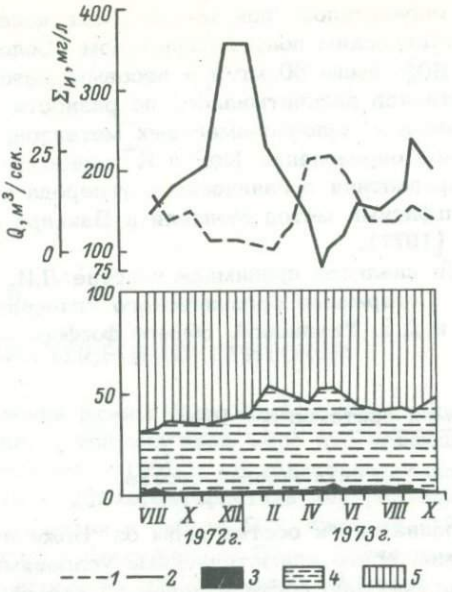



Рис. 45. Сезонные изменения минерализации и анионного состава воды р. Модлоны.

1 – расход воды; 2 – общая минерализация; 3–5 – анионный состав (3 – $Cl^-$, 4 – $SO_4^{2-}$, 5 – $HCO_3^-$).

(рис. 45). Внутригодовые колебания в содержании хлоридного иона невелики – от 1.1 до 3.8 мг/л (1–5 экв.%).

Соотношение катионов в целом мало меняется по сезонам: кальций составляет 58–69 экв.%, магний – 31–39 экв.%. На долю щелочных металлов, как правило, приходится меньше 5 экв.%; содержание иона $Na^+$, полученное прямым определением методом пламенной фотометрии, равняется 1.1–2.1 мг/л, $K^+$ – 0.4–0.6 мг/л.

Повышенное содержание сульфатов в воде реки в меженный период обусловлено распространением в верхней части бассейна гипсов и ангидритов в отложениях уфимского яруса верхней перми.

При переходе реки на поверхностно-склоновое и грунтовое питание некоторое количество сульфатов поступает из талых снеговых вод, с разлагающейся лесной подстилки и с болот. Кроме того, при поступлении в воду реки свободных органических кислот происходит снижение величины pH, сдвиг карбонатного равновесия и снижение содержания гидрокарбонатных ионов. Доля сульфатов в анионном составе несколько увеличивается.

Северный рукав р. Модлоны – р. Елома – по минерализации и ионному составу близок к основной реке (табл. 78): $\Sigma_и$ с июня по сентябрь 1973 г. возрастала, так же как в р. Модлоне, в 1.5 раза и находилась приблизительно в тех же пределах.

Таблица 78

Минерализация и ионный состав воды (в мг/л) основных притоков оз. Воже

| Дата | $HCO_3^-$ | $SO_4^{2-}$ | $Cl^-$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^+$ | $K^+$ | $\Sigma_u$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Модлона | | | | |
| 19 VIII 1972 | 85.0 | 27.6 | 2.0 | 24.8 | 8.3 | 2.4 | | 150.1 |
| 10 XII | 194.2 | 82.6 | 2.1 | 60.0 | 23.4 | 1.2 | | 363.5 |
| 10 I 1973 | 178.4 | 89.8 | 3.2 | 66.1 | 21.8 | – | | 359.3 |
| 1 V | 31.7 | 25.2 | 1.6 | 15.0 | 4.5 | 1.3 | 0.8 | 80.1 |
| 10 V | 39.8 | 30.5 | 2.4 | 19.5 | 5.3 | – | | 97.5 |
| 24 VI | 75.3 | 42.3 | 1.8 | 28.2 | 8.8 | 0.8 | | 157.2 |
| 15 IX | 116.9 | 58.4 | 1.5 | 42.0 | 14.1 | 2.1 | 0.6 | 235.6 |
| 24 VI 1974 | 58.5 | 19.8 | 1.5 | 20.4 | 6.4 | 1.2 | 0.6 | 108.4 |
| 15 VIII | 76.5 | 39.2 | 1.1 | 27.5 | 7.8 | 1.2 | 0.4 | 153.7 |
| | | | | Елома | | | | |
| 23 VI 1973 | 68.4 | 41.1 | 1.6 | 28.6 | 9.8 | 1.6 | 0.7 | 151.8 |
| 4 IX | 106.9 | 62.2 | 1.7 | 38.1 | 12.9 | 2.4 | 0.6 | 224.8 |
| | | | | Вожега | | | | |
| 20 VIII 1972 | 210.8 | 46.1 | 3.6 | 49.7 | 23.1 | 3.5 | | 336.8 |
| 10 XI | 281.5 | 44.2 | 5.3 | 65.5 | 27.8 | 9.4 | | 430.7 |
| 10 I 1973 | 164.8 | 51.5 | 4.2 | 46.6 | 17.6 | 3.0 | | 287.7 |
| 10 III | 257.9 | 47.6 | 4.2 | 66.1 | 22.8 | 4.2 | | 402.8 |
| 10 V | 56.6 | 17.3 | 2.2 | 18.8 | 5.9 | 1.6 | 0.4 | 102.8 |
| 27 VI | 165.9 | 33.0 | 2.4 | 43.1 | 11.9 | 3.9 | 0.8 | 261.0 |
| 30 VII | 98.8 | 37.1 | 2.1 | 31.5 | 9.8 | 2.9 | 0.7 | 182.9 |
| 15 X | 228.7 | 50.3 | 4.2 | 61.8 | 19.9 | 6.3 | | 371.2 |
| 24 VI 1974 | 112.5 | 19.0 | 1.4 | 33.0 | 8.5 | 2.6 | 0.6 | 177.6 |
| 15 VIII | 201.4 | 38.2 | 2.8 | 51.8 | 17.2 | 4.3 | 0.9 | 316.6 |

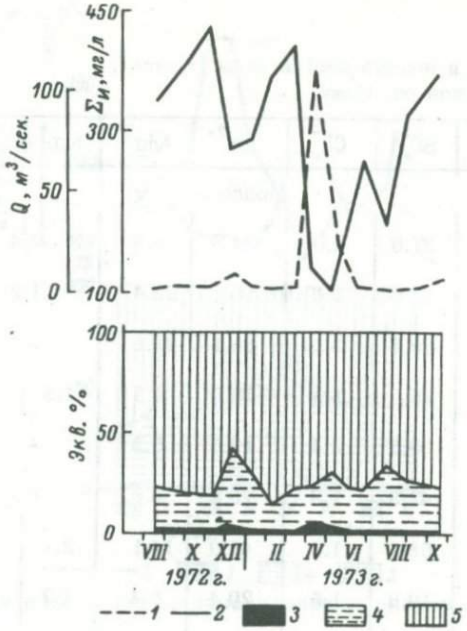



Рис. 46. Сезонные изменения минерализации и анионного состава воды р. Вожеги.

Условные обозначения те же, что и на рис. 45.

Р е к а  В о ж е г а, второй по величине приток оз. Воже, собирает воды с восточной части водосбора. Основное меженное питание р. Вожега получает за счет казанского водоносного горизонта верхней перми, отложения которого представлены главным образом толщей карбонатных пород. Гидрологический режим реки характеризуется высоким пиком половодья, хорошо выраженными дождевыми паводками и очень низкими расходами в меженный период (разд. 2.1, наст. изд.).

Общая минерализация воды в р. Вожеге в течение года изменяется от 103 до 431 мг/л (табл. 78), т.е. в 4.6 раза. Годовая амплитуда $\Sigma_и$ в р. Вожеге близка к таковой в р. Модлоне, однако верхний и нижний пределы минерализации в ней выше, Общая минерализация воды значительно снижается в момент дождевых паводков и при зимних оттепелях (30 VII 1973 г., зима 1972–1973 гг.). В анионном составе воды доля гидрокарбонатных ионов выше, чем в р. Модлоне – 66–81 экв.%, а сульфатных, напротив, снижается до 12–27 экв.% (рис. 46). Отношение $SO_4^{2-} : HCO_3^-$ обычно равняется 0.2–0.4 и лишь в отдельных случаях достигает 0.5–0.7. В половодье и паводки вода сохраняет принадлежность к гидрокарбонат-

ному классу, но меняет группу со II на III. Соотношения в катионном составе сохраняются довольно стабильно в течение года и аналогичны этим соотношениям в р. Модлоне.

Р е к а  М о л а – единственная маломинерализованная река водосбора. Она собирает воды с Чарондского болотного массива и впадает в южный залив оз. Воже – оз. Мольское. Общая минерализация воды в р. Моле 27 VII 1974 г. равнялась 47 мг/л (табл. 79), индекс воды – $C^{Ca}_{III}$, отношение $SO_4^{2-} : HCO_3^-$ – 1.1. Источником сульфатов в р. Моле, очевидно, являются в основном продукты минерализации и окисления растительных остатков.

Р е к а  П у н е м а характеризует малые притоки юго-восточного побережья озера. Общая минерализация ее воды изменяется от 108 до 551 мг/л (в 5.1 раза) (табл. 79). По ионному составу вода р. Пунемы относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция. По анионному составу она занимает промежуточное положение между Модлоной и Вожегой.

Малые притоки южного побережья – реки Вондонга и Евжа – в июне 1973 г. имели минерализацию, близкую к таковой в р. Пунеме (табл. 79). По составу р. Евжа близка р. Пунема, а в р. Вондонге большую роль играет ион $SO_4^{2-}$ составляя в анионной части 53 экв.%. Река Тинготома, впадающая в озеро севернее р. Пунемы, в летний период по $\Sigma_u$ и составу близка р. Пунеме.

Р е к а  Т о р д о к с а – приток восточного побережья – отличается от всех рассмотренных выше более высокой минерализацией в период зимней межени и широкой амплитудой ее. Максимальная минерализация (884 мг/л) больше минимальной (44 мг/л) в 18 раз (табл. 79). Кратковременные оттепели зимой приводят к резкому снижению минерализации (март 1973 г.). Состав воды неустойчив. В период зимней межени, при $\Sigma_u$ выше 500 мг/л доли сульфатных и гидрокарбонатных ионов почти равны или преобладающими становятся ионы $SO_4^{2-}$. В период половодья при сильном разбавлении меженных вод талыми снеговыми происходит резкое снижение с сохранением индекса воды $Cs^{Ca}$ или $S^{Ca}$. В летнюю межень, при $\Sigma_u$ от 120 до 250 мг/л, когда значительную роль играют маломинерализованные воды четвертичных отложений, воды реки имеют гидрокарбонатно-кальциевый состав.

Р е к а  П у с т а я. Северо-восточную часть бассейна можно характеризовать по имеющимся у нас единичным пробам из р. Пустой. Меженное питание реки осуществляется преимущественно за счет водоносных горизонтов нижней и средней перми, верхняя часть которых сложена главным образом гипсами и ангидритами. При $\Sigma_u$ свыше 300 мг/л сульфатные ионы составляют 60–70 экв.% анионного состава. При минерализации воды ниже 300 мг/л в начале летней межени и при значительных летних дождевых паводках вода приобретает гидрокарбонатный состав при небольшом превышении (около 5%) ионов $HCO_3^-$ над ионами $SO_4^{2-}$ (табл. 79). Отношение $SO_4^{2-} : HCO_3^-$ колеблется в пределах 0.9–2.5.

Таблица 79

Минерализация и ионный состав воды малых притоков оз. Воже

| Река | Дата | $HCO_3^-$ | $SO_4^{2-}$ | $Cl^-$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^+$ | $K^+$ | $\Sigma_u$ | $HCO_3^-$ | $SO_4^{2-}$ | $Cl^-$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^+$ | $K^+$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | мг/л | | | | | | | | | | | | | | |
| Мола | 27 VII 1974 | 15.0 | 13.4 | 2.8 | 9.2 | 5.5 | 1.2 | 0.3 | 47.4 | 40.7 | 46.4 | 12.9 | 47.3 | 46.4 | 5.5 | 0.8 |
| Вондонга | 24 VI 1973 | 40.5 | 38.8 | 2.2 | 20.0 | 7.3 | 2.8 | 0.2 | 111.8 | 43.3 | 52.6 | 4.1 | 62.2 | 32.5 | 5.1 | 0.2 |
| Евжа | 24 VI 1973 | 63.4 | 19.6 | 1.9 | 19.2 | 7.2 | 2.0 | 0.4 | 113.7 | 69.2 | 27.2 | 3.6 | 58.1 | 36.0 | 5.3 | 0.6 |
| Тинготома | 25 VII 1973 | 72.7 | 49.7 | 2.1 | 34.0 | 9.4 | – | | 168.9 | 52.1 | 45.3 | 2.6 | 68.6 | 31.4 | – | |
| Пунема | 10 XI 1972 | 338.5 | 81.2 | 2.6 | 85.7 | 31.1 | 11.9 | | 551.0 | 75.9 | 23.1 | 1.0 | 58.5 | 35.0 | 6.5 | |
| | 10 IV 1973 | 64.2 | 22.1 | 1.7 | 21.6 | 6.4 | 1.6 | 0.5 | 118.1 | 67.5 | 29.5 | 3.0 | 64.0 | 31.0 | 4.2 | 0.8 |
| | 10 V | 56.9 | 22.1 | 1.3 | 20.6 | 6.6 | – | | 107.5 | 65.3 | 32.2 | 2.5 | 65.6 | 34.4 | – | |
| | 25 VII | 97.6 | 46.1 | 1.8 | 34.0 | 18.7 | 2.3 | 0.4 | 200.9 | 61.2 | 36.8 | 2.0 | 50.7 | 46.0 | 3.0 | 0.3 |
| | 17 IX | 316.9 | 91.6 | 2.8 | 86.2 | 28.6 | 8.6 | | 534.7 | 74.3 | 24.6 | 1.1 | 61.5 | 33.6 | 4.9 | |
| | 20 VII 1974 | 125.0 | 18.8 | 1.4 | 36.0 | 9.9 | 1.4 | 0.2 | 192.7 | 82.6 | 15.8 | 1.6 | 67.1 | 30.5 | 2.2 | 0.2 |
| Тордокса | 16 VIII 1972 | 70.0 | 20.3 | 2.2 | 23.5 | 7.3 | – | | 123.3 | 70.4 | 25.8 | 3.8 | 66.4 | 33.6 | – | |
| | 15 II | 406.2 | 266.6 | 28.0 | 104.4 | 74.8 | 4.1 | | 884.1 | 51.2 | 42.7 | 6.1 | 51.2 | 42.7 | 6.1 | |
| | 15 III | 16.7 | 12.7 | 2.0 | 9.8 | 3.1 | – | | 44.3 | 46.1 | 44.3 | 9.6 | 65.8 | 34.2 | – | |
| | 15 V | 17.4 | 13.4 | 2.1 | 14.9 | 2.0 | – | | 49.8 | 45.7 | 44.7 | 9.6 | 81.9 | 18.1 | – | |
| Пустая | 16 VIII 1972 | 125.3 | 243.9 | 2.8 | 115.7 | 21.2 | – | | 508.8 | 28.6 | 70.3 | 1.1 | 76.8 | 23.2 | – | |
| | 4 VII 1973 | 112.5 | 133.0 | 1.7 | 75.3 | 16.7 | – | | 339.2 | 39.6 | 59.4 | 1.0 | 73.2 | 26.8 | – | |
| | 27 VI 1974 | 104.5 | 74.2 | 2.0 | 64.1 | 11.7 | 2.7 | 0.8 | 260.0 | 51.7 | 46.6 | 1.7 | 74.4 | 22.4 | 2.7 | 0.5 |
| | 24 VII | 71.5 | 51.3 | 1.6 | 35.6 | 7.6 | 1.9 | 0.6 | 170.1 | 51.3 | 46.7 | 2.0 | 71.0 | 25.0 | 3.3 | 0.6 |

Характеризуя минерализацию и состав воды притоков оз. Вожо, можно отметить, что в период межени последние имеют среднюю минерализацию воды, согласно классификации О.А. Алекина (1970), а р. Тордокса - повышенную. Состав воды гидрокарбонатно-кальциевый, с большой долей сульфатов в анионной части. В некоторых реках в период глубокой межени преобладающим становится сульфатный ион, что связано с распространением на водосборе гипсоносных пород. В катионном составе на первом месте стоит ион кальция.

В периоды половодья и дождевых паводков $\Sigma_{ц}$ почти во всех притоках сохраняется достаточно высокой (80-100 мг/л). Резкого сдвига карбонатного равновесия в период половодья и паводков, как это отмечается для маломинерализованных рек северо-запада, (Воронков, 1951; Соловьева, 1967; Соловьева, Расплетина, 1973) не наблюдается. Переход некоторых рек в сульфатный класс в половодье и паводок обусловлен скорее сменой источников питания и разбавлением меженных вод талыми снеговыми, имеющими крайне низкую минерализацию.

## Органическое вещества, pH, биогенные элементы, кислородный режим

Болота в бассейне оз. Вожe занимают 13% площади водосбора, 78% занято лесами (Кириллова, 1975). В реки поступает большое количество окрашенных органических веществ гумусовой природы.

Так же как минерализацией и составом, два основных притока озера - реки Модлона и Вожега - отличаются друг от друга и содержанием в их воде окрашенных органических веществ, что связано с различными условиями на их водосборах. Если в бассейне р. Модлоны 16% территории занято болотами, то на водосборе р. Вожеги болота составляют менее 1% площади. Цветность воды в р. Модлоне в период наших исследований изменялась от 64 до 338°. В маловодные годы 1973 г.) она в течение лета снижается от 148 до 58° (табл. 80). При летних дождевых паводках (1974 г.) содержание окрашенных органических веществ резко возрастает и цветность достигает 200-338° Окисляемость воды хорошо коррелирует с цветностью и находится в следующих пределах: перманганатная - 15-44 мг О/л, и бихроматная - 40-96 мг О/л. Перманганатная окисляемость составляет 37-40% бихроматной в маловодные годы и 40-48% - в годы с летними дождевыми паводками (1974 г.). Коэффициент цветности по бихроматной окисляемости варьирует от 1.4 до 3.7.

Качественные и количественные характеристики содержания органического вещества в воде р. Еломы близки к величинам, указанным для р. Модлоны (табл. 80).

В р. Вожеге содержание органических веществ значительно ниже: цветность воды находится в пределах 20-136°, перманганатная окисляемость - 9-18 мгО/л, бихроматная - 27-53 мг/л. Перманганатная окисляемость составляет 34-39% от бихроматной, коэффици-

ент цветности – 1.4–2.0. Особенно большие различия в содержании органического вещества между рр. Модлоной и Вожегой отмечаются в многоводные годы.

В 1974 г. значения цветности и окисляемости воды в р. Вожеге были в 2–2.5 раза ниже, чем в р. Модлоне.

Минимальной цветностью и окисляемостью воды характеризовались обе реки в конце летней межени 1973 г. (2 сентября). Принимая во внимание то, что в маловодном 1973 г. в это время реки перешли на глубокое подземное питание, доля поверхностно-грунтовых вод снизилась до минимума, а также, учитывая малую роль фотосинтетических процессов, можно предположить, что в период зимней межени цветность и окисляемость воды рек Модлоны и Вожеги будут близки наблюденным нами 2 сентября 1973 г. (табл. 80).

Бассейн рек южной и восточной частей водосбора, куда относятся рассмотренные нами реки Пунема, Вондонга, Евжа, Тинготома, Тордокса, сильно заболочены. На водосборе р. Вондонги, например, болота занимают 30% площади. Цветность воды этих рек в летнее время равняется 100–214°, максимальной она была в р. Вондонге (табл. 80). В соответствии с цветностью распределяются и значения окисляемости: 20.8–37.7 мгО/л – перманганатной, 61.5–105.6 мгО/л – бихроматной. Процент перманганатной окисляемости от бихроматной – 36–41%, коэффициент цветности по бихроматной окисляемости варьирует в пределах от 1.6 до 2.2. В периоды летних дождевых паводков содержание окрашенных органических веществ в этих реках возрастает, что можно видеть на примере р. Пунемы: в июле 1974 г. цветность воды в ней была в 2 раза, а окисляемость в 1.5 раза выше, чем в предыдущем году.

Чрезвычайно высоким было содержание органического вещества в р. Моле, характеризующей в многоводное лето поверхностно-грунтовый сток с болотного массива. Цветность воды в этой реке достигала 800°, перманганатная окисляемость составляла от бихроматной 46%, коэффициент цветности равнялся 5.

Из всех рек бассейна наименьшую после р. Вожеги заболоченность имеет водосбор р. Пустой – 4%. По цветности и окисляемости воды в маловодные годы (1973 г.) р. Пустая близка р. Модлоне, в многоводные (1974 г.) – все эти характеристики в р. Пустой значительно ниже, чем в р. Модлоне.

Содержание органического углерода в притоках оз. Воже в июле 1974 г. изменялось от 20.2 мг/л до 41.3 мг/л (табл. 81).

Довольно широкий диапазон отношения перманганатной окисляемости к $C_{орг}$ и кислородного эквивалента указывает на различную природу органического вещества в воде рек и разную степень окисленности его. Принимая в качестве нормальной степени окисленности степень окисленности глюкозы, кислородный эквивалент которой равен 2.66 (Николаева, Скопинцев, 1961), можно сделать заключение, что пониженной степенью окисленности (кислородный эквивалент больше 2.66) характеризуется органическое вещество рек Модлоны,

Таблица 80

Содержание $O_2$, pH, цветность и окисляемость воды притоков оз. Воже

| Река | Дата | $O_2$ | | pH | Цвет-ность, град. | Окисляемость, мгО/л | | БПК$_5$, мгО/л |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | мг/л | % | | | перман-ганатная | бихро-матная | |
| Модлона | 19 VIII 1972 | 8.0 | 95 | 7.85 | 79 | 18.4 | 52.7 | 2.5 |
| | 31 V 1973 | 8.4 | 91 | 7.30 | 148 | 26.2 | 69.9 | 2.2 |
| | 24 VI | 9.3 | 102 | 7.50 | 103 | 22.2 | 56.1 | 1.3 |
| | 30 VII | 9.2 | 97 | 7.75 | 64 | 16.6 | 44.4 | 2.0 |
| | 2 IX | 10.6 | 101 | 8.00 | 58 | 14.9 | 40.0 | 1.5 |
| | 24 VI 1974 | 4.7 | 54 | 6.90 | 282 | – | 95.5 | – |
| | 20 VII | – | – | 7.10 | 200 | 34.2 | 84.4 | – |
| | 15 VIII | 5.8 | 65 | 7.10 | 338 | 43.7 | 91.7 | – |
| Елома | 21 VIII 1972 | 8.0 | 95 | 7.75 | 84 | 19.4 | 53.9 | – |
| | 23 VI 1973 | 8.8 | 98 | 7.65 | 103 | 22.4 | 57.7 | 0.6 |
| Вожега | 20 VIII 1972 | 10.0 | 117 | 8.40 | 47 | 9.2 | 26.6 | 1.6 |
| | 31 V 1973 | 9.5 | 101 | 7.75 | 97 | 18.3 | 53.3 | 2.1 |
| | 30 VII | 9.9 | 103 | 8.00 | 50 | 13.1 | 35.3 | 1.8 |
| | 2 IX | 11.5 | 112 | 8.40 | 20 | 6.3 | – | 1.5 |
| | 24 VI 1974 | 7.3 | 85 | 7.65 | 136 | – | 67.7 | – |
| | 20 VII | 7.6 | 95 | 7.75 | 86 | 18.3 | 46.8 | – |
| | 15 VIII | 9.5 | 106 | 7.75 | 74 | 16.7 | 46.5 | – |
| Мола | 27 VII 1974 | 2.8 | 33 | <6.0 | 800 | 74.0 | 159.8 | – |
| Вондонга | 24 VI 1973 | 8.6 | 96 | 7.10 | 214 | 37.7 | 105.6 | 1.7 |
| | 13 VII | 8.1 | 96 | 7.30 | 200 | 35.0 | – | – |
| Евжа | 24 VI 1973 | 8.2 | 93 | 7.20 | 184 | 30.9 | – | 2.2 |
| | 13 VII | 8.3 | 100 | 7.50 | 146 | 29.3 | – | – |
| Тинготома | 24 VI 1973 | 9.3 | 107 | 7.15 | 122 | 24.8 | 65.0 | 1.5 |
| | 25 VII | 7.5 | 85 | 7.40 | 100 | 20.8 | – | – |
| Пунема | 19 VIII 1972 | 7.0 | 82 | 7.50 | 116 | 25.5 | 61.9 | 3.3 |
| | 24 VI 1973 | 8.1 | 90 | 7.30 | 100 | 22.6 | 61.5 | 1.9 |
| | 20 VII 1974 | 4.8 | 57 | 7.25 | 196 | 36.0 | 90.0 | – |
| Пустая | 16 VIII 1972 | 7.9 | 86 | 7.90 | 80 | 16.6 | 50.1 | – |
| | 4 VII 1973 | 9.0 | 114 | 7.70 | 90 | 21.4 | 55.5 | 1.3 |
| | 27 VI 1974 | 5.8 | 71 | 7.20 | 201 | – | 90.0 | – |
| | 24 VII | – | – | 7.40 | 107 | 24.0 | 73.2 | – |
| Тордокса | 16 VIII 1972 | 7.0 | 81 | 7.40 | 165 | 32.7 | – | 2.4 |
| | 27 VI 1973 | 8.0 | 96 | 7.30 | 100 | 17.1 | – | 1.3 |

Таблица 81

Содержание органического углерода в притоках оз. Воже в июле 1974 г.

| Река | Число месяца | $C_{орг}$ мг/л | $\frac{\text{Перманг. ок.}}{C_{орг}}$ | $\frac{\text{Бихром. ок.}}{C_{орг}}$ (кислородный эквивалент) |
|---|---|---|---|---|
| Модлона | 20 | 22.6 | 1.5 | 3.7 |
| Вожега | 20 | 21.8 | 0.8 | 2.1 |
| Пунема | 20 | 41.3 | 0.9 | 2.2 |
| Пустая | 24 | 20.2 | 1.2 | 3.6 |
| Мола | 27 | 55.8 | 1.3 | 2.9 |

Молы и Пустой, повышенной (кислородный эквивалент меньше 2.66) - реки Пунемы и Вожеги.

Малые величины $БПК_5$ (1.3-3.3 мгО/л) (табл. 80) и низкое отношение $\frac{БПК_5}{\text{окисл. перм.}}$ (0.05-0.14) свидетельствует о преобладании в воде рек органических веществ гумусовой природы, стойких к биохимическому окислению.

Распространение в бассейне озера карбонатных пород, развитие дерновых и дерново-карбонатных почв создает значительную буферность воды почти всех рек водосбора. Поэтому, несмотря на высокую степень гумификации, „кислотность" вод в бассейне невелика и значение величины pH даже в период дождевых паводков не бывает ниже 6.9-7.1 (табл. 80). Исключение составляет только р. Мола, в которой величина pH была ниже 6. В период летне-осенней межени концентрация водородных ионов невелика, значение pH возрастает одновременно с увеличением минерализации - в р. Модлоне - от 7.1 до 8.0, в р. Вожеге - от 7.6 до 8.4. Пределы величины pH для остальных рек бассейна в летний период - 7.1-7.9.

Содержание растворенного в воде кислорода в летний период в реках обычно близко к насыщению - 90-102%. Однако при высоком содержании в воде окрашенных органических веществ создается недонасыщение речных вод кислородом: в 1974 г. в р. Молдоне относительное содержание кислорода было 54-65%, а в р. Моле - 33%. Процесс потребления кислорода на окисление гуминовых веществ протекает медленно, поэтому убыль кислорода при постоянном обмене с атмосферой и аэрации должна была бы восстанавливаться. Б.А. Скопинцев (1950) предполагает, что гуминовые вещества понижают растворимость кислорода в воде.

Таблица 82

Содержание биогенных элементов (в мг/л) в воде притоков оз. Воже

| Река | Дата | $P_{мин}$ | $N_{NH_4^+}$ | Si | $Fe_{мин}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Fe(II) | Fe(III) |
| Модлона | 19 VII 1972 | 0.002 | 0.16 | 1.22 | 0.13 | 0.10 |
| | 31 V 1973 | 0 | – | 2.46 | 0.20 | 0.05 |
| | 24 VI | 0.002 | 0.06 | 1.56 | 0.35 | 0.10 |
| | 30 VII | 0 | 0.06 | 0.88 | 0.06 | 0.02 |
| | 2 IX | 0 | 0.11 | 0.73 | 0.07 | 0.02 |
| | 14 VII 1974 | 0.011 | 0.22 | 2.13 | 0.35 | 0.08 |
| Елома | 21 VIII 1972 | 0.002 | 0.12 | 0.80 | 0.12 | 0.10 |
| | 23 VI 1973 | 0.002 | 0.06 | 1.56 | 0.22 | 0.05 |
| Вожега | 20 VIII 1972 | 0 | 0.10 | 0.30 | 0.06 | 0.09 |
| | 31 V 1973 | 0 | – | 1.06 | 0.13 | 0.02 |
| | 30 VII | 0 | 0.06 | 0.88 | 0.06 | 0.02 |
| | 2 IX | 0 | 0.06 | 0.44 | 0.02 | 0.02 |
| | 24 VI 1974 | 0 | 0.08 | 2.11 | 0.20 | 0.05 |
| | 20 VII | 0 | 0.12 | 0.72 | 0.08 | 0.02 |
| Мола | 27 VII 1974 | 0 | 0.64 | ~3.2 | 0.45 | 0.30 |
| Вондонга | 24 VI 1973 | 0.002 | – | 2.86 | 0.22 | 0.05 |
| Евжа | 24 VI 1973 | 0.002 | – | 1.46 | 0.18 | 0.02 |
| Тинготома | 24 VI 1973 | 0 | – | 1.62 | 0.13 | 0.04 |
| Пунема | 19 VII 1972 | 0.002 | 0.16 | 1.13 | 0.13 | 0.10 |
| | 24 VI 1973 | 0.002 | 0.09 | 2.07 | 0.15 | 0.03 |
| | 20 VII 1974 | 0 | 0.18 | 1.81 | 0.18 | 0.07 |
| Пустая | 16 VIII 1972 | 0.001 | – | 1.56 | 0.08 | 0.10 |
| | 4 VII 1973 | 0 | 0.10 | 2.83 | 0.12 | 0.03 |
| | 27 VI 1974 | 0 | 0.07 | 3.19 | 0.32 | 0.06 |
| | 20 VII | 0 | 0.12 | 1.04 | 0.12 | 0.04 |

Таблица 83

Содержание фосфора в реках в июле 1974 г.

| Река | P, мг/л | | |
|---|---|---|---|
| | общий | минеральный | органический |
| Модлона | 0.057 | 0.011 | 0.046 |
| Вожега | 0.043 | 0 | 0.043 |
| Пунема | 0.033 | 0 | 0.033 |
| Пустая | 0.024 | 0 | 0.024 |
| Мола | 0.043 | 0 | 0.043 |

Имеющиеся в нашем распоряжении материалы по режиму биогенных элементов притоков весьма ограничены и охватывают лишь летний период (табл. 82).

Миграция фосфора с поверхностным стоком осуществляется главным образом в виде органических соединений, что подтверждается результатами определений общего фосфора, выполненными в 1974 г. Реки водосбора бедны минеральным фосфором. Обычно в вегетационный период фосфор фосфатов присутствует в воде в количествах, не превышающих 0.0025 мг P /л, или отсутствует совершенно (табл. 82). Только летом 1974 г. в р. Модлоне за счет поверхностного смыва при дождевых паводках в течение всего лета присутствовал минеральный фосфор в концентрациях, равных 0.004–0.011 мг P /л. В июле 1974 г. фосфатный фосфор в р. Модлоне составлял 19% от общего. В остальных реках единственной формой фосфора была органическая (табл. 83).

Речным водам бассейна оз. Воже свойственно широкое отношение $C_{орг}$: $P_{орг}$, характерное для вод, богатых органическим веществом (Скопинцев, 1955). Пределы этого отношения – от 490 в р. Модлоне до 1300 в р. Моле.

Содержание истинно растворенного кремния в реках снижается в течение лета от 1.4–2.8 мг Si /л в мае–июне до 0.4–0.7 мг Si /л в сентябре. Максимальное содержание растворенного кремния в реках, как правило, соответствует наибольшей цветности воды (реки Мола, Вондонга и др.). Связь концентраций кремния с содержанием органических веществ была отмечена и в притоках Онежского озера (Соловьева, Расплетина, 1973).

На сильно облесенном и заболоченном водосборе оз. Воже создаются условия, неблагоприятные для развития нитрифицирующих бактерий. Минерализация аллохтонного органического вещества достигает лишь стадии аммонификации. Из трех форм минерального азота единственной, постоянно присутствующей в воде рек, являет-

ся аммонийная. Аммонийный азот поступает в воду из аккумулятивного горизонта почв и лесной подстилки, поэтому естественно, что максимальные его концентрации наблюдаются в многоводные годы, при значительном участии в питании рек поверхностной составляющей стока. В маловодные годы содержание иона аммония равняется 0.06–0.25 мг$N$/л (табл. 82).

В годы со значительными летними дождевыми паводками (1974 г.) содержание ионов $NH_4^+$ в реках с сильно заболоченными водосборами достигает 0.22–0.64 мг$N$/л.

Нитритный азот в реках в летний период не обнаружен, нитратный – лишь однажды в р. Пунеме в незначительных количествах (0.01 мг$N$/л). В некоторых реках с низкой заболоченностью водосборов возможно появление нитратного иона зимой, при переходе рек на глубокое подземное питание.

Воды притоков оз. Воже всегда содержат минеральное растворенное железо как в закисной, так и в окисной форме. Содержание закисного железа в маловодные годы варьирует в пределах 0.02–0.22 мг/л, окисного – 0.02–0.14 мг/л (табл. 82). При увеличении степени гумификации воды возрастает и концентрация растворенного железа.

## 5.2. Гидрохимический режим оз. Воже

### Общая минерализация и ионный состав

Главная роль в формировании химического состава воды оз. Воже принадлежит речному стоку, дающему 88% приходной части баланса (разд. 2.3 наст. изд.), и в первую очередь двум основным притокам – рекам Модлоне и Вожеге, сток которых составляет 72% суммарного речного стока.

Интенсивность водообмена ( $K_{усл}$=3.5) определяет значительную внутригодовую амплитуду минерализации воды. $\Sigma_{ц}$ в оз. Воже изменяется от 85[1]–100 мг/л весной (конец мая–начало июня) до 195–308 мг/л в зимний период (табл. 84, 85). Минерализацию воды в марте маловодного 1973 г. можно считать экстремной для озера. Некоторое понижение $\Sigma_{ц}$ в поверхностных горизонтах в это время обусловлено распресняющим влиянием тающего льда. В средние по водности (1974 г.) и многоводные годы общая минерализация воды, по-видимому, не бывает выше 200 мг/л, при нижнем пределе – 80–100 мг/л.

Летом в маловодные годы (1973) $\Sigma_{ц}$ в среднем по озеру возрастает с мая по сентябрь от 120 до 200 мг/л, а при значительных летних дождевых паводках (1974 г.) в течение лета она держится почти на одном уровне (105–115 мг/л) (табл. 85).

---

[1] По материалам Гидрометслужбы за 1 У1 1971 г.

Таблица 84

Минерализация и ионный состав воды (в числителе – мг/л, в знаменателе – экв.%) оз. Воже в зимний период

| Район озера (глубина, м) | Горизонт наблюдения, м | $HCO_3^-$ | $SO_4^{2-}$ | $Cl^-$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^+ + K^+$ | | $\Sigma_и$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 25 III 1972 г. | | | | | |
| Южный (2.5) | 0.5 | 101.8 / 68.3 | 31.9 / 27.0 | 4.1 / 4.7 | 34.3 / 62.6 | 12.4 / 37.4 | – / – | | 184.5 |
| | 2.2 | 100.6 / 67.7 | 30.9 / 26.3 | 5.2 / 6.0 | 34.3 / 63.6 | 11.9 / 36.4 | – / – | | 182.9 |
| Северный (1.6) | 0.5 | 107.9 / 65.6 | 40.1 / 30.8 | 3.4 / 3.6 | 23.8 / 42.3 | 19.7 / 57.7 | – / – | | 194.9 |
| | | | | 23 III 1973 г. | | | | | |
| Южный (3.1) | 0.5 | 163.4 / 71.2 | 47.9 / 26.6 | 2.9 / 2.2 | 47.4 / 61.6 | 15.6 / 33.4 | 3.7 / 4.3 | 1.0 / 0.7 | 281.9 |
| | 3.0 | 165.7 / 67.0 | 60.1 / 30.8 | 3.1 / 2.2 | 60.2 / 63.3 | 18.5 / 32.0 | 4.2 / 3.9 | 1.1 / 0.8 | 312.9 |
| Северный (1.6) | 0.5 | 134.3 / 54.5 | 83.9 / 43.3 | 3.1 / 2.2 | 57.0 / 66.3 | 15.1 / 28.9 | 4.1 / 4.1 | 1.1 / 0.7 | 298.6 |

В озере почти постоянно хорошо выражена пространственная неоднородность по минерализации. Зимой $\Sigma_u$ в северной части озера несколько выше, чем в южной.

В первой половине лета (конец мая-начало июля), когда в озере еще сохраняются остаточные паводочные воды, минимальная минерализация воды отмечается в средней части озера (ст. 2-5), удаленной от устьев притоков, в то время как остальная часть озера находится под влиянием более минерализованных вод притоков начала летней межени (рис. 47).

Особенно отчетливо неоднородность $\Sigma_u$ по акватории озера проявляется в конце глубокой летней межени маловодных лет. В начале сентября 1973 г. $\Sigma_u$ возрастала с юга на север, в северной части была на 44-53 мг/л выше, чем в южной, а в северо-западной, изолированной от основного плеса зарослями макрофитов (ст. 3), была близка зимним характеристикам. При малых глубинах озера и хорошем перемешивании вертикальной неоднородности по минерализации не обнаруживается.

Воды оз. Воже обычно относятся к гидрокарбонатному классу кальциевой группы и имеют индекс $C^{Ca}_{II}$, $C^{Ca}_{III}$, $C^{Ca}_{II-III}$. На долю гидрокарбонатных ионов, как правило, приходится 54-71 экв.% (48-166 мг/л), сульфаты составляют 26-44 экв.% (19-43 мг/л). Хлоридные ионы играют незначительную роль в анионном составе - 2-6 экв.% (1.2-5.2 мг/л) (табл. 84, 85).

В катионном составе ведущую роль играют ионы $Ca^{2+}$, составляющие 50-70 экв.% (18-60 мг/л), на долю магния приходится 25-39 экв.% ( 6-18 мг/л), щелочных металлов 1-5 экв.%. Определения $Na^{+}$ и $K^{+}$, выполненные методом пламенной фотометрии, дали следующие результаты: $Na^{+}$ - 1.2-4.2 мг/л, $K^{+}$ - 0.5-1.1 мг/л.

В противоположность большинству маломинерализованных водоемов севера основная особенность, характерная для состава воды оз. Воже, - возрастание доли сульфатов в анионном составе при увеличении минерализации воды. Эта закономерность хорошо прослеживается как во времени, так и в пространственном распределении. С мая по сентябрь 1973 г. при повышении $\Sigma_u$ доля гидрокарбонатных ионов снижалась с 55-62 до 45-61 экв.%, а относительное содержание ионов $SO_4^{2-}$ увеличилось с 36-42 до 36-53 экв.%.

Возрастание доли сульфатов при увеличении $\Sigma_u$ в пространственном распределении хорошо прослеживается по результатам наблюдений с мая по сентябрь 1973 г. Так, 31 V 1973 отношение $SO_4^{2-} : HCO_3^{-}$ в южной части озера (ст. 1) было равно 0.65, в северной (ст. 10) - 0.77, а в начале июня - соответственно 0.68 и 0.72 в южной части и 0.80 в северной.

Изменения в составе воды были особенно глубокими в начале сентября: вода озера в разных его частях характеризовалась принадлежностью к различным гидрохимическим классам. Отношение $SO_4^{2-} : HCO_3^{-}$ варьировало от 0.60 до 1.18, а в северо-западной части достигало 1.5. В южной части озера индекс воды был $C^{Ca}_{III-II}$, в средней - $CS^{Ca}_{II}$, в северной - $S^{Ca}_{II}$ (рис. 47).

Таблица 85

Пределы изменения минерализации и состава воды в оз. Воже в летний период

| Дата | $HCO_3^-$ | $SO_4^{2-}$ | $Cl^-$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^+ + K^+$ | $\Sigma_u$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | мг/л | | | | |
| 15 VIII 1972 | 68.4–71.2 | 20.8–37.1 | 1.5–2.4 | 21.6–25.5 | 6.6–7.2 | 0.6–6.4 | 122.1–143.0 |
| 31 V 1973 | 47.7–63.2 | 28.6–36.1 | 1.4–1.6 | 17.8–25.7 | 3.4–7.2 | 0.4–6.5 | 99.1–128.3 |
| 4–5 VII | 58.2–64.4 | 32.0–41.0 | 1.3–1.6 | 21.2–24.6 | 7.1–9.1 | 0.1–2.2 | 123.0–140.7 |
| 30 VII* | 67.3–73.6 | 39.4–43.2 | 1.5–1.5 | 24.8–25.0 | 8.6–9.1 | 2.4–2.6 | 148.0–151.9 |
| 1–2 IX | 76.6–93.0 | 37.7–110.0 | 1.7–2.2 | 27.2–43.0 | 8.6–12.0 | 1.0–12.2 | 156.9–279.0 |
| 24–27 VI 1974 | 49.2–60.3 | 18.6–36.9 | 1.4–1.6 | 16.7–23.8 | 5.7–7.6 | 1.7–2.3 | 103.4–111.3 |
| 20–24 VII | 52.3–54.4 | 19.1–34.6 | 1.5–1.7 | 18.2–23.4 | 6.0–7.4 | 1.9–2.3 | 99.6–128.5 |
| 12–15 VIII | 57.2–60.7 | 23.6–29.7 | 1.4–1.5 | 19.8–22.1 | 6.6–7.2 | 2.1–2.1 | 114.3–123.2 |
| | | | экв.% | | | | |
| 15 VIII 1972 | 57.3–71.0 | 26.1–39.3 | 2.2–3.8 | 58.2–66.6 | 28.5–34.3 | 1.5–13.3 | |
| 31 V 1973 | 56.9–64.2 | 33.4–42.4 | 2.3–3.2 | 52.3–66.7 | 33.3–38.9 | 1.0–15.7 | |
| 4–5 VII | 54.1–58.6 | 39.2–43.7 | 2.0–2.7 | 61.2–63.8 | 33.6–37.6 | 0.2–5.2 | |
| 30 VII | 53.9–57.8 | 40.2–44.0 | 2.0–2.1 | 59.4–62.4 | 34.4–37.7 | 4.8–5.0 | |
| 1–2 IX | 39.0–61.2 | 36.5–59.0 | 1.6–2.3 | 52.9–63.2 | 28.1–36.1 | 1.9–20.1 | |
| 24–27 VI 1974 | 54.9–65.2 | 31.3–42.6 | 2.5–3.5 | 60.5–62.4 | 33.0–34.4 | 4.6–5.0 | |
| 20–24 VII | 55.8–65.5 | 30.9–41.5 | 2.7–3.6 | 61.1–62.8 | 32.7–34.4 | 4.5–4.9 | |
| 12–15 VII | 60.7–64.4 | 32.9–36.5 | 2.8–2.8 | 61.2–61.4 | 34.2–33.8 | 4.6–5.1 | |

* Для станций 1, 3, 5.

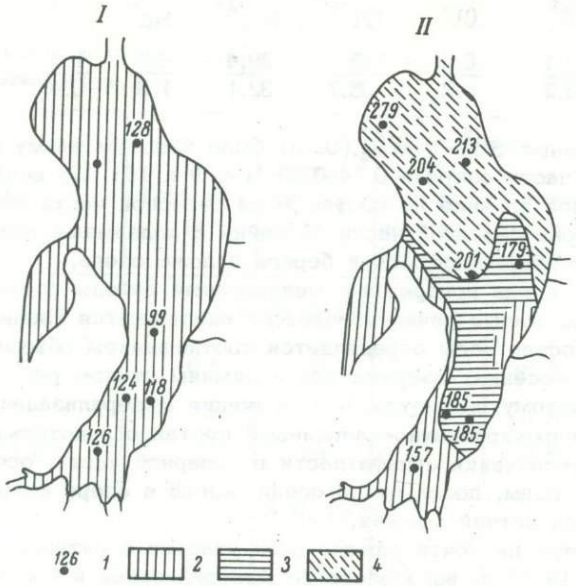



Рис. 47. Пространственное изменение минерализации и ионного состава воды оз. Воже 31 мая (I) и 1-2 сентября (II) 1973 г.

1 - общая минерализация, мг/л; 2-4 - класс воды (2 - гидрокарбонатный - C; 3 - гидрокарбонатно-сульфатный - CS; 4 - сульфатный - S).

Переход в сульфатный класс осуществляется только в конце летне-осеннего периода маловодных лет. Зимой вода озера имеет индекс $C_{III}^{Ca}$, при повышенном содержании сульфатов в северной части озера.

Это, последнее, обстоятельство обусловлено участием в питании притоков и озера подземных вод пермских отложений, имеющих гидрокарбонатно-сульфатный или сульфатный состав. Вода северных притоков (р. Пустая) в меженный период относится к сульфатному классу. Ряд авторов (Справочник по водным ресурсам, 1934; Бархатова, 1941) отмечали наличие сероводородных источников по северному побережью озера. Донные отложения северо-западной части озера отличаются повышенным содержанием серы (гл. 6 наст. изд.).

Нами 12 VII 1974 г. был обследован источник с самосадочной серой на северо-восточном побережье озера у д. Васильевская Кирюга. Поскольку проба была взята в дождливый период, несмотря на высокое содержание сульфатов, вода имела гидрокарбонатный состав (числитель - мг/л, знаменатель - экв.%):

| $HCO_3^-$ | $SO_4^{2-}$ | $Cl^-$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^+$ | $K^+$ | $\Sigma_u$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 459.2 / 57.6 | 265.1 / 42.2 | 0.8 / 0.2 | 133.1 / 65.7 | 39.4 / 32.1 | 4.3 / 1.8 | 1.6 / 0.4 | 903.5 |

Отношение $SO_4^{2-} : HCO_3^-$ (0.73) было близким этому отношению в северной части озера – 0.74–0.63 (ст. 9 и 10). По всей вероятности, заметное влияние на состав воды северной части оказывают малые притоки северной части бассейна и подземные воды, непосредственно вскрывающиеся в берега и ложе озера.

Зимой, когда прибрежные мелководные районы озера промерзают до дна, малые речки и водотоки оказываются изолированными от озера, состав воды определяется соотношением объема сохранившихся летне-осенних озерных вод и зимним стоком рек Модлоны и Вожеги. Поэтому, несмотря на увеличение минерализации, вода озера имеет гидрокарбонатно-кальциевый состав с некоторым сдвигом в сторону увеличения сульфатности в северной части, особенно в маловодные годы, после сухой осени, когда в озере сохраняются воды периода летней межени.

Несмотря на почти равные доли участия в питании озера рек Модлоны и Вожеги, вода озера по минерализации и составу постоянно ближе к воде р. Модлоны. Причина заключается в более равномерном внутригодовом распределении стока р. Модлоны (разд. 2.1 наст. изд.). В период весенного половодья притоки озера близки по минерализации, поэтому трудно выявить преобладающее влияние какого-либо из них на водную массу озера, в апреле-первой половине мая происходит полная смена всего объема озерной воды, а в летнюю межень, когда различия в $\Sigma_u$ и составе двух главных притоков значительны, сток р. Модлоны составляет 13–17% годового, в то время как в р. Вожеге доля меженнего стока – всего 2.5%.

## Органическое вещество

С поверхностными водами сильно облесенного и заболоченного водосбора в оз. Воже вносится значительное количество органических веществ болотного и почвенного происхождения. Наряду с этим в озере происходит образование органического вещества в процессе фотосинтеза.

При смешении вод берегового стока с озерными происходит коагуляция и выпадение части гумусовых коллоидов, поэтому цветность и окисляемость воды оз. Воже ниже, чем его притоков, хотя и сохраняется достаточно высокой. Цветность воды оз. Воже изменяется от 196 до 44° (табл. 86, 87), среднее значение цветности, вычисленное как среднее арифметическое из всех определений, выполненных за три года исследований, – 76°. Пределы изменения бихроматной окисляемости – 33–87 мгО/л (табл. 86, 88) при среднем значении 45 мгО/л, перманганатной – 13–24 мгО/л (табл. 86, 88)

Таблица 86

Цветность и окисляемость воды оз. Воже в зимний период

| Район озера, (глубина, м) | Горизонт, м | Цветность, град. | Окисляемость, мгО/л | | $БПК_5$, мгО/л |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | перманганатная | бихроматная | |
| | | 17 III 1972 | | | |
| Южный (2.5) | 0.5 | 190 | – | 87.1 | 2.7 |
| | 2.2 | 196 | – | 81.5 | 1.9 |
| Северный (1.6) | 0.5 | 84 | – | 72.7 | 1.4 |
| | | 25 III 1973 | | | |
| Южный (3.1) | 0.5 | 64 | 18.9 | 44.6 | – |
| | 3.0 | 105 | 23.7 | 59.2 | 0.5 |
| Северный (1.6) | 0.5 | 51 | 17.5 | 40.8 | 0.7 |

при среднем значении 16 мгО/л. По всей вероятности, верхний предел перманганатной окисляемости должен быть выше, т.к. при наибольшем содержании органического вещества (март 1972 г.) перманганатная окисляемость не определялась.

Максимальное для севера содержание органических веществ было отмечено зимой, после осеннего дождевого паводка (март 1972 г.). В маловодные годы, после сухой осени, все характеристики органических веществ зимой (март 1973 г.) значительно ниже (табл. 86).

В летний период в маловодные годы при отсутствии дождевых паводков (1973 г.) от мая к сентябрю происходит постепенное уменьшение содержания в озере органических веществ. В 1973 г. цветность воды в среднем по озеру снижалась от 86° 31 У до 49° в начале сентября, перманганатная окисляемость – с 17 до 14 мгО/л, бихроматная – с 46 до 38 мгО/л (табл. 87, 89). В годы с летними дождевыми паводками (1974 г.) содержание в озере растворенных органических веществ так же как и минерализация воды сохраняется на одном уровне в течение всего лета. Цветность воды в 1974 г. была в 1.5 раза выше, чем в 1973 г., и равнялась 97–100°.

В оз. Воже почти постоянно отчетливо выражена пространственная неоднородность воды по цветности и окисляемости. В зимнее время, когда мелководные районы озера промерзают до дна и водообмен между северной и южной частью затруднен, цветность

Таблица 87

Пространственное изменение цветности воды (в град.) оз. Воже в летний период

| Дата | Ст. 1 | Ст. 2 | Ст. 3 | Ст. 4 | Ст. 5 | Ст. 6 | Ст. 7 | Ст. 8 | Ст. 9 | Ст. 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 15-18 VIII 1972 | 60 | 66 | 66 | 66 | 66 | 56 | 69 | 56 | 52 | 56 |
| 31 V 1973 | 125 | - | 81 | 81 | 81 | - | - | - | - | 62 |
| 4-5 VII | 82 | 54 | 56 | 54 | 54 | 49 | 49 | 55 | 49 | 54 |
| 30 VII | 57 | - | 57 | - | 57 | - | - | - | - | - |
| 1-2 IX | 57 | 50 | 50 | 45 | 50 | 45 | 50 | 50 | 45 | 44 |
| 24-27 VI 1974 | 120 | - | 105 | - | - | - | - | 89 | - | 75 |
| 20-24 VII | 137 | - | 100 | - | 109 | - | - | - | 72 | 80 |
| 12 VIII | - | - | 110 | - | 109 | - | - | - | - | 74 |

воды в южной части озера, куда поступают воды наиболее гумифицированных притоков, выше, чем в северной.

В период открытой воды пространственная неоднородность в содержании органических веществ наиболее отчетливо проявляется в первой половине лета и во время летних дождевых паводков, когда большую роль в питании рек играют поверхностно-склоновые и почвенно-грунтовые воды. 31 мая 1973 г. цветность воды в южной части озера была в 2 раза выше, чем в северной, а к концу лета разница в цветности по акватории озера не превышала 7-13° (табл. 87). Аналогичная картина наблюдается и во время дождевых паводков (июль-август 1974 г.). Пространственная неоднородность воды по окисляемости хорошо согласуется с цветностью. В ветреную погоду (30 VII 1973 г.) или после сильного шторма (15-19 VIII 1972 г.) цветность и окисляемость воды по площади выравнивается. Благодаря малым глубинам и хорошему вертикальному перемешиванию распределение цветности и окисляемости воды по вертикали обычно однородно.

Отношение цветности воды к бихроматной окисляемости (коэффициент цветности) постоянно больше единицы - 1.3-2.3, цветности к перманганатной окисляемости - 2.9-6.1, что свидетельствует о преобладании в воде окрашенного водного гумуса почвенного и болотного происхождения (Николаева, Скопинцев, 1961; Крылова, Скопинцев, 1959). Перманганатная окисляемость составляет 34-43% от бихроматной, максимальные значения отмечены для многоводного года, минимальные - для маловодного.

Определение органического углерода в воде озера было выполнено в июле 1974 г. Содержание его составляло 25.2-18.0 мг/л

Таблица 88

Пределы изменения окисляемости воды (в мгО/л) оз. Воже в летний период

| Дата | Перманганатная | | | Бихроматная | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | макс. | мин. | сред. | макс. | мин. | сред. |
| 15-18 VIII 1972 | 16.4 | 13.2 | 14.9 | 46.3 | 37.1 | 40.6 |
| 31 V 1973 | 22.5 | 13.4 | 17.3 | 54.2 | 39.3 | 46.2 |
| 4-5 VII | 19.6 | 12.7 | 14.6 | 54.2 | 37.0 | 41.0 |
| 30 VII* | 15.0 | 13.4 | - | 44.3 | 37.0 | - |
| 1-2 IX | 15.4 | 13.2 | 14.1 | 41.8 | 33.9 | 37.6 |
| 24-27 VI 1974 | - | - | - | 58.9 | 43.9 | 51.6 |
| 20-24 VII | 24.4 | 16.1 | - | 53.5 | 41.9 | 48.1 |

* Для станций 1, 3, 5.

(табл. 89) и уменьшалось с одновременным снижением цветности и окисляемости воды с юга на север.

Отношение перманганатной окисляемости к $C_{орг}$ близко к единице, а кислородный эквивалент ниже кислородного эквивалента глюкозы и в среднем (2.34) равен величине, полученной Е.А. Николаевой и Б.А. Скопинцевым (1961) для речных вод весеннего паводочного периода. Вода озера характеризуется повышенной по сравнению с углеводами степенью окисленности, что свойственно водам, содержащим большое количество органических веществ болотного и почвенного происхождения.

Величина $БПК_5$ в среднем по озеру колеблется в летний период в пределах 1.7-3.7 мгО/л, зимой - 0.6-2.0 мгО/л. Нестойкие органические вещества, окисляемые биохимическим путем, составляют 1-5% общего их содержания, что позволяет сделать вывод о большой устойчивости органических веществ оз. Воже к окислению.

## Газовый режим и pH воды

Озеро Воже - водоем мезотрофного типа и режим кислорода в нем опреляется как изменениями термического режима, так и происходящими в нем биохимическими процессами.

В зимний период, при наличии ледяного покрова и отсутствии обмена с атмосферой, расходование кислорода на окислительные процессы, протекающие в воде и донных отложениях, приводит к зна-

Таблица 89

Содержание $C_{орг.}$ и показатели органического вещества в воде оз. Воже 20-24 VII 1974 г. (поверхность)

| № станции | $C_{орг}$, мг/л | Перманг. ок. $C_{орг.}$ | Бихром. ок. $C_{орг.}$ (кислородный эквивалент) |
|---|---|---|---|
| 1 | 25.2 | 0.96 | 2.12 |
| 3 | 20.5 | 1.08 | 2.39 |
| 5 | 20.9 | 1.18 | 2.41 |
| 10 | 18.0 | 0.98 | 2.56 |

чительному снижению содержания кислорода по сравнению с нормальным насыщением. В южной части, куда поступает наибольшее количество гумусовых веществ почвенного и болотного происхождения, а донные отложения представлены главным образом илами значительной мощности, содержание кислорода в марте равняется 1-5 мг/л (табл. 90). В северной, проточной части, где донные отложения сложены заиленными песками, зимний кислородный режим более благоприятный.

Величина pH в озере в марте находится в пределах 6.95-7.35.

После вскрытия мелководного оз. Воже происходит обогащение кислородом всей толщи воды. Содержание кислорода в верхних горизонтах с конца мая до начала сентября находится в пределах 7.7-12.3 мг/Л (89-133%). Величина pH изменяется в вегетационный период от 7.40- до 8.50 (табл. 91).

Кислородный режим озера в летний период 1973 г. рассмотрим на примере ст. 3. Как видно из рис. 48, в целом изменения содержания кислорода согласуются с ходом температуры. В июне происходит постепенное снижение содержания кислорода при повышении температуры воды. Относительное содержание превышает насыщение на 4-10% и обусловлено главным образом явлением гистерезиса, что подтверждается невысоким значением величины pH (7.40-7.75). В июле процентное насыщение было максимальным для всего вегетационного периода и совпадало с высокими значениями pH (до 8.35-8.40). (С 12 по 17 июля, по данным Н.А. Петровой, в озере отмечалась вспышка развития синезеленых водорослей) В ветреную погоду (30 VII), когда фотосинтетические процессы подавлены (Петрова, 1978), содержание кислорода близко к насыщению. В сентябре повышение концентраций кислорода обусловлено как понижением температуры, так и фотосинтетическими процессами. Значение pH в это время равнялось 8.0-8.2.

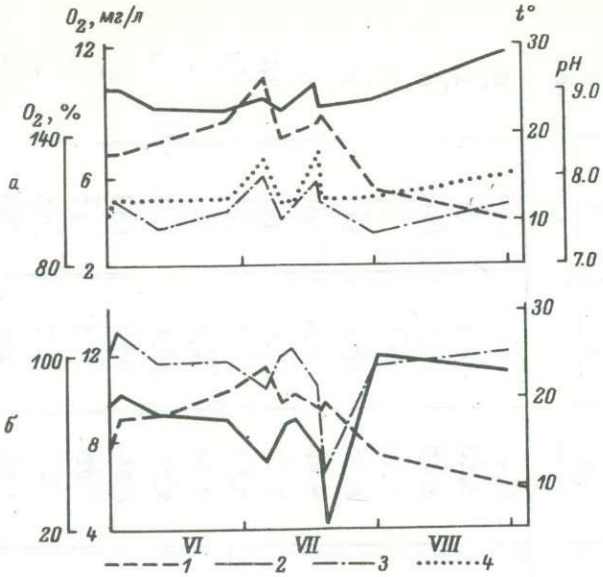



Рис. 48. Температура воды оз. Воже (1), содержание кислорода (2 и 3), величина pH (4) в летний период на поверхности (а) и у дна (б).

Таблица 90

Содержание кислорода и величина pH в воде оз. Воже в зимний период

| Район озера (глубина, м) | Горизонт наблюдения, м | $t$, °C | pH | $O_2$ | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | мг/л | % |
| | | 17 марта 1972 | | | |
| Южный (2.5) | 0.2 | 0.4 | 6.95 | 5.4 | 38 |
| | 2.2 | 3.0 | 6.95 | 1.0 | 8 |
| Северный (1.6) | 0.2 | 0.2 | 7.35 | 10.8 | 76 |
| | | 25 марта 1973 | | | |
| Южный (3.1) | 0.2 | 0.1 | 7.10 | 3.8 | 27 |
| | 3.0 | 1.0 | 7.00 | 2.1 | 14 |
| Северный (1.6) | 0.2 | 0.1 | 7.25 | 7.3 | 52 |

Таблица 91

Пространственное и вертикальное изменение величины pH, содержания $O_2$ и $CO_2$ в летний период в воде оз. Воже

| Дата | Станция | Глубина, м | Горизонт, м | $t^0$ | pH | $O_2$ | | $CO_2$, мг/л |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | мг/л | % | |
| 15-19 VIII 1972 | 1 | 2.4 | 0 | 23.0 | 8.40 | 9.9 | 118 | 0 |
| | | | 2.0 | 19.0 | 8.15 | 9.4 | 105 | 1.1 |
| | 3 | 3.3 | 0 | 18.5 | 8.40 | 10.0 | 110 | 0 |
| | | | 3.2 | 17.6 | 7.75 | 8.3 | 90 | 2.7 |
| | 9 | 2.0 | 0 | 18.6 | 8.40 | 10.1 | 111 | 0 |
| | | | 1.8 | 17.8 | 8.40 | 9.8 | 107 | 0 |
| 31 V 1973 | 1 | 2.0 | 0 | 17.7 | 7.40 | 9.6 | 104 | 2.2 |
| | 3 | 2.7 | 0 | 17.6 | 7.55 | 10.0 | 108 | 2.2 |
| | | | 2.5 | 14.5 | 7.50 | 9.7 | 99 | - |
| | 10 | 2.7 | 0 | 17.3 | 7.75 | 10.1 | 108 | 1.4 |
| 4-5 VII 1973 | 1 | 1.1 | 0 | 28.2 | 8.35 | 10.4 | 134 | 0 |
| | 2 | 3.8 | 0 | 28.0 | 7.95 | 9.1 | 117 | 1.3 |
| | | | 2.0 | 23.8 | - | 9.5 | 115 | - |
| | | | 3.5 | 21.0 | 7.25 | 2.6 | 30 | 6.5 |
| | 3 | 1.8 | 0 | 26.0 | 8.15 | 9.6 | 120 | - |
| | | | 1.5 | 24.0 | 8.00 | 8.0 | 96 | - |
| | 10 | 1.9 | 0 | 26.8 | 8.35 | 10.4 | 132 | 0 |
| 30 VII 1973 | 1 | 1.0 | 0 | 12.5 | 7.75 | 10.0 | 97 | - |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3 | 1.7 | 0 | 13.4 | 7.70 | 9.5 | 94 | – |
| 1–2 IX 1973 | 1 | 1.0 | 0 | 11.8 | 8.35 | 12.9 | 123 | 0 |
| | 2 | 4.0 | 0 | 10.6 | 7.70 | 11.4 | 106 | 2.2 |
| | | | 3.8 | 10.5 | – | 10.2 | 95 | – |
| | 3 | 1.4 | 0 | 10.1 | 8.00 | 11.7 | 107 | 1.5 |
| | | | 1.2 | 9.5 | – | 11.1 | 100 | – |
| | 10 | 1.5 | 0 | 10.6 | 8.20 | 12.3 | 114 | – |
| | | | 1.4 | 10.6 | – | 12.3 | 114 | – |
| | 2л | 0.5 | 0 | 13.2 | 8.45 | 12.8 | 126 | 0 |
| | 3л | 0.5 | 0 | 12.1 | 8.30 | 12.7 | 122 | 0 |
| 24 VI 1974 | 1 | 2.8 | 0 | 20.7 | 7.40 | 7.7 | 89 | – |
| | 3 | 2.1 | 0 | 22.2 | 7.80 | 8.2 | 96 | – |
| | 10 | 2.9 | 0 | 22.1 | 7.80 | 8.6 | 100 | – |
| 20–24 VII 1974 | 1 | 2.8 | 0 | 23.4 | 7.70 | 8.2 | 99 | – |
| | | | 2.5 | 20.6 | – | 6.0 | 69 | – |
| | 3 | 2.2 | 0 | 24.1 | 7.80 | 8.2 | 100 | – |
| | 10 | 2.5 | 0 | 24.8 | 7.80 | 8.5 | 105 | – |
| | | | 2.3 | 23.8 | – | 7.6 | 92 | – |
| 12–15 VIII 1974 | 3 | 2.2 | 0 | 19.6 | 8.00 | 10.1 | 113 | – |
| | 5 | 2.0 | 0 | 20.1 | 7.80 | 9.7 | 110 | – |
| | | | 1.9 | 17.1 | – | 9.0 | 96 | – |
| | 10 | 1.7 | 0 | 19.6 | 7.80 | 9.3 | 105 | |

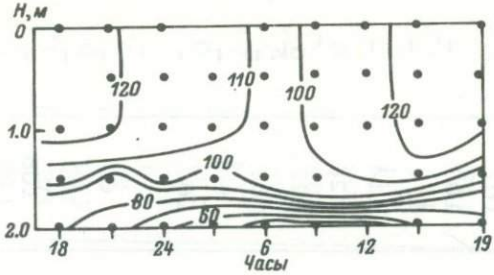



Рис. 49. Суточный ход кислорода в (в % насыщения) в воде оз. Воже 17-18 июля 1973 г.

Изменения в содержании кислорода в придонном слое в штилевую погоду подчас имеют ход, обратный ходу кислородной кривой в поверхностном горизонте. В ветреную погоду содержание кислорода у поверхности и у дна одинакова. В годы со значительными летними дождевыми паводками, при более высокой концентрации в воде окрашенных органических веществ (1974 г.), содержание кислорода почти в течение всего лета близко к нормальному насыщению.

Величины концентраций кислорода по площади озера распределяются довольно равномерно. В моменты активной вегетации фитопланктона пересыщение поверхностного слоя воды наблюдается по всей акватории. Повышенное абсолютное и относительное содержание кислорода в зарослях высшей водной растительности, по сравнению с открытой водной поверхностью, вызвано фотосинтетической деятельностью макрофитов - ст. 2л, 3л, 4л - 1-2 сентября 1973 г. (табл. 91).

В штилевую погоду в оз. Воже хорошо выражен суточный ход кислорода (рис. 49). Максимум как абсоютного, так и относительного его содержания (122-126%) приходится на вторую половину дня (с 15 до 19 часов), далее идет постепенное убывание содержания кислорода и минимум отмечается в утренние часы - с 6 до 9 часов (108%). Согласованность хода абсолютного и относительного содержания кислорода свидетельствует о большой роли биологических процессов в жизни озера. Ход кривой pH в целом следует за суточным ходом кислородных кривых. Максимальные значения pH (8.30-8.35) наблюдаются во второй половине дня, минимальные (8.05) - в ранние утренние часы.

Ниже 1.5 м происходит активное потребление кислорода на окислительно-восстановительные процессы и обеднение им придонной воды. За 15 часов - с 18 до 9 час. 17-18 июля 1973 г. - убыль кислорода в придонном слое равнялась 4 мг/л (с 7.7 до 3.7 мг/л), следовательно, скорость потребления его составляла примерно 0.27 мл/л. В дневные часы за счет процессов фотосин-

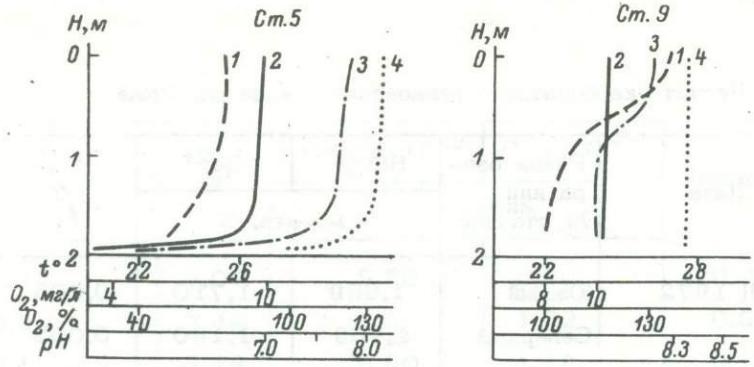



Рис. 50. Вертикальное распределение кислорода и pH в воде оз. Воже 4 июля 1973 г.

Условные обозначения те же, что и на рис. 48.

теза и диффузии из поверхностных горизонтов содержание кислорода у дна несколько возрастает.

Вертикальная стратификация кислорода устанавливается в штилевую погоду и отчетливо выражена в южной и центральной части озера. Вертикальный кислородный градиент достигает 2.5–6.7 мг/л. В северной части озера разница в концентрации кислорода по вертикали не превышает 1 мг/л (табл. 91, рис. 50). В конце лета, при понижении уровня воды, уменьшении глубины озера и количества штилевых дней вертикального кислородного градиента почти не наблюдается.

Содержание растворенной двуокиси углерода в летний период в поверхностном горизонте воды изменяется от 0.9 до 2.2 мг/л, в придонном в штилевую погоду возрастает до 1.6–6.5 мг/л. Потребление двуокиси углерода в процессе фотосинтеза в моменты интенсивного развития фитопланктона приводит к полному ее исчезновению (табл. 91).

## Расчет карбонатного равновесия

Расчет карбонатного равновесия, выполненный по методическим указаниям О.А. Алекина (1962; Алекин и др., 1973), показал, что в периоды наиболее интенсивной фотосинтетической деятельности фитопланктона вода оз. Воже бывает пересыщена в отношении карбоната кальция в 1.3–1.8 раза, а в зарослях макрофитов пересыщение достигает 2.6 раза. В остальное время, даже при максимальной минерализации зимой, вода недонасыщена карбонатом кальция (табл. 92).

Расчет карбонатного равновесия в воде оз. Воже

| Дата | Район озера или № станции | $HCO_3^-$ | $Ca^{2+}$ | $\mu$ | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | мг-экв. % | | | |
| 17 III 1972 | Южный | 1.669 | 1.710 | 0.005 | |
| | Северный | 1.769 | 1.190 | 0.005 | |
| 25 III 1973 | Южный | 2.679 | 2.365 | 0.006 | |
| | Северный | 2.202 | 2.846 | 0.008 | |
| 15 VIII 1972 | 1 | 1.162 | 1.120 | 0.003 | |
| | 5 | 1.142 | 1.084 | 0.003 | |
| | 10 | 1.142 | 1.215 | 0.003 | |
| 31 V 1973 | 1 | 1.014 | 0.899 | 0.003 | |
| | 10 | 0.980 | 1.186 | 0.003 | |
| 4 VII | 1 | 1.056 | 1.161 | 0.003 | |
| | 9 | 1.036 | 1.195 | 0.003 | |
| | 10 | 1.056 | 1.230 | 0.003 | |
| 2 IX | 3 | 1.256 | 1.387 | 0.004 | |
| | 9 | 1.286 | 1.496 | 0.005 | |
| | 10 | 1.326 | 1.633 | 0.005 | |
| | 3л | 1.528 | 2.135 | 0.007 | |
| 24-27 VI 1974 | 1 | 0.806 | 0.832 | 0.002 | |
| | 10 | 0.989 | 1.186 | 0.003 | |
| 15 VIII | 3 | 0.938 | 0.989 | 0.003 | |
| | 10 | 0.979 | 1.104 | 0.003 | |

Таблица 92

| $t^0$ | pH | $L_{CaCO_3} \cdot 10^{-9}$ | $CO_3 \cdot 10^{-6}$ | Насыщение |
|---|---|---|---|---|
| | | г-моль | | |
| 0.4 | 7.07 | 5.50 | 0.56 | 0.05 |
| 0.2 | 7.48 | 5.50 | 1.52 | 0.09 |
| 0.1 | 7.18 | 5.50 | 1.19 | 0.13 |
| 0.1 | 7.36 | 5.50 | 1.53 | 0.19 |
| 23.0 | 8.45 | 3.96 | 17.3 | 1.60 |
| 19.0 | 8.46 | 4.24 | 15.8 | 1.32 |
| 20.0 | 8.52 | 4.24 | 18.2 | 1.71 |
| 19.0 | 7.45 | 4.31 | 1.34 | 0.09 |
| 17.3 | 7.86 | 4.37 | 3.25 | 0.29 |
| 28.2 | 8.37 | 3.64 | 14.5 | 1.52 |
| 26.7 | 8.41 | 3.70 | 15.3 | 1.62 |
| 26.8 | 8.37 | 3.70 | 14.2 | 1.55 |
| 10.1 | 8.10 | 4.84 | 6.28 | 0.51 |
| 10.3 | 8.16 | 4.84 | 7.37 | 0.64 |
| 10.6 | 8.33 | 4.77 | 11.6 | 1.12 |
| 12.0 | 8.43 | 4.71 | 17.8 | 2.09 |
| 20.7 | 7.43 | 4.10 | 1.09 | 0.07 |
| 22.0 | 7.85 | 1.04 | 3.62 | 0.35 |
| 19.6 | 8.00 | 4.17 | 4.62 | 0.36 |
| 19.6 | 7.85 | 4.17 | 3.42 | 0.30 |

Биогенные элементы

Изучение режима биогенных элементов проводилось в летний период – с конца мая по сентябрь и зимой – в марте месяце. Период половодья и развития весеннего комплекса фитопланктона (апрель–первая половина мая) не схвачен нашими наблюдениями.

Минеральный фосфор. Содержание фосфатного фосфора в воде озера изменяется от 0.006 мгР/л до аналитического нуля. Максимальные концентрации фосфатов наблюдаются зимой, в период накопления в озере биогенных элементов (табл. 93).

С началом вегетационного периода концентрация фосфора фосфатов падает, снижаясь от 0.002 мгР/л в конце мая до аналичического нуля (табл. 94). В течение всего лета скорость процессов потребления $P_{мин}$ превышает скорость его регенерации. Только в августе 1972 г. фосфаты были обнаружены по всей акватории озера в количестве 0.001–0.0025 мгР/л. Вероятно, во время шторма, предшествовавшего съемке, произошел резкий спад в развитии планктона и минерализация свежего нетранеформированного органического вещества. Аналогичная картина была на ст. 3 27 июня 1973 г.: содержание $P_{мин}$ равнялось 0.004 мгР/л, в то время как в предыдущий и последующий сроки фосфатный фосфор в озере отсутствовал. Определение общего фосфора летом 1974 г. приводит к заключению, что основной формой фосфорных соединений в

Таблица 93

Содержание биогенных элементов (в мг/л) в воде оз. Воже в зимний период

| Район озера (глубина, м) | Горизонт наблюдения, м | $P_{мин}$ | $N_{мин}$ | | Si | $Fe_{мин}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $NH_4^+$ | $NO_3^-$ | | Fe(II) | Fe(III) |
| | | | 17 III 1972 | | | | |
| Южный (2.5) | 0.5 | 0.005 | – | 0 | – | 0.35 | 0.15 |
| | 2.2 | 0.004 | – | 0 | – | – | – |
| Северный (1.6) | 0.5 | 0.003 | | 0 | – | 0.10 | 0.13 |
| | | | 25 III 1973 | | | | |
| Южный (3.1) | 0.5 | 0.004 | 0.19 | 0.25 | 1.16 | 0.50 | 0.10 |
| | 3.0 | 0.006 | 0.27 | 0.18 | 3.72 | 0.30 | 0.05 |
| Северный (1.6) | 0.5 | 0.004 | 0.19 | 0.03 | 1.00 | 0.08 | 0.01 |

Таблица 94

Содержание биогенных элементов (в мг/л) в воде оз. Воже в летний период (поверхность)

| Дата | $P_{мин}$ | | | Si | | | $N_{NH_4^+}$ | | | $Fe_{мин}$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | Fe (II) | | | Fe (III) | | |
| | макс. | мин. | средн. | макс. | мин. | средн. | макс. | мин. | средн. | макс. | мин. | средн. | макс. | мин. | средн. |
| 15-18 VIII 1972 | 0.002 | 0.001 | 0.002 | 0.63 | 0.43 | 0.54 | 0.14 | 0.12 | 0.13 | 0.18 | 0.09 | 0.12 | 0.15 | 0.07 | 0.11 |
| 31 V 1973 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.86 | 0.68 | 0.81 | – | – | – | 0.25 | 0.15 | 0.19 | 0.05 | 0.03 | 0.04 |
| 12 VI* | – | – | 0 | – | – | 0.84 | – | – | 0.14 | – | – | 0.23 | – | – | 0.04 |
| 27 VI* | – | – | 0.004 | – | – | 2.54 | – | – | 0.10 | – | – | – | – | – | – |
| 4-5 VII | 0 | 0 | 0 | 1.63 | 0.74 | 1.21 | 0.10 | 0.06 | 0.08 | 0.12 | 0.08 | 0.10 | 0.03 | 0.02 | 0.03 |
| 18 VII* | – | – | 0 | – | – | 1.16 | – | – | 0.10 | – | – | 0.10 | – | – | 0.05 |
| 30 VII | 0 | 0 | 0 | 0.93 | 0.72 | 0.79 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| 1-2 IX | 0 | 0 | 0 | 1.66 | 0.91 | 1.19 | 0.11 | 0.07 | 0.08 | 0.13 | 0.06 | 0.10 | 0.04 | 0.01 | 0.03 |
| 24-27 VI 1974 | 0 | 0 | 0 | 1.25 | 0.76 | 0.94 | 0.20 | 0.15 | 0.18 | 0.20 | 0.13 | 0.16 | 0.04 | 0.02 | 0.03 |
| 20-24 VII | 0 | 0 | 0 | 1.14 | 0.94 | 1.07 | 0.20 | 0.09 | 0.13 | 0.15 | 0.08 | 0.11 | 0.05 | 0.01 | 0.03 |
| 12-15 VIII | 0 | 0 | 0 | 1.05 | 0.96 | 1.00 | 0.15 | 0.09 | 0.12 | – | – | – | | | |

* Для ст. 3

Таблица 95

Содержание фосфора в воде оз. Воже в июле 1974 г.

| Число месяца | Станция | Горизонт, м | P, мг/л | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | общий | минеральный | органический |
| 14 | 1 | 2.0 | 0.038 | 0 | 0.038 |
| 20 | 1 | 0.2 | 0.019 | 0 | 0.019 |
| | 3 | 0.2 | 0.028 | 0 | 0.028 |
| 24 | 5 | 0.2 | 0.028 | 0 | 0.028 |
| | 9 | 0.2 | 0.038 | 0 | 0.038 |
| | 10 | 0.2 | 0.028 | 0 | 0.028 |

оз. Воже является органическая; концентрация $P_{орг}$ в июле 1974 г. равнялась 0.019–0.038 мгР/л (табл. 95).

Воде озера, так же как воде притоков, свойственно широкое отношение $C_{орг} : P_{орг}$ – 640–1350.

Кремний. Содержание растворенного минерального кремния в озере колеблется от 0.4 до 3.7 мг Si /л. Сезонная динамика кремния так же как и остальных биогенных элементов, характеризуется наибольшим его содержанием зимой (табл. 93) и пониженным – в вегетационный период. Во время ледостава отчетливо была выражена вертикальная неоднородность в содержании кремния, с повышенной концентрацией у дна. Период вегетационной деятельности фитопланктона и развитие диатомовых водорослей характеризуется снижением концентраций кремния до 0.5–1.6 мг Si /л (табл. 94). В штилевую погоду обнаруживается повышение содержания кремния в придонном слое по сравнению с поверхностным на 0.15–0.30 мг/л. Увеличение концнтрации кремния у дна, очевидно, обусловлено минерализацией остатков диатомовых водорослей.

В пространственном распределении кремния какой-либо закономерности установить не удается. Понижение концентрации кремния на отдельных участках связано, вероятно, с локальными, наиболее интенсивными вспышками в развитии диатомовых водорослей.

Минеральный азот. Источниками поступления в озеро соединений минерального азота являются речной сток, минерализация азотсодержащих органических соединений, диффузия из илов. Концентрация минеральных соединений азота различной степени скисления зависит от интенсивности протекающих в водоеме биологических и биохимических процессов.

Единственной, постоянно присутствующей в озере формой минерального азота является аммонийный. В зимний период концентра-

Таблица 96

Содержание азота (в мг N/л) и фосфора (в мгР/л) в воде и иловых растворах оз. Воже летом 1974 г.

| Субстрат | Расстояние от границы раздела вода-дно, см | $P_{орг}$ | | $P_{мин}$ | | $NH_4^+$ | | $NO_2^-$ | $NO_3^-$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 7 VII | 14 VII | 7 VII | 14 VII | 7 VII | 14 VII | 7 VII | 14 VII |
| Вода | 5 | 0.019 | 0.024 | 0 | 0 | 0.23 | 0.24 | 0.002 | 0 |
| Иловой раствор | 0-5 | 0.130 | 0.124 | 0 | 0 | 1.90 | 1.45 | 0.001 | - |
| | 5-10 | - | - | 0.064 | 0.112 | 2.60 | - | - | - |
| | 10-15 | - | - | 0.264 | - | 3.45 | - | - | - |

ция ионов аммония составляет 0.19–0.27 мг N /л, в период вегетации – 0.07–0.20 мг /л (табл. 93, 94). В течение лета содержание аммонийного азота сохраняется на одном уровне. Сравнением наблюдений за разные годы обнаружены только небольшие межгодовые колебания, связанные с водностью года. В маловодном 1973 г. концентрация аммонийного азота только в июне превышала 0.10 мгN/л, в 1974 г. содержание ионов $NH_4^+$ находилось в пределах 0.12–0.18 мг /л, а в южной части озера – 0.16–0.34 мгN/л. Нитритные ионы не были обнаружены в воде озера.

Конечный продукт минерализации органического вещества – нитратный азот – присутствует в озере только зимой, и то не каждый год. Наличие в озере большого количества органического вещества зимой 1972 г. по всей вероятности, создавало неблагоприятные условия для развития нитрифицирующих бактерий, процесс минерализации задерживался на стадии аммонификации. Зимой 1973 г. нитратный азот присутствовал в воде (табл. 93). В вегетационный период скорость процесса ассимиляции нитратов водными организмами постоянно превышает скорость процесса нитрификации, нитраты в озере отсутствуют.

Минеральное растворенное железо. Преобладающей формой растворимых соединений минерального железа является закисное. Предельные концентрации закисного железа, встреченные в озере – 0.08–0.50 мг/л, окисного – 0.03–0.15 мг/л. (табл. 95, 96). Максимальные концетрации растворенного минерального железа отмечаются зимой, летом содержание его постепенно уменьшается. Во время дождевых паводков концентрация закисного и окисного железа в воде озера несколько возрастает.

## Поступление соединений азота и фосфора из илов в воду [2]

Процессы химического обмена, происходящие на границе раздела вода-дно, существенно влияют на состав озерной воды. В оз. Воже, характеризующемся высоким коэффициентом открытости, роль донных отложений в круговороте веществ должна быть особенно велика. Для количественной оценки поступления биогенных элементов из илов летом 1974 г. было предпринято небольшое исследование скорости выделения в воду соединений азота и фосфата из монолитов ила с ненарушенной структурой.

Грунт отбирался стратометром Перфильева, из трубок осторожно удалялась вода и взамен заливалась фильтрованная придонная вода. Стратиметрические трубки выдерживались в темноте в течение 36 часов при температуре, близкой к озерной. По изме-

---

[2] Раздел написан Е.А. Стравинской.

Таблица 97

Скорость отдачи минеральных форм азота и фосфора (в мг/м$^2$·сутки) из ила в воду оз. Воже

| № опыта | Отдача ионов $NH_4^+$ | | Отдача фосфатов |
|---|---|---|---|
| | расчет по увеличению концентрации в воде | расчет по убыли концентрации в иловом растворе | |
| 1 | 40 | 40 | 0 |
| 2 | 40 | 53 | 0 |
| 3 | 53 | 40 | 0 |
| Среднее | 46 | | 0 |

нению концентрации биогенных элементов в воде и в иловом растворе рассчитывали скорость выделения их в воду из грунта. Для предотвращения нитрификации в воду добавлялся антисептик.

Для выделения илового раствора грунт разлелялся послойно с интервалом 5 см и подвергался центрифугированию.

Определение соединений азота и фосфора в воде и иловых растворах проводилось общепринятыми методами (Алекин и др., 1973). Одновременно в навесках сырого ила определялось содержание обменного аммония (Мартынова, 1973) и фосфора (Аринушкина, 1961).

Отбор проб производился в южной части озера (ст. 1) дважды с интервалом 7 дней, в условиях полной гомотермии и нормального насыщения кислородом всей водной толщи. Характеристика илов оз. Воже содержится в гл. 6 наст. изд.

Содержание соединений азота и фосфора в придонной озерной воде, отобранной стратометром, и в иловых растворах, приведено в табл. 96.

В период наших наблюдений минеральный фосфор не был обнаружен ни в придонной воде, ни в иловом растворе поверхностного слоя ила (0–5 см), хотя содержание обменного фосфора в этом слое осадков оказалось высоким: около 0.60 мгР/л сырого ила[3]. Отсутствие минерального растворимого фосфора в жидком субстрате и наличие фосфатов в обменной форме указывает на фиксацию этих ионов поверхностной пленкой осадков. В придонной воде и иловом растворе верхнего слоя грунта фосфор был обнаружен

---

[3] Указанная величина является несколько заниженной, так как трехкратная смена раствора фтористого натрия не привела к полному выделению обменного фосфора.

только в составе органических соединений. Минеральный фосфор содержался лишь в иловом растворе нижележащей толщи осадка (5-15 см), где концентрация его с глубиной увеличивалась (табл. 96).

После 36-часовой экспозиции илов в трубках фосфат-ионы по-прежнему не были обнаружены в воде (табл. 97). Отсутствие диффузионного выноса фосфатов не было неожиданным. Этот результат подтвердил предположение об адсорбции на поверхностной пленке фосфатов, образующихся в илу за счет минерализации фосфорорганических соединений.

Распределение минеральных форм азота между илом и водой носило иной характер. Отмечен высокий градиент концентрации ионов аммония на границе раздела вода-грунт, что указывает на возможность диффузионного переноса азота в озерную воду (табл. 96). Опыты, поставленные в стратиметрических трубках, подтвердили это предположение (табл. 97).

Расчет показал, что из илов в воду за счет диффузии поступает около 46 мгN/м$^2$ в сутки. Увеличение содержания ионов аммония в воде сопровождалось эквивалентным уменьшением их концентрации в иловом растворе, что указывает на чрезвычайно низкие темпы минерализации органического вещества по сравнению со скоростью диффузии.

Обменный аммоний является существенным резервом азота в илах; содержание его в поверхностном слое (0-5) составляло в среднем 0.33 мг/г сырого ила. Эту величину также надо считать заниженной, т.к. полного выделения обменной формы азота достигнуть не удалось.

В озерной воде и поверхностном слое ила за счет нитрификации происходило окисление аммонийного азота. Об этом свидетельствовало наличие ионов $NO_2^-$ - воде и иловом растворе (табл. 96). Нитрат-ионы в воде обнаружены не были из-за быстрой ассимиляции их планктоном.

Основываясь на результатах эксперимента, можно сделать вывод о достаточно интнсивном пополнении запасов азота в воде оз. Воже летом за счет поступления его из илов. Скорость выноса составляла около 50 мгN/м$^2$ в сутки. В отношении фосфатов иловая толща не играет подобной роли. Минеральный фосфор, адсорбируясь на поверхности осадков, не выносится в воду даже при ветровом взмучивании наилка.

Сравнение полученных результатов с литературными данными (Мартынова, 1973; Трифонова, 1974; Kamp-Nielsen, 1974, 1975) позволяет найти место оз. Воже в ряду других водоемов по темпам выделения биогенов из илов. Наиболее близкие величины были получены летом 1973-1974 гг. для литоральной зоны оз. Эсром в Дании (Kamp-Nielsen, 1975). Сравнивая эти озера, можно сделать некоторые предположения об изменении скорости отдачи азота и фосфора в другие сезоны. Вероятно, в периоды массового отмирания водорослей, а также в конце зимней

стагнации, выделение фосфора из илов должно приобрести ощутимые размеры, а отдача азота заметно увеличиться.

## 5.3. Гидрохимия притоков оз. Лача

### Общая минерализация и ионный состав

Состав вод, поступающих с водосбора, является одним из важнейших факторов формирования гидрохимического режима и качества воды любого водоема и в первую очередь водоема высокой проточности, к числу которых принадлежит и оз. Лача. Даже в маловодные годы коэффициент условного водообмена этого озера около 6, а в средние по водности годы, как и за многолетний период, он достигает 8. Для озер такого типа сезонные изменения гидрохимического состава воды основных притоков сильно влияют на режим самого озера.

Оз. Лача имеет ряд более или менее крупных притоков - реки Свидь, Ковжа, Кинема, Ухта, Тихманьга, Лекшма. Среди них по степени влияния на режим озера основным является р. Свидь, водный сток которой за год составляет около 50% притока в озеро. Кроме основных притоков оз. Лача питают малые реки и ручьи, влияние которых на гидрохимический режим озера менее значительно.

Р е к а  С в и д ь берет начало в оз. Воже, и имея на своем протяжении очень малое количество незначительных притоков, почти полностью зависит от гидрологического и гидрохимического режима этого озера. В силу естественной зарегулированности р. Свидь не имеет резких паводков и глубоких меженных периодов, ее гидрограф значительно сглажен. (разд. 2.1 наст. изд.). Зарегулированность водного стока отражается и на гидрохимическом режиме р. Свиди и для нее характерна малая годовая амплитуда колебаний величины минерализации (160-200 мг/л), хотя абсолютные значения ее в разные сезоны меняются в зависимости от водности года.

Минимальные величины минерализации отмечаются в паводочные периоды (май-июнь) многоводных лет - 90-100 мг/л. В маловодные годы минерализация воды весной не падает, ниже 140-160 мг/л (табл. 98, рис. 51). К концу летней межени минерализация возрастает, достигая 140-200 мг/л (в зависимости от водности года), а в отдельные маловодные годы 220 мг/л. Осенние дожди мало отражаются на величине минерализации воды р. Свиди. Максимальные величины отмечаются во время зимней межени и достигают 320-360 мг/л (в маловодные годы ).

При рассмотрении гидрохимического режима р. Свиди нами были привлечены в качестве дополнительных данных материалы Гидрометслужбы. Гидрохимические наблюдения на р. Свидь велись с 1949 года, и их сравнение с нашими наблюдениями показало хорошую сходимость. Привлечение дополнительных материалов

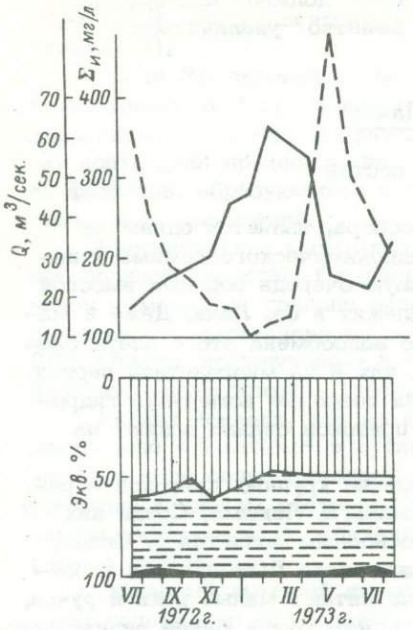



Рис. 51. Сезонные изменения минерализации и анионного состава воды р. Свидь.

Условные обозначения те же, что и на рис. 45.

позволило построить надежный график связи между расходами воды и суммой ионов, что в дальнейшем послужило основой для расчета водно-солевого баланса (рис. 52).

Ионный состав воды р. Свиди характеризуется близким по величине содержанием гидрокарбонатных и сульфатных ионов (рис. 51) в силу чего класс воды неустойчив, меняясь от гидрокарбонатного к сульфатному.

В течение всего года относительное содержание $HCO_3^-$ составляет 46–56 экв.%, снижаясь в меженные периоды, доля иона $SO_4^{2-}$ меняется от 42 до 52 экв.%, возрастая в меженные периоды при увеличении минерализации. Только в отдельные периоды, в основном в начале летней межени (июль), содержание иона $HCO_3^-$ повышается до 60–61 экв.%, а иона $SO_4^{2-}$ падает до 37–38 экв.%.

Основным катионом является ион $Ca^{2+}$. Его относительное содержание устойчиво и изменяется в течение года в пределах 67–77 экв.%, доля иона $Mg^{2+}$ – 21–32 экв.% от суммы катионов, содержание ионов $K^+$ и $Na^+$ незначительно.

Характеристики ионного состава воды р. Свидь, как и величина минерализации почти точно совпадают с аналогичными характеристиками воды северной части оз. Воже.

Подсчитанная по графику связи между расходами воды и суммой ионов среднегодовая многолетняя величина минерализации р. Свидь – 146 мг/л оказалась самой высокой среди всех притоков озера.

Реки Ухта, Тихманьга, Лекшма – притоки западного берега – близки по характеру питания, что приводит к сходству их гидрохимического режима.

По общей минерализации воды этих рек относятся к среднеминерализованным, и только на короткий период паводка (май) становятся маломинерализованными (табл. 99, рис. 53). Амплитуда колебаний общей минерализации – 300–350 мг/л. В р. Лекшме годовая амплитуда минерализации ниже – до 200–220 мг/л –

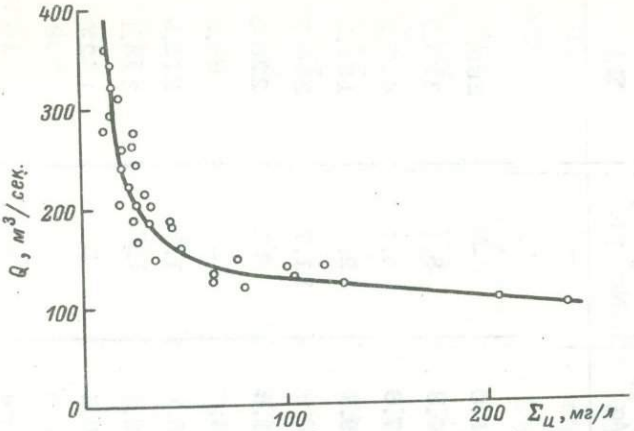



Рис. 52. График связи между расходами и минерализацией воды р. Свиди.

Таблица 98

Минерализация и ионный состав воды (в мг/л) р. Свиди

| Дата | $HCO_3^-$ | $SO_4^{2-}$ | $Cl^-$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^+ + K^+$ | $\Sigma_ц$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 14 УII 1972 | 67.8 | 32.8 | 1.6 | 25.3 | 7.2 | – | 134.7 |
| 18 УIII | 76.4 | 37.4 | 2.5 | 30.5 | 8.5 | – | 155.3 |
| 10 1Х | 80.7 | 46.7 | 2.1 | 32.8 | 7.8 | 1.9 | 172.0 |
| 10 Х | 82.6 | 59.6 | 2.0 | 33.7 | 8.3 | 6.9 | 193.1 |
| 10 Х1 | 98.9 | 49.0 | 2.0 | 42.6 | 2.9 | 8.1 | 203.5 |
| 10 II 1973 | 147.0 | 119.8 | 3.0 | 75.1 | 17.8 | – | 362.7 |
| 10 1У | 135.2 | 102.4 | 3.3 | 64.5 | 16.6 | – | 322.0 |
| 10 У | 72.1 | 57.6 | 2.0 | 34.7 | 8.4 | 0.4 | 175.2 |
| 10 У1 | 67.1 | 60.0 | 2.1 | 30.7 | 7.4 | 1.3 | 168.6 |
| 10 УII | 76.5 | 63.8 | 3.4 | 33.5 | 9.6 | 0.1 | 186.9 |
| 10 УIII | 81.4 | 72.2 | 2.4 | 36.6 | 9.3 | 2.6 | 204.5 |
| 13 УIII | 86.4 | 73.8 | 1.8 | 37.9 | 9.9 | 2.1 | 211.9 |
| 10 Х | 88.4 | 77.8 | 1.7 | 44.2 | 10.2 | 1.7 | 224.0 |
| 27 У1 1974 | 63.5 | 42.3 | 1.4 | 27.3 | 7.1 | 2.4 | 144.0 |
| 3 УIII | 67.8 | 39.8 | 1.6 | 29.8 | 8.1 | 2.7 | 149.8 |

Таблица 99

Минерализация и ионный состав воды (в мг/л) западных притоков оз. Лача

| Дата | $HCO_3^-$ | $SO_4^{2-}$ | $Cl^-$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^+ + K^+$ | $\Sigma_u$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Ухта | | | |
| 26 VII 1972 | 224.6 | 6.2 | 2.4 | 48.3 | 18.0 | – | 299.5 |
| 8 VIII | 248.2 | 5.3 | 1.2 | 47.6 | 20.8 | 3.1 | 325.9 |
| 10 X | 316.8 | 5.2 | 1.9 | 54.3 | 27.6 | 9.4 | 415.2 |
| 10 XI | 103.1 | 16.7 | 2.3 | 26.8 | 9.4 | 2.8 | 161.2 |
| 10 II 1973 | 197.7 | 3.6 | 0.8 | 39.7 | 10.8 | 11.7 | 296.7 |
| 10 IV | 164.3 | 9.1 | 1.1 | 33.5 | 11.8 | 6.8 | 226.6 |
| 10 V | 39.2 | 8.6 | 1.2 | 12.3 | 4.0 | – | 65.3 |
| 10 VII | 205.6 | 5.0 | 1.8 | 43.2 | 16.1 | 1.2 | 272.9 |
| 14 VIII | 248.0 | 4.8 | 1.4 | 47.4 | 22.5 | – | 324.1 |
| 10 X | 86.4 | 10.0 | 4.4 | 25.4 | 6.4 | – | 132.6 |
| | | | | Тихманьга | | | |
| 19 VII 1972 | 191.1 | 5.8 | 1.8 | 40.3 | 15.4 | 0.6 | 255.0 |
| 30 VIII | 316.1 | 6.4 | 2.0 | 66.5 | 21.3 | 7.4 | 419.7 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 XII | 81.4 | 10.0 | 1.8 | 20.1 | 7.8 | – | 121.1 |
| 10 II 1973 | 311.2 | 5.8 | 1.2 | 63.1 | 23.5 | 4.3 | 409.1 |
| 10 У | 44.2 | 7.0 | 1.2 | 13.2 | 4.4 | – | 70.0 |
| 12 У1 | 153.5 | 5.3 | 1.2 | 34.5 | 12.2 | – | 206.7 |
| 10 УII | 222.5 | 3.9 | 1.8 | 46.9 | 20.2 | – | 295.3 |
| 14 УIII | 279.6 | 5.0 | 1.1 | 50.0 | 26.4 | 1.2 | 363.3 |
| | | | Лекшма | | | | |
| 26 УII 1972 | 138.7 | 15.5 | 1.4 | 30.1 | 11.8 | 4.0 | 201.5 |
| 5 1X | 175.1 | 11.3 | 1.4 | 38.2 | 20.3 | 1.8 | 248.1 |
| 10 X | 167.2 | 21.7 | 1.5 | 38.2 | 14.2 | 3.8 | 246.7 |
| 10 XII | 113.7 | 9.6 | 1.6 | 42.2 | 13.0 | – | 180.1 |
| 6 I 1973 | 130.6 | 19.0 | 1.7 | 32.0 | 11.3 | 2.2 | 196.8 |
| 11 III | 157.2 | 17.8 | 1.7 | 36.4 | 13.0 | 2.6 | 228.7 |
| 10 1У | 114.4 | 10.4 | 1.2 | 26.0 | 9.3 | 1.7 | 163.0 |
| 11 У | 45.4 | 10.0 | 1.1 | 12.8 | 5.4 | – | 74.7 |
| 11 У1 | 153.5 | 30.8 | 1.3 | 38.8 | 14.8 | 1.3 | 240.5 |
| 10 УII | 174.6 | 15.8 | 1.2 | 39.0 | 15.4 | 0.3 | 246.3 |
| 17 УIII | 215.0 | 17.3 | 1.2 | 44.1 | 18.9 | 4.1 | 300.6 |

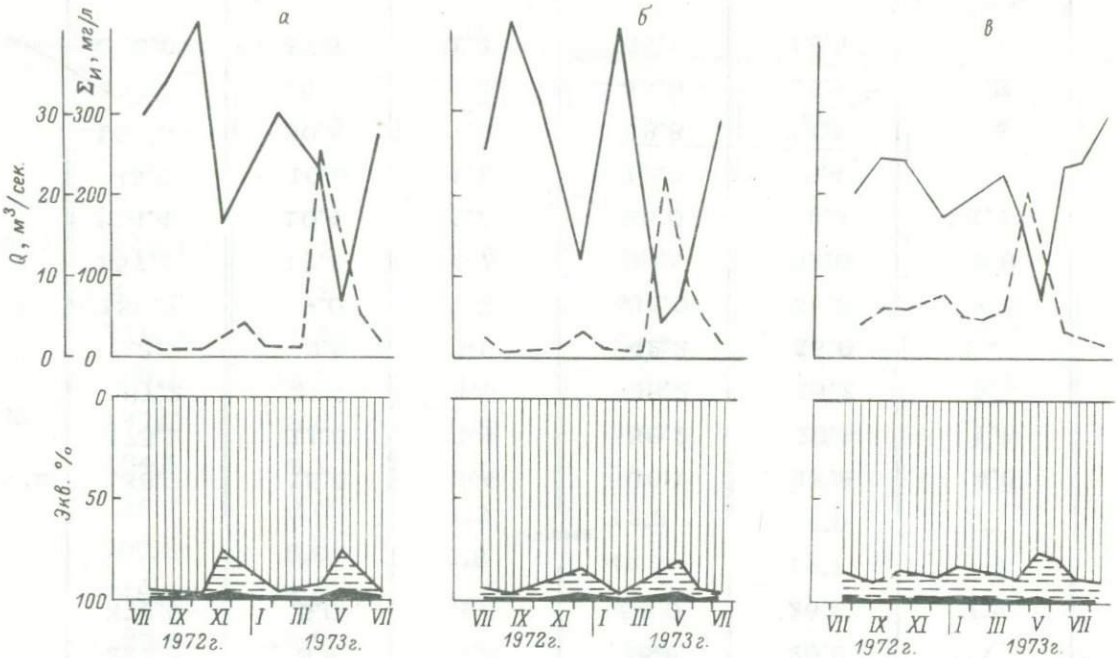



Рис. 53. Сезонные изменения минерализации и анионного состава воды рек Ухты (*а*), Тихманьги (б), Лекшмы (в).

Условные обозначения те же, что и на рис. 45.

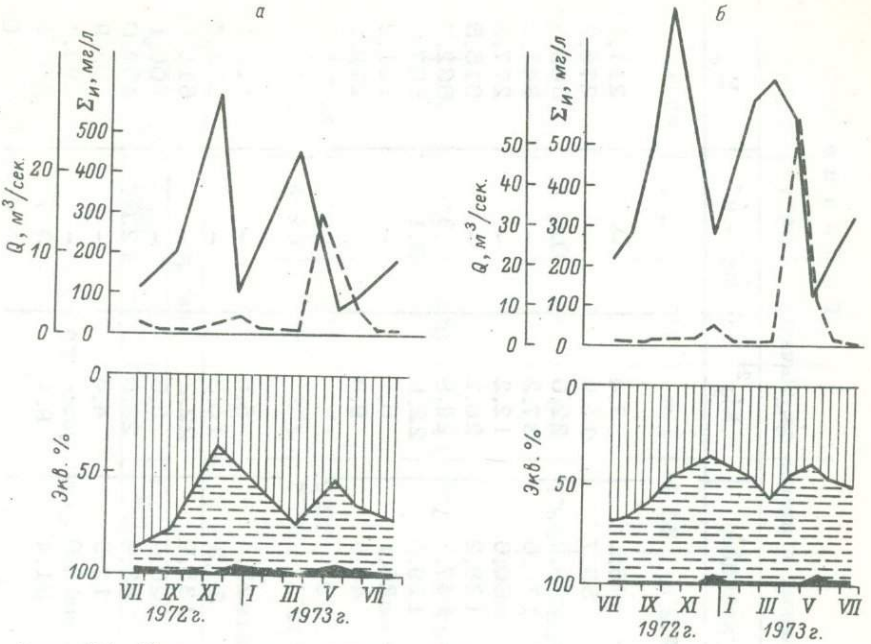



Рис. 54. Сезонные изменения минерализации и анионного состава воды рек Ковжи (а) и Кинемы (б).

Условные обозначения те же, что и на рис. 45.

в силу более высокого коэффициента озерности реки (7%). Максимальных значений величина минерализации достигает в летне-осеннюю и зимнюю межень, а минимальные отмечены в период паводка. Поскольку доля водного стока в паводочные периоды составляет 50-60% годового (у Лекшмы - 30-35%), то среднегодовая минерализация воды этих рек довольно низка: для Ухты - 86 мг/л, Тихманьши - 74 мг/л, Лекшмы - 122 мг/л.

По ионному составу вода этих рек относится к гидрокарбонатному классу кальциевой группы, причем характерно высокое содержание иона $HCO_3^-$ - до 96-97 экв. %, которое только в период паводка падает до 70-80 экв.% (рис. 53). Столь высокое содержание гидрокарбонатного иона объясняется тем, что эти реки дренируют водоносные комплексы верхнего и среднего карбона, сложенные в основном известняками и доломитами. Основными катионами являются ионы $Ca^{2+}$ и $Mg^{2+}$.

Реки Ковжа, Кинема - основные притоки восточного берега озера, причем р. Ковжа второй, после Свиди, по величине приток. В нижнем течении оба этих притока дренируют толщи нижне-пермских отложений, богатых гипсами и ангидритами.

Таблица 100

Минерализация и ионный состав воды (в мг/л) восточных притоков оз. Лача

| Дата | $HCO_3^-$ | $SO_4^{2-}$ | $Cl^-$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^+ + K^+$ | $\Sigma_u$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Ковжа | | | | |
| 14 VII 1972 | 115.9 | 39.9 | 1.8 | 46.1 | 7.4 | – | 211.9 |
| 9 VIII | 146.6 | 57.6 | 1.1 | 59.7 | 11.9 | – | 276.9 |
| 7 IX | 244.4 | 133.3 | 1.1 | 98.9 | 22.6 | 0.5 | 500.8 |
| 12 X | 328.1 | 298.9 | 1.4 | 175.6 | 37.2 | – | 841.2 |
| 15 XII | 84.0 | 117.0 | 3.4 | 60.6 | 12.2 | – | 277.2 |
| 15 II 1973 | 238.6 | 220.5 | 2.0 | 128.2 | 26.2 | – | 615.5 |
| 15 III | 281.7 | 200.8 | 2.0 | 147.1 | 29.8 | 1.3 | 662.7 |
| 15 IV | 210.0 | 211.7 | 1.7 | 119.0 | 22.1 | 3.1 | 567.6 |
| 10 V | 41.1 | 46.4 | 1.6 | 26.1 | 6.1 | – | 121.3 |
| 10 VI | 88.4 | 74.5 | 1.6 | 44.9 | 9.9 | – | 219.3 |
| | | | Кинема | | | | |
| 14 VII 1972 | 76.4 | 6.2 | 1.6 | 22.4 | 5.5 | – | 112.1 |
| 7 IX | 126.7 | 27.9 | 1.2 | 37.3 | 10.3 | – | 203.4 |
| 15 XI | 187.1 | 262.3 | 2.8 | 135.9 | 22.2 | – | 610.3 |
| 15 XII | 42.6 | 34.6 | 2.5 | 20.9 | 5.5 | – | 106.1 |
| 10 III 1973 | 280.3 | 67.2 | 1.5 | 63.8 | 28.6 | 12.6 | 454.0 |
| 10 V | 28.1 | 17.3 | 1.6 | 12.5 | 4.4 | – | 63.9 |
| 10 VI | 48.6 | 18.8 | 1.3 | 18.0 | 6.6 | – | 93.3 |
| 9 VIII | 110.7 | 30.0 | 1.5 | 31.4 | 9.4 | 3.5 | 186.5 |

Таблица 101

Минерализация и ионный состав воды малых притоков оз. Лача. Летом 1972 г.

| Дата | $HCO_3^-$ | $SO_4^{2-}$ | $Cl^-$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^+ + K^+$ | $\Sigma_u$ | $HCO_3^-$ | $SO_4^{2-}$ | $Cl^-$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $K^+ + Na^+$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | мг/л | | | | | | | экв. % | | | | | |
| | | | | | | р. Ольга | | | | | | | |
| 14 VII | 170.2 | 4.6 | 4.9 | 41.5 | 10.8 | 1.7 | 233.7 | 92.2 | 3.2 | 4.6 | 68.4 | 29.3 | 2.3 |
| 10 VIII | 266.8 | 3.4 | 3.1 | 57.7 | 18.9 | 2.4 | 352.3 | 96.5 | 1.6 | 1.9 | 63.7 | 34.2 | 2.1 |
| | | | | | | Р. Петеньга | | | | | | | |
| 6 IX | 308.0 | 31.9 | 1.3 | 73.3 | 24.3 | 2.2 | 441.0 | 87.8 | 11.6 | 0.6 | 63.6 | 34.8 | 1.6 |
| | | | | | | Р. Шоршма | | | | | | | |
| 26 VII | 205.8 | 1.4 | 1.2 | 45.7 | 13.6 | 0.7 | 268.4 | 98.1 | 0.9 | 1.0 | 66.4 | 32.7 | 0.9 |
| | | | | | | Руч. Саро | | | | | | | |
| 18 VII | 209.8 | 2.4 | 1.2 | 48.5 | 14.0 | - | 275.9 | 97.6 | 1.4 | 1.0 | 67.7 | 32.3 | - |
| | | | | | | Руч. Вочкручей | | | | | | | |
| 19 VII | 98.8 | 7.7 | 1.8 | 26.3 | 6.9 | - | 141.5 | 88.4 | 8.7 | 2.9 | 69.7 | 30.3 | - |

Это сказывается как на величине минерализации, так и на ионном составе воды этих рек.

Воды Ковжи и Кинемы относятся к среднеминерализованным, а в меженные периоды маловодных лет (1972 г.) имеют повышенную минерализацию ($\Sigma_{u}$ 600-800 мг/л). Минимальные величины минерализации отмечены в паводок, максимальные - в летне-осеннюю и зимнюю межень (табл. 100, рис. 54). Период (1972-1973 гг. был маловодным, очевидно, в многоводные годы минерализация не достигает столь высоких значений.

Для воды этих притоков характерно высокое содержание сульфатов в течение всего года, а в конце летней и в зимнюю межень воды этих рек переходят из гидрокарбонатного в сульфатный класс, сохраняя при этом принадлежность к кальциевой группе. Основными катионами являются ионы $Ca^{2+}$ и $Mg^{2+}$, их относительное содержание устойчиво в течение всего года.

Несмотря на столь высокие величины минерализации в меженные периоды, среднегодовая минерализация за счет большой доли паводочного стока невелика: у р. Ковжи - 126 мг/л, у р. Кинемы - 77 мг/л.

Из малых притоков оз. Лача нами исследовались реки Петеньга, Ольга, Шоршма, ручьи Саро и Вочкручей. Все они имеют небольшой водный сток и оказывают на режим озера очень слабое влияние. Наблюдения на них проводились в летний период маловодного 1972 г.; все рассматриваемые притоки имели только грунтовое питание.

В июле 1972 г. (начало межени) величина минерализации малых притоков находилась в пределах 140-230 мг/л, а к концу межени увеличилась до 270-440 мг/л (табл. 101). Более низкие значения минерализации характерны для ручьев и р. Шоршмы, дренирующих заболоченные участки.

По ионному составу воды всех притоков принадлежат гидрокарбонатному классу кальциевой группы, содержание гидрокарбонатного иона высоко.

В целом можно сказать, что малые притоки по минерализации и ионному составу сходны с основными притоками.

### Органическое вещество, биогенные элементы, кислородный режим и pH

Р. Свидь. Содержание растворенного органического вещества в воде р. Свиди отличается сравнительно небольшими внутригодовыми изменениями. Максимальные значение его показателей отмечены в паводочные периоды (май-июнь): цветность - 78-88°, перманганатная окисляемость 17-22 мгО/л, бихроматная окисляемость 45-46 мгО/л. Более высоких значений не наблюдалось и за многолетний период с 1949 г. (по материалам Гидрометслужбы).

К концу летнего периода значения характеристик органического вещества снижаются – незначительно в многоводные годы (1974 г.) и заметно в маловодные (1972, 1973) (табл. 102).

Следует отметить некоторое повышение к концу летней межени 1972 и 1973 гг. величин бихроматной окисляемости, а также снижение отношения цветности к перманганатной окисляемости до 3, что указывает на увеличение доли органического вещества планктонного происхождения, основной источник которого – оз. Воже.

В зимнее время прямых наблюдений на р. Свидь нами не проводилось, но можно воспользоваться значениями показателей органического вещества для северной части оз. Воже. В марте 1973 г. (маловодный) они были: цветность – 51°, перманганатная окисляемость – 17.5 мгО/л, а бихроматная – 40.8 мгО/л; зимой 1972 г. (после многоводной осени) значения показателей несколько выше (табл. 86).

В зависимости от водности года и внутригодового распределения стока пределы рассматриваемых показателей могут смещаться в ту или иную сторону.

Для рек Ухты, Тихманьги, Лекшмы характерно относительно низкое содержание растворенного органического вещества (табл. 103). Только на спаде паводка (р. Тихманьга, 4 VII) были отмечены повышенные значения характеристик органического вещества: цветность – 104°, перманганатная окисляемость – 17.8 мгО/л, бихроматная – 54.6 мг О/л.

К концу межени содержание органического вещества в притоках снижается, а в маловодные годы (1972 г.) особенно резко. В одном из притоков (Петеньга) была зафиксирована цветность 0°, в реках Ухте и Тихманьге – 5–15°, что свидетельствует о полном переходе рек на грунтовое питание.

Более высокое содержание органического вещества было отмечено в малых притоках западного берега (р. Шершма, руч. Саро) с сугубо болотным питанием.

Реки Ковжа и Кинема отличаются более высоким содержанием органического вещества, чем притоки западного берега. Даже к концу летней межени 1972 г. при общем снижении всех показателей их величины оставались достаточно высокими (табл. 104). Органическое вещество в основном окрашенное, почвенно-болотного происхождения; в р. Ковже была отмечена максимальная величина цветности для всех притоков – 146° (14 VII).

Малый приток восточного берега – р. Ольга – близок по характеристикам органического вещества малым притокам западного берега.

Ф о с ф а т ы. Воды всех притоков, впадающих в оз. Лача, бедны минеральными соединениями фосфора. Концентрации фосфатов обычно не превышают 0.002–0.004 мг/л, снижаясь от июня к сентябрю. Только в воде р. Ольги, дренирующей болота восточного берега, было отмечено повышенное содержание фосфатов в июле 1972 г. (0.015 мг/л).

Таблица 102

Величина pH, содержание $O_2$, биогенных и органических веществ в воде р. Свиди

| Дата | $t^0$ | $O_2$ | | pH | $P_{мин}$, мг/л | $N_{NH_4^+}$ | Si мг/л | $Fe_{мин}$, мг/л | | Цветность, град. | Окисляемость, мгО/л | | $БПК_5$, мгО/л |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | мг/л | % | | | | | Fe(II) | Fe(III) | | перманганатная | бихроматная | |
| 14 VII 1972 | 28.7 | 6.8 | 89 | 7.45 | 0.002 | 0.12 | 1.15 | 0.15 | 0.13 | 55 | 13.7 | 32.9 | 3.00 |
| 18 VIII | 19.2 | 10.0 | 111 | 8.25 | 0.002 | 0.17 | 0.54 | 0.12 | 0.13 | 56 | 13.9 | 37.9 | 2.81 |
| 6 IX | 10.8 | - | - | 8.20 | 0.001 | 0.08 | 1.10 | 0.10 | 0.13 | 37 | 13.2 | 35.3 | 2.51 |
| 4 VII 1973 | 26.0 | 9.7 | 122 | 8.20 | 0 | 0.08 | 1.02 | 0.08 | 0.04 | 47 | 12.0 | 33.6 | 1.22 |
| 13 VIII | 20.6 | 10.1 | 115 | 8.10 | 0.001 | 0.08 | 1.68 | 0.08 | 0.02 | 44 | 13.8 | 32.8 | 2.01 |
| 1 IX | 11.0 | 11.8 | 109 | 8.00 | 0 | 0.06 | 1.21 | 0.09 | 0.03 | 43 | 12.6 | 35.5 | 1.96 |
| 27 VI 1974 | 21.6 | 8.1 | 94 | 7.60 | 0 | 0.15 | 0.88 | 0.15 | 0.03 | 78 | - | 45.8 | - |
| 24 VII | 25.3 | 8.1 | 101 | 7.60 | 0 | 0.13 | 1.14 | 0.08 | 0.01 | 72 | 17.3 | 46.2 | - |
| 3 VIII | 19.1 | 8.8 | 98 | 7.55 | 0 | 0.06 | 1.30 | 0.08 | 0.02 | 72 | 15.3 | 41.5 | - |
| 15 VIII | 19.3 | 9.5 | 106 | 7.60 | 0 | 0.06 | 0.98 | 0.04 | 0.01 | 74 | 16.7 | 46.5 | - |

Для р. Свиди характерно еще более низкое содержание минеральных соединений фосфора, особенно в вегетационный период, когда происходит их интенсивное потребление планктоном вплоть до исчезновения. Поэтому фосфаты в р. Свиди либо отсутствуют, либо обнаруживаются на пределе чувствительности метода определения. Зимой, судя по наблюдениям в северной части оз. Воже, фосфаты вновь появляются в воде р. Свиди в концентрации около 0.004 мгР /л.

Соединения азота. Из минеральных соединений азота в воде всех притоков постоянно присутствует аммонийный азот в концентрациях 0.08-0.27 мгN/л (табл. 102-104), в воде малых притоков его содержание достигает 0.33 мг/л (р. Шоршма). Содержание аммонийного азота, как и фосфатов, понижается к концу летней межени до 0.04-0.05 мгN/л. В противоположность этому, нитратный азот появляется в воде западных притоков только в меженные периоды - с переходом рек на грунтовое питание и концентрации его достигают 0.03-0.25 мгN/л. В остальное время нитратный азот в воде рек отсутствует.

Нитритный азот появляется в воде притоков эпизодически в ничтожных концентрациях, только в р. Ухте в 1972 г. было отмечено содержание нитритов до 0.03 мгN/л.

Соединения кремния. Содержание растворенного кремния в воде всех притоков лежит в пределах от 0.3 мг/л до 2.1 мг/л (табл. 102-104). Можно указать на резкое уменьшение концентрации кремния в р. Ковже в конце летней межени 1972 г. от 1.67 мг/л (июль) до 0.27 мг/л (сентябрь).

В воде р. Свиди содержание растворенного кремния весьма стабильно, изменяется в узких пределах - от 1.10 до 1.68 мг/л.

Соединения железа. Растворенное минеральное железо постоянно обнаруживается в воде притоков как в закисной, так и в окисной форме. Содержание довольно высокое в послепаводочный период (июль) - 0.37-0.80 мг/л, а к концу летней межени понижается до 0.04-0.20 мг/л. Отчетливой связи между содержанием минерального железа и расворенным органическим веществом установить не удается.

В воде р. Свиди содержание растворенного минерального железа подвержено не столько сезонным колебаниям, сколько изменениям от года к году, в зависимости от водности года в целом (табл. 102).

Кислородный режим. Содержание растворенного кислорода в безледный период в воде притоков западного побережья озера обычно близко к насыщению или даже несколько выше - 102-106%, при абсолютном содержании 9-11 мг/л. Эти притоки мелководны, бедны органическим веществом (за исключением паводочного периода), на них имеется ряд перекатов и быстрин, не замерзающих в зимнее время, поэтому можно ожидать, что и в подледный период содержание растворенного кислорода в них близко к насыщению.

В реках восточного побережья, а также в сильно гумифицированных малых притоках и ручьях, содержание кислорода не дости-

Величина pH, содержание $O_2$, биогенных и органических

| Приток | Дата | $t^0$ | $O_2$ мг/л | $O_2$ % | pH | $P_{мин}$, мг/л |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ухта | 26 VII 1972 | 21.5 | – | | 8.30 | 0.002 |
| | 5 IX | 11.1 | – | | 8.35 | 0.003 |
| | 14 VIII 1973 | 20.0 | 9.9 | 102 | 8.20 | 0 |
| Тихманьга | 7 VII 1972 | 23.2 | – | | 8.00 | 0.004 |
| | 19 VII | 20.3 | – | | 8.35 | 0.002 |
| | 6 VIII | 20.8 | – | | – | 0.001 |
| | 30 VIII | 11.4 | 11.2 | 106 | 8.35 | 0.001 |
| | 13 X | 4.6 | – | | 8.20 | 0 |
| | 14 VIII 1973 | 20.0 | – | | 8.45 | 0 |
| Лекшма | 26 VII 1972 | 21.5 | – | | 8.55 | 0.001 |
| | 5 IX | 11.5 | – | | 8.40 | 0.001 |
| | 17 VIII 1973 | 20.5 | – | | 8.55 | – |
| Петеньга | 6 IX 1972 | 8.4 | – | | 8.25 | 0 |
| Шоршма | 26 VII | 18.4 | – | | 7.95 | 0.001 |
| Саро | 18 VII | 25.2 | 7.3 | 90 | 7.60 | 0.002 |

гает насыщения даже в период открытой воды, обычно составляет 90–94%, только к концу летней межени, когда снижается содержание растворенного органического вещества, относительное содержание кислорода в этих притоках приближается к насыщению – 99%.

Есть все основания ожидать, что в зимний период содержание кислорода в этих реках гораздо ниже насыщения.

Содержание кислорода в р. Свиди во многом зависит от интенсивности продукционных процессов в оз. Воже; величины относитель-

веществ в воде западных притоков оз. Лача

| N, мг/л | | | Si мг/л | $Fe_{мин}$, мг/л | | Цветность, град. | Окисляемость, мгО/л | | $БПК_5$, мгО/л |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $NH_4^+$ | $NO_2^-$ | $NO_3^-$ | | Fe(II) | Fe(III) | | перманганатная | бихроматная | |
| 0.17 | 0.0025 | <0.005 | 0.90 | 0.09 | 0.11 | 50 | 11.1 | 35.4 | – |
| 0.07 | 0.032 | 0.25 | 1.08 | 0.01 | 0.12 | 6 | 4.3 | 15.4 | 2.0 |
| 0.04 | – | 0 | 1.02 | 0.08 | 0.01 | 29 | 7.6 | – | 1.1 |
| 0.17 | 0 | 0 | 2.11 | 0.42 | 0.18 | 104 | 17.8 | 54.6 | – |
| 0.14 | 0.0004 | 0 | 1.04 | 0.22 | 0.15 | 124 | 17.8 | 49.0 | – |
| – | – | – | 0.52 | 0.07 | 0.13 | 40 | 8.7 | – | – |
| 0.12 | 0.002 | 0.15 | 1.12 | 0.01 | 0.14 | 26 | 5.6 | 19.8 | 1.03 |
| 0.10 | Следы | 0.03 | 1.88 | 0.04 | 0.11 | 15 | 4.1 | 15.6 | – |
| 0.04 | Следы | 0 | 0.70 | 0.03 | 0.01 | 29 | 7.66 | 25.1 | 1.83 |
| 0.28 | 0.0005 | 0.012 | 0.80 | 0.15 | 0.12 | 31 | 6.4 | 23.3 | – |
| 0.07 | Следы | 0.045 | 0.81 | 0.03 | 0.15 | 5 | 4.1 | 18.4 | 1.90 |
| – | – | 0.005 | 1.46 | 0.03 | 0.01 | 26 | – | – | – |
| 0.05 | 0 | 0.013 | 1.53 | 0.01 | 0.11 | 0 | 1.5 | 10.8 | – |
| 0.33 | 0.0001 | 0 | 0.80 | 0.17 | 0.13 | 72 | 17.8 | 45.6 | – |
| 0.18 | 0.0004 | 0 | 0.78 | 0.28 | 0.10 | 95 | 21.2 | 62.6 | 3.12 |

ного содержания кислорода в течение летнего сезона меняются от 90% до 122% (табл. 102). В зимнее время содержание кислорода в р. Свидь, по-видимому, несколько ниже.

Значения pH в притоках западного берега довольно высоки и устойчивы: 8.1–8.6 в течение всего периода наблюдений. Это связано с высоким содержанием в воде этих рек гидрокарбонатов и относительно небольшим количеством растворенного органического вещества.

Таблица 104

Величина pH, содержание $O_2$, биогенных и органических веществ в воде восточных притоков оз. Лача

| Приток | Дата | $t^0$ | $O_2$ мг/л | $O_2$ % | pH | P мг/л | $N_{NH_4}$ | Si, мг/л |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ковжа | 14 VII 1972 | 29.8 | 6.8 | 91 | 7.60 | 0.001 | 0.23 | 1.67 |
| | 7 IX | 11.9 | 9.8 | 94 | 8.25 | 0.001 | 0.08 | 0.27 |
| Кинема | 14 VII | 28.0 | 7.0 | 90 | 7.25 | 0.002 | - | 1.86 |
| | 7 IX | 12.2 | 9.4 | 91 | 7.90 | 0.002 | 0.16 | 0.64 |
| | 9 VIII 1973 | 22.4 | 8.9 | 99 | 7.55 | 0 | 0.06 | 2.14 |
| Ольга | 14 VII 1972 | 29.0 | - | | 7.55 | 0.015 | 0.18 | 1.07 |

Таблица 104 (продолжение)

| Приток | Дата | $Fe_{мин}$, мг/л Fe (II) | $Fe_{мин}$, мг/л Fe (III) | Цветность, град. | Окисляемость, мгО/л перманганатная | Окисляемость, мгО/л бихроматная | $БПК_5$, мгО/л |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ковжа | 14 VII 1972 | 0.22 | 0.15 | 146 | 28.1 | 66.2 | 2.41 |
| | 7 IX | 0.03 | 0.15 | 30 | 12.8 | 32.8 | 1.90 |
| Кинема | 14 VII | 0.30 | 0.18 | 124 | 25.0 | 66.2 | 2.92 |
| | 7 IX | 0.08 | 0.12 | 70 | 19.8 | 67.8 | 1.57 |
| | 9 VIII 1973 | 0.12 | 0.03 | 110 | 23.3 | 62.1 | 1.76 |
| Ольга | 14 VII 1972 | 0.55 | 0.25 | 90 | 18.0 | 48.4 | - |

В реках восточного берега и малых гумифицированных притоках значения pH более низки - 7.3-8.0, а иногда и ниже (р.Ковжа, придонный горизонт - 6.9).

Величина pH в воде р. Свиди в летний период находится, как и содержание растворенного кислорода, в зависимости от уровня продукционных процессов в оз. Воже и изменяется в широких пределах - от 7.4 до 8.3. Зимой величина pH в р. Свиди близка 7.2.

В целом вода всех притоков озера Лача средней минерализации, гидрокарбонатного класса, кальциевой группы, богата органическими веществами и бедна биогенными элементами.

## 5.4. Гидрохимический режим оз. Лача

### Минерализация и ионный состав

Величина минерализации воды оз. Лача меняется в течение года от малой (<200 мг/л) к средней (>200 мг/л). Максимальные величины минерализации (400 мг/л) свойственны зимнему периоду маловодных лет (1972-1973 гг.). По материалам Гидрометслужбы, в зимнюю межень были отмечены величины минерализации до 500 мг/л, а в период половодья многоводных лет $\Sigma_u$ падает до 95-96 мг/л. Хотя амплитуда многолетних колебаний минерализации достигает 300-350 мг/л, в течение одного года она редко превышает 150-180 мг/л. В течение года минерализация воды озера меняется аналогично изменениям минерализации р. Свиди, которая, имея долю в водносолевом балансе от 50% до 75%, почти полностью определяет режим озера (рис. 55).

При высокой проточности озера минерализация в сильной степени зависит от водности года и имеет отчетливо выраженный сезонный ход.

В весенние периоды изменение минерализации происходит особенно быстро, поскольку в мае и июне вода в озере в течение месяца меняется практически полностью. Величина минералиции падает до 90-96 мг/л в многоводные годы и до 120-130 мг/л - в маловодные (табл. 105). Иногда в эти периоды может возникать даже вертикальная неоднородность, связанная со сменой воды в озере (табл. 106), которая быстро разрушается при ветровом перемешивании.

После периода половодья, вместе со спадом уровня воды $\Sigma_u$ начинает возрастать, достигая к концу летней межени 140-180 мг/л (в маловодные годы 200-220 мг/л). Максимальных величин минерализация озера достигает в зимнюю межень - 270-280 мг/л, а в маловодные годы 400-500 мг/л (табл. 105).

В зимнее время в некоторых районах озера возникает резкая вертикальная неоднородность минерализации, связанная с разгрузкой грунтовых вод непосредственно в ложе озера; разница в мине-

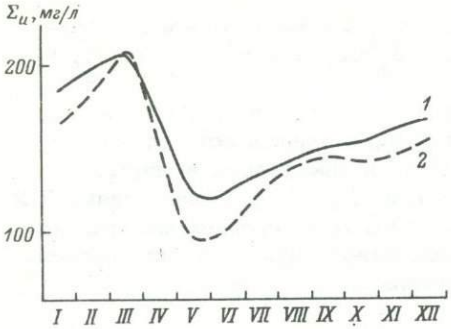



Рис. 55. Среднемесячные величины минерализации воды рек Свиди (1) и Онеги (2) за многолетний период.

ралиэации между поверхностным и придонным горизонтом достигает 100 мг/л (ст. 1 март 1973 г.) (табл. 106).

Оз. Лача сильно зарастает высшей водной растительностью, это приводит к возникновению участков с замедленным водообменом или даже почти изолированных от основной акватории озера (рис. 56). В открытой части озера (свободной от высшей водной растительности) пространственная неоднородность величин минерализации выражена слабо, разница значений $\Sigma_u$ между отдельными станциями не превышает 8-10 мг/л. Минерализация в полуизолированных районах озера может отличаться от минерализации открытой части озера порой значительно: в маловодные годы в межень (1973) на 70-100 мг/л. В многоводные годы (1974) при усилении водообмена этих участков с основной акваторией озера разница в минерализации уменьшается.

Исток реки Онеги отражает все озерные изменения в течение года как по величине минерализации, так и по ионному составу (табл. 105).

Вода оз. Лача по ионному составу принадлежит к гидрокарбонатному классу кальциевой группы, но отличается повышенным содержанием сульфатов.

В течение летнего периода вместе с увеличением минерализации возрастает абсолютное содержание ионов $HCO_3^-$ от 60-70 мг/л до 80-90 мг/л, в то же время содержание сульфатов возрастает гораздо резче - от 20-22 до 40-42 мг/л, а в маловодные годы (1973) до 68 мг/л, что приводит к увеличению относительного содержания сульфатов от 20-30 до 40-45 экв.%.

В зимнюю межень, когда минерализация достигает максимальных величин, относительное содержание сульфатов почти сравнивается с относительным содержанием гидрокарбонатов (табл. 105), особенно в маловодные годы (1973).

Высокое относительное содержание сульфатов в периоды половодья связано с тем, что талые воды, наполняющие в этот период озеро, при малой величине минералицации имеют повышенное относительное содержание иона $SO_4^{2-}$.

Основной катион - ион. $Ca^{2+}$, содержание его (относительное) устойчиво в течение года и составляет 60-66 экв.%, хотя абсолютное содержание изменяется в широких пределах - от 18 до 82 мг/л.

В 1974 г. было выполнено прямое определение ионов $K^+$ и $Na^+$ методом пламенной фотометрии: содержание этих ионов не-

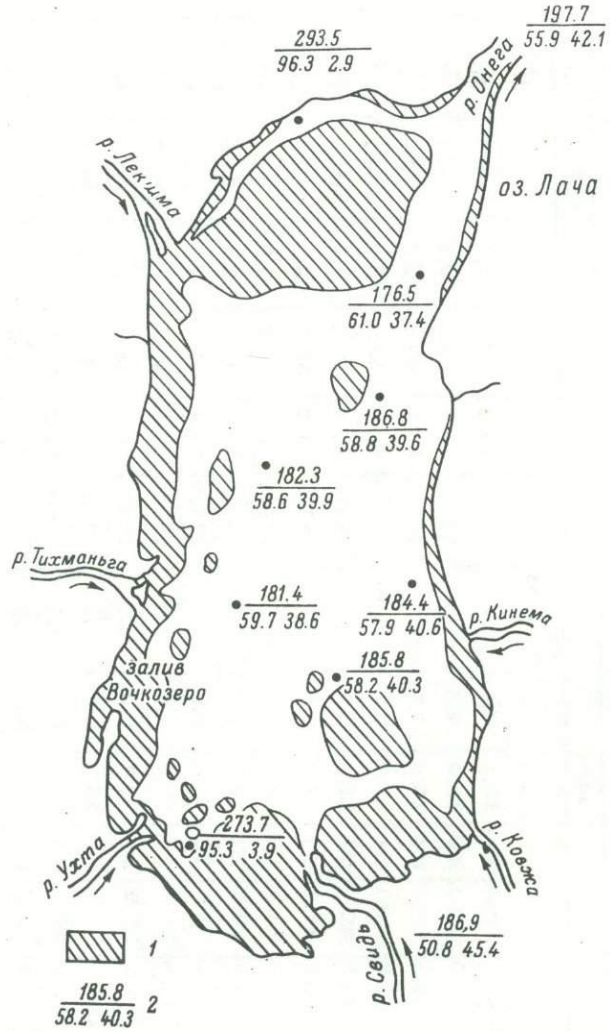


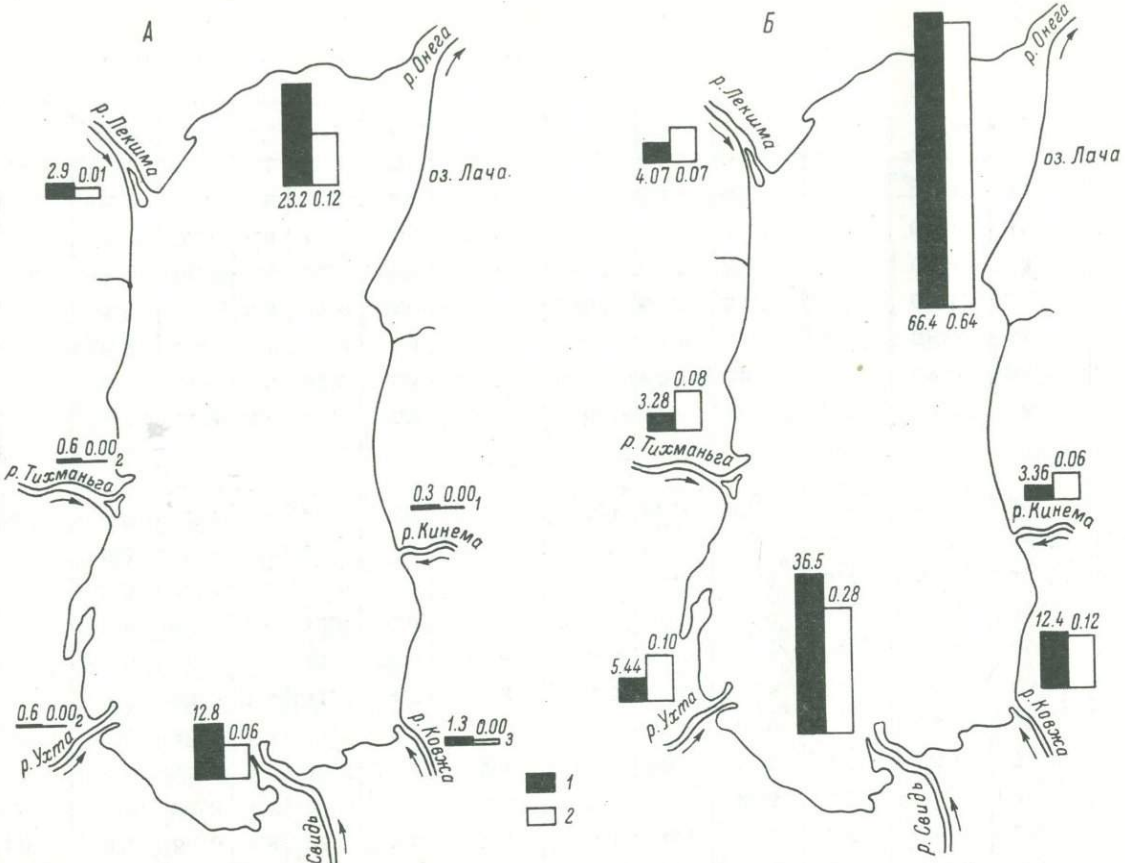

Рис. 56. Зарастаемость оз. Лача (1), пространственное распределение минерализации (2 – числитель, мг/л) и содержание ионов $HCO_3^-$ и $SO_4^{2-}$ (2 – знаменатель, экв. %) 13–14 августа 1973 г.

Таблица 105

Минерализация и ионный состав воды оз. Лача (открытая часть) и р. Онеги

| Дата | Станция | $HCO_3^-$ | $SO_4^{2-}$ | $Cl^-$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^+$ | $K^+$ | $\Sigma_u$ | $HCO_3^-$ | $SO_4^{2-}$ | $Cl^-$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^+$ | $K^+$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | мг/л | | | | | | | | экв. % | | | | | | |
| | | | | | | | Оз. Лача | | | | | | | | | |
| 19 III 1972 | 2 | 1227 | 78.4 | 3.1 | 55.1 | 14.8 | - | | 274.1 | 54.1 | 43.6 | 2.3 | 69.3 | 30.7 | - | |
| | 6 | 126.3 | 82.1 | 3.0 | 53.9 | 16.8 | - | | 282.1 | 53.7 | 44.1 | 2.2 | 66.1 | 33.9 | - | |
| 6 IУ | 3 | 123.2 | 84.7 | 2.4 | 45.8 | 17.9 | 2.5 → | | 277.4 | 52.4 | 45.6 | 2.0 | 59.4 | 38.0 | 2.6 | |
| 30 У | 3 | 58.6 | 40.1 | 4.1 | 24.7 | 6.3 | 4.2 → | | 138.0 | 50.0 | 43.8 | 6.2 | 64.2 | 27.0 | 8.8 | |
| 4-5 УII | 1 | 71.9 | 20.0 | 2.0 | 23.3 | 6.7 | - | | 124.0 | 71.4 | 25.2 | 3.4 | 67.9 | 32.1 | - | |
| | 2 | 68.3 | 31.7 | 1.7 | 23.0 | 7.9 | 0.7 | | 133.3 | 61.2 | 36.2 | 2.6 | 62.7 | 35.8 | 1.5 | |
| | 3 | 66.0 | 22.2 | 1.7 | 18.3 | 7.9 | 0.7 | | 116.8 | 68.1 | 28.9 | 3.0 | 57.4 | 40.9 | 1.7 | |
| | 6 | 69.5 | 22.5 | 1.5 | 19.7 | 7.2 | 1.8 | | 122.2 | 69.1 | 28.4 | 2.5 | 59.6 | 36.0 | 4.4 | |
| 1 УIII | 3 | 67.1 | 31.3 | 3.2 | 25.1 | 6.9 | 0.5 | | 134.1 | 59.8 | 35.4 | 4.8 | 68.0 | 31.0 | 1.0 | |
| 7-8 1X | 1 | 88.5 | 31.7 | 1.4 | 27.6 | 8.8 | 1.3 | | 159.3 | 67.4 | 30.7 | 1.9 | 63.9 | 33.6 | 2.5 | |
| | 3 | 85.5 | 35.5 | 1.7 | 26.4 | 9.2 | 3.0 | | 162.3 | 64.0 | 33.8 | 2.2 | 60.1 | 34.4 | 4.5 | |
| 11-12 X | 1а | 100.2 | 41.5 | 1.5 | 30.5 | 10.9 | 3.2 | | 187.8 | 64.4 | 33.9 | 1.7 | 59.7 | 35.3 | 5.0 | |
| | 3 | 87.2 | 40.4 | 1.4 | 30.8 | 8.8 | 1.2 | | 169.8 | 62.0 | 36.4 | 1.6 | 66.6 | 31.3 | 2.1 | |
| | 6 | 88.5 | 42.3 | 1.3 | 30.5 | 8.9 | 2.8 | | 174.3 | 61.3 | 37.2 | 1.5 | 64.3 | 30.9 | 4.8 | |
| 25 III 1973 | 1 | 171.9 | 121.4 | 4.0 | 80.3 | 20.8 | - | | 398.4 | 51.9 | 46.6 | 1.5 | 70.4 | 29.6 | - | |
| | 3 | 175.6 | 121.6 | 3.3 | 81.9 | 18.5 | - | | 400.9 | 52.3 | 46.0 | 1.7 | 72.9 | 27.1 | - | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 V | 3 | 75.4 | 35.4 | 1.6 | 21.5 | 6.5 | 10.2 | 150.6 | 61.3 | 36.5 | 2.2 | 53.2 | 26.6 | 20.2 |
| 10 VI | 3 | 72.2 | 54.0 | 1.9 | 28.6 | 7.5 | 7.9 | 172.1 | 50.1 | 47.6 | 2.3 | 60.4 | 28.2 | 13.4 |
| 15 VII | 3 | 83.9 | 54.6 | 1.9 | 28.5 | 9.5 | 6.8 | 185.2 | 53.6 | 44.3 | 2.1 | 58.9 | 30.4 | 10.7 |
| 9-14 VIII | 1 | 89.6 | 45.6 | 1.5 | 31.5 | 11.1 | 2.1 | 181.4 | 59.7 | 38.6 | 1.7 | 64.0 | 32.6 | 3.4 |
| | 3 | 89.6 | 49.5 | 1.4 | 31.7 | 11.0 | 1.2 | 184.4 | 57.9 | 40.6 | 1.5 | 62.3 | 35.8 | 1.8 |
| | 6 | 89.6 | 43.2 | 1.4 | 31.4 | 9.7 | 1.2 | 176.5 | 61.0 | 37.4 | 1.7 | 65.0 | 33.1 | 1.9 |
| 5 X | 3 | 95.0 | 68.1 | 1.8 | 33.5 | 11.2 | 10.8 | 220.4 | 51.5 | 46.9 | 1.6 | 55.3 | 30.4 | 14.3 |
| | 6 | 88.9 | 66.0 | 1.6 | 32.3 | 10.9 | 9.3 | 209.0 | 50.7 | 47.6 | 1.7 | 56.0 | 31.0 | 13.0 |
| 10 VII 1974 | 3 | 63.5 | 35.7 | 2.1 | 27.5 | 7.0 | 2.4 0.8 | 139.0 | 56.4 | 40.4 | 3.2 | 66.0 | 27.9 | 5.1 1.0 |
| 1-2 VIII | 1 | 75.3 | 32.4 | 1.2 | 27.2 | 7.5 | 1.9 0.7 | 146.2 | 63.6 | 34.7 | 1.7 | 65.3 | 29.9 | 4.0 0.8 |
| | 3 | 74.3 | 32.7 | 1.1 | 27.0 | 7.6 | 1.9 0.7 | 145.3 | 63.1 | 35.3 | 1.6 | 64.9 | 30.1 | 4.0 1.0 |
| | | | | | | | P. Онега | | | | | | | |
| 10 VII 1972 | | 74.4 | 21.2 | 2.0 | 22.9 | 7.9 | - | 128.4 | 71.1 | 25.6 | 3.3 | 64.6 | 36.4 | - |
| 24 VII | | 76.2 | 25.9 | 1.6 | 21.0 | 8.8 | 1.7 | 135.2 | 68.1 | 29.4 | 2.5 | 57.0 | 39.3 | 3.7 |
| 17 VIII | | 88.5 | 25.4 | 1.7 | 23.7 | 9.4 | 1.7 | 150.4 | 71.6 | 26.1 | 2.3 | 58.4 | 38.3 | 3.3 |
| 8 IX | | 84.8 | 32.1 | 1.4 | 27.0 | 8.0 | 2.3 | 155.6 | 66.3 | 31.8 | 1.9 | 64.1 | 31.5 | 4.5 |
| 11 X | | 89.7 | 44.2 | 1.4 | 30.7 | 8.8 | 4.5 | 179.3 | 60.5 | 37.8 | 1.7 | 62.9 | 29.7 | 7.4 |
| 13 VIII 1973 | | 93.2 | 55.2 | 1.9 | 31.2 | 12.4 | 3.8 | 197.7 | 55.9 | 42.1 | 2.0 | 56.9 | 37.5 | 5.6 |
| 5 X | | 98.8 | 66.9 | 1.8 | 33.5 | 12.2 | 9.8 | 223.0 | 52.9 | 45.4 | 1.7 | 54.6 | 32.6 | 12.8 |
| 2 VIII 1974 | | 77.4 | 32.3 | 1.1 | 28.1 | 7.5 | 2.2 | 148.6 | 64.3 | 34.1 | 1.6 | 66.7 | 29.5 | 3.6 |


А
Б
р. Онега
оз. Лача
р. Лекшма
р. Тихманьга
р. Кинема
р. Ухта
р. Ковжа
р. Свидь
2.9 0.01
23.2 0.12
0.6 0.00 2
0.3 0.00 1
0.6 0.00 2
12.8 0.06
1.3 0.00 3
4.07 0.07
66.4 0.64
3.28 0.08
3.36 0.06
36.5 0.28
12.4 0.12
5.44 0.10
1
2

значительно и не выходит за пределы 1–3 мг/л, составляя 5–6 экв. % от суммы катионов.

В озере наблюдается пространственная неоднородность по ионному составу воды: западные участки открытой части озера характеризуются несколько повышенным содержанием ионов $HCO_3^-$, а в восточных – увеличивается относительное содержание ионов $SO_4^{2-}$ (рис. 56). Эта неоднородность, почти исчезающая в многоводные годы, связана с отличиями в ионном составе воды притоков западного и восточного берегов.

Значительные отличия в ионном составе наблюдались в полуизолированных районах озера. Поскольку влияние основной водной массы озера здесь мало, то ионный состав (в меженные периоды) почти полностью определяется питающими эти районы притоками (рис. 56).

В целом для величин минерализации и ионного состава воды оз. Лача характерна теснейшая близость к аналогичным характеристикам вод р. Свиди; сезонные изменения свидских вод проявляются и в озере с некоторой временной задержкой. Только полуизолированные участки имеют ряд индивидуальных особенностей.

## Водно-солевой баланс

Весь имеющийся материал по минерализации притоков, с привлечением дополнительных данных (Гидрологические ежегодники) был обработан и проанализирован, особенное внимание было уделено главному притоку р. Свиди и стоку из озера (р. Онега – д. Надпорожский Погост, г. Каргополь). Для всех притоков были построены графики связи между расходом воды (Q, $м^3$/сек.) и минерализацией ($\Sigma_u$, мг/л) и между минерализацией и отдельными ионами. Взятый за основу расчета водный баланс составлен Т.И. Малининой (разд. 2.3 наст. изд.).

На основе этих материалов рассчитан водно-солевой баланс оз. Лача для среднего по водности года. При расчете были сделаны следующие допущения.

1. Среднегодовая величина минерализации для изученных крупных притоков бралась с графиков связи между Q ($м^3$/сек.) и $\Sigma_u$ (мг/л) по среднемноголетнему расходу притока.

2. Для неизученных в гидрохимическом отношении притоков брались реки-аналоги (по сходству характера водосбора).

3. Для малых притоков была принята средневзвешенная величина минерализации всех крупных и средних притоков, исключая р. Свидь.

---

Рис. 57. Соотношение водного и ионного притока и стока в оз. Лача в феврале (А) и мае (Б) 1972 г.

1 – ионный сток, тыс. т; 2 – водный сток, $км^3$.

Таблица 106

Вертикальная неоднородность минерализации и ионного состава воды (в мг/л) в открытой части оз. Лача

| Дата | Станция | Горизонт, м | $HCO_3^-$ | $SO_4^{2-}$ | $Cl^-$ | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^+ + K^+$ | $\Sigma_u$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 IУ 1972 | 3 | 0 | 123.3 | 84.7 | 2.4 | 45.8 | 17.9 | 2.5 | 277.4 |
| | | 2.2 | 140.3 | 74.2 | 2.6 | 46.0 | 18.0 | 3.8 | 285.4 |
| 30 У | 3 | 0 | 58.6 | 40.1 | 4.1 | 24.7 | 6.3 | 4.2 | 138.0 |
| | | 3.3 | 43.9 | 24.7 | 3.1 | 16.4 | 4.0 | 4.5 | 96.6 |
| 25 III 1973 | 1 | 0 | 171.9 | 121.4 | 4.0 | 80.3 | 20.8 | - | 398.4 |
| | | 3.5 | 338.3 | 46.1 | 2.4 | 91.8 | 26.8 | - | 505.4 |

Таблица 107

Приходная часть водно-солевого баланса

| | Водный сток | | $\Sigma_{ц}$, мг/л | Ионный сток | |
|---|---|---|---|---|---|
| | км$^3$ | % | | тыс.т | % |
| Реки: | | | | | |
| Свидь | 1.892 | 48.4 | 146 | 276.4 | 59.9 |
| Ковжа | 0.353 | 9.1 | 126 | 44.4 | 9.6 |
| Кинема | 0.148 | 3.8 | 76 | 11.3 | 2.5 |
| Ухта | 0.288 | 7.4 | 86 | 24.8 | 5.4 |
| Тихманьга | 0.251 | 6.4 | 74 | 18.5 | 4.0 |
| Лекшма | 0.353 | 9.0 | 122 | 42.9 | 9.3 |
| Петеньга | 0.161 | 4.1 | 126 | 20.3 | 4.4 |
| Корма, Шоршма | 0.022 | 0.6 | 86 | 1.9 | 0.4 |
| Малые притоки | 0.180 | 4.6 | 105 | 18.9 | 4.1 |
| Атмосферные осадки | 0.263 | 6.7 | 7.6 | 2.0 | 0.4 |
| Сумма | 3.911 | | | 461.4 | |

4. Химический состав атмосферных осадков считали идентичным составу осадков, выпадающих в районе ст. Валдай (Дроздова и др. 1964).

Приходная часть водно-солевого баланса, для которой производились основные расчеты, представлена в табл. 107. В приходной части баланса основную роль играет р. Свидь, которая приносит более 60% всех поступающих в озеро солей. Заметную роль в водно-солевом балансе играют реки Ковжа и Лекшма. У рек с острым и коротким паводком (Ухта, Тихманьга, Кинема) доля солевого стока меньше доли водстока, что указывает на разбавляющее их влияние на минерализацию воды озера в целом за год.

Но в разные периоды года характер и степень влияния притоков на озеро меняется. На рис. 57 приведены два характерных периода - зимняя межень и начало половодья; зимой доля ионного и особенно водного стока притоков ничтожно мала, фактически гидрохимический режим озера определяется водой р. Свидь: весной - за счет резкого увеличения доли водного стока притоков и небольшого увеличения ионного стока вода озера (в основном вода р. Свидь) значительно разбавляется. В самой р. Свидь соотношение водного и солевого притока остается довольно постоянным в течение года.

Расходная часть водно-солевого баланса представлена только стоком р. Онеги и величиной испарения, которая играет роль толь-

Таблица 108

Водно-солевой баланс оз. Лача

| Составляющая баланса | Приход | | Составляющая баланса | Расход | |
|---|---|---|---|---|---|
| | водный сток, км$^3$ | ионный сток, тыс. т | | водный сток, км$^3$ | ионный сток, тыс. т |
| Приток | 3.648 | 450.4 | Сток р. Онега | 3.784 | 485.3 |
| Атмосферные осадки | 0.263 | 2.0 | Испарение | 0.127 | - |
| Сумма | 3.911 | 461.4 | Сумма | 3.911 | 485.3 |

ко в водной части баланса. В результате всех расчетов нами был получен уравновешенный водно-солевой баланс озера с невязкой 5% от прихода (табл. 108).

Органическое вещество

Количественную и качественную оценку растворенного органического вещества в воде озера можно дать по цветности, бихроматной и перманганатной окисляемости, а также по величинам БПК$_5$.

Большая часть органического вещества (судя по высокой цветности) имеет аллохтонное происхождение, поэтому в зависимости от водности года (и сезона) его характеристики могут резко меняться. Так, зимой 1972 г. после многоводного 1971 г. их величины были следующими: цветность - 76-83°, бихроматная окисляемость - 46-59 мгО/л. Высокие показатели цветности и окисляемости сохранялись до начала летнего периода (табл. 109). 1972 г. был маловодным и зима 1973 г. отличается по характеристикам органического вещества от зимы 1972 г. - все показатели заметно ниже. Тем не менее к концу летней межени характеристики органического вещества в 1973 г. снизились до тех же значений, что отмечены в 1972 г. Это связано с резким уменьшением в меженные периоды маловодных лет доли органического вещества аллохтонного происхождения, что хорошо видно по снижению величины отношения цветности к перманганатной окисляемости от 4.7-5.0 (весна) до 2.8-3.0 (летняя межень).

Летом 1974 г., когда из-за сильных дождей доля поверхностного стока в питании озера была велика весь вегетационный период, цветность воды даже в августе составляла 72°, перманганатная окисляемость - 16 мгО/л, а бихроматная - 44 мгО/л.

Таблица 109

Цветность, окисляемость и БПК$_5$ в воде оз. Лача и р. Онеги

| Дата | Место наблюдения | Цветность, град. | Окисляемость, мгО/л | | Перманг. ок. / бихром. ок. | Цветность / перманг. ок. | БПК$_5$, мгО/л |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | перманганатная | бихроматная | | | |
| 19 III 1972 | Открытая часть | 79 | - | 53.1 | - | - | 0.87 |
| 4-5 VII | " " | 71 | 14.9 | 54.2 | 0.27 | 4.9 | 2.70 |
| 14 VII | Ст. 1 | 55 | 14.5 | 37.9 | 0.38 | 3.8 | - |
| 23-24 VII | Открытая часть | 62 | 15.1 | 40.9 | 0.32 | 4.7 | 4.30 |
| 29 VIII | Ст. 1 | 51 | 13.9 | 34.1 | 0.33 | 4.5 | 2.10 |
| 31 VIII | Ст. 1 | 48 | - | - | - | - | 2.70 |
| 7-8 IX | Открытая часть | 37 | 13.5 | 33.5 | 0.34 | 3.2 | 1.80 |
| 11-12 X | " " | 34 | 12.2 | 29.7 | 0.41 | 2.8 | 2.40 |
| 23 III 1973 | " " | 46 | 17.5 | 42.0 | 0.42 | 2.7 | 0.87 |
| 9-10 VIII | " " | 44 | 12.7 | 33.1 | 0.38 | 3.5 | 1.70 |
| 13 VIII | Ст. 7 | 12 | 3.1 | 15.8 | 0.20 | 3.9 | 1.94 |
| 14 VIII | Ст. 11 | 44 | 10.9 | 26.6 | 0.41 | 4.0 | 1.85 |
| 5 X | Открытая часть | 32 | 10.1 | 32.0 | 0.32 | 3.1 | - |
| 10 VII 1974 | Ст. 3 | 82 | 17.6 | 43.0 | 0.41 | 4.7 | - |
| 2 VIII | Открытая часть | 72 | 16.3 | 44.2 | 0.37 | 4.4 | - |
| 1 VIII | Ст. 7 | 54 | 12.9 | 34.8 | 0.37 | 4.2 | - |
| 19 VII 1972 | Зал. Вочкозеро | 100 | 18.6 | 54.4 | 0.34 | 5.4 | 2.30 |
| 24 VII 1972 | р. Онега | 62 | 14.4 | 38.3 | 0.38 | 4.3 | - |
| 8 IX | " | 37 | 13.1 | - | - | 2.8 | 0.75 |
| 11 X | " | 36 | 11.8 | 28.9 | 0.40 | 3.0 | 2.63 |
| 13 VIII 1973 | " | 44 | 14.2 | 39.2 | 0.36 | 3.1 | 1.60 |
| 5 X | " | 31 | 10.3 | 30.4 | 0.34 | 3.0 | - |
| 1 VIII 1974 | " | 72 | 16.2 | 45.6 | 0.36 | 4.4 | - |

Продукционные процессы в самом озере оказывают влияние на содержание органического вещества, что заметно по уменьшению отношения перманганатной окисляемости к бихроматной в течение вегетационного периода, но роль их несомненно не столь велика, как поверхностного стока. Основная доля притока принадлежит р. Свиди, поэтому неудивительно и почти полное совпадение характеристик органического вещества в воде р. Свиди и открытой части озера Лача. Районы с замедленным водообменом отличаются, порой значительно, от открытой части озера. Так, залив Вочкозеро, питаемый болотными ручьями, в июле 1972 г. имел следующие показатели органического вещества: цветность – 100°, перманганатная окисляемость – 18.6 мг О/л, а бихроматная – 54.4 мг О/л, при их значениях в озере соответственно 55°, 14.5 и 37.9 мгО/л. Северо-западный изолированный район озера характеризуется более низкими показателями органического вещества, чем в открытой части озера (табл. 109). При увеличении водности года эти различия уменьшаются (1974 г.).

Величины $БПК_5$ меняются от 0.9–1.0 мгО/л в зимний период до 2–3 мгО/л в летне-осенний, что дает некоторое представление о содержании нестойкого в биохимическом отношении органического вещества.

В целом можно сказать, что оз. Лача весьма богато растворенным органическим веществом, в основном это окрашенное органическое вещество аллохтонного происхождения.

## Газовый режим и pH воды

В период открытой воды, продолжающийся обычно с конца мая по конец октября, в озере преобладают процессы (физические и биохимические), обогащающие воду озера кислородом. Ветровое перемешивание выравнивает содержание кислорода в водной толще, обогащая кислородом придонные слои. Поэтому самая характерная особенность озера в период открытой воды – насыщение кислородом всей водной толщи от поверхности до дна (табл. 110). В редкие периоды штилевой погоды отмечается кислородная стратификация. Фотосинтетическая деятельность фитопланктона и высшей водной растительности создает в поверхностном слое пересыщение кислородом до 110–130%, а в зарослях высшей водной растительности до 200% от насыщения (табл. 111); в то же время в придонном слое деструкционные процессы ведут к потреблению кислорода, и его содержание падает до 79–80%. Но даже при незначительном волнении озеро, имея малые глубины, перемешивается до дна, и содержание кислорода во всей толще воды становится близким к насыщению.

В осенний период, при ослаблении фотосинтетической деятельности растений, пересыщение кислородом исчезает и вся водная толща озера имеет относительное содержание кислорода около 100%.

Таблица 110

Содержание $O_2$, $CO_2$ и величина pH в воде открытой части оз. Лача в летне-осенний период

| Дата | Станция | Глубина, м | Горизонт, м | $t^0$ | pH | $O_2$ | | $CO_2$ мг/л |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | мг/л | % | |
| 4 VII 1972 | 1 | 3.7 | 0 | 24.9 | 7.80 | 7.8 | 95 | 2.3 |
| | 1 | | 3.5 | 24.0 | 7.60 | 7.1 | 86 | 2.4 |
| 4 VII | 2 | 2.7 | 0 | 25.1 | 8.05 | 8.9 | 110 | 1.5 |
| 4 VII | 3 | 3.0 | 0 | 24.2 | 7.75 | 7.7 | 93 | 1.7 |
| 4 VII | 4 | 2.6 | 0 | 24.0 | 7.85 | 7.8 | 94 | 1.8 |
| 4 VII | 5 | 2.0 | 0 | 24.1 | 8.05 | 7.9 | 96 | 1.4 |
| 5 VII | 6 | 1.3 | 0 | 24.5 | 7.80 | 7.9 | 97 | 1.7 |
| 5 VIII | 1 | 3.5 | 0 | 23.0 | 8.10 | 8.4 | 100 | 1.6 |
| 7 IX | 1 | 3.6 | 0 | 9.9 | 8.10 | 10.5 | 96 | 1.6 |
| 7 IX | 3 | 2.7 | 0 | 9.8 | 8.10 | 10.8 | 98 | 1.8 |
| 8 IX | 5 | 1.4 | 0 | 11.9 | 8.20 | 11.2 | 107 | 1.6 |
| 12 X | 1 | 2.1 | 0 | 4.0 | 7.80 | 12.7 | 100 | 2.3 |
| 11 X | 3 | 2.5 | 0 | 3.0 | 7.80 | 12.7 | 97 | 2.1 |
| 9 VIII 1973 | 1 | 2.7 | 0 | 21.4 | 8.20 | 10.1 | 117 | – |
| | 1 | | 2.6 | 19.7 | 7.95 | 7.0 | 79 | – |
| 9 VIII | 3 | 2.8 | 0 | 20.5 | 8.35 | 10.3 | 118 | – |
| | 3 | | 2.8 | 19.4 | 8.00 | 8.4 | 93 | – |
| 10 VIII | 5 | 1.5 | 0 | 19.2 | 8.15 | 10.0 | 111 | – |
| 5 X | 3 | 2.5 | 0 | 4.3 | 7.85 | 12.6 | 100 | – |
| | 6 | 2.0 | 0 | 4.4 | 7.80 | 12.8 | 102 | – |
| 2 VIII 1974 | 1 | 3.30 | 0 | 18.8 | 7.80 | 8.9 | 98 | – |
| | 1 | | 3.2 | 17.0 | 7.80 | 8.2 | 88 | – |
| 2 VIII | 3 | 3.50 | 0 | 18.8 | 7.95 | 10.1 | 112 | – |
| | 3 | | 3.4 | 17.8 | 7.95 | 8.3 | 90 | – |

Таблица 111

Содержание $O_2$, $CO_2$ и величина pH в поверхностном слое воды оз. Лача в летний период (в зарослях высшей водной растительности)

| Дата | Характер растительности | Глубина, м | $t^0$ | pH | $O_2$ | | $CO_2$, мг/л |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | мг/л | % | |
| 8 VII 1972 | Рдест | 1.05 | 27.9 | 8.40 | 8.9 | 114 | 0 |
| 8 VII | Камыш | 0.9 | 27.5 | 8.30 | 7.9 | 107 | 1.06 |
| 13 VIII 1973 | Хара, уруть, элодея | 1.10 | 20.4 | 8.40 | 18.4 | 210 | - |
| 13 VIII | Камыш, тростник | 0.5 | 21.3 | 8.60 | 18.4 | 213 | - |
| 13 VIII | Камыш | 0.3 | 21.5 | 8.70 | 21.6 | 251 | - |
| 13 VIII | Рдест | 0.5 | 22.2 | 9.30 | 17.6 | 207 | - |
| 14 VIII | Рдест | 1.5 | 20.8 | 9.30 | 13.8 | 156 | - |
| 14 VIII | Уруть, элодея | 0.5 | 21.5 | 8.35 | 14.1 | 164 | - |

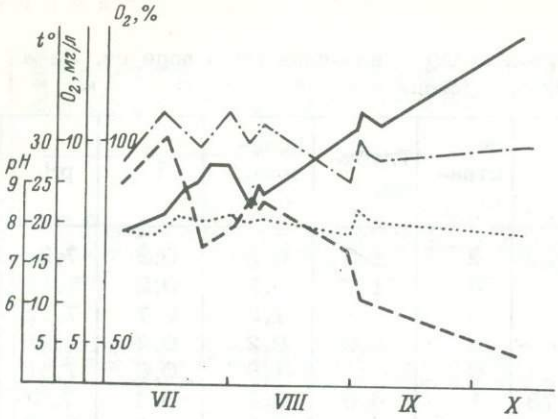



Рис. 58. Температура воды оз. Лача, содержание кислорода и величина pH в летний период на поверхности (ст. 1).

Условные обозначения те же, что и на рис. 48.

Абсолютное содержание растворенного кислорода, в зависимости от температуры, меняется в вегетационный период от 7 мг/л до 13 мг/л (рис. 58).

В зимний период преобладают процессы потребления кислорода, в первую очередь разложение и минерализация органических веществ. Поэтому содержание кислорода в зимний период, особенно к концу его, зависит от первоначального запаса растворенного кислорода в воде озера (на начало подледного периода). В маловодные годы объем воды в озере, а следовательно, и общий запас растворенного кислорода в озере к началу зимы невелик, и поэтому к концу зимы кислород почти полностью расходуется, что приводит к снижению относительного содержания кислорода до 15–30%, а в некоторых районах, где отмечается поступление грунтовых вод непосредственно в ложе озера, содержание кислорода падает почти до нуля (1 ст. март 1973 г.), создавая предпосылки для возникновения заморов. По опросным данным, в такие годы в отдельных ямах и впадинах отмечались явления замора.

В средние по водности и многоводные годы кислородного запаса озера вполне достаточно для потребления в течение всего подледного периода, и содержание кислорода, даже в придонных слоях, не падает ниже 40% от насыщения (табл. 112).

Содержание растворенной двуокиси углерода в летне-осенний период находилось в пределах 1.2–2.6 мг/л, а при усилении фотосинтетической деятельности водорослей падало до нуля; на заросших мелководьях она постоянно отсутствовала, поглощаясь полностью в процессе фотосинтеза макрофитов.

Таблица 112

Содержание $O_2$ и величина pH в воде оз. Лача в зимний период

| Дата | № станции | Глубина, м | Горизонт, м | $t^0$ | pH | $O_2$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | мг/л | % |
| 19 III 1972 | 2 | 1.5 | 0.2 | 0.3 | 7.20 | 5.4 | 38 |
| 19 III | 4 | 1.7 | 0.2 | 0.2 | 7.15 | 5.7 | 41 |
| | 4 | | 1.5 | 0.7 | 7.15 | 5.5 | 40 |
| 19 III | 6 | 2.0 | 0.2 | 0.2 | 7.25 | 7.3 | 52 |
| | 6 | | 1.8 | 0.6 | 7.30 | 7.4 | 53 |
| 23 III 1973 | 1 | 4.0 | 0.2 | 0.1 | 7.30 | 5.4 | 38 |
| | 1 | | 3.6 | 1.6 | 7.35 | 0.3 | 2 |
| 23 III | 3 | 3.0 | 0.2 | 0.1 | 7.20 | 3.8 | 27 |
| | 3 | | 2.7 | 0.8 | 7.20 | 2.0 | 15 |
| 23 III | 4 | 3.0 | 0.2 | 0.1 | 7.25 | 4.4 | 31 |
| | 4 | | 2.6 | 1.2 | 7.20 | 4.2 | 30 |

Величины pH, на которые влияет интенсивность продукционных процессов в озере, в вегетационный период колеблются в пределах 7.6–8.4, а в зарослях макрофитов составляют 9.3. В осенний период, при снижении температуры воды и интенсивности продукционных процессов, а также сильном ветровом перемешивании по всей акватории озера устанавливается величина pH около 7.6–7.7. В зимний период величина pH понижается до 7.0–7.2.

## Расчет карбонатного равновесия

Нами был произведен расчет карбонатного равновесия и пересыщения карбонатом кальция воды оз. Лача и его основных притоков в разные сезоны в период 1972–1974 годов.

Из табл. 113 видно, что вода оз. Лача обычно недонасыщена карбонатом кальция, особенно сильное недонасыщение отмечено зимой, несмотря на высокую минерализацию воды в этот период. Только в летнее время при интенсивном фотосинтезе водной растительности и снижения содержания растворенной двуокиси углерода в отдельных районах озера возникает некоторое пересыщение воды карбонатом кальция (август 1973 г.), на ст. 7 отмечено пятикратное пересыщение.

В притоках озера, особенно западных, отличающихся высоким содержанием гидрокарбонатов, в меженные периоды при pH выше 8 отмечено пересыщение воды карбонатом кальция до 14-кратного.

Таблица 113

Расчет карбонатного равновесия в воде оз. Лача и его притоков

| Дата | № станции, река | $HCO_3^-$ | $Ca^{2+}$ | $\mu$ | $t^o$ | pH | $L_{CaCO_3} \cdot 10^{-9}$ | $CO_3^{-2} \cdot 10^{-6}$ | Насыщение |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | мг-экв. | | | | | г-моль | | |
| 19 III 1972 | 5 | 2.071 | 2.690 | 0.007 | 0.6 | 7.41 | 5.24 | 1.97 | 0.26 |
| 4 VII | 1 | 1.178 | 1.162 | 0.003 | 24.9 | 7.78 | 3.84 | 4.02 | 0.37 |
| 4 VII | 3 | 1.082 | 0.912 | 0.003 | 24.2 | 7.77 | 3.90 | 3.53 | 0.25 |
| 7 IX | 1 | 1.450 | 1.376 | 0.004 | 9.9 | 8.24 | 4.84 | 10.01 | 0.80 |
| 7 IX | 3 | 1.401 | 1.315 | 0.004 | 9.8 | 8.24 | 4.84 | 9.67 | 0.74 |
| 12 X | 1 | 1.643 | 1.522 | 0.004 | 4.0 | 7.88 | 5.24 | 4.17 | 0.34 |
| 11 X | 3 | 1.431 | 1.538 | 0.004 | 3.0 | 7.87 | 5.30 | 3.42 | 0.28 |
| 10 VII | Онега | 1.220 | 1.142 | 0.003 | 24.0 | 8.10 | 3.90 | 8.52 | 0.76 |
| 8 IX | | 1.391 | 1.345 | 0.003 | 9.9 | 8.44 | 4.84 | 14.77 | 1.25 |
| 11 X | | 1.471 | 1.530 | 0.004 | 4.5 | 7.89 | 5.25 | 3.82 | 0.31 |
| 25 III 1973 | 3 | 2.878 | 4.088 | 0.010 | 0.1 | 7.27 | 5.30 | 1.90 | 0.32 |
| 9 VIII | 1 | 1.468 | 1.574 | 0.004 | 21.4 | 8.26 | 4.10 | 14.26 | 1.54 |
| 9 VIII | 3 | 1.468 | 1.581 | 0.004 | 20.5 | 8.44 | 4.15 | 21.06 | 2.25 |
| 13 VIII | 7 | 3.432 | 1.658 | 0.005 | 20.4 | 8.43 | 4.15 | 48.04 | 5.40 |
| 13 VIII | Онега | 1.528 | 1.555 | 0.005 | 20.4 | 8.39 | 4.15 | 19.55 | 2.06 |
| 5 X | 3 | 1.558 | 1.673 | 0.005 | 4.3 | 7.98 | 5.24 | 4.97 | 0.45 |
| 5 X | Онега | 1.620 | 1.673 | 0.005 | 5.0 | 7.85 | 5.18 | 4.00 | 0.36 |
| 1 VIII 1974 | 1 | 1.234 | 1.355 | 0.003 | 18.8 | 7.85 | 4.24 | 4.32 | 0.42 |
| 1 VIII | 3 | 1.218 | 1.346 | 0.003 | 18.8 | 8.00 | 4.24 | 6.02 | 0.58 |
| 1 VIII | 7 | 2.348 | 1.909 | 0.005 | 17.2 | 7.85 | 4.37 | 8.05 | 0.99 |
| 2 VIII | Онега | 1.268 | 1.404 | 0.003 | 18.0 | 7.84 | 4.31 | 4.24 | 0.42 |
| 7 IX 1972 | Ковжа | 4.006 | 4.935 | 0.012 | 11.9 | 8.47 | 4.71 | 56.75 | 11.80 |
| 6 IX | Свидь | 1.398 | 1.782 | 0.004 | 10.8 | 8.46 | 4.78 | 16.48 | 1.73 |
| 5 IX | Лекшма | 2.870 | 1.907 | 0.005 | 11.5 | 8.65 | 4.74 | 54.01 | 6.11 |
| 30 VIII | Тихманьга | 5.180 | 3.322 | 0.008 | 11.4 | 8.57 | 4.74 | 86.34 | 14.40 |
| 5 IX | Ухта | 4.821 | 2.708 | 0.008 | 11.1 | 8.57 | 4.78 | 78.00 | 10.50 |

Вода р. Свиди в меженные периоды несколько (1.7) пересыщена карбонатом кальция.

Биогенные элементы

Содержание биогенных элементов в воде озера подвержено значительным колебаниям. В вегетационный период интенсивное потребление биогенных элементов фитопланктоном приводит к снижению их концентраций в воде озера, особенно к концу периода. В зимнее время происходит некоторое накопление биогенных элементов в основном за счет их регенерации при минерализации органических веществ, поэтому к концу зимы озеро содержит максимальные концентрации биогенных элементов. Но следует отметить незначительность накопления фосфатов даже в зимний период (табл. 114).

В течение года содержание фосфатов меняется от 0.005-0.008 мг/л в зимний период до аналитического нуля в вегетационный период. По данным определения общего фосфора летом 1974 г., его величины меняются от 0.028 мгР/л в р. Свиди до 0.052 мгР/л в озерной воде и 0.043 мгР/л в р. Онеге. В вегетационный период соединения фосфора содержатся в озерной воде преимущественно в органической форме.

Соотношение разных форм минеральных соединений азота меняется в зависимости от сезона. Аммонийный азот присутствует в воде озера во все сезоны, а его содержание меняется от 0.42-0.72 в зимнюю межень (1973 г.) до 0.08-0.04 мгN /л к концу вегетационного периода (табл. 114). Нитратный азот присутствует в воде озера в зимнее время, а в маловодные годы (1973 г.) появляется в самом конце летней межени. Снижение концентрации нитратов до аналитического нуля указывает на отставание скорости нитрификации от скорости ассимиляции нитратов в вегетационный период.

Нитриты в озерной воде обнаруживаются эпизодически и в очень малых концентрациях.

Растворенный кремний присутствует в воде озера во все сезоны. В период зимнего накопления его концентрация достигает 2-3 мг/л.

В течение вегетационного периода содержание кремния около 1 мг/л. В отдельных полуизолированных районах озера (северо-западный район, залив Вочкозеро) содержание кремния выше, чем в открытой части озера. К концу летней межени содержание кремния падает до 0.6-0.5 мг/л (октябрь 1972 г.). Последнее снижение сопровождалось осенней вспышкой диатомовых водорослей, численность которых в этот период достигла 1.33 млн кл./л и была максимальной за весь период наблюдений (Петрова, 1978).

Растворенное минеральное железо в воде озера присутствует в как в закисной, так и в окисной форме. Зимой 1972 г. суммар-

Таблица 114

Содержание биогенных элементов (в мг/л) в воде оз. Лача

| Дата | Место наблюдения | $P_{мин}$ | $N_{мин}$ | | | Si | Fe | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $NH_4^+$ | $NO_2^-$ | $NO_3^-$ | | Fe (II) | Fe (III) |
| 19 III 1972 | Открытая часть | 0.003 | – | – | 0.14 | – | 0.22 | 0.12 |
| 4–5 VII | " " | 0.005 | 0.15 | 0 | 0 | 0.97 | 0.20 | 0.11 |
| 14 VII | Ст. 1 | 0.002 | 0.12 | 0 | 0 | 1.10 | 0.18 | 0.10 |
| 24 VII | Открытая часть | 0 | 0.24 | 0.0002 | 0 | 0.92 | 0.18 | 0.12 |
| 29 VIII | Ст. 1 | 0.0005 | 0.20 | 0 | 0 | 1.02 | 0.08 | 0.10 |
| 31 VIII | Ст. 1 | 0.0005 | 0.12 | 0.002 | 0 | 0.94 | 0.13 | 0.12 |
| 7–8 IX | Открытая часть | 0 | 0.08 | 0 | 0 | 0.64 | 0.08 | 0.09 |
| 12 X | " " | 0 | 0.11 | 0 | 0 | 0.51 | 0.13 | 0.14 |
| 23 III 1973 | Открытая часть | 0.007 | 0.56 | – | 0.13 | 2.68 | 0.20 | 0.07 |
| 9 VIII | " " | 0 | 0.08 | – | 0 | 1.15 | 0.09 | 0.02 |
| 13 VIII | 7 | 0.002 | 0.005 | – | 0.005 | 3.27 | 0.03 | 0.01 |
| 14 VIII | 11 | 0.005 | 0.10 | – | 0 | 0.86 | 0.15 | 0.03 |
| 5 X | Открытая часть | 0 | 0.04 | – | 0.005 | 0.95 | 0.20 | 0.03 |
| 10 VII 1974 | 3 | 0 | 0.17 | – | 0 | 0.72 | 0.12 | 0.03 |
| 2 VIII | Открытая часть | 0 | 0.09 | – | 0 | 1.02 | 0.08 | 0.02 |
| 1 VIII | 7 | 0 | 0.08 | – | 0 | 1.76 | 0.06 | 0.03 |
| 19 VII 1972 | Зал. Вочкозеро | 0.002 | 0.21 | 0.0002 | 0 | 2.43 | 0.09 | 0.09 |
| 24 VII 1972 | Р. Онега | 0.001 | 0.22 | 0.0001 | 0 | 1.44 | 0.15 | 0.12 |
| 8 IX | " | 0 | 0.08 | 0 | 0 | 0.64 | 0.07 | 0.10 |
| 11 X | " | 0 | 0.14 | 0 | 0 | 0.51 | 0.10 | 0.08 |
| 13 VIII 1973 | " | 0.001 | 0.07 | – | 0 | 0.86 | 0.06 | 0.02 |
| 5 X | " | 0 | 0.04 | – | 0.005 | 0.88 | 0.10 | 0.03 |
| 1 VIII 1974 | " | 0 | 0.09 | – | 0 | 1.06 | 0.07 | 0.02 |

ное количество растворенного минерального железа было 0.34 мг/л (закисного от 0.18 до 0.25 мг/л), а в очень маловодную зиму 1973 года его содержание было в 1.5 раза ниже, чем зимой 1972 г. (табл. 114).

Летом суммарное содержание растворенного минерального железа изменяется от 0.10 мг/л до 0.34 мг/л. К концу летней межени содержание его несколько снижается, причем в основном за счет уменьшения содержания восстановленной формы.

В целом можно отметить бедность озерных вод биогенными элементами, особенно минеральными соединениями фосфора.

Озера Воже и Лача, относящиеся к единому речному бассейну, сходны между собой по гидрохимическому режиму.

Общая минерализация воды в озерах обычно находится в пределах 90-300 мг/л, состав воды гидрокарбонатно-кальциевый. Характерной особенностью, не свойственной, как правило, водоемам севера, является большая роль сульфатного иона в анионном составе воды (до 40-45 экв. %), что обусловлено участием в питании рек подземных вод пермских отложений, содержащих гипсоносные породы.

Озера, по классификации И.В. Баранова (1962), относятся к группе мезогумозных озер. Цветность воды изменяется от 45 до 200°, перманганатная окисляемость составляет 30-40% бихроматной. Содержание органического углерода летом в средний по водности год равняется 18-25 мг/л.

Обладая высоким коэффициентом условного водообмена, озера характеризуются широкой амплитудой внутригодовых изменений минерализации и содержания органического вещества, и режим их в большой степени зависит от водности года. Общую минерализацию воды в чрезвычайно маловодном 1973 г. можно считать экстремально высокой для этих озер, а содержание окрашенных органических веществ, напротив, очень низким.

В пространственном распределении в оз. Воже значительные различия проявляются в широтном направлении - увеличение минерализации и сульфатности воды и снижение содержания органических веществ с юга на север. Режим озера Лача определяется в первую очередь режимом оз. Воже, сток из которого через р. Свидь составляет около 50% общего поступления воды в озеро; в целом минерализация и содержание в воде оз. Лача органических веществ близки этим характеристикам в северной части озера Воже, лишь в маловодные годы в северо-западной части озера выделяется район, изолированный от основного озерного плеса зарослями макрофитов, с повышенной минерализацией, высокой долей гидрокарбонатов (до 95 экв.%) и низкой цветностью воды.

Озера Воже и Лача - водоемы мезотрофного типа и кислородный режим озер определяется гидрологическими и биологическими факторами. В период открытой воды относительное содержание кислорода близко к насыщению, в моменты интенсивного цветения возрастает до 120-135%. В штилевую погоду в районах, где дон-

ные отложения представлены илами, отчетливо выражена вертикальная кислородная стратификация. В зимний период расходование кислорода на биохимическое окисление приводит к снижению его содержания до 75-15%, а в некоторых районах - до 2-8%. Величина pH находится в пределах 7.10-8.50.

Фосфор присутствует в озерах преимущественно в органической форме, из минеральных соединений азота постоянно преобладающим является аммонийный.

Озерам свойственно широкое изменение отношения $C_{орг.} : P_{орг.}$, что характерно для сильно гумифицированных водоемов Севера.

Глава 6

# ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ

К моменту начала работ комплексной экспедиции Института озероведения АН СССР на озерах Воже и Лача сведения об их грунтах были крайне ограничены. Некоторые из них, преимущественно описательного характера, приводятся в работах, связанных с исследованием рыболовства на озерах (Кучин, 1902; Новиков, 1964) и проектированием Лача-Кубенского водного пути (Ерлыков и Мансуров, 1927). Первые количественные определения свойств грунтов оз. Лача (потери при прокаливании осадков, содержание окиси железа и кальция) были сделаны комплексной экспедицией ПИНРО в 1940 г. и содержатся в ее отчете. Заимствованные оттуда, они вошли в более позднюю работу, посвященную этому озеру (Ермолин, 1970). Институт озероведения, проведя обширные исследования, значительно расширил представления о грунтах обоих озер.

В процессе работ пробы донных отложений отбирались дночерпателем Экмана, а на мелководных участках - трубчатым дночерпателем системы Ф.Д. Мордухай-Болтовского. Для выяснения стратиграфии и характера седиментации стратометром Перфильева брались грунтовые колонки, а также производилась зондировка отложений поршневым буром с отбором проб для анализов.

Гранулометрический анализ при естественной влажности выполнен в Институте озероведения под руководством инженера А.Д. Свирко. Тонкозернистые осадки определялись пипеточным методом с разделением на фракции вплоть до частиц размером $< 0.001$ мм, пески - ситовым методом, а также комбинированным.

При выделении типа осадков по гранулометрическому составу использована классификация Н.М. Страхова (1954) по величине медианного диаметра частиц. Для разделения песков принята градация, предложенная П.Л. Безруковым и В.П. Петелиным (1960).

При довольно значительной площади оз. Воже максимальные его глубины не превышают 5 м, а участок, оконтуренный 3-метровой изобатой, очень невелик и смещен в южную его половину. Вся северная часть озера отличается ровным и плоским дном. Такая морфологическая особенность и господство ветров северной составляющей сказались и на характере седиментации осадков.

Образцы донных отложений оз. Воже собраны на 139 станциях (рис. 59). По результатам 68 гранулометрических анализов и визуальных характеристик была составлена схема распределения грунтов и подсчитаны площади, занятые различными типами донных отложений (рис. 60): Данные статистической обработки результатов гранулометрических анализов сведены в таблицу (табл. 115). Для выяснения особенностей процессов механической седиментации были составлены схемы распределения песчаной, алевритовой и пелитовой фракции осадков.

В оз. Воже выделяются следующие типы донных отложений: каменистые (валуно-галечно-гравийные), песчаные, илистые и глинистые, причем последние, как правило, перекрыты незначительным слоем песка или ила.

Каменистые отложения в виде отдельных валунов тянутся вдоль западного берега, где согласно А.А. Охлопковой (1975), осуществляется транзит вод в направлении к р. Свиди. Здесь, в узкой прибрежной зоне, встречаются небольшие участки, сплошь усеянные валунами. На восточном берегу отложения этого типа расположены в основном к северу от р. Пустой. Скопления валунов находятся в районе о. Спасского, причем не только у берега, но и на значительном расстоянии, особенно к северу от острова. Почти повсеместно в прибрежной части озера встречаются обломки мергеля и известняка, по своему происхождению несомненно связанные с коренными породами пермского возраста. Гранулометрический состав гравийного материала не определялся.

Песчаные отложения, состоящие преимущественно из песчаного материала, распространены у восточного берега, к северу от р. Вожеги, и тянутся узкой полосой вдоль всего западного берега, несколько расширяясь в районе впадения р. Модлоны. В северной части озера (к северу от створа р. Тодокса-с. Чаронда) грунты представляют собой песчано-глинистые отложения, где глина лишь слегка прикрыта песком, а местами даже обнажается. По гранулометрическому составу осадки разделяются на среднезернистые и мелкозернистые пески, с преобладанием последних, в основном светло-серого цвета.

Среднезернистые пески, представленные 6 образцами из различных участков озера, обычно содержат примесь гравия. По гранулометрическому составу они в основном характеризуются набором фракций от мелкопесчаной до гравия. Лишь

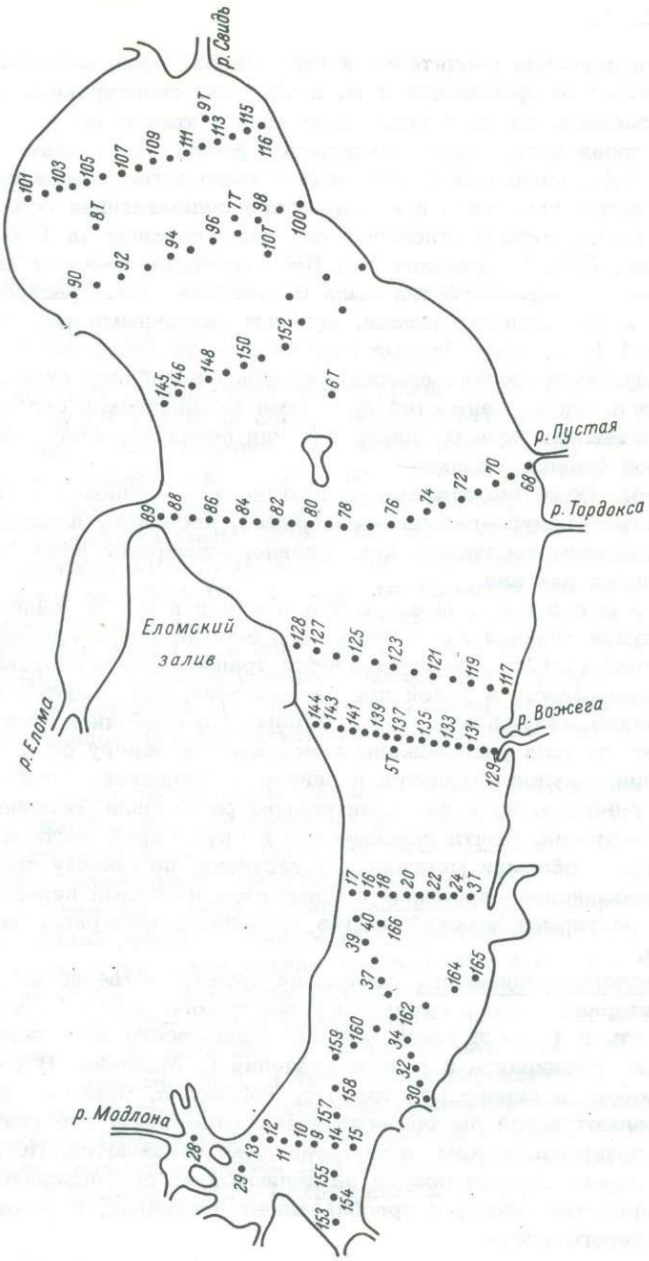



Рис. 59. Расположение станций взятия образцов донный отложений в оз. Воже.

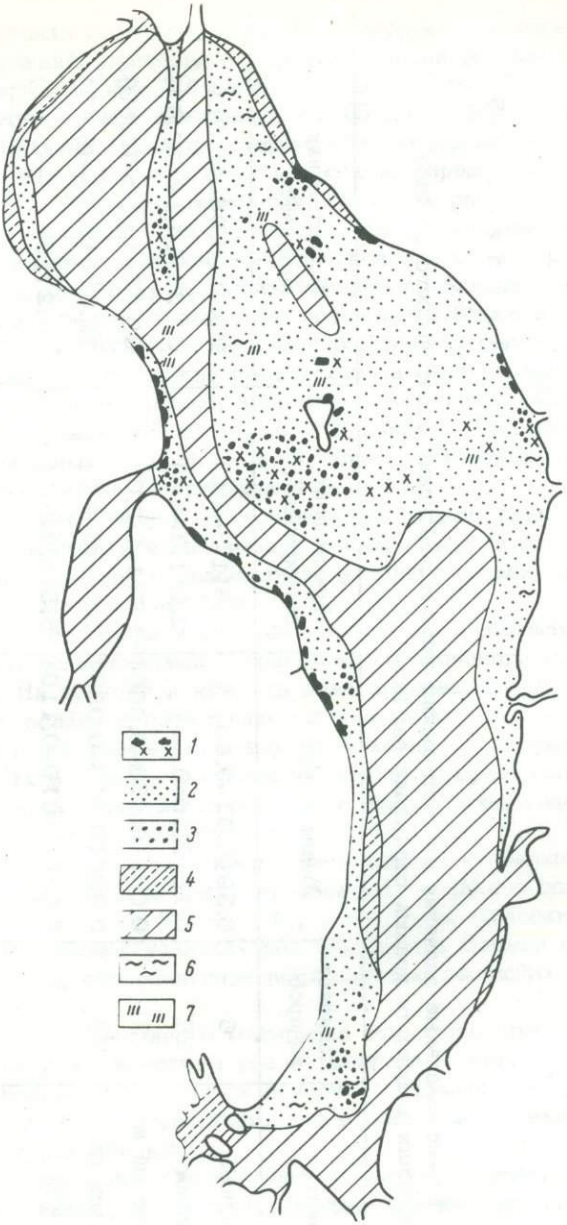



Рис. 60. Распределение донных отложений в оз. Воже.

1 – камни и гравий; 2 – песок мелкий; 3 – песок средний и гравий; 4 – крупноалевритовый ил; 5 – мелкоалевритовый ил; 6 – пески заиленные; 7 – выходы глин.

Таблица 115

Средние и экстремальные значения статистических показателей гранулометрического состава и естественная влажность донных отложений оз. Воже

| Характер грунта | | Количество проб | Медиана (Md) | Коэффициент сортировки (So) | Естественная влажность |
|---|---|---|---|---|---|
| Песок | средний | 6 | 0.39(0.31–0.46) | 1.8(1.3–2.6) | 20.10(5.90–45.51) |
| | мелкий | 16 | 0.18(0.10–0.25) | 2.0(1.3–4.6) | 34.25(16.18–77.57) |
| Крупноалевритовый ил | | 3 | 0.062(0.058–0.066) | 1.7(1.4–2.0) | 68.98(64.78–73.80) |
| Мелкоалевритовй ил | | 38 | 0.023(0.013–0.050) | 2.0(1.5–4.2) | 78.36(49.46–89.15) |
| Глина | | 5 | 0.035(0.010–0.110) | 6.5(4.0–9.7) | 36.27(28.05–46.97) |

на участках контакта с иловой зоной этот диапазон расширяется до пелитовых фракций. Преобладает среднепесчаная фракция (0.5-0.25 мм), содержание которой колеблется от 31 до 57%. На долю мелкозернистых песков приходится от 15 до 35%. Сортированность осадков хорошая (средний коэффициент сортировки - 1.8).

Мелкозернистые пески, представленные 16 образцами, по гранулометрическому составу характеризуются широким набором фракций - от гравия до тонких пелитовых частиц. В большинстве образцов диапазон фракций колеблется от среднезернистых песков до тонких фракций. Обычно преобладает мелкопесчаная фракция, среднее содержание которой 48.8%, а в отдельных случаях - более 90%. Но иногда преобладает и среднепесчаная фракция. Заиленность песков происходит за счет алевритов. Содержание алевритовых фракций в среднем составляет 12.8%, но в отдельных случаях возрастает до 30 и более процентов. Сортированность песчаных осадков во всех образцах хорошая и лишь в одном - многослойном - составила 4.6.

Песчаные грунты вместе с песчано-глинистыми, глинистыми и каменистыми занимают 48% площади озера. В данных о распределении песчаных осадков по площади не учтены площади, занятые грубообломочным материалом (рис. 61).

Южная половина озера в силу ее морфологии и характера осадконакопления занята илами с содержанием песчаного материала менее 10%. На востоке и юге эта зона примыкает к самому берегу. Иловые осадки с содержанием песка менее 1% занимают небольшой участок в районе впадения р. Вожеги, с содержанием песка - менее 10% - район наибольших глубин и узкую полосу в северной части озера. На остальной части иловой зоны содержание песчаного материала колеблется от 10 до 30%.

Песчаная фракция очень широко представлена в донных отложениях озера. В его северной части преобладают осадки с содержанием песчаной фракции от 50 до 70%, а вокруг о. Спасский - более 70%. В приустьевых участках рек Модлоны и Вожеги отмечено погрубение осадков, обусловленное поступлением песчаного материала с речными водами.

В распределении песчаного материала отчетливо прослеживается приуроченность его к устьям рек Модлоны и Вожеги и широкое его распространение в приподнятой северной половине озера с относительно плоским и ровным дном, где в настоящее время темп седиментации отрицательный.

Илистые отложения. Существующая система течений на озере способствует выносу тонких частиц грунта в южную его часть и частично в р. Свидь, поскольку при северных и северо-западных ветрах течение почти во всей водной толще направлено на юг. И только в узкой полосе вдоль западного берега оно устремлено на север. Возникающее в озере при южных и юго-восточных ветрах поверхностное течение, направленное на север к р. Свидь, неизбежно вызывает образование у дна противотечения (Охлопкова,

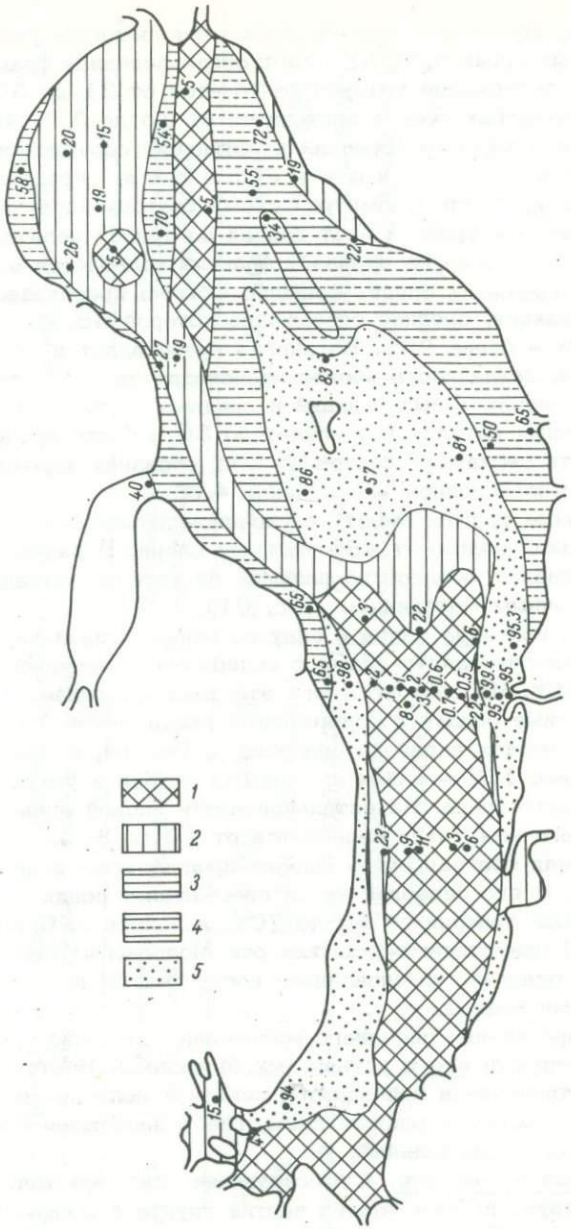



Рис. 61. Распределение песчаной фракции (от 0.1 до 1 мм) в донных отложениях оз. Воже.

1 – меньше 10%; 2 – 10–30%; 3 – 30–50%; 4 – 50–70%; 5 – больше 70%.

1975), которое также способствует переносу придонного тонкого материала к югу. Морфологические особенности озера способствовали накоплению илистых осадков в глубоководной части озера. Там осадки эти появляются уже на метровой глубине, а местами на юге и юго-востоке подходят к самому берегу, что хорошо прослеживается и по содержанию диатомей в осадках.

В северо-западной части водоема, хотя и выделяется значительный по площади район илов, но мощность их не превышает 15 см. Лишь на прибрежных незначительных по площади и защищенных от волнения участках мощность илов несколько увеличивается.

Илистыми отложениями занято около 52% площади дна озера. Основным гранулометрическим компонентом этих отложений являются алевритовые фракции (0.1-0.01 мм) и особенно мелкоалевритовая (0.05-0.01 мм). Илы серовато-бурого цвета, с темным (иногда почти черным) наилком, имеют запах сероводорода.

Крупноалевритовые илы занимают лишь около 3% площади озера. В северной его половине они узкой полосой тянутся вдоль зарослей тростниковой растительности, в южной - находятся у западного берега и образуют переходную зону от песков к илам. В нашем материале эти осадки представлены лишь 3 образцами с диапазоном фракций от глинистых до среднезернистых песков. На долю алевритовых фракций приходится более 70%. Преобладающей является крупноалевритовая (до 46%). Средняя медиана равна 0.062 мм. Осадки эти хорошей сортировки (1.4-2.0). Содержание естественной влажности колеблется от 64.8 до 73.8%.

Мелкоалевритовым илам принадлежит ведущая роль в илах оз. Вожа (49%). Преобладающей в них фракцией является мелкоалевритовая; при среднем значении 58.5% содержание ее колеблется от 36 до 80%. Средняя медиана мелкоалевритовых илов равна 0.023 мм и изменяется в широких пределах - от 0.013 до 0.050 мм. Наиболее тонкие илы (с медианой 0.020 мм) занимают небольшой участок в центральной части южной половине озера. Мелкоалевритовые илы хорошо сортированы (средняя сортировка осадков 2, максимальная - 2.4). Лишь у Еломского залива, где на осадок оказывает влияние вынос из залива песчаного материала, сортировка илов составляет 4.2. При средней естественной влажности 78.4% содержание влаги в мелкоалевритовых илах колеблется от 49.4 до 89.1%.

В южной половине озера главным гранулометрическим компонентом осадков являются алевриты (рис. 62). Зона илов с содержанием алеврита более 70% распространяется почти на всю площадь, занятую илами. Ее окружают осадки с практическим его отсутствием. Это зона выноса сортированного песка реками Еломой, Вожегой, Тордоксой и Пустой. В зоне распространения песков северной половины озера содержание алевритов колеблется в основном от 10 до 20%. В северо-восточной части озера распределение алеврита носит пятнистый характер. Содержание его в осадках колеб-

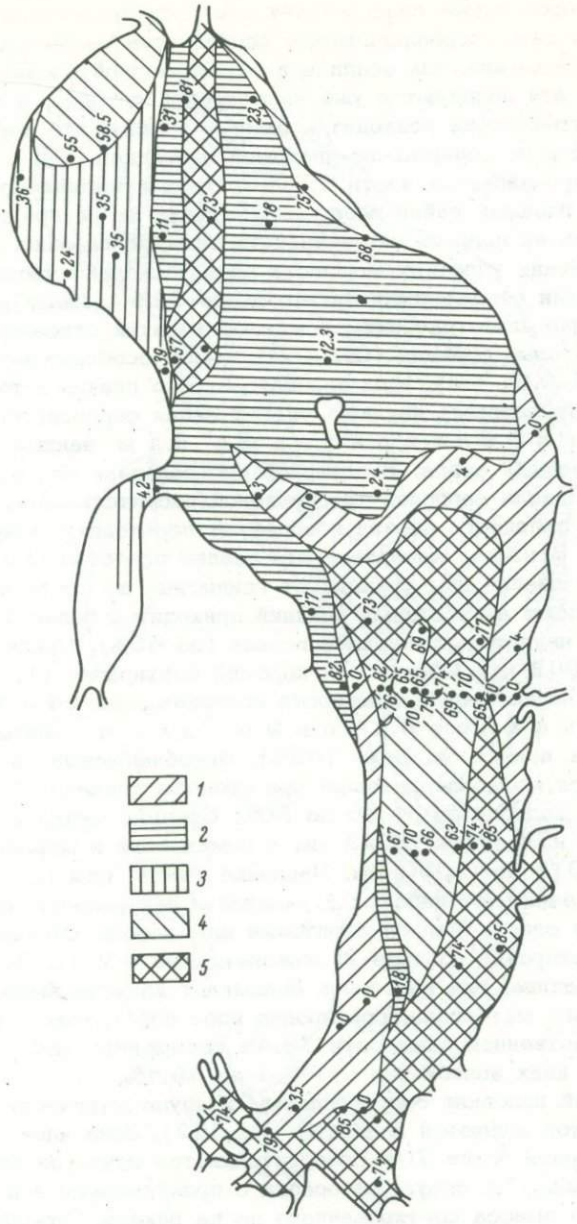



Рис. 62. Распределение алевритовой фракции (от 0.1 до 0.01мм) в донных отложениях оз. Воже.

1 - меньше 10%; 2 - 20-30%; 3 - 30-50%; 4 - 50-70%; 5 - больше 70%.

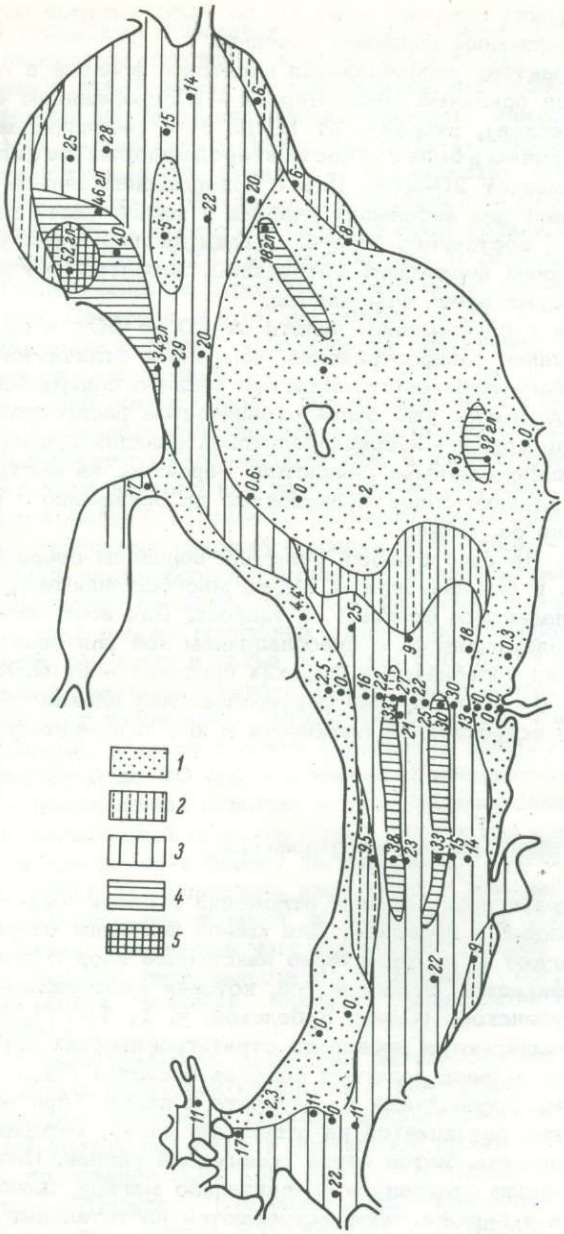



Рис. 63. Распределение пелитовой фракции (0.01 мм) в донных отложениях оз. Воже и характеристика грунтов по пелитовой фракции.

1 – песок (меньше 5%); 2 – илистый песок (5–10%); 3 – песчанистый ил (10–30%); 4 – ил (30–50%); 5 – глинистый ил (больше 50%).

лется в широких пределах – от 10 до 70%, которые обусловлены перераспределяющим влиянием течений.

По характеру распределения пелитовой фракции в осадках выделяются две основные зоны. Первая – с содержанием ее от 0 до 5% (зона песков), вторая – от 10 до 30% (песчанистые илы) (рис. 63). Причем в большей части второй содержание пелита в осадках не превышает 20–25%. Илы с содержанием пелита от 30 до 50% занимают два небольших участка в южной части озера и один в северной у восточного берега. Осадки на последнем участке своим обогащением пелитовым материалом, вероятно, обязаны глинам, выходы которых здесь отмечаются.

Осадки с содержанием пелита от 30 до 50% в оз. Воже имеют ограниченное распространение, чем оно и отличается от близко расположенного Кубенского. Илистые пески с содержанием пелита от 5 до 10% имеют еще более ограниченное распространение. В осадках роль крупно- и среднепелитовой фракций примерно одинакова и несколько меньше глинистой. Вероятно, на состав осадков оказывают влияние более мелководные по сравнению с оз. Кубенским условия оз. Воже.

Глины. На ряде станций северной половины озера были встречены серые и бежевые глины. Из-за многослойности осадка выделить преобладающую фракцию не удалось. Для всех образцов характерна многовершинность с преобладанием той или иной фракции. Медиана глин колеблется в широких пределах – от 0.0098 до 0.110 мм. Во всех случаях сортировка глин плохая (4.0–9.7). Содержание естественной влажности в них изменяется от 25.3 до 47.0%.

## Стратификация донных отложений

По стратиграфии донных отложений в озере выделяются два района – южный и северный. Для южной половины озера, где глубины достигают 5 м, характерно накопление илов с довольно четкой стратификацией, подобной той, которая наблюдалась в иловой зоне оз. Кубенского (Озеро Кубенское, ч. I, 1977). В этом районе озера выделяются несколько стратиграфических горизонтов. В основании разреза залегает бежевая слоистая глина с хорошо выраженными прослойками из алеврита и песка (при высыхании колонка легко разделяется на отдельные слои), которая выше по разрезу резко сменяется серой гомогенной глиной. Плотная у основания, она выше становится сравнительно мягкой, вязкой и пластичной. Иногда в верхнем слое встречаются растительные остатки. Всюду в этом слое грунта из оз. Воже, так же как и в таком из Кубенского, встречается большое количество жестких включений, легко разрушающихся при растирании. Мощность этого слоя достигает 65 см.

Сверху глинистые отложения перекрыты илами. Довольно плотные, с сероватым оттенком, в верхних слоях они становятся более мягкими и буроватыми. На поверхности илов залегает слой темного (местами черного) неконсолидированного наилка. Переход от глин к илам резкий как по цвету, так и по консистенции. Между этими двумя типами отложений в большинстве случаев находятся включения песка и алеврита, а в прибрежных участках - даже куски известковистого мергеля с размерностью гравия. На участке южнее о. Спасский (ст. 122) на глубине 2.1 м слой песка в 12-15 см (залегающий на серой глине) перекрыт 30-сантиметровым слоем ила. Севернее в этом же районе на ст. 77 (глубина 1.4 м) между илом и глиной в слое песка обнаружено большое скопление раковин моллюсков.

В центральной части озера в районе станций 117-128 и 129-144 на отдельных участках непосредственно на глине залегают слой белесоватого карбонатного ила, а иногда кристаллы карбонатов. Слой карбонатного ила не превышает 50 см.

В северном районе с плавным рельефом дна и преимущественно 2-метровыми глубинами находятся осадки двух типов - песчаные и илистые. Они имеют небольшую мощность и подстилаются глинами, либо непосредственно бежевой, либо тонким слоем серой. Полный стратиграфический разрез грунтовых отложений с карбонатным горизонтом встречен лишь в устье р. Свиди (ст. 9) и на небольших прибрежных участках северо-западной части озера.

Подводя итог изложенному можно сказать, что в целом мощность современных осадков в озере невелика и колеблется в северной его части от 0 до 20 см, а в южной возрастает до 2 м. При исследовании общей толщи илистых отложений установлено, что на глубине 4 м иловой слой едва достигает 10 см или вовсе отсутствует, тогда как ближе к берегу на глубине 2 м он составляет 1.65 м (ст. 166). По-видимому, этот участок дна находится под постоянным воздействием течения р. Модлоны, как в летнее, так и в зимнее время, вследствие чего происходит размыв тонких фракций осадков. Все это свидетельствует о хорошей согласованности гидродинамических условий озера с процессом осадочной дифференциации.

Неодинаковая мощность различных литологических горизонтов, наличие песчано-алевритовой прослойки с раковинами и другие косвенные показатели позволяют сделать предположение о значительном снижении уровня оз. Воже в бореальное время (плинологический анализ произведен В.И. Хомутовой). К такому же выводу относительно оз. Нарского (Полецкое), расположенного на западе Московской области, пришла Н.В. Кордэ с соавторами (1975). Атором настоящего раздела ранее (Курочкина, 1976) было высказано предположение о снижении уровня Онежского озера. По-видимому, этот процесс захватывал значительную территорию, куда входило и оз. Воже.

Распределение основных химических компонентов

Представление о химическом составе донных отложений оз. Воже дают результаты валовых силикатных анализов, данные о легкоподвижном фосфоре и аутигенном кремнеземе.

А у т и г е н н ы й  к р е м н е з е м определялся лишь в грунтах одного разреза центральной части озера (ст. 129-144) и на трех участках в северной половине. Илы озера содержат до 5% кремнезема. В прибрежных участках эта величина снижается до 2.3%. В районе станций 145-148 содержание $SiO_2$ колеблется от 1.5 до 2.8%. Судя по этим кратким данным, содержание аутигенного кремнезема в донных отложениях озера невелико и находится примерно в тех же пределах, что и в оз. Кубенском.

Количество диатомовых, которое определяют содержание аутигенного кремния в осадках, по данным Н.Н. Давыдовой, в илах оз. Воже по сравнению с Онежским озером выше на целый порядок, но содержание кремнекислоты в них значительно ниже. Вероятно, это объясняется размерами диатомовых, которые здесь представлены мелкими бентосными видами.

К а р б о н а т н о с т ь. Для получения характеристики карбонатности осадков в 16 образцах было определено содержание карбонатной углекислоты. Кроме того, был высчитан карбонат кальция по содержанию в грунте окиси кальция и магния (табл. 116). Согласно полученным результатам, содержание карбонатной $CO_2$ в осадках колеблется в широких пределах - от 0.2 до 4.8%. Отчетливо выделяются два района - южный и северный. В южном содержание $CO_2$ в грунтах всех типов колеблется от 0.2 до 0.6%, но в основном преобладает величина 0.2%, лишь в устье р. Вожеги повышаясь до 1.5%. Содержание карбонатной углекислоты в отложениях северной половины озера резко возрастает по сравнению с южной и колеблется от 0.7 до 4.8%.

В распределении карбоната кальция заметна тенденция уменьшения его в песчаных отложениях. В северо-западной части озера отчетливо выделяется участок с повышенным содержанием $CaCO_3$ в осадках всех типов (10.3 до 23.2%), что связано с распространением здесь нижнепермских отложений ассельского и сакмарского ярусов, где нижняя толща сложена преимущественно доломитами, местами доломитомизированными известняками, содержащими гнезда и прослои гипса и ангидрида, а верхняя представлена в основном ангидридами и гипсами (Гидрогеология СССР, т. XL1У, 1969). В целом же по озеру содержание $CaCO_3$ колеблется от 4 до 9%. Максимальное значение отмечено в глинистом грунте на ст. 145.

Пространственное распределение карбонатов в осадках определяется, вероятно, седиментацией поступающего в бассейн обломочного материала, и основная масса которого поступает с северо-запада. Повышенная карбонатность на участке в устье р. Вожеги обусловлена выносом кластического карбонатного материала

Таблица 116

Содержание карбонатов в донных отложениях оз. Воже (в % на абсолютно сухое вещество)

| № станции | $CO_2$ карбонатная | Станция | $CO_2$ карбонатная |
|---|---|---|---|
| Песок | | Мелкоалевритовый ил | |
| 68 | 0.27 | 28 | 0.19 |
| 116 | 0.75 | 29 | 0. |
| 129 | 1.51 | 89 | 0.19 |
| | | 95 | 3.09 |
| Среднее | 0.84 | 100 | 1.33 |
| | | 106 | 2.92 |
| Мелкоалевритовый ил | | 135 | 0.19 |
| | | 138 | 0.19 |
| 3Т | 0.58 | 148 | 4.84 |
| 4Т | 0.19 | 163 | 0.20 |
| 9Т | 1.57 | | |
| | | Среднее | 1.19 |

рекой. Согласно классификации Н.М. Страхова (1954), в северо-западной части оз. Воже откладываются слабоизвестковистые 10-30% $CaCO_3$ донные отложения.

Органическое вещество. Для характеристики органического вещества использованы данные 24 анализов органического углерода, и, кроме того, показатели величины потерь при прокаливании в 68 образцах.

Количество органического вещества в осадках обусловлено их гранулометрическим составом (табл. 117). В распределении потерь при прокаливании отчетливо проявляется их связь с содержанием пелитовой фракции в донных отложениях (рис. 64, 63). Содержание органического вещества в осадках возрастает с севера на юг. В илах южной части озера оно максимально ($>15\%$), как и величина потерь при прокаливании (ст. 20 - 24.57%). В северной половине озера последняя едва достигает 12%. Здесь же зафиксирована и минимальная величина потерь при прокаливании для илов (4.5%, ст. 100). Согласно Б.Л. Гусакову и Г.Ф. Расплетиной (1975), аналогичный характер имеет распределение показателей органического вещества в воде оз. Воже. Распределение углерода в илах подчиняется такой же закономерности, что и содержание потерь при прокаливании. В песчаных осадках, особенно в мелкозернистых песках, содержание органического вещества колеблется в широких пределах - от 0.26 до 8.19%. Минимальные величины ($<1\%$) отмечаются в песках центральной части

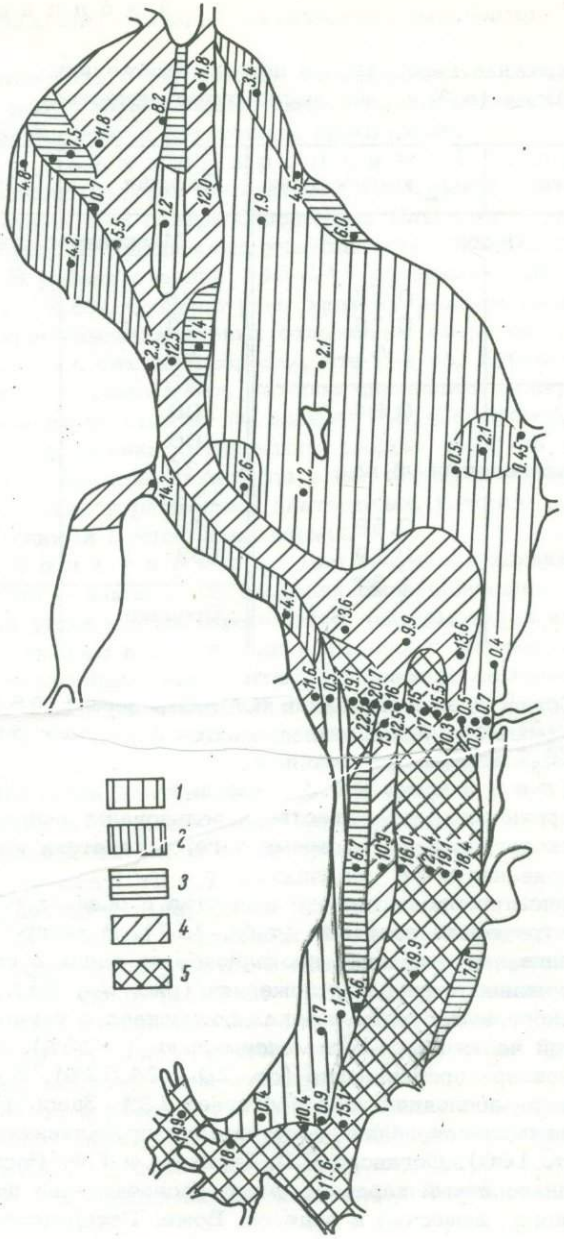



Рис. 64. Распределение потери при прокаливании (в % абсолютно сухого вещества) в донных отложениях оз. Воже.

1 – меньше 2; 2 – от 2 до 5; 3 – от 5 до 10; 4 – от 10 до 15; 5 – больше 15.

Таблица 117

Средние и экстремальные величины содержания углерода и потерь при прокаливании в донных отложениях оз. Воже (в % абсолютно сухого вещества)

| Характер грунта | Углерод | Потеря при прокаливании |
|---|---|---|
| Песок средний | 0.55(0.30–0.81) | 1.15(0.47–2.62) |
| Песок мелкий | 1.15(0.22–2.01) | 2.40(0.26–8.19) |
| Крупноалевритовый ил | – | 7.12(6.04–8.63) |
| Мелкоалевритовый ил | 6.72(2.0–11.45) | 14.74(4.50–24.57) |
| Глина | 1.15 | 2.34(0.73–4.18) |

озера у восточного берега, в районе впадения рек Вожеги и Пустой. Вероятно, эти реки как поставщики аллохтонного органического вещества играют меньшую роль, чем другие. Максимальное значение (8.19%) зафиксировано в сильно заиленном песке в зарослях (ст. 110). Средневзвешенные значения углерода и потери при прокаливании для донных отложений оз. Воже составляют соответственно 4 и 8.5%, тогда как для грунтов оз. Кубенского – 2 и 5.7%.

## Валовой химический состав

Валовые силикатные анализы были произведены в 27 пробах различного типа грунта. Как показывают их результаты, в составе осадка преобладает кремнезем и полуторные окислы, а последовательность $SiO_2 > Al_2O_3 > Fe_2O_3 > CaO$ свойственна только илам. В песках содержание $CaO$ почти всюду выше $Fe_2O_3$.

Содержание кремнезема в осадках колеблется от 50.74 до 80.56%, уменьшаясь с увеличением дисперсности (табл. 118) и в илах южной части озера не превышает 55%. Количество окислов алюминия находится в пределах от 5.8 до 10% и повышается от песков к илам, достигая максимума в илах центральной части озера при впадении р. Вожеги, а почти во всей южной части превышает 9%.

По содержанию титана типы осадков различаются мало, но в среднем его количество несколько больше в песках, хотя максимум зафиксирован в илах (3.2 $TiO_2$). Окись кальция присутствует в осадках в количестве от 1.90 до 5.98% при среднем для песков – 2.98%, для илов – 3.53%. Повышенное ее содержание (>5%) отмечено как в илах, так и в песках, а максимальное – в глинах (7.32%).

По распределению кальция отчетливо выделяется северный район с повышенным его содержанием в осадках (выше кларковых

Валовой химический состав донных отложений оз. Воже (в % абсолют

| Станция | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $TiO_2$ | $Fe_2O_3$ | MnO |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Песок |
| 68 | 84.44 | 6.61 | 1.45 | 2.17 | 0.07 |
| 83 | 83.16 | 6.50 | 1.88 | 1.85 | 0.05 |
| 142 | 83.29 | 5.96 | 1.61 | 2.20 | 0.06 |
| 72 | 83.55 | 6.45 | 2.38 | 1.55 | 0.09 |
| 116 | 78.69 | 6.98 | 2.12 | 2.09 | 0.05 |
| 117 | 84.56 | 6.01 | 1.74 | 1.76 | 0.04 |
| 128 | 76.63 | 7.50 | 2.46 | 2.04 | 0.06 |
| 129 | 81.53 | 5.86 | 2.39 | 1.75 | 0.04 |
| 101 | 67.50 | 7.97 | 2.04 | 3.34 | 0.06 |
| 110 | 79.85 | 7.83 | 1.46 | 3.18 | 0.05 |
| | | | | | Мелкоалевритовый |
| 3т | 55.30 | 9.98 | 1.61 | 4.65 | 0.06 |
| 4т | 50.74 | 9.33 | 1.88 | 5.01 | 0.07 |
| 9т | 59.21 | 7.85 | 1.90 | 5.35 | 0.06 |
| 28 | 58.14 | 7.83 | 2.21 | 3.69 | 0.08 |
| 29 | 54.61 | 7.97 | 2.14 | 4.44 | 0.05 |
| 89 | 62.28 | 7.88 | 2.04 | 3.21 | 0.06 |
| 92 | 55.72 | 8.64 | 1.61 | 4.87 | 0.07 |
| 96 | 61.36 | 9.16 | 1.31 | 4.02 | 0.05 |
| 100 | 72.15 | 8.58 | 0.90 | 3.08 | 0.05 |
| 106 | 61.34 | 9.10 | 1.80 | 4.78 | 0.09 |
| 119 | 61.81 | 7.96 | 2.04 | 4.65 | 0.07 |
| 122 | 62.01 | 7.95 | 3.20 | 4.24 | 0.07 |
| 132 | 64.34 | 8.06 | 2.44 | 3.58 | 0.07 |
| 135 | 58.92 | 10.02 | 1.96 | 1.82 | 0.07 |
| 138 | 52.24 | 8.55 | 1.82 | 4.49 | 0.07 |
| 148 | 58.22 | 8.80 | 0.97 | 5.53 | 0.09 |
| | | | | | Глина |
| 145 | 56.53 | 7.72 | 1.83 | 4.90 | 0.10 |
| | | | | | Средние и экстремальные |
| Песок | 80.37 / 67.50–84.56 | 6.77 / 5.86–7.97 | 1.95 / 1.45–2.46 | 2.19 / 1.55–3.34 | 0.05 / 0.04–0.07 |
| Мелкоалевритовый ил | 59.28 / 50.74–72.15 | 8.60 / 7.83–10.02 | 1.81 / 0.90–3.20 | 4.22 / 1.82–5.35 | 0.07 / 0.05–0.09 |

Таблица 118

но сухого вещества)

| CaO | MgO | $Na_2O + K_2O$ | $P_2O_5$ | $SO_3$ |
|---|---|---|---|---|
| 2.26 | 0.65 | 1.28 | 0.16 | 0.15 |
| 2.69 | Следы | 1.18 | 0.07 | 0.14 |
| 2.68 | " | 3.01 | 0.09 | Следы |
| 1.90 | 0.38 | 1.25 | 0.15 | 1.25 |
| 2.36 | 0.49 | 2.14 | 0.10 | 0.42 |
| 2.14 | 0.40 | 2.39 | 0.09 | 0.12 |
| 2.39 | 0.71 | 0.98 | 0.09 | 1.70 |
| 4.19 | 0.23 | 0.41 | 0.22 | 0.90 |
| 5.19 | 2.00 | Следы | 0.11 | 2.23 |
| 2.89 | 1.03 | 2.46 | 0.09 | 0.85 |
| ил | | | | |
| 2.90 | 1.48 | 0.84 | 0.16 | 0.60 |
| 2.70 | 1.84 | Следы | 0.23 | 0.50 |
| 4.49 | 1.34 | " | 0.14 | 1.67 |
| 3.06 | 0.89 | " | 0.16 | 1.98 |
| 3.63 | 1.05 | " | 0.14 | 2.98 |
| 2.53 | 1.14 | 0.41 | 0.11 | 1.47 |
| 5.02 | 3.07 | Следы | 0.19 | 2.59 |
| 3.46 | 1.97 | 0.34 | 0.17 | 2.43 |
| 4.14 | 1.03 | 2.01 | 0.10 | 0.48 |
| 3.33 | 1.80 | Следы | 0.14 | 0.73 |
| 3.01 | 1.57 | " | 0.16 | 2.08 |
| 3.48 | 0.82 | 1.11 | 0.11 | 2.72 |
| 3.31 | 1.46 | Следы | 0.16 | 1.29 |
| 2.68 | 1.24 | 0.59 | 0.21 | 1.67 |
| 3.04 | 1.17 | 0.29 | 0.18 | 1.75 |
| 5.98 | 3.38 | Следы | 0.16 | 2.71 |
| 7.32 | 5.12 | 0.72 | 0.12 | 3.12 |
| значения | | | | |
| 2.87 / 1.90–5.19 | 0.59 / Сл.–2.00 | 1.50 / Сл.–3.01 | 0.12 / 0.07–0.22 | 0.78 / Сл.–2.23 |
| 3.53 / 2.53–5.98 | 1.58 / 0.82–3.38 | 0.35 / Сл.–2.01 | 0.15 / 0.10–0.23 | 1.73 / 0.48–2.98 |

величин 2.5% Ca, по А.П. Виноградову), максимальное (от 5 до 7.3%) приурочено к северо-западному берегу озера. Участки с повышенным содержанием окиси кальция расположены в районах впадения рек Вожеги (максимумом для песчаных осадков - 4.2%) и Модлоны (рис. 65). Содержание магния в донных отложениях колеблется от следов до 3.38%. Максимальная величина его (5.12% MgO), отмеченная в глинах (ст. 145), почти в 3 раза больше той, что в илах. Здесь же зафиксировано и максимальное значение содержания кальция. Такое распределение щелочноземельных элементов в осадках по площади дна озера обусловлено характером распространения карбонатных пород на водосборе. В мелкоалевритовых илах происходит накопление магния. В осадках всех типов грунтов кальций преобладает над магнием, а сумма щелочноземельных элементов превышает содержание щелочных металлов.

Содержание валовой серы как в песках, так и в илах колеблется в широких пределах - от следов до 2.98% ( $SO_3$ ). Отчетливо выделяются три участка, где оно повышено (рис. 65, б): первый - северо-западный участок озера, где в глине зафиксирован также и максимум (3.2%); второй - центральная часть озера, южнее о. Спасский; третий - в районе впадения р. Модлоны (от 2.0 до 2.6% $SO_3$ ). Во всей остальной иловой части южной половины озера и северо-восточной, занятой песками, количество серы в осадках не превышает 0.5-1%. Отчетливо прослеживается поступление ее с западного берега, - с водами рек Модлоны и Еломы, и с побережья, что обусловлено присутствием гипса в породах северо-западной части водосбора.

Распределение серы в осадках хорошо согласуется с содержанием ее в воде озера. Так, по данным Г.Ф. Расплетиной (разд. 5.1 наст. изд.), реки Модлона и Елома несут воды, обогащенные сульфатами. Илы оз. Воже имеют запах сероводорода. Очевидно, здесь, так же как и в оз. Кубенском, низкие значения окислительно-восстановительного потенциала способствуют восстановлению сульфатов до сероводорода.

Ф о с ф о р. Содержание валового фосфора в грунтах оз. Воже меняется от 0.03 до 0.11%, но его распределение довольно равномерно - в пределах 0.05-0.07%. Как в илах, так и песках встречаются участки, где оно ниже кларковых значений (0.07% P, по А.П. Виноградову) и только южнее впадения р. Вожеги слегка превышает 0.10% P. Наименьшее количество фосфора (менее 0.05%) содержат грунты, расположенные в основном вдоль западного берега (рис. 65, в).

Содержание легкоподвижного фосфора колеблется в широких пределах - от 0.0001 до 0.016% (табл. 119), достигая максимума (0.010-0.16%) в районе впадения р. Вожеги, минимума - на небольших участках северной половины озера и повышенных значений (0.005-0.01%) - в прибрежных районах у восточного берега.

Отчетливо видна тенденция приуроченности повышенного содержания как валового фосфора, так и легкоподвижной его формы в

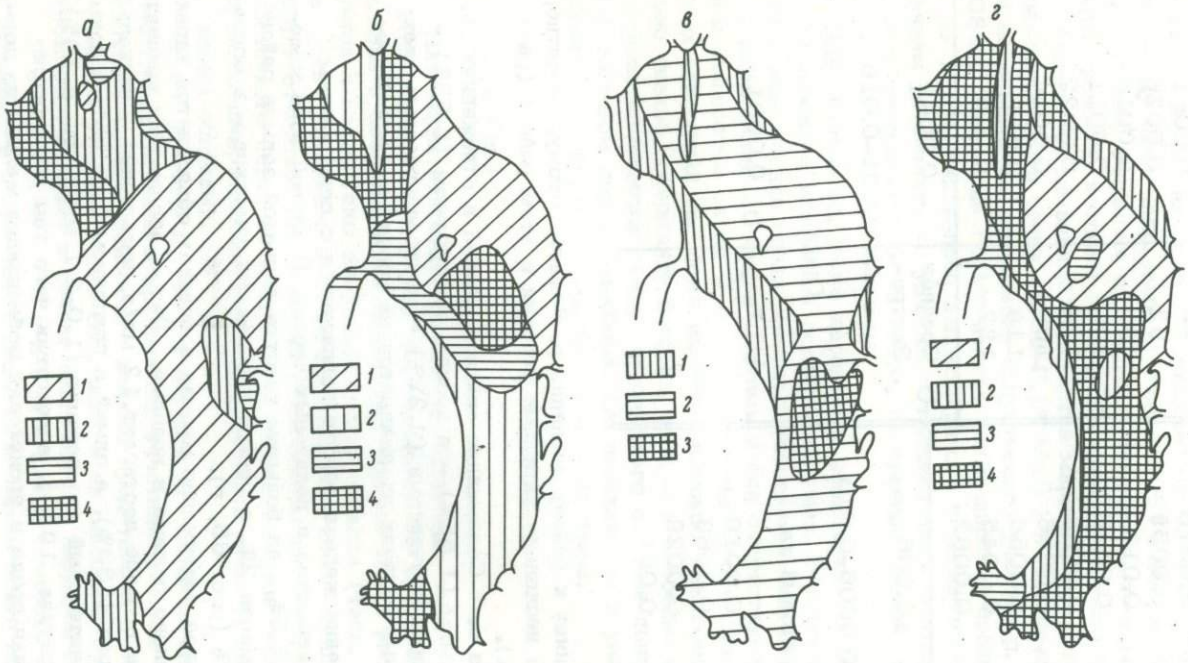



Рис. 65. Распределение валового содержания химических элементов в донных отложениях оз. Воже (в % абсолютно сухого вещества).

а – кальций (1–2 – 3; 2 – 3–4; 3 – 4–5; 4 – больше 5); б – сера (1 – меньше 0.5; 2 – 0.5–1; 3 – 1–2; 4 – больше 2); в – фосфор (1 – меньше 0.1; 2 – 0.1–0.2; 3 – больше 0.2); г – железо (1 – 1–2; 2 – 2–3; 3 – 3–4; 4 – больше 4).

Таблица 119

| Станция | P легкоподвижный | Станция | P легкоподвижный |
|---|---|---|---|
| Песок | | 28 | 0.0012 |
| | | 29 | 0.0013 |
| 68 | 0.0076 | 89 | 0.0081 |
| 72 | 0.0059 | 92 | 0.0026 |
| 77 | 0.013 | 96 | 0.0014 |
| 83 | 0.0040 | 100 | 0.0011 |
| 101 | 0.0006 | 104 | 0.0022 |
| 110 | 0.0006 | 106 | 0.0014 |
| 116 | 0.0056 | 119 | 0.011 |
| 117 | 0.0045 | 122 | 0.016 |
| 128 | 0.0062 | | |
| Среднее | 0.006 | Среднее | 0.0041 |
| Экстремальные | 0.0006–0.013 | Экстремальные | 0.001–0.016 |
| Мелкоалевритовый ил | | Глина | |
| | | 10 т | 0.0001 |
| 3т | 0.0016 | | |
| 4т | 0.0063 | | |
| 5т (6) | 0.0029 | | |
| 9т | 0.001 | | |

донных отложениях к району впадения р. Вожеги. Этому, вероятно, способствуют и несколько затишные условия в этом районе (разд. 3.2. наст. изд.).

Ж е л е з о. Содержание окислов железа в отложениях оз. Воже с минимумом (1.55%) – в песках, максимумом (5.53%) – в илах и средними значениями (4.22%) – мелкоалевритовых илах лишь в единичных случаях удерживается на уровне кларковых величин.

Распределение железа хорошо согласуется с содержанием органического вещества и пелитовых частиц. В иловой зоне железа не более 4–5.5%, на большом участке песчаной зоны в районе о. Спасский – менее 2%, в песках прибрежных участков – в основном от 2 до 3% (рис. 65, г).

Столь низкое содержание железа в осадках объясняется характером кислородного режима в водоеме. Летом абсолютная концентрация кислорода в озере достигает 12 мг/л, насыщение – несколько выше нормального (133%), а зимой в придонном слое иловой зоны отмечается значительный его дефицит (1.0–2.1 мг/л, или 8–14%) (Гусаков, Расплетина, 1975), вследствии чего там образуется восстановительная среда и происходит мобилизация железа из дон-

ных отложений в воду (железо в воде присутствует в течение всего года как в закисной, так и в окисной форме). Органическое вещество, поступающее с гумифицированными водами притоков (окисляемость 36–87 мг/л), также способствует удержанию железа в водной массе.

М а р г а н е ц. Содержание окиси марганца во всех типах донных отложений находится в пределах от 0.04 до 0.10%, т.е. почти всюду ниже кларковых величин (0.067% Mn, по А.П. Виноградову), что, очевидно, обусловлено существованием восстановительных условий, которые не способствуют осаждению его в донных отложениях. Максимальные количества марганца приурочены к северо-западной части озера (0.09–0.1% MnO ) и несколько меньше на всей остальной, за исключение приустьевого участка р. Модлоны (0.08%). Отношение Fe/Mn колеблется в широких пределах – от 21 до 77, но какой-либо закономерности в распределении этой величины установить не удалось. Отмечено лишь некоторое снижение ее в центральной части озера, на границе иловой и песчаной зон.

Для грунтов оз. Воже характерно разделение их на два района с различными условиями осадконакопления. В северном районе современные осадки представлены в основном песками мощностью всего лишь около 20 см, а местами и они отсутствуют, в южном – илами мощностью около 2 м. Особенностью химического состава донных отложений оз. Воже является высокое содержание серы, довольно низкое содержание фосфора, железа и особенно марганца. Отчетливо намечается связь химического состава донных отложений с составом пород водосбора, что проявляется в увеличении карбонатности грунтов северной половины озера.

## Озеро Лача

Для характеристики грунтов оз. Лача был собран материал на 103 станциях (рис. 66). На основании 46 гранулометрических анализов и собранного материала составлена схема распределения грунтов и подсчитаны занимаемые ими площади (табл. 120, рис. 67). Как уже указывалось, озеро представляет собой мелководный водоем, с отчетливо выраженным углублением до 3–4 м, у западного и восточного берегов. Донные его отложения предствлены в основном мелкоалевритовыми илами и в меньшей степени каменисто-песчаными осадками.

В а л у н н ы й  м а т е р и а л, в незначительных количествах встречаясь в прибрежных участках на всем протяжении восточного берега, наиболее широко представлен в северной части озера – в районе мыса Ольгский, а на западном берегу в основном сосредоточен в районе впадения рек Шоршмы и Лекшмы.

П е с ч а н ы е  о т л о ж е н и я вместе с каменистыми занимают в озере всего лишь 12%. Вдоль всего восточного

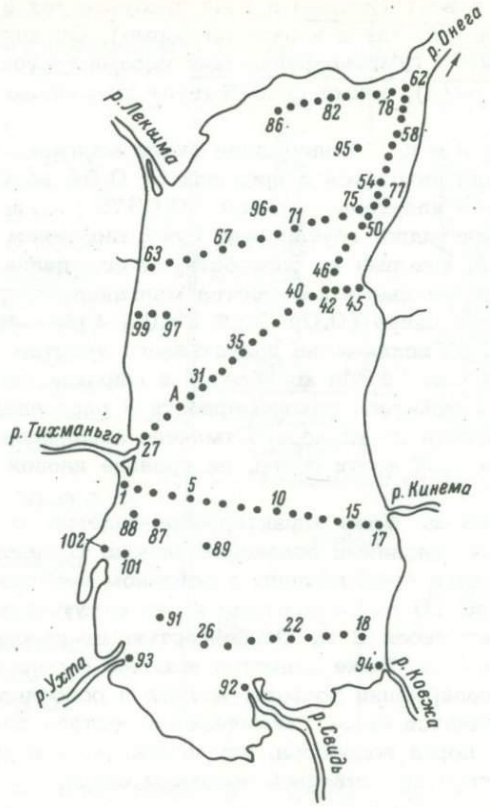



Рис. 66. Расположение станций взятия образцов донных отложений оз. Лача.

берега от р. Ковжи до р. Онеги они выстилают подводный склон и дно желоба, часто прерываясь и обнажая голубую глину, особенно в северной углубленной части озера. Характер распространения песков в углубленном желобе, вероятно, обусловлен характером придонных течений вообще, которые по данным А.Н. Охлопковой (1975), более отчетливо выражены именно у восточного берега, и в зимнее время в частности, когда почти треть озера промерзает до дна (Тихомиров, 1975). Воды рек западного берега, так же как и восточного, текут в основном по углубленным желобам. Вдоль него песчаные отложения тянутся от р. Лекшмы примерно до середины расстояния между реками Шоршмой и Тихманьгой, а южнее по западному берегу если и прослеживаются, то в виде столь узких полосок, что не укладываются в масштабы карты.

Среди песчаных отложений ведущее положение занимают среднезернистые пески, и этот факт – лишнее свидетельство в пользу

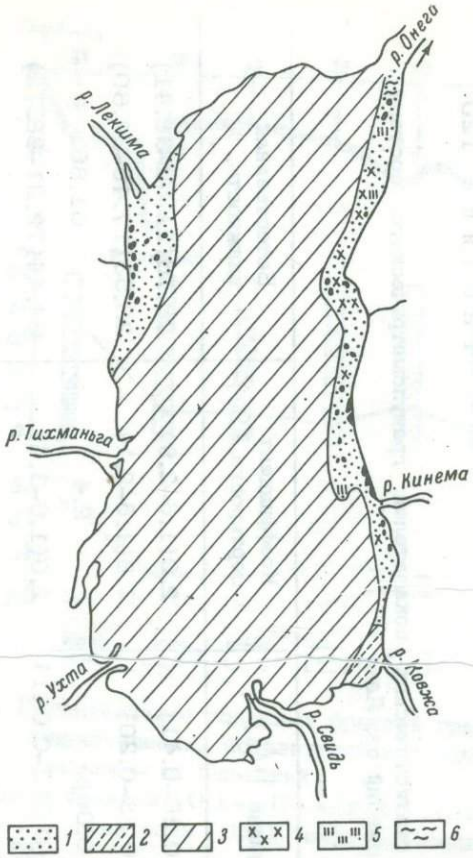



Рис. 67. Распределение донных отложений в оз. Лача.

1 – песок; 2 – крупноалевритовый ил; 3 – мелкоалевритовый ил; 4 – валуны и гравий; 5 – выходы глин; 6 – песок заиленный.

существования постоянных течений в местах их распространения, уносящих более мелкие фракции. Песчаные фракции, составляющие основную массу песчанистых отложений (47–88%), в 5 случаях из 7 находились в диапазоне от глинистых до гальки; содержание пелитовых частиц в осадке – от 1 до 4%, алевритов – около 7%, лишь на ст. 77 на долю последних пришлось 31%.

Пески в основном хорошо сортированы (1.6–2.9), исключением являются осадки в районе ст. 15, где широко представлены все песчаные и гравийные фракции.

Илистые отложения, занимающие почти 88% площади дна, представлены в основном тонким мелкоалевритовым

Таблица 120

Средние и экстремальные значения статистических показателей гранулометрического состава и естественная влажность донных отложений оз. Лача

| Характер грунтов | | Количество проб | Медиана (Md) | Коэффициент сортировки (So) | Естественная влажность, % |
|---|---|---|---|---|---|
| Песок | средний | 5 | 0.36(0.26–0.41) | 2.0(1.6–2.9) | 28.76(21.62–38.41) |
| | мелкий | 2 | 0.16(0.13–0.20) | 1.8(1.6–2.1) | 28.53(17.46–39.60) |
| Крупноалевритовый ил | | 1 | 0.068 | 2.4 | 61.86 |
| Мелкоалевритовый ил | | 36 | 0.020(0.012–0.041) | 2.0(1.6–3.4) | 84.44(72.01–88.72) |
| Глина | | 2 | | | |

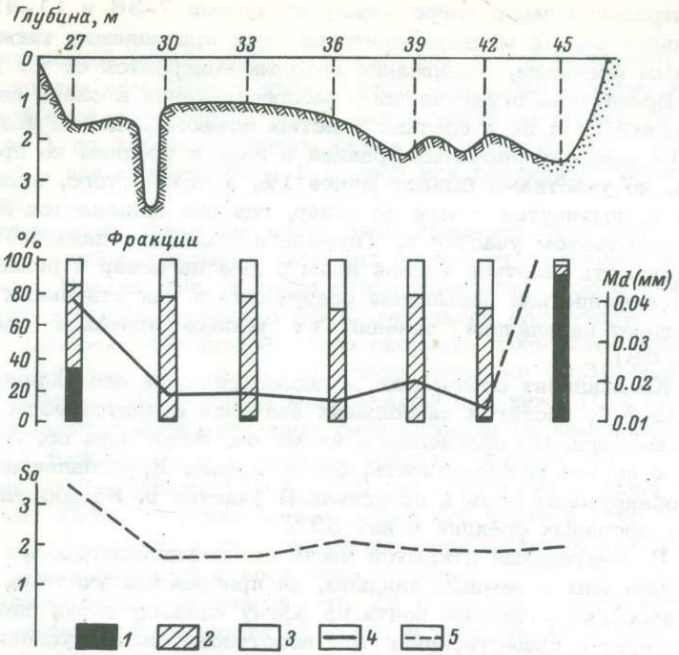



Рис. 68. Распределение основных фракций гранулометрического состава и статистических показателей в донных отложениях на разрезе р. Тихманьга – м. Ольгский.
1 – песчаная фракция (0.1–1.0 мм); 2 – алевритовая (0.01–0.1 мм); 3 – пелитовая (0.01 мм); 4 – медиана (Md); 5 – сортировка (So).

илом. Медиана осадков при среднем ее значении 0.020 мм, колеблется от 0.012 до 0.041 мм. Наиболее грубые (Md =0.41 мм) илы отмечены в устье р. Тихманьги, периферические узкие участки озера занимают илы с медианой немногим более 0.020 мм, а вся центральная часть озера и отдельные участки северной заполнены наиболее тонкими осадками (Md = 0.012–0.01 мм). Между станциями 11 и 39 выделяется участок илов с медианой 0.022 мм. Погрубение осадков происходит в основном за счет уменьшения пелитовых фракций и наряду с этим резко снижается количество диатомей, что также указывает на снос тонких частиц с этого участка.

Главный гранулометрический компонент мелкоалевритовых илов – алевриты – почти во всей иловой зоне составляют свыше 70% их объема, а на некоторых участках – более 80%. Илы с содержанием алевритов от 50 до 70% вытянуты узкой полосой вдоль восточного и западного побережья, а также участками встречаются

в центральной части озера между станциями 7-36 и 11-42. Значительная роль в мелкоалевритовых илах принадлежит также и пелитовым фракциям, содержание которых колеблется от 13 до 40%.

Вследствие ограниченного распространения в озере песчаных отложений доля их в составе илистых осадков в целом незначительна. Содержание песчаных фракций в илах в среднем не превышает 1-3%, но участками бывает менее 1%, и, кроме того, выделяется участок, вытянутый с юга на север, где оно повышается до 9-17%, а в приустьевом участке р. Тихманьги достигает даже 33% (ст.27). Вытянутость участков иловой зоны с юга на север и незначительное понижение или повышение содержания в них отдельных фракций указывают на влияние течений от южных притоков озера (рис. 68).

Коэффициент сортировки мелкоалевритовых илов колеблется от 1.6 до 3.4, достигая наибольших значений в приустьевом участке р. Тихманьги. По сравнению с илами оз. Воже илы оз. Лача, несмотря на его мелководность, более тонкие. Крупноалевритовые илы обнаружены лишь в приустьевом участке р. Ковжи, где содержание песчаных фракций в них 33%.

В центральной открытой части озера распространены серовато-бурые илы с темным наилком, на прибрежных участках и в густых зарослях - темные почти по всему иловому слою, что свидетельствует о существовании там восстановительных условий. Зеленоватый цвет свойствен всей 3-метровой толще уплотненных илов южной половины озера, особенно юго-западной его части, за исключением прибрежных участков. Он указывает на большую роль в их образовании фитопланктона. По данным Н.А. Петровой, сине-зеленые водоросли интенсивно развиты в оз. Воже, и р. Свидь выносит богатый озерный планктон.

Естественная влажность осадков обусловлена в основном их гранулометрическим составом и содержанием в них органического вещества. Повышенное содержание потерь при прокаливании и тонкость илов обеспечивают их высокую естественную влажность. Среднее значение содержания влаги в них составляет 84.4% и колеблется в узких пределах (72.0-88.7%), тогда как в аналогичных осадках озер Кубенского и Воже оно несколько ниже (68.7 и 78.4% соответственно). Очевидно, на эту характеристику оказывает влияние и скорость осадконакопления, которая в оз. Лача значительно выше, чем в двух других.

## Стратификация донных отложений

На 8 участках озера была произведена зондировка донных отложений, что позволило проследить историю развития озера. Стратиграфические горизонты, характерные для озер Кубенского и Воже, выделены и здесь. Мощность илового слоя по всему озеру колеблется от 2 до 4 м. Наибольший темп седиментации отме-

чен в центральной части озера, в районе ст. 7, где находятся и наиболее тонкие илы (Md = 0.012 мм). Здесь при глубине воды 2 м иловой слой достигает 4 м. В южной части озера при глубине воды от 1 до 1.4 м мощность илов колеблется от 2.5 до 3.5 м, в северной – при глубине воды 1 м слой ила достигает 2-метровой толщи.

Котловина оз. Лача заполнена илом примерно на 65–75% своего объема, наиболее мощные слои ила расположены южнее разреза р. Ухта – д. Нокола. Илы в озере стали отлагаться еще с начала бореального времени, примерно 9500 лет назад (Хомутова, 1975). В районе максимальной иловой толщи скорость накопления осадков составила примерно 0.4 мм в год, почти такая же (0.36 мм) – в южном районе, а в северном мелководном она ниже (0.2 мм).

Если предположить, что темп седиментации не изменится в будущем (а процесс этот, возможно, пойдет быстрее), то оз. Лача просуществует еще около 4500–4700 лет, при этом сначала, примерно через 2500 лет, заполнится южная его часть и сток р. Свиди будет осуществляться лишь по узким желобам более глубоководных участков с западной и восточной стороны.

В южном районе на участке ст. 22 были обнаружены карбонатные илы наибольшей мощности (1.2 м), в которых на контакте ила и глины встречена песчано-алевритовая прослойка. В устье р. Свиди мощность последней достигла 0.6 м.

## Распределение основных химических компонентов

Судя по двум анализам, бывшим в нашем распоряжении, содержание аутигенного кремнезема в илах оз. Лача составляет 8.95–9.38%, что на 3–4% выше, чем в озерах Воже и Кубенском. Однако, учитывая высокое содержание в осадках оз. Лача диатомей (максимальные величины – 41–65 млн. створок), эту величину следует считать небольшой.

К а р б о н а т н о с т ь. Согласно результатам анализа 9 проб грунта, содержание карбонатной углекислоты в осадках колеблется от 0 до 6.4% (табл. 121), при этом в южной половине озера оно повышено, а максимума достигает в приустьевом участке р. Тихманьги. В районе рек Ухты и Свиди оно тоже значительное (4.0–4.7%), а в северной половине озера не превышает 0.5%. Что же касается карбоната кальция в осадках, то в илах его содержание составляет 7.3–17.3% $CaCO_3$, в песках – 5.2%. Повышенное содержание извести отмечается в тех же приустьевых участках, что и повышенное содержание карбонатной $CO_2$ (рис. 69). Грунты северной и центральной частей озера содержат приблизительно одинаковые количества $CaCO_3$ (7.3–9.7%).

По всей вероятности, накопление слабоизвестковистых донных отложений на участках озера, примыкающих к юго-восточному и юго-западному берегам, обусловлено выносом карбонатов впада-

Таблица 121

Содержание карбонатов в донных отложениях оз. Лача (в % абсолютно сухого вещества)

| Станция | $CO_2$ карбонатная | $CaCO_3$ | Станция | $CO_2$ карбонатная | $CaCO_3$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | Песок | | | | |
| 77 | – | 5.18 | 22 | – | 8.01 |
| | Мелкоалевритовый ил | | | | |
| 1 | 6.45 | 17.30 | 30 | – | 10.86 |
| 3 | – | 10.39 | 39 | – | 9.75 |
| 5 | 0.20 | 8.64 | 56 | – | 9.07 |
| 7 | – | 9.05 | 65 | 0.47 | 7.33 |
| 9 | – | 9.00 | 71 | 0 | 9.68 |
| 11 | – | 8.70 | 92 | 4.03 | – |
| 13 | – | 8.75 | 93 | 4.72 | – |
| 16 | 2.33 | 13.07 | 94 | 1.16 | – |
| | | | 95 | 0.20 | – |

ющими здесь реками, особенно р. Тихманьгой. Среднее содержание карбоната кальция в илах оз. Лача составляет 9.94%, что позволяет характеризовать их как слабоизвестковистые.

Органическое вещество. На основании данных 16 анализов по органическому углероду и содержанию потерь при прокаливании составлена схема распределения органического вещества в донных отложениях оз. Лача (рис. 70). В песках содержание потерь при прокаливании колеблется от 0.8 до 2.4%, в илах увеличивается до 26.9%, при этом в илах прибрежной зоны сохраняется на уровне 11–16% (табл. 122).

Таблица 122

Средние и экстремальные величины содержания углерода и потерь при прокаливании в донных отложениях оз. Лача (в % абсолютно сухого вещества)

| Характер грунта | Углерод | Потери при прокаливании |
|---|---|---|
| Песок | – | 1.07(0.79–2.37) |
| Крупноалевритовый ил | – | 8.80 |
| Мелкоалевритовый ил | 11.7(4.50–12.67) | 21.40(10.92–26.94) |

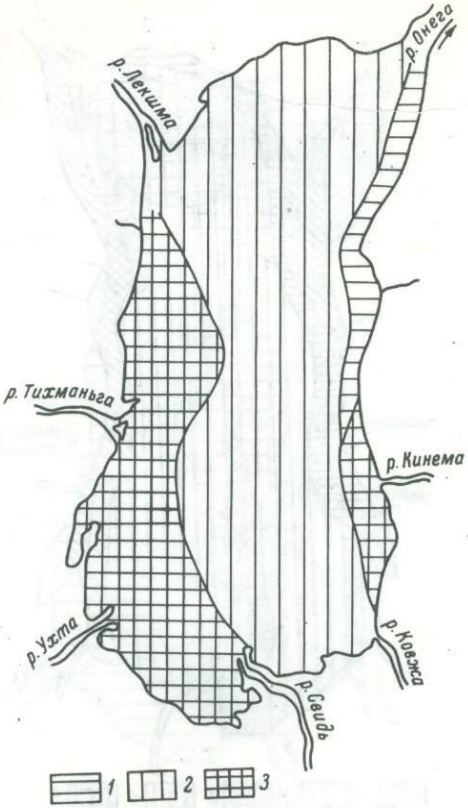



Рис. 69. Распределение карбоната кальция ( $CaCO_3$ ) в донных отложениях оз. Лача.

1 - до 5%; 2 - 5-10%; 3 - больше 10.

Содержание углерода в донных отложениях колеблется от 4 до 13%. Оно обычно понижено в приустьевых участках рек, что свидетельствует о малом поступлении органического вещества со стоком. Исключение составляют лишь реки Ухта и Свидь, где, очевидно, высокие величины потерь при прокаливании (23%) в осадках объясняются значительным развитием здесь высшей водной растительности, способствующей образованию органического вещества. Средневзвешенное содержание органического вещества (потерь при прокаливании) для донных отложений оз. Лача составляет 19.58%.

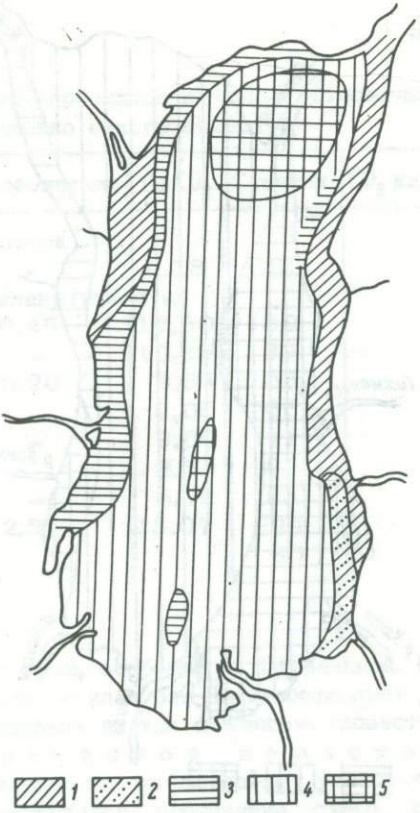



Рис. 70. Распределение органического вещества в донных отложениях оз. Лача (в % веса сухого осадка).

1 - меньше 3; 2 - 3-10; 3 - 10-20; 4 - 20-25; 5 - больше 25.

Валовой химический состав

Валовые силикатные анализы были определены в 18 пробах грунта в основном из иловой зоны.

Тонкость и однородность илов в озере предопределяет низкое содержание в них окислов кремнезема и однородность его пространственного распределения. При среднем содержании кремнезема в илах, равном 50.07%, максимальная его величина (63.32%) приурочена к пограничной между песком и илом зоне в восточной части озера (табл. 123).

В распределении алюминия также не отмечается больших различий. Среднее его содержание в илах составляет 8.55% ($Al_2O_3$),

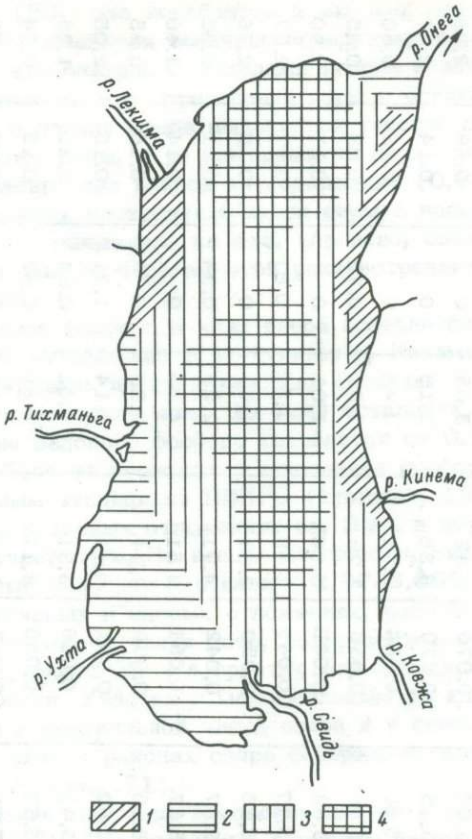



Рис. 71. Распределение валового железа в донных отложениях оз. Лача (в % $Fe_2O_3$ веса сухого осадка).

1 - меньше 3; 2 - 4-5; 3 - 5-6; 4 - больше 6.

а максимальное - 14.9% - на ст. 65, расположенной на границе иловой и песчаной зон, где отмечаются выходы глины.

Содержание окиси кальция в осадках колеблется от 2.82 до 5.42%. Районы, где оно повышено, приурочены к приустьевым участкам рек Тихманьги, Кинемы и Ухты, минимальное отмечено в устье р. Онеги, в других же районах озера колеблется от 3.0 до 4.1%. Содержание окиси магния изменяется в широких пределах - от 0.80 до 3.65%, при этом в песках оно минимально (0.48% MgO). Кальций значительно преобладает над магнием.

Содержание серы, высокое в осадках озера Кубенского и Воже, в грунтах оз. Лача еще больше возрастает. При среднем зна-

Таблица 123

Валовой химический состав донных отложений оз. Лача (в % абсолютно сухого вещества)

| Станции | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $TiO_2$ | $Fe_2O_3$ | MnO | CaO | MgO | $Na_2O + K_2O$ | $P_2O_5$ | $SO_3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Песок | | | | | |
| 77 | 80.47 | 6.71 | 1.45 | 2.53 | 0.037 | 2.34 | 0.48 | 2.30 | 0.08 | 0.44 |
| | | | | | Мелкоалевритовый ил | | | | | |
| 1 | 49.99 | 6.87 | 2.70 | 4.68 | 0.070 | 5.42 | 3.65 | 0 | 0.19 | 2.28 |
| 3 | 49.01 | 8.32 | 2.47 | 5.35 | 0.070 | 3.36 | 2.10 | 0 | 0.14 | 2.47 |
| 5 | 50.78 | 9.21 | 2.43 | 5.06 | 0.054 | 3.11 | 1.48 | 0 | 0.16 | 0.60 |
| 7 | 46.95 | 8.40 | 2.00 | 5.86 | 0.036 | 3.28 | 1.53 | 0.72 | 0.23 | 0.85 |
| 9 | 48.70 | 9.25 | 1.65 | 6.69 | 0.032 | 3.86 | 1.01 | 0 | 0.17 | 2.90 |
| 11 | 49.22 | 9.65 | 3.19 | 6.17 | 0.049 | 3.09 | 1.52 | 0.87 | 0.17 | 2.57 |
| 13 | 47.98 | 9.19 | 1.81 | 6.15 | 0.050 | 2.99 | 1.63 | 0 | 0.16 | 2.76 |
| 16 | 63.32 | 7.19 | 2.76 | 2.87 | 0.042 | 4.71 | 2.23 | 0.94 | 0.11 | 0.82 |
| 22 | 51.36 | 4.82 | 2.78 | 5.57 | 0.051 | 3.51 | 0.83 | 0 | 0.14 | 3.40 |
| 30 | 48.55 | 8.35 | 2.09 | 6.16 | 0.069 | 3.94 | 1.83 | 0 | 0.16 | 3.95 |
| 39 | 49.89 | 9.26 | 2.16 | 6.52 | 0.051 | 4.11 | 1.14 | 1.21 | 0.15 | 2.05 |
| 56 | 50.13 | 8.79 | 2.79 | 5.42 | 0.056 | 3.31 | 1.51 | 0.84 | 0.21 | 1.25 |
| 65 | 52.84 | 14.87 | 0.38 | 5.67 | 0.045 | 3.17 | 0.80 | 0.82 | 0.15 | 0.64 |
| 71 | 50.41 | 6.11 | 2.49 | 5.70 | 0.063 | 4.09 | 1.14 | 0 | 0.18 | 1.89 |
| 78 | 46.15 | 8.07 | 2.21 | 4.72 | 0.052 | 2.82 | 1.74 | 0.71 | 0.14 | 0.71 |
| 86 | 46.89 | 9.03 | 1.09 | 6.32 | 0.066 | 3.30 | 1.42 | 0 | 0.17 | 4.26 |
| 91 | 49.10 | 8.01 | 1.79 | 4.78 | 0.031 | 4.40 | 1.77 | 1.78 | 0.14 | 1.12 |
| | | | | | Средние и экстремальные значения | | | | | |
| Мелкоалевритовый ил | 50.07 / 46.15–63.32 | 8.55 / 4.82–14.87 | 2.16 / 0.38–3.19 | 5.51 / 2.87–6.69 | 0.052 / 0.031–0.070 | 3.68 / 2.82–5.42 | 1.61 / 0.80–3.65 | 0–1.78 | 0.16 / 0.11–0.23 | 2.03 / 0.60–4.26 |

чении 2.03% ($SO_3$) оно колеблется в широких пределах – от 0.60 до 4.26%. Максимальная величина обнаружена в грунтах северной части озера, что связано с выходами гипсов в этом районе. Четкой закономерности в распределении серы в осадках не установлено. В южной половине озера выделяется участок с повышенным количеством окиси серы, в то же время на двух станциях того же участка зафиксировано низкое ее содержание (0.6–0.8%). Отчетливо прослеживается поступление окиси серы с водами р. Тихманьги. Повышенное ее содержание на юге, вероятно, связано с выносами р. Свиди, так как по берегам этой реки встречаются сероводородные источники.

Содержание фосфора в илах озера колеблется от 0.11 до 0.23% ($P_2O_5$). Оно минимально в илах устья р. Кинемы, а максимально (0.23–0.21%) лишь на двух участках (станции 7 и 56), где отмечены и наиболее тонкие илы. На всей остальной иловой зоне озера содержание валового фосфора колеблется от 0.14 до 0.17%. В осадках оз. Лача не происходит накопления фосфора.

По данным экспедиции ПИНРО (Ермолин, 1970), содержание окиси железа в донных отложениях оз. Лача в двух случаях из шести превышает 10%. По нашим же данным, оно значительно ниже: предельные значения для илов – 2.87–6.69% при среднем 5.51%. В песчаных и иловых отложениях, расположенных вдоль восточной прибрежной части озер, содержится всего 2.5–2.9% окиси железа, около 5% – в грунтах юго-западной части озера и в устье р. Онеги. Участки с максимальным ее количеством (> 6%) расположены в центральной части озера и у северного прибрежья (ст. 86). В других районах озера содержание железа в грунтах составляет 5–6% (рис. 71).

Содержание марганца в осадках низкое и колеблется от 0.03 до 0.07% (MnO). Максимальные величины отмечены в устье р. Тихманьги и на севере озера, минимальная приурочена к южной части озера.

Характерной особенностью отложений оз. Лача является преобладание в них тонких мелкоалевритовых илов, которыми котловина озера заполнена на 65–75%. Характерные особенности химического состава – высокое содержание серы, низкое – марганца и железа и довольно однородное пространственное распределение всех химических элементов по акватории. Лишь карбонаты четко приурочены к районам впадения рек в южной половине озера.

## ЛИТЕРАТУРА


А б р а м о в а Т.Г. Болота Вологодской области, их районирование и сельскохозяйственное использование. – В кн.: Северо-запад европейской части СССР, вып. 4. Л., 1965, с. 65-92.

А л е к и н О.А. Химический анализ вод суши. Л., 1954, 199 с.

А л е к и н О.А. Основы гидрохимии. Л., 1970. 443 с.

А л е к и н О.А., С е м е н о в А.Д., С к о п и н ц е в В.А. Руководство по химическому анализу вод суши. Л., 1973. 268 с.

А л е к и н О.А., М о р и ч е в а Н.П. Расчет характеристик карбонатного равновесия. – В кн.: Современные методы анализа природных вод. М., 1962, с. 158-171.

А н т и п о в Н.П. Климат. – В кн.: Природа Вологодской области. Вологда, 1957, с. 111-135.

А р и н у ш к и н а Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М., 1961, 490 с.

Б а б к и н В.И. Внутригодовая зарегулированность стока рек равнинной территории европейской части СССР и факторы, ее определяющие. – Тр. ГГИ, 1969, вып. 174, с. 59-95.

Б а к а с т о в С.С. Режим грунтовых вод в прибрежной зоне Рыбинского водохранилища. – Бюл. Ин-та биологии внутренних вод, 1959, № 4, с. 49-54.

Б а р а н о в И.В. Лимнологические типы озер СССР. Л., 1961. 276 с.

Б а р а ш к о в а Е.П., Г а е в с к и й В.Л., Д ь я ч е н к о Л.Н. и др. Радиационный режим территории СССР. Л., 1961, 528 с.

Б а р х а т о в а В.П. К геологии бассейна юго-восточного побережья Онежского озера и верховьев р. Онеги. – Тр. Сев. геол. упр., 1941, М.Л., вып. 9, 110 с.

Б е з р у к о в П.Л., П е т л и н В.П. Руководство по сбору и первичной обработке морских донных осадков. – Тр. Ин-та океанологии АН СССР, 1960, т. 44, с. 81-111.

Б е р л я н д Т.Г. Распределение солнечной радиации на континентах. Л., 1961. 226 с.

Б о г о с л о в с к и й Б.Б. Озероведение. М., 1960, 335 с.

Б р а с л а в с к и й А.П., В и к у л и н а З.А. Нормы испарения с поверхности озер и водохранилищ. Л., 1954. 221 с.

Б у с л а е в а А.А., Ф е д о т о в а Т.Н. Воды дочетвертичных отложений. – В кн.: Гидрогеология СССР. Т. XLIV. М., 1969, с. 104-201.

Б ы л и н к и н а А.А. О времени и скорости оборота минерального фосфора в поверхностных водах. – В кн.: Материалы к совещанию по прогнозированию содержания биогенных элементов и органического вещества в водохранилищах. Рыбинск, 1960, с. 37-44.

Виноградов А.П. Введение в геохимию океана. М., 1967. 215 с.
Воробьев Г.С. Ландшафтная типология малых озер и возможности их хозяйственного использования (на примере западной части Вологодской области). Автореф. канд. дис., Л., 1974. 15 с.
Воронков П.П. Основные черты формирования режима ионного состава поверхностных вод в условиях севера. – Тр. ГГИ, 1951, вып. 33 (87), с. 64–128.
Гидрогеология СССР. Т. XLIУ. Архангельская и Вологодская области. М., 1969. 299 с.
Гидрографические характеристики речных бассейнов европейской территории СССР. Л., 1971. 99 с.
Гирс А.А. Особенности многолетних колебаний циркуляции атмосферы в отдельных месяцах года. – Метеорология и гидрология, 1958, № 12, с. 23–28.
Гирс А.А. Макроциркуляционный метод долгосрочных гидрометеорологических прогнозов. Л., 1974, 487 с.
Горелова Э.М. Радиационный режим и проникающая радиация. – В кн.: Кубенское озеро. Ч. I. Л., 1977. 306 с.
Гусаков Б.Л., Расплетина Г.Ф. Гидрохимическая характеристика. – В кн.: Озера Лача и Воже. Л., 1975, с. 13–16.
Драчев С.М., Разумов А.С., Бруевич С.В. и др. Методы химического и бактериологического анализа воды. М., 1953. 279 с.
Дроздова В.М., Петренчук О.П., Селезнева Е.С., Свистов П.Ф. Химический состав атмосферных осадков на ЕТС. Л., 1964. 209 с.
Ерлыков Н.П., Мансуров А.В. Материалы по исследованию озер Лача-Кубенского водного сообщения. – В кн.: Лаче-Кубенский водный путь и его значение. Вологда, 1927, с. 12–33.
Ермолин В.В. Озеро Лача. – Изв. Всес. геогр. об-ва, 1970, т. 102, № 4, с. 384–387.
Ермолин В.В. Озеро Лача. – В кн.: Природа и хозяйственное использование озер Псковской области и прилегающих областей. Псков, 1971, с. 71–72.
Зайков Б.Д. Очерки по озероведению. Ч. I. Л., 1955. 271 с.
Изотова А.Ф. Осадки в районе озер. – В кн.: Озера Лача и Воже. Л., 1975, с. 6–8.
Изотов В.Ф. Гидроклиматическая роль заболоченных лесов северной подзоны тайги. – В кн.: Вопросы геоморфологии и гидрологии северной половины Русской равнины. Ярославль, 1974, с. 3–12.
Кириллова Т.В. Радиационный режим озер и водохранилищ. Л., 1970. 251 с.
Кожевников М.П. Гидравлика ветровых волн. М., 1972. 268 с.
Кордэ Н.В., Горлова Р.Н., Смирнов Н.Н., Смирнова В.М. Донные отложения озерных водоемов как отображение их режима в настоящем и прошлом. – В кн.: Круговорот вещества и энергии в озерных водоемах. Новосибирск, 1975, с. 199–205.
Крылова Л.Г., Скопинцев Б.А. Содержание органического углерода в водах рек и озер Подмосковья и крупных рек Советского Союза. – В кн.: Гидрохимические материалы. Т. XXУIII, Л., 1959, с. 28–44.
Кузьмин П.П. Радиация, отраженная от поверхности моря и поглощенная слоями воды различной глубины. – Метеорология и гидрология, 1933, № 7–8, с. 3–11.

Курочкина А.А. Литология и хемостратиграфия донных отложений Онежского озера. – В кн.: Палеолимнология Онежского озера. Л., 1976, с. 74–129.

Курочкина А.А. Донные отложения оз. Кубенского. – В кн.: Кубенское озеро. Ч. II. Л., 1977, 220 с.

Кучин И.В. Исследования рыболовства на Белом озере, оз. Чарондском, или Воже, и других озерах Белозерского и Кирилловского уездов Новгородской губернии. – Вестник рыбопромышленности, 1902, № 8, с. 00–00.

Малинина Т.И., Татаринова Т.А. Уровенный режим и водный баланс озер Лача и Воже. – В кн.: Озера Лача и Воже. Л., 1975, с. 10–12.

Малинина Т.И. Водный баланс Ладожского озера. – В кн.: Гидрологический режим и водный баланс Ладожского озера. Л., 1966, с. 182–203.

Мартынова М.В. Динамика азота в илах Можайского водохранилища. Автореф. канд. дис. М., 1973. 22 с.

Мокиевский К.А. Радиационный баланс Онежского озера. – В кн.: Тепловой режим Онежского озера. Л., 1973, с. 52–134.

Николава Е.А., Скопинцев Б.А. Бихроматная окисляемость в водах рек и озер Подмосковья и крупных рек Советского Союза. – В кн.: Гидрохимические материалы. Т. XXX1. Л., 1961, с. 113–126.

Новиков П.И. Рыбы водоемов Архангельской области и их промысловое значение. Архангельск, 1964, с. 96–97.

Озеро Кубенское. Ч. I. Л., 1977. 307 с.

Охлопкова А.Н. Течения и внутренний водообмен. – В кн.: Озера Лача и Воже. Л., 1975, с. 12–13.

Основные гидрологические характеристики. Т. 3. Северный край. Л., 1966. 394 с.

Пахтусова Н.А. Геологическое строение. – В кн.: Гидрогеология СССР. Т XL1Y. М., 1969, с. 37–60.

Пивоваров А.А. Термика замерзающих водоемов. М., 1972. 139 с.

Пронин А.Г. Изменчивость элементов водного баланса крупных озер Северо-Запада европейской части СССР. – В кн.: Труды Всесоюзного симпозиума. Т. I. Режим озер. Вильнюс, 1970, с. 303–312.

Распопов И.М. Зарастаемость озер макрофитами. – В кн.: Озера Лача и Воже. Л., 1975, с. 18–20.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.3. Северный край. Л., 1972. 661 с.

Руководство по расчету параметров ветровых волн. Л., 1969. 138 с.

Румянцева Э.А. Модификация ампульного персульфатного метода определения органического углерода в пресных водах. – В кн.: Гидрохимические материалы, Т. LX1X. Л., 1977, с. 97–104.

Савинов Ю.А. Четвертичные отложения Архангельской и Вологодской областей и их водоносность. – В кн.: Северо-Запад европейской части СССР. Вып. 4. Л., 1965, с. 54–64.

Скопинцев Б.А. Органическое вещество в природных водах. Л., 1950, 290 с.

Смирнова Н.П. Радиационный баланс Ладожского озера. – Тр. Лаб. озероведения, 1968, т. XXII, с. 5–72.

С о к о л о в Н.Н. Рельеф и четвертичные отложения. – В кн.: Природа Вологодской области. Вологда, 1957, с. 58–97.

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 о л о в ь е в а Н.Ф., Р а с п л е т и н а Г.Ф. Гидрохимия притоков Онежского озера и элементы его химического баланса. – В кн.: Гидрохимия Онежского озера и его притоков. Л., 1973, с. 3–129.

С о с к и н И.М. Эмпирические зависимости для расчета ветровых течений. – Тр. ГОИН, 1962, вып. 70, с. 3–27.

С п р а в о ч н и к по климату СССР. Вып. 1; ч. II. – 1965, ч. 1У – 1968. Л.

С т р а х о в Н.М. Образование осадков в современных водоемах. М., 1954. 787 с.

Т а ч а л о в С.Н. Методика и результаты наблюдений над температурой грунтов дна Рыбинского водохранилища. – В кн.: Сборник работ Рыбинской ГМО. Вып. 3. Л., 1966, с. 3–16.

Т а ч а л о в С.Н. Теплообмен воды с грунтами дна Рыбинского водохранилища. – В кн.: Сборник работ Рыбинской ГМО. Вып. 4. Л., 1968, с. 3–10.

Т е х н и ч е с к и е указания по расчету испарения с поверхности водоемов. – В кн.: Материалы междуведомственного совещания по проблеме изучения испарения с водной поверхности. Л., 1969, с. 5–95.

Т и х о м и р о в А.И. Классификация озер умеренной зоны по термическому режиму. – В кн.: Труды Всесоюзного симпозиума. Т. I. Режим озер. Вильнюс, 1970, с. 174–185.

Т и х о м и р о в А.И., Е г о р о в А.Н. Термический режим. – В кн.: Озера Лача и Воже. Л., 1975, с. 8–10.

Т р и ф о н о в а Н.А. Соединения азота в Рыбинском водохранилище. Автореф. канд. дис. М., 1974. 28 с.

Ф и л е н к о Р.А. Характеристика ионного стока поверхностных вод Вологодской области. – Вестн. ЛГУ, 1964, № 12, вып. 2, с.116–128.

Ф и л е н к о Р.А. Воды Вологодской области. Л., 1966. 131 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.

K a m p – N i e l s e n L. Mud water exchange of phosphate and other ions in undisturbed sediment cores and factors affecting the exchange rates. – Arch. f. Hydrob., 1974, B.73, N 2, p. 218–237.

K a m p – N i e l s e n L. Seasonal variation in sediment-water exchange of nutrien ions in Lake Esrom. – Verh. Internat. Verein. Limnol., 1975, v. XIX, p. 2. p. 1057–1085.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие ..... 3

Глава 1. Природные условия бассейна озер (М.Ф. Веселова) ..... 5

Глава 2. Водный баланс и уровенный режим ..... 18
2.1. Водный режим рек (В.А. Кириллова) ..... 18
2.2. Осадки и испарение (А.Ф. Изотова) ..... 37
2.3. Водный баланс (Т.И. Малинина) ..... 44
2.4. Уровенный режим (Т.А. Татаринова) ..... 61

Глава 3. Динамика водных масс ..... 71
3.1. Течения и внутренний водообмен (А.Н. Охлопкова, А.Ю. Тержевик) ..... 71
3.2. Режим волнения (Ф.Ф. Воронцов) ..... 85

Глава 4. Тепловой режим и баланс ..... 99
4.1 Радиационный баланс (Э.М. Горелова) ..... 99
4.2. Потери тепла на испарение и турбулентный обмен с атмосферой (А.Ф. Изотова) ..... 131
4.3. Тепловой приток и сток (В.А. Кириллова) ..... 141
4.4. Термический режим и теплозапасы (А.Н. Егоров, А.И. Тихомиров) ..... 150
4.5. Тепловой баланс (А.И. Тихомиров) ..... 168

Глава 5. Гидрохимия озер и их притоков ..... 176
5.1. Гидрохимия притоков оз. Воже (Г.Ф. Расплетина) ..... 177
5.2. Гидрохимический режим оз. Воже (Г.Ф. Расплетина) 189
5.3. Гидрохимия притоков оз. Лача (Б.Л. Гусаков) ..... 213
5.4. Гидрохимический режим оз. Лача (Б.Л. Гусаков) ..... 229

Глава 6. Донные отложения (А.А. Курочкина) ..... 250

Литература ..... 284

ГИДРОЛОГИЯ ОЗЕР ВОЖЕ И ЛАЧА
( в связи с переброской северных вод в бассейн р. Волги)

Утверждено к печати Институтом озероведения АН СССР
Редактор издательства Г.Л. Кирикова. Художник Г.В. Смирнов.
Технический редактор Л.Н. Чешейко. Корректоры А.А. Гинзбург, Н.В. Лихарева и Т.А. Румянцева

ИБ № 8374

Подписано к печати 27.11.78. М-20704. Формат 60x90 1/16. Бумага офсетная № 1.
Печать офсетная. Печ. л. 18,0=18,0 усл.печ.л. Уч.изд.л. 14,66. Тираж 600.
Изд. № 6742. Тип. зак. № 420. Цена 2 р. 20 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

2р. 20к.

2763

«НАУКА»
ЛЕНИНГРАДСКОЕ
ОТДЕЛЕНИЕ