ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ КЛАССИФИКАЦИИ ОЗЕР

ЕЛ 202.21

УДК 001.8:50; 550.46; 551.481; 556.55; 574.57

Теоретические вопросы классификации озер. – СПб.: Наука, 1993. – 192 с.

Рассмотрены современные проблемы классификации географических систем и излагаются основные положения классификационной проблемы в лимнологии. Обобщены классификации озер по ведущим признакам: морфологическим, морфометрическим, гидрологическим, термическим, по уровню биологической продуктивности. Предложенный комплекс классификационных признаков с учетом природных и климатических характеристик района использован в классификации озер и их распределения в гумидной и аридной зонах страны. Выявлены приоритетные показатели в классификациях озер. Рекомендованы оценочные взаимозаменяемые критерии трофического статуса озер для использования в системе мониторинга. Рассмотрены возможности применения статистических методов в лимнологии и даны рекомендации по применению персональных компьютеров в классификации озер. Библиогр. 373 назв. Ил. 15. Табл. 26.

Рецензенты: канд. геогр. наук Т.П. ГРОНСКАЯ,
канд. геогр. наук Д.В. СЕВАСТЬЯНОВ

Редактор издательства Л.А. РЕЙХЕРТ

„The theoretical problems of the lakes classification". Authors: N.P.Smirnova, A.G. Isachenko, I.N. Andronikova, I.V. Bovykin, I.N. Sorokin, N.P. Beletskaia, S.A. Leontiev, V.A. Rumiantsev, L.I. Sedova, A.M. Smoriakova, L.A. Sokolova.

The modern problems of the classification of the geographical systems are considered in the monograph. The main ideas of the classification problem in limnology are introduced. The lakes classifications are generalized according to the leading factors: morphological, morphometrical, hydrological, thermical, biological productivity level.

The proposed complex of the classification factors taking into account the natural and climatical characteristics of the area is used in the classification of lakes and their distribution in humid and arid zones of the country. The principal factors in the lakes classification are revealed. The estimating coreplacable criteria of lakes trophic status are recommended for using in the monitoring system. The possibilities of using of the statistic methods in limnology are considered and recommendations on using the personal computers in the lakes classification are given.

Т $\frac{1805040700-531}{042(02)-93}$ 324-92-II полугодие

ISBN 5-02-024687-5

© Н.П. Смирнова, А.Г. Исаченко, И.Н. Андроникова, И.В. Бовыкин, И.Н. Сорокин, Н.П. Белецкая, С.А. Леонтьев, В.А. Румянцев, Л.И. Седова, А.М. Смоляркова, Л.А. Соколова, 1993
© Российская академия наук, 1993

1995
90-21

ПРЕДИСЛОВИЕ

Среди наиболее сложных теоретических проблем лимнологии первой следует назвать классификацию озер. Уже около 100 лет изучаются эти природные объекты и делаются попытки распределить озера на группы, классы по признакам их сходства и различия.

Еще в 30-е годы Г.Ю. Верещагин в работе „Сравнительно-лимнологическое изучение озер как очередная задача русской лимнологии" (Тр. I Всероссийского гидрологического съезда. Л., 1925. С. 171-173) писал, что установление типов озер – это основная задача лимнологии, так как раскрываются закономерности, связывающие озера друг с другом и ландшафтом. Он отмечал и большое практическое значение классификаций, ибо они помогают разобраться в обилии озер и более правильно использовать их в хозяйстве.

Естественно, что каждое конкретное исследование озер завершается расстановкой их по тому или иному признаку. Представление об озере как едином целом, как элементе ландшафта могут дать комплексные классификации, основанные на ряде признаков.

В Институте озероведения АН СССР комплексной классификацией озер в 60-70-е годы занималась экспедиция под руководством канд. геогр. наук Л.Ф. Форш. В 1968-1969 гг. вышли „Озера различных ландшафтов Северо-Запада РСФСР" (Л.: Наука. Ч. I. 212 с. и Ч. II. 302 с.), а в 1974 г. – „Озера различных ландшафтов Кольского полуострова" (Л.: Наука. Ч. I. 276 с. и Ч. II. 236 с.). В этих Трудах авторы используют до 40 признаков, которые ими детально исследуются, и по этим признакам озера разделяются на группы, классы, но приоритет отдается ландшафту.

В современных работах (Кожара, 1989) классифицирование природных объектов (водохранилищ) приводится уже по 90 признакам! По мере накопления новых данных исследователи постоянно будут возвращаться к проблеме классификации озер, что сделали и мы через четверть века после опубликования названных выше работ.

Наша цель состояла в обобщении и обзоре существующих классификаций, выборе таких признаков, которые отражают разные стороны жизни водоема и в то же время не требуют специальных исследований, а позволяют использовать простейшие наблюдения, наиболее доступные и массовые, выполненные в прежние годы. Наша

задачи включали поиски новых признаков и подходов к классификационной проблеме в лимнологии и разработке теоретических основ классификации по совокупности признаков, относящихся к системе водосбор–озеро.

Нами использован обширный материал наблюдений, выполненных Гидрометеорологической службой СССР, экспедициями Института озероведения АН СССР, Институтом географии АН Казахстана, лабораторией озероведения Белорусского университета, педагогическими институтами Пскова, Новгорода, Челябинска, Новосибирска, Петропавловска, отделениями ГосВНИИОРХа и др. (лит. 370 названий).

В гл. I настоящей монографии представлены общегеографические положения об иерархии природных объектов и основные теоретические проблемы классификации в лимнологии. Гл. II посвящена обзору известных классификаций по морфологическим, морфометрическим, термическим и трофическим признакам. В гл. III на основе выбранных и предложенных признаков рассмотрены классификационные особенности озер в двух контрастных по природным и климатическим условиям зонах – гумидной и аридной. Гл. IV посвящена возможностям применения математических методов и прежде всего методов статистики в классификации озер и озерных процессов, а также перспективам использования компьютерной техники, что не только ускоряет решение классификационных задач, но и позволяет создать банк данных, без которого невозможно решать вопросы, связанные с обобщением данных.

В процессе подготовки работы к печати участвовала ст. лаборант М.Ю. Зуенко, которую мы и благодарим за помощь.

Глава 1

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КЛАССИФИКАЦИИ ОЗЕР

1.1. Проблемы классификации географических систем

В любой научной дисциплине вопросы классификации занимают видное место. Функции классификации отнюдь не сводятся к тому, чтобы помочь внести определенную систему в научное описание или облегчить составление библиографических указателей. Разработка классификации заставляет теоретически осмыслить и обобщить весь накопленный данной наукой „багаж", в классификации находят свое выражение основные закономерности, присущие изучаемым предметам и явлениям. Велико организующее значение классификации для развития науки – она позволяет вскрыть пробелы в наших знаниях и планировать дальнейшие исследования (включая, в частности, районы и маршруты экспедиций, места размещения полевых стационаров и т. п.).

Наличие классификации и глубина ее разработки – важное условие для реализации научных достижений, т. е. для их прикладного использования. Объединяя безграничное множество конкретных объектов (растений, фитоценозов, болот, озер и т. д.) в некоторое, относительно небольшое число типологических групп (типов, классов, видов), мы создаем научную основу для разработки типовых мероприятий по их освоению, использованию, охране и т. д. Можно ожидать, что типологически (а следовательно, качественно) сходные объекты будут обладать сходными свойствами с точки зрения их практического использования, однотипно реагировать на хозяйственные или мелиоративные воздействия. Для географических наук, имеющих прямое отношение к рациональному использованию и охране природной среды, это обстоятельство имеет немаловажное значение, лишний раз подчеркивая актуальность классификационной проблематики.

Подходы к классификации изменяются вместе с развитием науки – по мере углубления в познание предмета изучения. Поэтому разработанность классификации в значительной мере отражает степень зрелости той или иной науки, достигнутую ею стадию позна-

ния. С другой стороны, прогресс науки заставляет постоянно возвращаться к классификации, пересматривать и совершенствовать ее.

Объекты географических исследований сами по себе чрезвычайно многообразны, это находит отражение в исключительной разветвленности географии как системы наук. Естественно, с этим связана множественность географических классификаций, каждая из которых основана на специфических критериях – соответственно специфике изучаемого объекта (формы рельефа, климат, реки, озера, ландшафты и т. д.). Классификация географических объектов могла бы составить задачу самостоятельного исследования. Для этого потребовалось бы сначала определить, что следует понимать под г е о г р а ф и ч е с к и м объектом. Однако подробное углубление в эту тему увело бы нас далеко, если принять во внимание дискуссионность взглядов на предмет географии, на ее единство и сферу ее исследований, в особенности если учесть практическую безграничность и неопределенность круга предметов и явлений, вовлеченных в сферу социально-экономической географии.

Поэтому в данном случае мы сразу же введем одно существенное ограничение: в дальнейшем речь пойдет только о п р и р о д н ы х (физико-географических в широком смысле слова) объектах. И второе: под географическими объектами (природными) будем подразумевать природные территориальные и акваториальные комплексы (геокомплексы, геосистемы) и их компоненты. Можно говорить, таким образом, о двух главных категориях географических объектов или о двух главных уровнях организации предметов и явлений в сфере физической географии. Верхний уровень – это сложные, многокомпонентные пространственно-временные системы – наземные и водные, к которым, в частности, относятся и озера и которые В.Б. Сочава удачно назвал г е о с и с т е м а м и (Сочава, 1978). Нижний уровень – компоненты этих систем (географические компоненты, компоненты ландшафта), представляющие собой структурные части геосистем или их субсистемы первого порядка. К ним относятся воздушные и водные массы, формы рельефа, биоценозы, почвы, донные отложения. Эти компоненты в свою очередь могут быть „разложены" на составные части второго порядка (отдельные горные породы, ионы водных растворов, мертвое органическое вещество, виды растений и животных и т. п.), которые иногда называют элементами ландшафта, но они уже не относятся к сфере географических исследований, представляя своего рода „строительный материал" для географических дисциплин.

Географические объекты в указанном смысле достаточно разнообразны и разнокачественны, их классификации, очевидно, должны строиться на существенно различных критериях. Тем не менее при всей их разнокачественности географическим объектам присущи некоторые общие особенности, которые отличают их от других природных объектов и определяют их „географичность". Эти общие особенности заключаются в их м н о г о м е р н о с т и. Географи-

ческая традиция всегда особо подчеркивала пространственность или территориальность (хорологичность) объектов исследования. Ни в какой мере не отвергая необходимость рассматривать географические объекты во времени (к чему мы вернемся ниже), нельзя не признать исключительной важности для них фактора пространства.

Качественное своеобразие химических элементов и соединений, а также простых физических тел и даже организмов, т. е. всего того, что для географа выступает в виде элементов географических систем, не зависит от их местонахождения в пространстве Земли (как, впрочем, и от фактора времени). В отличие от подобных объектов качественные характеристики географических систем и их компонентов существенно изменяются в зависимости от их местонахождения на Земле (точнее, в пределах географической оболочки), а также от собственных пространственных параметров – размеров, формы, взаимного расположения. Например, как известно, различия между крупнейшими и мельчайшими озерами далеко не чисто внешние, а существенные, генетические. К числу качественных признаков геосистем относится их внутренняя пространственная структура, т. е. характер взаимного расположения составных структурных частей (например, гряды и мочажины на верховом болоте, вертикальная стратификация в озерах и т. п.). В ландшафтоведении сложились понятия о вертикальной (радиальной) и горизонтальной (латеральной) структуре геосистем, о морфологии ландшафта как закономерном расположении в его пределах подчиненных локальных систем (урочищ, фаций). К этому следует добавить, что пространственная структура географических объектов и все их пространственные параметры не есть нечто статичное, застывшее – они подвержены непрерывным изменениям во времени, а в ряде случаев (воздушные, водные массы) и перемешиваниям в пространстве.

Преимущественное внимание к размещению, пространственной неоднородности и пространственным соотношениям географических объектов обусловило появление р а й о н и р о в а н и я – систематики особого рода, присущей именно географии. В комплексной физической географии исследования по районированию намного опередили разработку типологических классификаций. Иначе говоря, стремление разобраться в пространственных соотношениях географических объектов и мысленно упорядочить эти соотношения в форме специальных картографических моделей (схем районирования) предшествовало попыткам классифицировать эти объекты по качественному сходству. Хотя районирование во многом напоминает классификацию, строго говоря, его нельзя считать классификацией в общепринятом смысле этого слова. Если при классификации мы по мере перехода от низших ступеней к высшим все более абстрагируемся от индивидуальных признаков отдельных объектов, стремясь выявить у них все более общие признаки, то при районировании, напротив, происходит „индивидуализация". Категории классификации – виды, роды, классы и т. д. – в сущности отвлеченные

понятия, созданные в результате научной абстракции. Единицы районирования – страны, области, провинции и др. – сугубо конкретные, уникальные объекты. В природе нет второй Восточно-Европейской равнины или ее второй Северо-Западной таежной провинции. И чем выше ранг региона, тем он уникальнее и богаче по содержанию, тем выше его индивидуальность. В типологической классификации высшие категории по своему содержанию беднее низших, так как в процессе обобщения мы вынуждены постепенно отбрасывать один за другим различные качественные признаки, оставляя только самые общие (классификации растений и животных – тому классические примеры, но то же происходит при классификации форм рельефа, озер или ландшафтов).

Можно ожидать, что чем сложнее системы, тем труднее их классифицировать. Этим и объясняются отставание в области классификации геосистем и ее пока еще недостаточная разработанность. Классификации отдельных компонентов, естественно, разработаны лучше. Все же обобщение опыта различных географических наук позволяет наметить определенные подходы и принципы классификации сложных геосистем.

Прежде всего важно заметить, что наличие у географических объектов пространственной организации, противоречивое соотношение процессов их дифференциации и интеграции в географической оболочке обусловливают специфическую для каждого класса объектов разноранговость, т. е. и е р а р х и ч н о с т ь. Иерархия выражается в виде рядов соподчиненных однородных объектов, различающихся по размерам и степени сложности пространственной структуры, например макро-, мезо- и микрорельеф; макро, мезо- и микроклимат. В каждой географической науке, по-видимому, может быть построен свой иерархический ряд – для тех или иных компонентов или для геосистем в целом.

В комплексной физической географии установлено значительное число ступеней субординации геосистем. Принято различать три главных уровня их организации: глобальный, региональный и локальный. Высший глобальный уровень представлен в единственном числе – географической оболочкой (эпигеосферой) (рис. 1). На каждом их двух последующих уровней различается целая серия ступеней. К региональным геосистемам относятся ландшафтные зоны, секторы, страны, области и др., к локальным – местности, урочища, фации и некоторые другие. В этом ряду особое, „узловое" положение занимает ландшафт как территориальная единица, расположенная на стыке региональных и локальных систем.

Субординационный ряд геосистем есть выражение единства процессов пространственной дифференциации и интеграции в эпигеосфере. Рассматривая этот ряд „сверху вниз", мы как бы прослеживаем историю усложнения пространственной структуры эпигеосферы путем последовательного расчленения ее на все более дробные и простые системы низших порядков – вплоть до элементарной геосистемы, т. е. фации. Но одновременно необходимо рассматривать этот иерархический ряд как ряд интеграции, т. е. последовательного объеди-

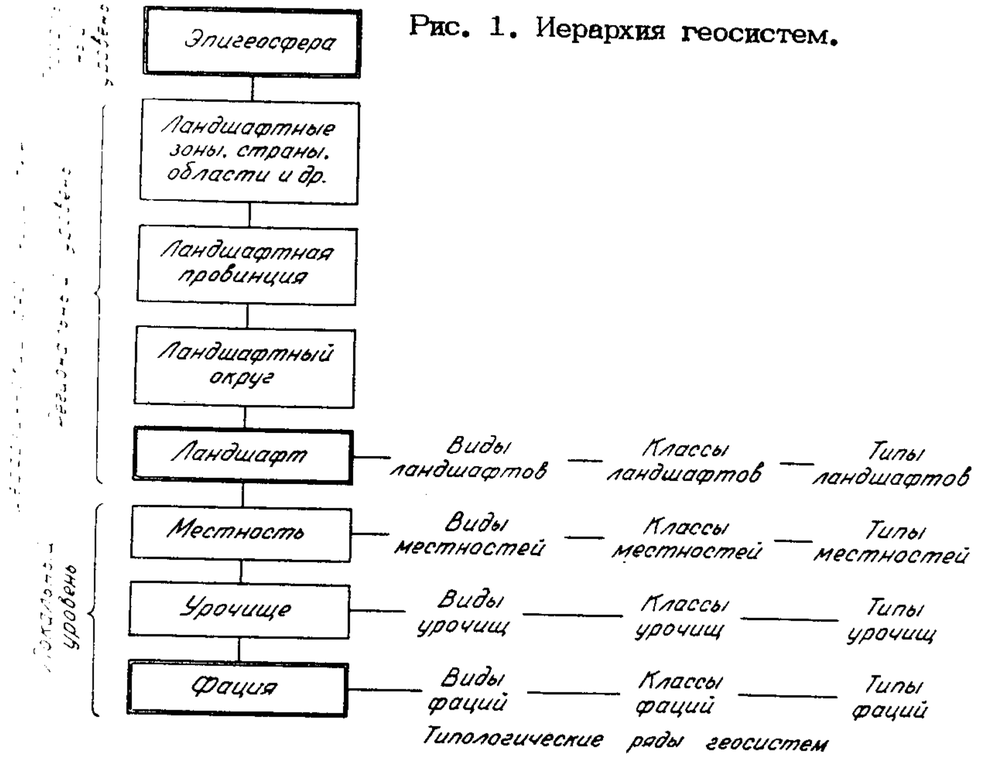


Рис. 1. Иерархия геосистем.

нения и усложнения – „снизу вверх". Такой подход заставляет обращать внимание на те факторы и процессы, на те „сквозные" вещественно-энергетические потоки, которые объединяют элементарные геосистемы в более сложные территориальные единства и в конечном счете – в целостную глобальную геосистему.

Построение подобного субординационного ряда геосистем, строго говоря, еще не есть классификация; эту процедуру правильнее было бы именовать р а н ж и р о в а н и е м геосистем. Но для географических наук ранжирование объектов исследования – будь то рельеф или другие компоненты, или целостные геосистемы – необходимая предпосылка или первый этап собственно классификации. Факт разноранговости географических объектов того или иного класса обусловливает невозможность построить для них одну классификацию: в одной и той же географической дисциплине приходится разрабатывать отдельные классификации для каждого „ранга", т.е. уровня территориальной сложности изучаемых объектов. В ландшафтоведении разрабатываются самостоятельные классификации ландшафтов, фаций, урочищ.

Географические классификации, следовательно, многомерны или многорядны. Не следует считать, что классификации, разработанные для территориальных систем разных уровней, абсолютно независимы и не связаны между собой – их объединяет единый субординационный ряд, в котором все уровни соподчинены. В комплексной физической географии вся систематика может быть представлена в виде дерева, ствол которого соответствует иерархическому ряду геосистем всех уровней – снизу вверх и сверху вниз, а ветви – класси-

фикационным (типологическим) объединениям геосистем на соответствующих уровнях (рис. 1).

Теоретически в каждой географической дисциплине может быть построено столько самостоятельных классификаций, сколько установлено „рангов", т. е. степеней территориальной сложности изучаемых объектов, или ступеней в иерархическом ряду. Практически, однако, в этом не бывает надобности. Как уже отмечалось, с повышением ранга географического объекта возрастает его индивидуальность, одновременно уменьшается число конкретных объектов (в конечном счете до единицы в лице эпигеосферы), и актуальность типизации постепенно сходит на нет. В этом отношении принципиальная граница проходит между системами региональной и локальной размерности. Множественность локальных систем (в особенности фаций) делает практически невозможным изучение каждой из них в отдельности, предметом исследования служат преимущественно их типологические объединения (виды, классы и т.д.). Иначе говоря, применительно к изучению систем этого уровня типологический подход доминирует над индивидуальным. В региональной части иерархического ряда, напротив, индивидуальные черты выступают на передний план, чем и объясняется применение на этом уровне районирования как особого метода пространственной систематики, сохраняющего все индивидуальные черты объектов при переходе от низших ступеней к высшим.* Районирование в физической географии в сущности представляет собой частный случай ранжирования геосистем, точнее верхнюю часть иерархического ряда геосистем. Но в принципе геосистемы любого ранга, не исключая даже эпигеосферу, могут быть подвергнуты типологической классификации. Пока нам известна единственная, земная эпигеосфера, ни о какой классификации речи быть не может, но если со временем будут обнаружены аналогичные образования на других планетах, то возникнет вопрос об их сравнении и, возможно, классификации.

Особое „узловое" положение ландшафта в иерархическом ряду геосистем в значительной мере определяется тем, что он требует в равной мере и типологического, и индивидуального подхода к изучению. С одной стороны, ландшафт замыкает региональный ряд, все высшие региональные ступени геосистем можно рассматривать как объединения ландшафтов. С другой стороны, в ландшафте объединены в целостную территориальную систему все подчиненные ему локальные системы, которые принято рассматривать как его морфологические подразделения разных порядков.

Изложенные соображения относятся к наземным геосистемам, но они, надо полагать, в основных своих положениях применимы и к водным геосистемам, в том числе к озерам. Разноранговость

*В данном случае не затрагивается вопрос о более глубинных качественных, в том числе генетических различиях между геосистемами локального и регионального уровней (Исаченко, 1965).

присуща озерам почти в такой же мере, как и наземным геосистемам, и здесь напрашиваются определенные параллели. При выделении и характеристике ландшафтов небольшие озера рассматриваются как их морфологические части, сопоставимые с урочищами и фациями. Многие типы озер (например, термокарстовые, остаточные ледниково-подпрудные и др.) генетически связаны с определенными классификационными категориями ландшафтов и нередко играют выдающуюся роль в морфологической структуре последних, выступая в качестве субдоминантных геосистем второго порядка. Крупные озера, такие как Арал, Байкал, Ладожское, могут представлять собой уникальные водоемы, сопоставимые по своим размерам и внутренней структуре с региональными геосистемами различных рангов. Они практически не находят себе места в ландшафтных классификациях и в ландшафтном (физико-географическом) районировании, что вряд ли можно считать нормальным.

Таким образом, иерархический геосистемный подход, очевидно, может найти применение в классификации озер. Во всяком случае, два уровня сложности озерных геосистем – локальный и региональный – намечаются достаточно явственно, а при дальнейшем изучении, возможно, выработается и более детальная таксономия.

Центральный вопрос, возникающий при разработке любой классификационной системы,– выбор критериев классификации. Столь сложные объекты, какими являются геосистемы, обладают множеством качественных признаков, и в зависимости от того, какие из них принять за определяющие, можно построить разные классификации. Множественность классификаций одних и тех же объектов оправдывается множественностью их возможных назначений – научных и прикладных. Так, озера могут представлять интерес как с различных научных точек зрения (например, гидрохимической, гидрологической, палеогеографической и т. д.), так и с прикладных (рыбохозяйственной, транспортной, рекреационной и т. д.). Поэтому вполне закономерно классифицировать озера исходя из той или иной точки зрения. В результате мы получаем множество частных классификаций. Однако эти классификации не отражают закономерностей формирования, структуры, функционирования, эволюции озера как целостной геосистемы. Между тем опыт доказывает, что эффективность даже узкого практического использования наших знаний о геосистеме зависит от полноты комплексного (системного) охвата ее свойств и признаков как определенной целостности. В.В. Докучаев подчеркивал это обстоятельство еще сто лет назад.

Отсюда мы неизбежно приходим к заключению, что разработка частных классификаций не только не исключает создания общенаучной, универсальной или генетической классификации, но даже предполагает ее необходимость как базиса для более прочного обоснования разного рода частных классификационных схем. Всякое частное свойство системы взаимосвязано с другими свойствами и есть проявление некоторых общих закономерностей, следствие действия некоторых определяющих факторов.

В конечном счете можно сказать, что истинно научная классификация должна быть г е н е т и ч е с к о й . В географических науках генетический принцип выступает в единстве с хорологическим. Исследование пространственных свойств геосистем существенно обогащается применением генетического подхода. Напомним, что геосистемы – системы пространственно-временные. Им свойственна стадиальность развития (хорошо прослеживаемая, в частности, на примерах озер и болот). Важнейшие качественные особенности геосистем зависят от их возраста, достигнутой ими стадии развития. Даже чисто внешние, геометрические свойства геосистем неразрывно связаны с их генезисом (например, морфометрия озер, формы морских берегов или ледников, границы ландшафтов и их морфологических частей и т. д.). С другой стороны, учет пространственных закономерностей объясняет многие различия в происхождении и процессах эволюции геосистем. Так, в разных широтно-зональных условиях ландшафты разновозрастны, имеют различное происхождение и развитие их протекает неодинаково.

К сожалению, генетические черты геосистем не всегда удается учесть при классификации в прямой форме, поскольку роль фактора времени в их формировании изучена еще недостаточно, происхождение и эволюция многих геосистем еще не вполне выяснены. Поэтому создание генетической классификации в точном смысле этого слова применительно к геосистемам не всегда возможно. Однако генетические особенности геосистем – происхождение, возраст, пути развития – находят косвенное отражение в их современных структурно-динамических и функциональных свойствах, вплоть до чисто внешних, геометрических черт. Внешний и внутренний рисунок геосистем, их форма, характер границ, набор, взаимное расположение и конфигурация морфологических частей – все это имеет глубокую генетическую обусловленность. Таким образом, через учет разнообразных современных классификационных признаков в классификацию могут быть косвенно введены существенные генетические критерии.

Используя многоступенчатую классификационную систему, мы имеем возможность вводить все новые критерии (и использовать все больше признаков) по мере перехода от высших таксономических ступеней к низшим. Тем самым постепенно достигается наиболее высокая степень обобщения на высшей ступени и наибольшая степень сходства у охваченных объектов – на низшей. Принцип объединения по качественному сходству сохраняется на всех ступенях, только на нижних ступенях общих признаков будет больше и на высших – меньше. Что касается последовательности введения классификационных признаков, то по этому вопросу между специалистами нередко возникают расхождения. Так, одни авторы ландшафтных классификаций придают первостепенное классификационное значение широтно-зональному фактору, а на второй ступени вводят признак высотного (гипсометрического) положения, другие поступают наоборот. По-видимому, этому обстоятельству не следует придавать слишком большого значения, важнее в конечном счете стре-

[illegible] к возможно более полному учету к таксономической системе существенных свойств и признаков классифицируемых объектов.

Разработка классификации требует сочетания индуктивного и дедуктивного подходов. При индуктивном подходе первоисточником служат конкретные (индивидуальные) геосистемы, которые последовательно объединяются снизу вверх по таксономической лестнице. При дедуктивном подходе сначала устанавливаются классификационные категории высшего ранга, в рамках которых далее вычленяются подразделения все более низких таксономических уровней. Индуктивный подход обеспечивает полноту учета конкретного разнообразия объектов, их сходств и различий, но таит в себе опасность эмпиризма. Если не руководствоваться основополагающими принципами и не „привязывать" подробные, но зачастую узко региональные классификации, полученные индуктивным путем на ограниченном материале, к единой системе высших классификационных подразделений, то мы рискуем получить множество „нестыкуемых" классификаций. Поэтому необходимо одновременно идти обоими путями и, не дожидаясь, пока будут выявлены, описаны и сведены в первичные типологические объединения все геосистемы (на практике такая перспектива вообще нереальна в обозримом будущем), создать принципиальную схему на уровне самых высоких таксономических подразделений, опираясь на уже известные географические закономерности.

Используя такой подход, разрабатывалась классификация ландшафтов суши – более подробная для территории СССР (Исаченко, 1985), а на уровне верхних таксономических ступеней – для всех материков (Исаченко, Шляпников, 1989). Важнейшим рабочим инструментом в этих исследованиях служит типологическая карта (в данном случае ландшафтная). Как известно, карта не терпит пустоты и в то же время не допускает классификационных перекрытий – каждый пункт или площадь интерпретируются на карте однозначно в отношении их классификационной принадлежности. Именно применение сравнительно-картографического метода обеспечивает полноту и логическую строгость в систематике географических объектов.

При разработке классификации ландшафтов СССР применялись все доступные региональные ландшафтные карты в разных масштабах, сведенные на всю территорию страны в рабочих масштабах 1 : 1 500 000 или 1 : 2 500 000. При издании сводная ландшафтная карта СССР уменьшена до масштаба 1 : 4 000 000 (Ландшафтная карта..., 1988). Для остальной территории материков составлялись, как правило, ландшафтные карты в более мелких масштабах (1 : 4 000 000, 1 : 7 500 000 и мельче), в издании они еще более уменьшены и соответственно сильно генерализованы (Исаченко, Шляпников, 1989).

Обоснование классификации ландшафтов вместе с описанием выделенных таксонов дается в упомянутых источниках (Исаченко, 1985; Исаченко, Шляпников, 1989). Здесь же приведем лишь общую таксономическую схему. В ней насчитывается 5 основных сту-

пеней (не считая некоторых промежуточных и вспомогательных). В качестве высшей категории принят тип ландшафтов, устанавливаемый на основе наиболее общих черт тепло- и влагообеспеченности, которые определяются зональными и секторными различиями в радиационном балансе, циркуляции атмосферы, степени увлажнения и континентальности. Глобальные гидротермические факторы в свою очередь определяют наиболее общие черты сходства ландшафтов в современных геоморфологических, геохимических, почвообразовательных и других процессах, в типах биоценозов, биологической продуктивности, биологическом круговороте, в сезонной ритмике функционирования и т. д. Примеры типов ландшафтов: бореальные гумидные умеренно-континентальные (таежные восточноевропейские), тропические экстрааридные резко континентальные (пустынные сахаро-аравийские).

По второстепенным или переходным зональным признакам в большинстве типов различаются подтипы ландшафтов (например, северо-, средне- и южнотаежные в бореальных гумидных). На следующей ступени в классификацию вводится гипсометрический фактор, который служит критерием выделения классов и подклассов ландшафтов, отражающих высотно-ярусные и поясные закономерности. Главным высотным уровням соответствуют два класса ландшафтов - равнинный и горный. Основная отличительная особенность ландшафтов горного класса - наличие высотной поясности. В составе равнинного класса различаются два подкласса - низменные и возвышенные ландшафты (в том и другом могут быть барьерные варианты), в классе горных ландшафтов - подклассы низко-, средне- и высокогорный.

На нижних ступенях ландшафтной классификации в качестве определяющего критерия выступает твердый фундамент ландшафта - его петрографический состав, структурные особенности, формы рельефа. На этом критерии основано выделение низшей классификации ступени - вида ландшафтов, объединяющего ландшафты с небольшим числом общих признаков и максимальным сходством в генезисе, наборе компонентов, структуре, морфологии (для многих видов ландшафтов существенными классификационными признаками представляются озерность и характерные типы озер). Примеры видов в южнотаежных бореальных ландшафтах восточноевропейского типа: низменные на девонском основании, перекрытом ленточными глинами; возвышенные холмисто-моренные на цоколе из карбонатных верхнепалеозойских пород.

Изложенная классификация, по-видимому, не бесспорна и требует уточнений и детализации. Однако пока она остается единственной, по которой построено систематическое описание ландшафтов всей суши и бывшего Советского Союза. Возможно, опыт классификации ландшафтов суши в какой-то мере поможет в разработке геосистем иных категорий и рангов, в том числе водных.

1.2. Основные теоретические проблемы классификации в лимнологии

На всех этапах развития лимнологии классификация выступала как один из главных методов исследования. Такое положение классификации характерно для большинства описательных наук в отличие от физики и математики, где классификационные методы играли и играют второстепенную роль. Учитывая это обстоятельство, можно было ожидать снижения роли классификации как метода исследования озер, когда в лимнологии стали в последнее время все больше использоваться методы физического и математического моделирования.

Возрастание же интереса и потребность в классификации в лимнологии объясняются следующими причинами:

- усложнившейся экологической обстановкой, требующей для решения различных научных и практических задач одновременного учета многообразного комплекса природных факторов и набора противоречивых социально-экономических требований. В связи с этим первоочередной задачей становится оценивание объема и качества озерных вод и их размещения по территории страны;

- быстрым увеличением натурных и лабораторных данных. В связи с этим актуальными становятся задачи обработки и хранения информации, а также ее поиска, в которых классификационные методы играют традиционно ведущую роль;

- внедрением новых технических средств и методик и повышением точности измеряемых и рассчитываемых характеристик, что позволяет более детально описать исследуемые процессы, а это в свою очередь требует разработки новых классификаций, позволяющих адекватно, с требуемой детализацией описывать изучаемые явления;

- появлением широкого круга теоретических обобщений и построений, требующих новых классификаций, учитывающих ранее предложенные гипотезы и допущения.

На сегодняшний день можно выделить два типа лимнологических задач, в которых используются классификации (Смирнова и др., 1990). Первый тип включает задачи, в которых классификация используется для обобщения данных с целью их интерпретации либо дальнейшего использования при решении других задач. Классифицированы могут быть как исходные материалы наблюдений (экспедиционные, лабораторные), так и результаты расчетов. Большая часть современных задач лимнологии, использующих классификационные методы, относится к рассматриваемому типу.

Второй тип задач включает в себя классифицирование, т. е. отнесение рассматриваемого объекта (озера, водосбора и т. д.) к одному из известных классов на основе заданных признаков или их отсутствия.

По существу этот тип задач связан с проблемой восстановления информации по имеющимся наблюдениям: по косвенным признакам восстанавливаются прямые, являющиеся основой классификации, и

далее классифицированному объекту приписываются свойства, характерные для его класса.

Такого рода задачи возникают в различных случаях: 1) информация недоступна из-за того, что изучаемые процессы уже произошли. Примером может служить задача определения генезиса котловин озера; 2) информация может быть недоступна в связи с тем, что событие еще не произошло. В этом случае возникают задачи прогнозирования ситуаций в будущем. Примером может служить определение трофического статуса озера в ближайшие годы при планируемом антропогенном воздействии на водосбор. К этому же типу принадлежат задачи, в которых рассматриваемые озера необходимо отнести к определенному классу, не имея необходимых измерений на озерах и пользуясь только информацией по другим озерам, климатическими данными, картографическими материалами и т. п.

Бывают ситуации, при которых информация, необходимая для отнесения исследуемого объекта к тому или иному классу, хотя и может быть получена, но для этого необходимы значительные затраты времени и средств. Однако имеются возможности оперативно, без значительных затрат провести измерения других характеристик и на основании этих данных провести классифицирование. Возникающую в этом случае группу задач естественно также отнести к рассматриваемому типу. В качестве примеров могут служить такие задачи, как определение устойчивости температурной стратификации по морфометрическим показателям (Форш, 1974) и трофического статуса озера по величине прозрачности воды (Carlson, 1977). Список примеров может быть продолжен, поскольку задачи, относящиеся к рассматриваемому типу, многочисленны и играют важную роль в лимнологии, что связано с малым количеством натурных наблюдений на ограниченном числе объектов. К сожалению, такая ситуация в обозримом будущем вряд ли изменится.

Анализируя накопленный опыт решения задач классификации (Смирнов и др., 1979), необходимо указать на некоторые общие недостатки, свойственные не только лимнологии, но и географии в целом: 1) не всегда четко определяются цели и задачи исследования, что, в частности, приводит к недостаточно широкому и эффективному использованию математических методов классификации. В итоге на результатах классифицирования существенно сказывается субъективный подход исследователей; 2) отсутствует единая классификационная терминология. Даже такие основополагающие понятия, как „классификация", „классифицирование", „прямые" и „косвенные" признаки, „типология", „типизация" и другие, не являются четко определенными и в различных дисциплинах в них вкладывается разное содержание; 3) отсутствуют критерии качества классификаций, что не позволяет оценивать разрабатываемые классификации и сравнивать их между собой.

Лимнология, будучи наукой комплексной, объединяет специалистов различных областей знаний: географии, гидрологии, химии, биологии и др., развивающихся в большой степени независимо друг от друга и имеющих свои традиции классификации. Поэтому для лимнологии на данном этапе одна из главных задач состоит в создании единой классификационной терминологии. Выработка понятийного языка включает в себя не только уточнение и согласование существующих определений, но и введение новых понятий, приемлемых всеми специалистами, а также исключение тех терминов, которые не несут дополнительной смысловой нагрузки.

Сложность задачи выработки единой классификационной терминологии достаточно подробно представлена в монографии С.С. Розовой (1986). Опираясь на эту работу, предлагаем определения некоторых основных классификационных терминов, которые широко используются в лимнологии.

Классификационная деятельность включает в себя две основные задачи (Воронин, 1985):

– построение классов, предназначенных для описания совокупности объектов, а также для предсказывания новых классов;

– диагностирование, т. е. отнесение классифицируемого объекта к какому-либо классу.

Будем называть процедуру построения классов *построением классификации*, а результат этой процедуры, т. е. систему классов, *классификацией*. Процедуру диагностирования назовем *классифицированием*. Наряду с этими определениями под классификацией часто понимаем более широкое понятие, включающее в себя следующие объекты и действия: а) систему классов, предназначенных для характеристики объектов, однородных в определенном отношении; б) операцию построения этой системы; в) распределение исследуемых объектов по классам этой системы (Воронин, 1985; Кондаков, 1975). Последнее определение классификации объединяет в себе понятия классификация, построение классификации и классифицирование. Предложенные выше определения классификации не раскрыты до конца, так как не дано понятие системы классов. Основное расхождение в определениях состоит в том, что некоторые авторы понимают под системой классов некоторое разбиение реальных объектов (Воронин, 1985), а другие – систему соподчинения понятий, служащих для характеризации этих объектов (Большая сов. энц., 1953). Следовательно, исследователи вкладывают различное содержание в термин „классификация". Реальная же практика применения этого понятия значительно шире. В частности, вместо введенных ранее терминов „классифицирование" и „построение классификаций" обычно применялся термин „классификация". В настоящее время отказаться от многозначности этого понятия пока невозможно, поскольку нельзя не считаться со сложившейся практикой его использования. Поэтому в дальнейшем предлагается применять термин „классификация" только в описанных выше смыслах, четко осознавая, какое содержание вкладывается в каждом конкретном случае.

Другая проблема, которая длительное время обсуждается учеными, состоит в выяснении вопроса, какие классификации следует считать естественными, а какие нет и существуют ли в природе естественные классификации. Понятно, что эта задача заключается

прежде всего в выработке общепринятого понятия „естественная классификация" и поэтому является частью предыдущей проблемы. Следует также отметить, что задача прямо связана с такими важными теоретическими вопросами, как выбор основания классификации, критериев качества классификации и др.

Проблема естественности классификаций достаточно подробно анализируется в работах В.Ю. Забродина (1980, 1981, 1989). Приведем некоторые результаты этого анализа. Критерии естественности классификаций делятся на два типа: сильные и слабые. Сильный критерий сформулирован Г.Б. Бокием (по Забродину, 1981, с. 22) и звучит следующим образом: естественной является та и только та классификация, которая выражает закон природы. Таким образом, задача определения понятия „естественная классификация" заменяется задачей уточнения понятия „закон". Закон представляет собой универсальное утверждение, фиксирующее предельные связи в той предметной области, к которой оно относится (Ракитов, 1977). Как отмечено В.Ю. Забродиным (1980, 1989), законы могут быть выражены различным образом: в словесной форме, в виде математических выражений, в форме классификаций. Классификационная форма выражения закона удобна в тех случаях, когда количество описываемых законом связей велико. В такой постановке задача нахождения естественных классификаций сводится к более общей проблеме – открытию новых законов в конкретных областях знаний.

Общепризнано, что пока сильному критерию удовлетворяют две классификации – периодическая система элементов Д.И. Менделеева и кристаллографическая система Е.С. Федорова (Забродин, 1981; Сычева, 1989, и др.). Сильный критерий существует только один, и его можно рассматривать как определение естественной классификации.

Слабых же критериев имеется несколько. Приведем некоторые из них. Критерий А.А. Любищева (1979) предполагает, что в естественной классификации (системе) количество свойств объекта, поставленных в функциональную связь с его положением в системе, является максимальным.

Два критерия рассмотрены В. Уэвеллем (1869). В первом из них утверждается, что классификация тем естественнее, чем больше общих утверждений об объектах она дает возможность сделать (по Забродину, 1981). Очевидно, что этот критерий близок по смыслу к критерию А.А. Любищева. Во втором критерии В. Уэвеллья утверждается, что естественной следует называть такую классификацию, при которой упорядоченность объектов в ней сохраняется при смене классификационных признаков (по Мейену, 1978). Добавим к этому еще два критерия: 1) естественной является та классификация, которая позволяет достигнуть многих целей сразу (Чаплин, 1979); 2) естественной является та классификация, которая выдерживает максимальное количество парадигм (Забродин, 1980).

Существуют и другие критерии естественности (Мейен, Шрейдер, 1976; Панова, Шрейдер, 1974), которые обобщены и систематизированы в работе В.Ю. Забродина (1981). Следует отметить, что

если классификация удовлетворяет сильному критерию, то она удовлетворяет и всем слабым критериям. Обратное утверждение неверно. Известен еще один подход к проблеме естественных классификаций, который можно назвать конструктивным или функциональным (Кожара, 1989). При этом подходе естественные классификации образуются с помощью информационно-насыщенных таксономических структур, которые строятся методом многомерной статистики. В алгоритме построения заложена гипотеза о том, что с увеличением количества признаков таксономическая структура становится устойчивой к добавлению новых признаков. Классификации с информационно насыщенными таксономическими структурами, по мнению автора, удовлетворяют основным слабым критериям, сформулированным выше. В частности, классификации должны давать максимум сведений об индивидах, положение которых в таксономическом пространстве определено. Метод В.Л. Кожары (1989) по существу развивает традиционные взгляды на проблему естественности классификаций и представляется достаточно перспективным. На наш взгляд, этот подход целесообразно использовать и в лимнологии.

Естественная классификация, основанная на сильном критерии, выражает закон природы. Но процесс отыскания закона, а тем самым и естественной классификации трудно рационализировать, а может быть, и невозможно в отличие от функционального подхода, предложенного В.Л. Кожарой (1989). Однако полученные таким путем классификации нельзя отождествлять с классификациями, удовлетворяющими сильному критерию. Поэтому, на наш взгляд, необходимо ввести новые понятия, разделяющие эти виды классификаций.

Подход к решению проблемы естественности классификаций, разрабатываемый В.Л. Кожарой (1989), находится в начале своего пути. Дальнейшее его развитие связано в первую очередь с использованием новых процедур построения таксономических структур, основанных на других критериях и гипотезах.

Рассмотрим задачу естественности классификаций применительно к лимнологии. Приведем некоторые характерные мнения ведущих лимнологов относительно естественных классификаций.

Л.Л. Россолимо (1964) строит классификацию на основании следующих соображений: „Лимнологическая классификация бесспорно должна представлять собою систему типологических характеристик, которая охватывала бы все разнообразие озер независимо от их свойств и географического положения. Бесспорно также, что лимнологическая классификация не может основываться на отдельных признаках и частных по существу разнообразных показателях. Она должна строиться на едином принципе и основываться на таких характеристиках, которые возможно полно отражали бы сущность природы озера..." (с. 15–16). „... Сущность природы озера как сложного географического объекта составляет комплекс непрерывно происходящих в нем процессов превращения веществ и энергии" (с. 16). Хотя в этой работе не употребляется термин „естественная клас-

сификация", речь несомненно идет о ней, поскольку ставится задача выявления системы показателей, отражающих основные процессы, происходящие в озере. В качестве такого показателя рассматривается озерное накопление на основании того, что „...свойства накоплений являются как бы конечным выражением характера озерных процессов в определенных условиях географической среды..." (Россолимо, 1964, с. 19).

Следует отметить, что характеристики озерных накоплений несомненно выражают весь комплекс процессов, происходящих в озере, но отражают их недостаточно детально. При этом даже существенные особенности озера в предложенной классификации могут быть не учтенными.

В работе И.В. Баранова (1962) ставится задача найти и положить в основание классификации факторы, определяющие основные лимнологические процессы. По этому критерию сравниваются происхождение и морфометрические характеристики озер, с одной стороны, и физико-химические факторы – с другой, которым автор отдает предпочтение.

Сформулированные Л.Л. Россолимо и И.В. Барановым требования к классификациям несколько отличаются от критериев А.А. Любищева. Так, в формулировке Л.Л. Россолимо требуется, чтобы в характеристиках, положенных в основание классификации, были отражены основные свойства объекта, в то время как требование, сформулированное А.А. Любищевым, более сильное и заключается в том, что основные свойства объекта могут быть восстановлены по этим характеристикам. В критерии И.В. Баранова (1962) косвенно предполагается, что характеристики, положенные в основание классификаций, должны быть первопричиной основных лимнологических процессов, что в критерии А.А. Любищева не является обязательным. Тем не менее можно констатировать, что используемые в лимнологии критерии естественности классификаций являются похожими и близки к критерию А.А. Любищева, а указанные несоответствия в определенной степени связаны с нечеткостью формулировок.

Обобщая сказанное, можно заключить, что при создании естественных классификаций лимнологи обычно руководствуются следующим основным принципом: в основание классификаций следует класть такие признаки, которые максимально связаны с характеристиками озер, отражающими основные свойства водоема. Полученные таким образом классификации дают возможность представлять лимнологические процессы в обобщенном виде.

Для более детального описания разработаны десятки других частных классификаций, описывающих отдельные виды процессов: физических, гидрологических, химических, биологических и др. Среди них можно выделить такие классификации, которые в определенной степени также дают общее описание процессов, происходящих в озере. Это в первую очередь гидрологические и некоторые трофические классификации (Богословский, 1979; Винберг, 1959; Андроникова – в наст. моногр., § 2.3). Довольно полный обзор лимнологических классификаций представлен в работе Л.Е. Смирнова и др. (1979).

Следует отметить, что процесс построения классификаций в лимнологии плохо организован. Это связано, как правило, с тем, что требования, налагаемые на строящиеся классификации, нечетко сформулированы и в большой степени зависят от вкусов исследователей.

В лимнологии, как и в большинстве других описательных наук, существует определенный максимализм в подходе к решению рассматриваемой проблемы, а именно, на строящуюся классификацию накладывается большое количество требований, которые практически невозможно выполнить. В качестве примера приведем условия, которые накладываются на классификацию, о которой пишет В.Н. Абросов (1967). Лимнологические классификации должны: „1) рассматривать озера в тесной увязке с жизнью ландшафтов их водосборов, 2) опираться на идею возвратного развития озер, рассматривая явления во взаимосвязи и взаимообусловленности, 3) быть биогидроценотическими, 4) учитывать экологическую сукцессию по мере закономерного возрастания изменения среды в озерах, 5) давать количественную оценку баланса вещества и энергии на различных этапах развития озерных биогидроценозов". На наш взгляд, требования к классификации должны формулироваться исходя из функций классификаций. Четкое осознание этих функций позволяет наиболее обоснованно подходить к выбору или построению классификаций.

Изучение функций классификаций является одной из важных задач для их развития. В.Л. Кожара (1989) выделяет две основные функции классификаций: прогнозирования и коммуникации. Прогнозирование – свойство классификации удовлетворять потребность в отсутствующих сведениях. Иначе говоря, классификация выполняет функцию прогнозирования, если с ее помощью можно найти необходимую информацию, относящуюся к будущему, прошлому или настоящему. Следует отметить, что предложенное понятие прогнозирования шире традиционного.

Коммуникация – это свойство классификации удовлетворять потребность в согласованных действиях. Классификация в этом случае выступает в роли общей для исследователей меры, описывающей характеристики изучаемых объектов. В этой функции просматривается прямая аналогия классификации с различными метрическими шкалами, характеризующими вес, длину, объем и другие свойства объектов. Коммуникационная функция классификации является наиболее используемой в лимнологии, так как для подавляющего числа лимнологических задач результаты окончательных или промежуточных исследований представляются в классификационной форме. Так, в наиболее распространенных задачах первого типа, описанных выше, коммуникационная функция классификации является основной.

Функция прогнозирования в лимнологии используется в меньшей степени. Обычно рассматриваются два вида прогнозирования: аналоговое и структурное (Кожара, 1989). Аналоговое прогнозирование состоит в получении новых сведений с помощью перенесения свойств одного объекта на другой. Основанием этой процедуры служит принадлежность объектов к одному классу.

Самым распространенным видом аналогового прогнозирования является диагностирование или идентификация. При диагностировании происходит отнесение объекта к определенному классу, и после этого общие свойства объектов класса переносятся на новый объект.

Рассмотренные выше задачи второго типа по существу являются задачами диагностирования. Следует отметить, что чем естественнее классификация, тем больше общих свойств объектов у представителей одного класса (согласно критерию А.А. Любищева) и тем эффективнее производится прогнозирование. Следовательно, свойство естественности классификаций необходимо в первую очередь при реализации их прогностических функций.

Структурное прогнозирование состоит, как правило, в получении новых таксонов путем анализа таксономической структуры. Новые таксоны образуются с целью заполнить „свободное место" в существующей таксономической структуре. Наиболее ярким примером структурного прогнозирования является предсказание новых химических элементов с помощью периодической системы Д.И. Менделеева.

В лимнологии также можно найти примеры структурного прогнозирования. В работе Г.В. Дружинина (1980) предлагается динамическая классификация озер, которая является результатом анализа зависимостей колебания увлажненности территорий и уровней озер, с одной стороны, и колебаний уровней озер и форм озерных котловин – с другой. Анализ выполнен по материалам полевых исследований на озерах Северного Казахстана. Построенная классификация не только включила в себя изучаемые озера, но и позволила предсказать существование озер с таким сочетанием свойств, которые в этом регионе не встречались.

Приступая к классификации озер, следует иметь в виду, что чем больше функций накладывается на строящуюся классификацию, тем труднее и неопределеннее становится задача. Для успешного ее решения следует фиксировать одну четко сформулированную функцию, помня о том, что многоцелевые классификации, как правило, неудачны.

В заключение отметим, что кроме рассмотренных проблем классификации существует еще целый ряд нерешенных методологических и теоретических вопросов и задач. Так, в географических науках важным является вопрос о соотношении между классификацией и районированием. В некоторых работах выражается несогласие с употреблением термина „классификация" по отношению к районированию (Кайгородов, 1955). Однако большинство специалистов-географов придерживаются противоположного мнения (Калесник, 1959; Мурзаев, 1960). Несмотря на длительную историю, до сих пор вопрос остается открытым. В работе В.Л. Каганского (1989) обобщены результаты дискуссии ведущих специалистов-классификаторов на эту тему.

Проведенный анализ дает основание утверждать, что большинство методологических проблем классификации нельзя считать до конца решенными. Для успешного продвижения в данном направлении необходимы согласованные исследования специалистов различных областей знания. В настоящее время наблюдается тенденция объединения усилий ученых-классификаторов. Возникло так называемое классификационное движение, ставящее своей задачей решение основных методологических проблем классификации, а также создание теории классификации (классифицирования) (Воронин, 1985).

С сожалением следует констатировать, что в географических науках, в том числе и в лимнологии, чрезвычайно мало уделяется внимания рассмотренным здесь проблемам. Отсутствие должной теоретической базы отрицательно влияет на результаты классификационной деятельности, поэтому в дальнейшем данному направлению исследований следует уделить первоочередное внимание.

Глава 2

ПРИНЦИПЫ КЛАССИФИКАЦИИ ОЗЕР

Одновременно с развитием исследований на озерах появились работы, посвященные классификации озер (Forel, 1892; Анучин, 1897; Birge, 1915, 1916; Молчанов, 1929; Верещагин, 1930; Первухин, 1937; Иванов, 1949; Hutchinson, 1957; Elster, 1958; Богословский, 1959; Винберг, 1959; Григорьев, 1959а, б; Муравейский, 1960; Баранов, 1962; Hansen, 1962; Тихомиров, 1968; Якушко, 1971; Пармузин, 1975а; Салазкин, 1976; Carlson, 1977). Принципы классификаций, ведущие признаки в этих исследованиях определялись основной задачей.

Эти и новые классификации развиваются, изменяются с накоплением данных, новых подходов и условий.

В каждой классификации важнейшим является выбор признака, основания классификации. Прежде всего это должен быть приоритетный признак, постоянный, т. е. количественные показатели его не должны сильно колебаться и перекрывать пределы соседних классов, признак должен быть простым и информативным.

Основная задача, стоявшая перед нами, состояла в обобщении существующих принципов классификации озер и выдаче рекомендаций по выработке новых подходов к классификации озер как элементов ландшафта, как единого природного объекта. Мы исходили из основных географических факторов, которые определяют строение котловины и режим озера, процессы в нем протекающие. С.Д. Муравейский (1960) подчеркивал, что озеро – результат сочетания и взаимодействия климата, строения котловины и стока. К этому следует добавить и гидробиологические особенности озера, определяющие его трофический статус.

В этой главе рассматриваются в историческом аспекте принципы классификации озер, признаки, отражающие основные факторы, формирующие их.

2.1. Морфологические, морфометрические и гидрологические показатели и их роль в комплексной классификации озер и районировании

Существует значительное количество классификаций, устанавливающих происхождение озерных котловин, закономерности их строения и характер протекающих в них гидрологических процессов. В нашу задачу входит дать оценку лишь основным из них. Одними из первых в лимнологии стали возникать классификации генетических типов озерных котловин. Вполне естественно, что в начальный период развития науки об озерах ученых прежде всего интересовал вопрос о происхождении объектов исследований – озер. Не проводя хронологического обзора работ по этому вопросу, необходимо упомянуть работу М.А. Первухина „О генетической классификации озерных ванн" (1937). В ней рассмотрены все ранние (в основном зарубежные) классификации озер, основанные на их генезисе.

Уже в начальный период становления лимнологии существовали различные мнения о значимости фактора генезиса озер. Господствовал взгляд, что определение типа озера можно свести к выяснению его генезиса, который определяет не только морфологию, но и другие особенности озера. Однако М.А. Первухин высказал твердое мнение, что тип озера является функцией истории развития его в определенных физико-географических условиях, а не только результата генезиса котловины. Им высказана и еще одна важнейшая мысль о том, что морфология озера только на ранних стадиях развития полностью определяется происхождением. По мере эволюции озер различия между генетическими типами могут затушевываться.

Вообще вопросы происхождения озерных котловин более квалифицированно могут решаться геологами и геоморфологами. Так считал и Л.Л. Россолимо, решив не включать в русский перевод монографии Д. Хатчинсона „Лимнология" (1969) главу о происхождении и морфологии озерных котловин. Между тем эта глава „Происхождение бассейнов озер", освещая территорию всего земного шара с подробным изложением конкретных примеров котловин каждого типа, имеет неоценимое научное значение. Можно отметить ряд генетических классификаций котловин, выполненных геологами либо геоморфологами, которые исследовали лишь геологические причины и геоморфологию котловин, не затрагивая вопроса динамики при заполнении их водой. Из региональных классификаций следует отметить работу Г.С. Бискэ и А.Д. Лукашева (1970) по классификации озерных котловин Карелии. В качестве основных типов ими выделяются тектонические и ледниковые котловины. Тектонические котловины связаны либо с разрывными нарушениями, либо со складчатыми структурами. Если первые расположены в грабенах, то вторые связаны с синклинальными и антиклинальными складками. Ледниковые котловины связаны с аккумулятивной и

экзарационной деятельностью ледника. Распространение ледниковых котловин большей частью подчинено тектонике.

Значительным региональным исследованием по генезису озерных котловин крупного озерного района Казахстана является работа З.А. Сваричевской (1978). Она написана также с геолого-геоморфологических позиций. Ею выделены по происхождению в качестве основных следующие типы котловин: тектонические, эрозионные, сорово-дефляционные, суффозионные. Типизация озерных котловин на основе анализа особенностей проявления тектонических движений в различных структурно-геоморфологических областях этой территории выполнена В.В. Клюшкиным (1976).

Таким образом, может быть выделено определенное направление в изучении и классификации озерных котловин, осуществляемое в основном геологами и геоморфологами, связывающими образование котловин с геологическими процессами, происходящими в земной коре. Признавая необходимость таких исследований, представляются более важными работы, в которых осуществляется попытка увязки происхождения котловин, их формы и строения с лимническими процессами внутри озерных котловин и природными особенностями в пределах водосборных площадей. В процессе развития озера в результате взаимодействия с окружающим ландшафтом, который также претерпевает эволюцию, происходит изменение формы озерной котловины. Одним из главных факторов является поступление с водосбора с твердым стоком продуктов эрозии и их седиментация в водоеме. Этот процесс имеет различную интенсивность с изменением природных условий. Наиболее активно он протекает в областях развития четвертичных отложений, слабее там, где их покров менее мощный и на поверхность выходят твердые кристаллические породы. Однако темпы изменения формы озерных котловин зависят и от строения самих котловин. Этому вопросу посвящено крупное исследование Д. Лемана (Lechman, 1975), в котором автор рассмотрел влияние накопления озерных отложений на изменение формы озерных котловин и увязал темпы этого изменения с различными формами котловин. Согласно лимнических процессов со строением озерных котловин могло быть осуществлено при условии числового выражения строения котловин, т. е. с помощью морфометрии, количественной характеристики форм рельефа.

Морфометрия озер, по мнению С.Д. Муравейского (1960), отличается не только спецификой объектов (озер), но и методами, так как она имеет дело и с озерной котловиной, и с массой воды, заполняющей эту котловину. Она отражает, с одной стороны, специфику развития котловины, а с другой – процессы, протекающие в водной массе озера. В отечественном озероведении известны три наиболее крупные работы по морфометрии озер: Е.С. Маркова (1902), Г.Ю. Верещагина (1930) и С.Д. Муравейского (1960). Широко использовались в последующем две последние работы.

Придавая большое значение морфологии и морфометрии озер, Г.Ю. Верещагин подчеркивал, что морфометрия важна как при индивидуальной характеристике каждого озера, так и при сравнитель-

ном их изучении. Он сформулировал принципиальные условия, которым должны удовлетворять морфометрические величины при сравнительно-морфометрической характеристике озер. 1. Эти величины должны быть вычислены по такому методу, который бы исключал всякую возможность произвольного толкования и получения несравнимых друг с другом величин. 2. Величины эти должны быть характерными для природы озера и должны иметь не только геометрическое, но и лимнологическое значение. Он справедливо считал, что надо помнить, что „перед нами не геометрическая фигура, математические отношения в которой мы отыскиваем, а озеро, свойства которого мы изучаем" (Верещагин, 1930, с. 7). Однако он отдал дань и формалистическому направлению в морфометрии. Г.Ю. Верещагиным был поставлен вопрос об установлении так называемых „нормальных величин" для каждого конкретного озера. Такие величины должны, с одной стороны, удовлетворять требованиям лимнологии, согласно которым такие величины должны не только встречаться реально в природе, но и быть результатом определенных физико-географических процессов, равномерно действующих на всем протяжении озер, но, с другой стороны, и требованиям геометрическим, согласно которым нормальные формы должны обладать наиболее допустимой геометрической простотой. К „нормальным" величинам для кривых и ломаных линий он относил прямую линию, для замкнутых контуров (береговая линия) – круг, для величин трех измерений (котловина) – конус.

С.Д. Муравейский (1960) подверг серьезной и убедительной критике использование понятия „нормальные величины" в лимнологии. Здесь не ставится задача излагать взгляды С.Д. Муравейского по этому вопросу. Следует лишь сказать, что большой натурный материал по морфометрии озер, полученный в последующие годы, не подтверждает взглядов Г.Ю. Верещагина. Нельзя считать конечным звеном эволюции береговой линии круг на том основании, что он является „результатом определенных физико-географических процессов, равномерно действующих на всем протяжении водных масс озера" (Верещагин, 1930, с. 17). Если иногда береговая линия и имеет форму, приближающуюся к кругу, то это является не „простым", а наоборот, сложным явлением (карстовые озера, провалы, суффозия). Конечным звеном выравнивания береговой линии может явиться вообще выпуклая форма, но не круг. Представление о конусе как конечной форме эволюции озерной котловины также весьма спорно. Натурные данные свидетельствуют о большом разнообразии форм озерных котловин. Причем в процессе эволюции при заполнении котловин донными отложениями изменение их часто идет вовсе не в сторону конуса. Однако следует отметить, что значительное количество морфометрических величин, предложенных Г.Ю. Верещагиным, прочно вошло в практику лимнологических исследований.

Значительный лимнологический смысл в морфометрию озер внес С.Д. Муравейский. Особенно важны его разработки характеристик форм озерных котловин. Для лимнологов важно выразить форму

озерной котловины в виде числового значения и показать, к какой форме геометрического тела приближается конкретная котловина. Она может быть охарактеризована введенным Г.Ю. Верещагиным коэффициентом емкости (формы), равным отношению средней глубины озера к его максимальной глубине. Этот коэффициент дает возможность связать ряд гидрологических процессов в озере с формой озерной котловины. В настоящее время появились значительные работы в этом плане. Прежде всего следует упомянуть работу В.Р. Хомскиса „Динамика и термика малых озер" (1969), в которой отчетливо показано, что недооценка роли озерной котловины стирает грань между лимнологией и океанологией.

В процессе эволюции происходит изменение строения озерных котловин, и современные озерные чаши могут иметь строение, отличающееся от первоначального, что еще раз свидетельствует о том, что дело не только в происхождении котловины, но и во всем комплексе природных условий, в которых протекает эволюция озера. Количественные данные по изменению морфометрических показателей в процессе эволюции озер Литвы приводит Ю.С. Тамошайтис (1970, 1975). По мере заполнения озерных котловин донными отложениями уменьшаются глубина озер, площадь их водных зеркал и объем водной массы. Он считает, что морфология подводной части первичной котловины значительно определяет развитие озера. Почти полностью заросли озера, первоначальная максимальная глубина которых не превышала 10 м. Сделан существенный вывод о том, что по батиграфическим кривым не всегда правильно можно судить о стадии развития озера. Это лучше делать по степени заполнения котловины донными отложениями. К сожалению, Ю. Тамошайтис не рассматривает вопрос о связи темпов накопления озерных отложений с величиной и структурой водосборных площадей, что определяет количество поступающего в котловину материала эрозии. Исследования малых озер Северо-Запада страны также показывают, что озера в процессе эволюции могут значительно изменять размеры и строение озерных котловин (Озера различных ландшафтов... 1968, 1969). По данным изучения 27 озер установлено, что заполнение котловин донными отложениями колеблется от 27 до 84% объема чаши, что изменяет первоначальное строение котловины. Если первоначальные котловины характеризуются формой, близкой к конусу, то по мере накопления донных отложений происходит возрастание коэффициента емкости и переход котловин в полуэллипсоидные и параболоидные.

В лимнологическом плане выполнено большое исследование Ю.Б. Литинским (1960) „Некоторые вопросы геоморфологии озер Карельского региона", в котором вопросы генезиса озерных котловин и их морфометрия увязываются не только с формированием и развитием рельефа, но и с процессами, связанными с динамикой водных масс. Ю.Б. Литинский дает второе рождение термину „геоморфология озер", предложенному С.А. Советовым (1935). Поскольку от формы чаши озера во многом зависят процессы, происходящие в нем, С.А. Советов предложил называть раздел общей

лимнологии, изучающий формы подводного рельефа котловин и его динамику (гидроморфологию), геоморфологией озер. Ю.Б. Литинский насыщает это понятие глубоким содержанием. Он показывает, что геоморфология озер изучает происхождение озерных котловин, динамику озерных процессов и рельефа, рассматривает законы формирования озерного побережья как зоны взаимодействия озерных вод и котловины. К этому разделу Ю.Б. Литинский относит рассмотрение озерных отложений, условия седиментации, палеолимнологию, геохронологию. Работа, хотя и написана на материалах исследования озер Карелии, имеет большую общелимнологическую значимость. К сожалению, подобного рода работы не получили широкого развития. Так, например, изданная уже значительно позже, причем в стенах Лимнологического института СО АН СССР, работа Ю.П. Пармузина (1975а) вновь возвращает нас к традиционному подходу геологов.

Из работ по морфометрии озер, оставивших след, нужно упомянуть статью П.В. Иванова „Классификация озер мира по величине и по их средней глубине" (1949). В основе работы лежит исследование соотношения площадей озер с их глубинами.

Оценивая классификационные работы в области гидрологии озер, необходимо выделить разработки Б.Б. Богословского по водному балансу и водообмену (1959, 1960, 1970). Эти исследования стали классическими. Они устанавливают зональные закономерности изменения основных элементов водного баланса. После этих работ вопрос изучения водного баланса в широком плане полностью решен и дальнейшие разработки должны идти по линии выявления внутризональных особенностей с использованием данных по водообмену. Эти разработки должны базироваться на использовании показателей удельного водосбора и условного водообмена. Большое внимание этим показателям уделил С.В. Григорьев (1959а) в работах по озерам Карелии. Использование этих показателей отражает принципиальный подход к исследованию озер как составных частей природной среды. Обобщение данных по этим показателям в масштабе страны выполнено И.Н. Сорокиным (1988).

В области гидрологии малых озер главное значение приобретает изучение вопросов внешнего и внутреннего водообмена как существенных факторов формирования биопродуктивности озер в условиях усиления антропогенной деятельности. Одной из первых работ по внешнему водообмену было исследование Б.Б. Богословского (1970), а по внутреннему водообмену – уже упоминавшаяся монография В.Р. Хомскиса (1969).

На основании сложившейся практики лимнологических исследований может быть выделен ряд показателей морфометрического и гидрографо-гидрологического характера, которые в комплексе можно использовать при разработке современных классификаций озер.

1. Показатель удлиненности озера представляет собой отношение наибольшей длины озера к его средней ширине и позволяет сравнивать озера в плане. По этому показателю озера подразделяются на группы: а) озера, по форме близкие к округлой, с показателем

удлиненности в пределах 1.5–3.0; б) озера, по форме близкие к овальной, с показателем от 3 до 5; в) озера по форме овально-удлиненные – 5–7; г) удлиненные – 7–10; д) – вытянутые в виде „борозды" – более 10. Во многих случаях этот показатель отражает происхождение котловины. В формировании озер с большим показателем удлиненности преобладающую роль играли тектонические процессы. Такие формы преобладают в зоне ледниковой экзарации и сноса. Формы овальные (лопастные) преобладают в зоне аккумуляции ледникового материала и определяются процессами таяния в периферийных областях ледниковых лопастей.

2. Средняя глубина озера – частное от деления объема водной массы озера на площадь его зеркала. Очень давно она вошла в аналитические схемы как гидрологов, так и гидробиологов и гидрохимиков (Верещагин, 1930). Многие классификации включают эту величину как одну из опорных при выделении классов озер по глубинам. Средняя глубина используется рядом авторов при установлении связи между нагрузкой фосфора и уровнем продуктивности водоемов. Она дает общее представление о возможности расслоения водных масс на термические зоны и определяет тепловой бюджет.

3. Показатель открытости представляет собой отношение площади зеркала к средней глубине. Это отношение еще более надежно позволяет судить о степени перемешивания водных масс и возможности возникновения стратификации, а также о степени воздействия метеорологических факторов на водную поверхность.

4. Коэффициент „емкости" или „формы" определяется отношением средней глубины к максимальной и дает возможность соотнести форму котловины озера с одной из четырех геометрических форм – конуса, параболоида, полуэллипсоида и цилиндра – и рассчитать стабильность системы водных слоев озера. Нами разработан метод послойного расчета изменения коэффициентов емкости, что позволяет охарактеризовать строение озерной котловины во всем диапазоне глубин (Драбкова, Сорокин, 1979).

5. Батиграфическая кривая озера детально характеризует форму озерной котловины, позволяет оценить распределение и долю эпилимниона и гиполимниона в объеме водной чаши. Батиграфические кривые котловин конической и эллипсоидальной формы обладают противоположной вогнутостью, а параболоидальной – являются прямой линией. Характер батиграфической кривой позволяет в определенной степени судить о стадии развития озера.

6. Характеристика литоральной зоны может быть выражена величиной одно–двухметрового мелководья (в процентах от величины площади зеркала). Роль этой зоны особенно возрастает в процессе антропогенного эфтрофирования озер. Она играет барьерную роль на пути перемещения биогенных элементов с водосбора в озеро. На озерах аридной и полуаридной зон значение литорали в связи со значительными колебаниями уровня огромно.

7. Коэффициент изрезанности, извилистости береговой линии характеризует мелководную зону озера; в сравнительных целях важен для выяснения роли заливов в формировании и развитии лимниче-

ских процессов, в том числе в формировании продуктивности водоемов.

8. Показатель условного водообмена – отношение объема среднегодового притока с водосборной площади в озеро к объему самого озера. Он характеризует степень влияния приточных вод на режим озера и определяет концентрацию биогенных веществ в озере. Степень проточности озера определяет возможность удержания биогенных веществ в озере и вероятность их выноса из водоема.

9. Показатель удельного водосбора – отношение площади водосбора к площади зеркала озера. Он отражает связь и зависимости озера от окружающего ландшафта (водосбора) и может рассматриваться как характеристика типа водообмена. Значительное преимущество этого показателя в том, что не требуется проведения батиметрических работ на озере (Григорьев, 1959а).

Поскольку в качестве главного направления в лимнологии нами принимается географическое, в основе которого лежит признание озера как составной части природной среды, то следует в данном обзоре рассмотреть основные работы по ландшафтным классификациям и вопросы районирования озер. В принципе такие классификации должны строиться на анализе количественных показателей связи водосбора с озером (показатели удельного водосбора и условного водообмена) и их территориального распространения.

Необходимо упомянуть цикл работ В.В. Богданова (1968, 1979). Им создана морфолимническая классификация озер, включающая четыре типа по соотношению глубинных зон в котловине озера: литоральный, литорально-профундальный, профундально-литоральный и батиальный. Казалось бы, это чисто морфологическая классификация. Однако эти типы озер В.В. Богданов (1979) связывает с комплексом „терригенных", физико-географических компонентов лимногенеза, к которым относит солнечную радиацию, сток и окружающие озеро ландшафты. Найдена корреляция типов озер с интенсивностью их водосбмена. Установлено, например, что чем меньше емкость котловины озера, тем интенсивнее, при равном показателе удельного водосбора, будет происходить в ней водообмен по сравнению с более емкой котловиной. Отсюда сточно-приточные озера литорального морфолимнического типа с преобладающим воздействием терригенных факторов будут отличаться наибольшей интенсивностью водообмена. В следующем, литорально-профундальном морфолимническом типе в связи с большей емкостью и объемом озер водообмен будет замедлен. Таким образом, классификации базируются на анализе роли лимнических и терригенных факторов в формировании лимногенеза, под которыми В.В. Богданов (1968) понимает „... взаимообусловленную связь и развитие всех природных компонентов озера и окружающей его природной среды, которые определяют характер круговорота веществ и энергии в водоемах с замедленным водообменом в различных географических условиях" (с. 4).

Следует отметить в этом ряду классификацию озер Белоруссии, выполненную О.Ф. Якушко (1981) на широкой физико-географической основе. В этой классификации объединены и увязаны показатели морфометрии озерных котловин (прежде всего глубины), показатели внешнего водообмена, основные данные о водосборах, характеристика озерных отложений, гидрохимические показатели. Сделана удачная попытка увязки абиотических факторов с основными показателями биоты, уровнем трофии.

В.В. Богданов (1979) анализ абиотических факторов тоже тесно связывает с вопросами продуктивности озер.

Ландшафтный подход к вопросам классификации озер характерен для работ, выполненных в аридной зоне на территории Казахстана, одного из самых обширных озерных районов страны. Работы Г.Г. Муравлева (1960), А.Г. Поползина (1967), Н.И. Баглаевой (1987) посвящены вопросам типологии и районирования. Положительным в них является характеристика современного облика озер в тесной зависимости от природных особенностей территории. Г.Г. Муравлев (1960) выделяет 7 ландшафтных типов озер в зависимости от их местоположений: 1) горный, 2) межсопочный, 3) междуречный плоских равнин, 4) долинно-пойменный, 5) речных разливов (конечных, дельтовых и в низовьях рек), 6) прибрежный (лагунный), 7) обширных впадин. Уже само название типов раскрывает подход автора к вопросу классификации.

А.Г. Поползин (1967) в основу работы кладет районирование территории, выделение озерных групп и их лимнологические характеристики. Как таксономическую единицу он вводит понятие „группа озер", эквивалентную районам в схеме физико-географического районирования. А.Г. Поползин выделяет зональность типов озер как основу (хотя не отрицает и значение азональных факторов) и типы озер характеризует тремя основными факторами: 1 – гидрологическими процессами и явлениями, сопряженными с климатом; 2 – химическим составом воды, связанным с зональностью соленакопления; 3 – органическим накоплением. Недостатком этой работы является то, что, правильно выделив ведущие факторы лимногенеза в аридных условиях, автор не смог провести полноценного анализа их взаимосвязи, что в конечном итоге и определяет тип озера. Более успешной следует признать попытку Н.И. Баглаевой (1987), которая связала типы озер и природные факторы, их определяющие. Работа выполнена с использованием метода кодовой типизации, включившей 5 блоков: 1 – влияние рельефа и геологического строения на тип озера, 2 – влияние климата и гидрологии, 3 – влияние гидрохимии, 4 – влияние почвенно-растительного покрова, 5 – влияние антропогенное.

В качестве одного из полноценных исследований в области ландшафтной типологии озер следует отметить работы Г.А. Воробьева (1974, 1981) по территории Вологодского Поозерья. Им установлено, что основой ландшафтной типологии малых озер являются тип морфологической структуры и геохимические особенности ландшафта. Им выделены л а н д ш а ф т н ы е типы озер: 1 – северо- и среднетаежных моренно-холмистых ландшафтов кислого класса водной миграции, 2 – южнотаежных моренно-холмистых ландшафтов кальциевого класса, 3 – „полесских ландшафтов" кислого класса,

4 – озерно–ледниковых и моренно–равнинных ландшафтов кальциевого класса.

В разработанной классификации выявлена направленность лимногенеза в сторону дистрофикации. Но в одних случаях она сдерживается кальцием, содержащимся в почвах и воде, в других случаях – высокой водообменностью озер.

Идея Л.Л. Россолимо (1964) о том, что одним из основных типологических показателей должно быть накопление вещества в определенных физико–географических условиях, несмотря на всю теоретическую бесспорность, не получила широкого практического осуществления из–за слабого изучения донных отложений озер.

Среди задач изучения малых озер одной из главных является проблема лимнологического районирования. Как ни странно, но при таком огромном озерном фонде страны полноценного районирования озер не существует.

Взгляд на карту дает основание констатировать значительную неравномерность в распределении озер и ставить задачу выделения озерных районов. Для чего нам нужно районирование? Для того, чтобы при огромном количестве озер путем описания немногих водоемов составить представление об озерах той или иной местности в пределах озерного края. Для этого, как справедливо считает В.В. Богданов (1979), необходимо знать, какие природные факторы играют основную роль в возникновении озер, их развитии и режиме, а это требует анализа сложного комплекса природных процессов, определяющих типические черты большинства водоемов озерного района.

Существует небольшое количество районирований озер, выполненных в масштабе страны. Это известное биолимнологическое районирование С.В. Герда (1961), в котором выделено 18 озерных областей. Другое районирование выполнено в 1971 г. в ГТИ (Доманицкий и др., 1971). Выделено 22 озерных района. Никаких принципов деления фактически не изложено. Возникает вопрос – зачем делить всю территорию, выделять район, а потом констатировать, что озер в нем мало! Основываясь на единстве озера и ландшафта и рассматривая озера как сложные природно–территориальные комплексы, Г.Д. Рихтер (1976) предложил включить озера в существующие классификации наземных регионов. Мысль правильная, но пути реализации не показаны.

Поскольку озера являются составной частью ландшафта, то при районировании озер было бы нелогично не учитывать физико–географические районирования (см. § 1.1). Но на этом пути нас ждут и трудности. Дело в том, что процессы в озере подчинены иному воздействию гидротермических факторов, чем те процессы, которые имеют место в материковых ландшафтах на водосборе. Конечно, одной из теоретических предпосылок лимнологического районирования должно быть учение о зональности. Озеро же, по терминологии В.В. Богданова (1979), является природным компонентом гидрогенного генезиса, хотя и при значительном влиянии континентальных факторов. Отсюда может быть и несовпадение границ физико–географического и лимнологического районирований.

Большой проблемой является разработка таксономических рангов лимнологического районирования. У разных авторов единицы районирования различны. В.В. Богданов (1968) для озерного района Кольского полуострова выделяет такую схему: з о н а – органогенная, п о я с – полярный, п р о в и н ц и я – Кольская, р а й о н ы – северный лимнологический, юго–восточный, юго–западный.

Г.Г. Муравлев (1960) выделил озерные о б л а с т и, озерные р а й о н ы и г р у п п ы озер без каких–либо теоретических обоснований. А.Г. Поползин (1967) примерно для этой же территории наиболее крупной единицей природного зонального районирования считает широтную озерную з о н у. Единицей второго порядка являются широтные озерные п о д з о н ы. Основой для их выделения является изменение физико–географических условий, в первую очередь гидрохимии и гидробиологии в пределах каждой зоны. Подзоны и зоны выделяются на зональной основе. Внутризональные различия природы озер позволили выделить внутри зон и подзон единицы третьего порядка – лимнологические о б л а с т и, которые в свою очередь по типу накопления разделены на единицы четвертого порядка – природные озерные г р у п п ы, эквивалентные физико–географическим районам.

Следует упомянуть о подходе Ю.П. Пармузина (1975б), который, исследуя озера Путорана, выделил их как составную часть тундролесья, составляющего, по его мнению, ландшафтно–озерный п о я с Земли.

Как основу типологической единицы лимнологического районирования Л.Л. Россолимо (1964) предложил лимнологическую о б л а с т ь, которая характеризовалась бы определенным спектром озерного накопления и распространением озер определенных лимнических т и п о в.

Таким образом, создание лимнологического районирования является одной из главных задач на современном этапе развития лимнологии. Нам представляется, что при этом следует отчетливо сознавать, что происхождение и пространственное распространение озерных котловин является функцией происхождения и возраста рельефа, т. е. фактора азонального. С другой стороны, возникшие котловины, чтобы стать озерами, должны быть заполнены водой (функция климата) – фактор зональный. Стало быть, при разработке лимнологического районирования следует учитывать сложное сочетание зональности и факторов азональных, причем азональность может в ряде случаев играть ведущую роль в формировании типологического облика озера. Мы исходим из того положения, что в основу районирования должен быть положен генетический принцип – примерная одновозрастность происхождения озерных котловин в пределах определенной территории – озерного района. Таким образом, устанавливается единая временная точка отсчета изучения эволюции озер, путем лимногенеза в пределах выделенного озерного

3 Заказ 2245

90-21

района при энергетическом потенциале тех широт, в пределах которых расположен этот район. В качестве примера реализации такого подхода можно назвать озерный район, охватывающий территорию Главного моренного пояса, протянувшегося полосой от юго-западных границ Вологодской и Архангельской областей, далее через район Верхней Волги, Валдайскую возвышенность, север Беларуси, Латвию, Литву уходящую на северо-восточную и северную часть Польши. С этой территорией связана область максимальной ледниковой аккумуляции последнего оледенения и к ней приурочена, по данным исследований И.Н. Чукленковой (1982), максимальная густота озер. Общность происхождения озер позволяет установить общие типологические показатели озер и выделить диапазон их изменений, определяемый особенностями внутренней природной структуры озерного района.

Озерный район выделяется по фактическому насыщению территории озерами. Озерные районы, естественно, неодинаковы по площади, и внутри таких районов могут наблюдаться определенные различия по ряду компонентов природной среды. Эти различия определяют и классификационные различия озер в пределах одного района.

Вместе с тем в основных природных чертах озерного района должна быть общность таких компонентов, как климат и геология. Например, озера Кольско-Карельского региона находятся в зоне избыточного увлажнения, и в основании территории лежит Балтийский кристаллический щит. Озера Западной Сибири с учетом огромной меридиональной протяженности территории вряд ли могут быть объединены в один озерный район, ибо причины происхождения озерных котловин в северной и южной частях этой территории различны, равно как различен и климат (см. § 3.1). Таким образом, озерный район, выделенный по признаку озерности, будет характеризоваться определенной пестротой отдельных природных составляющих. Поэтому классификация озер внутри района должна осуществляться с учетом его природной структуры.

В это понятие включается и геологический фактор, с которым тесно связан морфологический тип озер. Морфометрия озер является азональным фактором, формирующим классификационные различия внутри озерного района. Среди морфометрических показателей основным признаком классификации является средняя глубина озер. Ее определение и распределение по территории позволяет использовать этот показатель при анализе распространения биолимнологических групп озер внутри озерного района. В понятие структуры озерного района включается характеристика гидрографической сети. Она является в значительной мере отражением геолого-геоморфологического строения территории и позволяет определить местоположение озер в системе стока, что становится важным признаком в установлении классов озер.

Важным элементом структуры озерного района является величина стока и его пространственное распределение.

Положение озера в системе стока определяет как величину поступления вещества, так и степень его выноса из озера. При этом важно выделение в гидрографической структуре главных водотоков как мест сосредоточения наиболее крупных озер, отражающих свойства всего бассейна.

Для целей классификации важно установление корреляционных связей между положением озера в гидрографической сети и системе стока, выражаемых показателями удельного водосбора и условного водообмена, уровнями воды в озерах и такими морфометрическими показателями, как средняя глубина и отношение средней глубины к максимальной ($K_{емк}$). Сток воды и водообменность озер определяют количественную сторону процесса поступления и трансформации веществ. Качественная же сторона определяется физико-географическими свойствами водосборов. Из всего комплекса природных показателей важнейшее значение имеет характеристика почвенного покрова. Процесс почвообразования определяет геохимические особенности трансформации веществ и формирует химический состав стока. Структура почвенного покрова отражает соотношение площадей под лесом, лугом, пашней и болотами и позволяет выявлять зоны активного выноса веществ с поверхностным и внутрипочвенным стоком. Характер почвенного процесса определяет и формы выноса веществ с водосборов.

Для комплексной характеристики внутренней структуры озерного района большое значение имеют и биологические показатели, связанные со многими физико-географическими особенностями озерного района (приток солнечной радиации, термика озер, первичная продукция, степень трофии), что подробно рассмотрено в последующих разделах (§ 2.2, 2.3, 3.5).

2.2. Классификация озер по температуре воды и элементам теплового баланса

Огромный интерес лимнологов к температурному режиму водоемов и к термической классификации озер вызван не только тем, что все процессы, протекающие в озерах, прямо или опосредованно связаны с температурой воды, но и с тем общепризнанным мнением, что температура воды является критическим параметром экологии.

Приступая к выбору признаков комплексной классификации, которая позволила бы вскрыть сущность озера и процессов, протекающих в нем, нельзя было обойти и такой информативный признак, как тепловое состояние водоемов, которое прежде всего оценивается температурой воды, представляющей собой результирующую величину теплового баланса, морфологических, морфометрических, гидрологических, химических и биологических особенностей и местного климата.

Термическая классификация предполагает оценку термического состояния водоема как одной из главнейших компонент физического состояния озера. Однако большинство термических классификаций озер преследует различные прагматические цели: биологические, гидротехнические, прогностические и т. д.

Температура поверхности воды, на первый взгляд, простой показатель, но существует целый ряд методических сложностей, которые часто не позволяют с полным доверием относиться к имеющимся данным, которых вообще мало, особенно в труднодоступных и малонаселенных районах.

Выбирая признаки классификации малых и средних озер по их тепловому состоянию, весьма полезно предпослать обзор существующих термических классификаций и признаков, лежащих в их основе.

За 100 лет развития лимнологии предложено более 40 термических классификаций. Наиболее полный обзор их приведен в работах В.Н. Абросова (1971), С.П. Китаева (1975, 1978, 1984), Б.Б. Богословского (1979), А.И. Тихомирова (1982), Н.П. Смирновой, И.В. Бовыкина, И.Н. Андрониковой (1990) и др.

Все термические классификации пресных озер можно условно разделить на две группы – по глобальному и региональному принципу. Детализируя классификации озер по термическому режиму, выделяем чисто условно, ибо трудно провести жесткие границы между классификациями, еще две группы – по характеру водообмена, стратификации и по элементам теплового баланса. Последняя группа ранее никем не выделялась.

Первая группа включает классификации, в которых термика озер представлена как следствие физико-географической зональности (географические координаты, высота над уровнем моря). Она содержит 4 оригинальные классификации и несколько дополнений к ним (табл. 1, I–1У). В качестве основных признаков кроме географического местоположения входит температура максимальной плотности (4 °С), циркуляция водных масс, термическая стратификация, температура придонного слоя, режим конвективного перемешивания, отношение экстремальных температур поверхности воды к температуре максимальной плотности. Все признаки, кроме температуры максимальной плотности, в этой группе классов озер являются дополнительными.

Наиболее известной, ставшей уже классической и широко распространенной является классификация Ф. Фореля (Forel, 1892, 1912). Многие последующие классификации по мере появления новых данных, особенно по районам, ранее не изученным, только дополняли и расширяли ее. Так, Ф. Рутнер (Ruttner, по Китаеву, 1978) дополнил эту классификацию в 1931 г. еще переходной зоной – субтропический тип. В 1936 г. С. Иошимура (Joshimura, по Хатчинсону, 1969) дополнил классификацию Фореля субполярным типом и несколько уточнил субтропический класс. Г. Морандини в 1940 г. (Morandini, по Китаеву, 1978) добавил экваториаль-

Таблица 1

Термическая классификация озер

Основания деления, признаки, автор, год, географический район	Класс озер
I. Группа классификаций – термика озер как следствие физико-географической зональности (φ, $H_{абс}$)	
1. Температура максимальной плотности (4 °С), циркуляция водных масс; Ф.Форель; (F. Forel 1892, 1912). Климатические зоны мира	1. Полярные: max ≤ 4 °С, min < 4 °С; постоянная циркуляция в период открытой воды 2. Умеренные: max > 4 °С; два циркуляционных периода 3. Тропические: max > 4 °С; один циркуляционный период зимой
2. Режим конвективного перемешивания; географическая зона; У.Hutchinson, H.Löffler (1956). Пресноводные озера мира	1. Холодные мономиктические (полярные); летняя циркуляция 2. Умеренные – димиктические, замерзающие и незамерзающие; циркуляция два раза в год 3. Теплые мономиктические (тропические); циркуляция раз в год и зимой 4. Холодные амиктические, круглый год подо льдом
3. Температурная стратификация, температура у дна в теплый период $t_{дл}$; поглощение тепла водной массой; У.Е. Hutchinson, (1957). Пресноводные озера умеренной зоны (димиктические)	1. Незначительное поступление тепла; $t_{дл} \approx 4$ °С 2. Значительное поступление тепла; температурная стратификация; $t_{дл} \gg 4$ °С 3. Термическая стратификация отсутствует
4. Отношение экспериментальных температур поверхности воды к температуре максимальной плотности, тип конвективного перемешивания, географическая широта (Ψ) и абсолютная высота $H_{абс}$; С.В.Рянжин (1989, 1990). Озера северного полушария	1. Теплые мономиктические; $\Psi = 23.6$–$42°$ 2. Умеренные димиктические; $\Psi = 41$–$76°$; незамерзающие до $\Psi = 52°$; два полных конвективных перемешивания 3. Холодные мономиктические; $\Psi = 76$–$80°$; замерзающие 4. Теплые полимиктические; $\Psi = 0$–$23.6°$ а) выше границы теплых озер – умеренные, $\Psi = 23.6°$, $H_{абс}$ = = 5000 м; б) холодные, $\Psi = 0°$ и $H_{абс} = 4000$ м и Ψ = = $23.6°$ и $H_{абс} = 5000$ м

Таблица I (продолжение)

Основания деления, признаки, автор, год, географический район	Класс озер
II. Группа классификаций – принцип: детализация классификаций в умеренной зоне	
5. Температура придонного слоя воды в летний период $t_{дл}$; A.G. Yeistbeck (1885). Умеренная зона, немецкие Альпы	1. Теплые, $t_{дл}=6.5\,^{o}C$ 2. Холодные, $t_{дл}$ всегда ниже $6.5\,^{o}C$ (4.2–4.5 ^{o}C)
6. Температура придонного слоя воды в летний период $t_{дл}$; А.Н. Анучин (1887). Верхневолжские озера и Верховья Западной Двины	1. Теплые, $t_{дл}=10^{o}C$ 2. Умеренно–холодные, $t_{дл}$ не выше $10\,^{o}C$ и не ниже $6.15\,^{o}C$ 3. Холодные, $t_{дл}$ не выше $5.9\,^{o}C$
7. Амплитуда колебания температуры воды в течение года (А), площадь питания; Э. Брикнер (1911). Северные, юго–восточные и южные Альпы	1. Низкие температуры воды летом и высокие зимой; $A=11.3–15.4^{o}C$ 2. Высокие температуры воды летом и низкие зимой; $A=11.8–21.4^{o}C$
8. Средняя летняя температура на max глубине ($t_{ср}$); разность температур поверхность – дно (Δ); П.Ф. Домрачев (1922). Северо–Запад европейской территории страны (ЕТС)	1. Глубокие, $t_{ср}=11\,^{o}C$, $\Delta=13–20\,^{o}C$ 2. Среднеглубокие, $t=16^{o}C$, $\Delta=8\,^{o}C$ 3. Мелководные, $t=20^{o}C$, $\Delta=2\,^{o}C$
9. Характерные термические особенности гидрологических сезонов, термическая стратификация; характеристика теплоактивного слоя; И.В. Молчанов (1925). Северо–Запад ЕТС	1. Теплые – нагревается весь год 2. Холодные – охлаждается до перелома и нагревается после перелома
10. Отношение средней температуры воды по вертикали к температуре на поверхности ($\mu=t_{ср}/t_{пов}$); А.А. Браславский, З.А. Викулина (1954). Умеренная зона СССР	1. Глубокие; μ изменяется в широких пределах по площади и во времени; весна $\mu=0.5$ 2. Мелководные; μ устойчиво для больших по площади и проточных озер глубиной 5–7 м; $\mu\approx1$; весной $\mu=0.9–1.0$
11. Колебания температуры в течение года (А); В.И. Жадин, С.В. Герд (1961). Умеренная зона СССР	1. Холодные, $A=0–10–14\,^{o}C$; северные и высокогорные озера 2. Умеренные, $A=15–20\,^{o}C$ 3. Горячие, весь год температура выше $25\,^{o}C$ (термы)
12. Средняя интегральная температура воды в летний период $t_{ср}$; С.П. Китаев (1965, 1970, 1984). Умеренная зона	1. Очень теплые: $t_{ср}>20\,^{o}C$ 2. Теплые: $t_{ср}=15–20\,^{o}C$ 3. Умеренно–холодные: $t_{ср}=10–15\,^{o}C$ 4. Холодные: $t_{ср}=5–10\,^{o}C$ 5. Очень холодные: $t_{ср}<5\,^{o}C$
13. Сумма температур (градусо–дней) за период с температурой воды выше $10\,^{o}C$ ($\Sigma_{+t>10^{o}}$); С.П. Китаев (1965, 1970, 1978, 1984). Умеренная зона СССР	1. Очень теплые, $\Sigma t_{+10^{o}}=4000\,^{o}C$ 2. Теплые, $\Sigma_{+t>10^{o}}=2000–4000\,^{o}C$ 3. Умеренно–теплые: $\Sigma t_{+10^{o}}=1000–2000\,^{o}C$ 4. Холодные: $\Sigma_{+t>10^{o}}=500–1000\,^{o}C$ 5. Очень холодные: $\Sigma_{+t>10^{o}}\,500\,^{o}C$
14. Разность температур придонных слоев в летний и зимний период (Δ) – термоглубинная классификация; В. Хомскис (1969). Литва	1. Термически очень глубокие: $\Delta\approx0\,^{o}C$ 2. Глубокие: $\Delta=0.5–5\,^{o}C$ 3. Среднеглубокие: $\Delta=5–15\,^{o}C$ 4. Мелководные: $\Delta\approx20\,^{o}C$
15. Перепад температуры воды по глубине летом; придонная температура летом и зимой; теплоотдача ложа зимой; А.И. Пехович, В.М. Жидких (1976). Умеренная зона СССР, озера и водохранилища	1. Мелкие: почти нет перепада по глубине; придонная температура изменяется летом и зимой; при ледоставе теплоотдача от дна 2. Глубокие: температура поверхности и у дна различна; летом и зимой придонная температура изменяется; теплоотдача от ложа почти отсутствует 3. Очень глубокие водоемы: большой перепад температур, и у дна температура практически постоянная; теплоотдачи ложем нет
16. Термическая устойчивость, температуры придонного слоя в летний и зимний период (Δ), отношение площади озера к объему (Δf), максимальная глубина; М.А. Андреева (1973). Урал (Средний и Южный)	1. Термически достаточно устойчивые: $\Delta=4–5\,^{o}C$, $\Delta f=0.05–0.10$, $h_{max}=20–40$ м; термическая стратификация выражена четко 2. Термически среднеустойчивые: $\Delta=6–10\,^{o}C$, $\Delta f=0.11–0.20$, $h_{max}=10–20$ м; воды – стратифицированы, слой скачка нечеткий 3. Термически малоустойчивые: $\Delta=11–15\,^{o}C$, $\Delta f=0.21–0.40$, $h_{max}=5–10$ м; стратификация летом нарушается гомотермией 4. Термически неустойчивые: $\Delta>15\,^{o}C$, $\Delta f=0.41–2.0$, $h_{max}=5$ м; однородное распределение температуры летом и зимой; возможность промерзания

Таблица 1 (продолжение)

Основания деления, признаки, автор, год, географический район	Класс озер
III. Группа классификаций – термика озер как следствие физико-географической зональности и характера водообмена, стратификации	
17. Характер вертикального распределения температур, температурный скачок; Н.И. Семенович (1935). Якутия	1. Очень мелкие и хорошо перемешиваемые; слабо выражена температурная стратификация, малая разность температур поверхности и у дна 2. Теплые: слабая температурная стратификация, велика разность температур поверхности и у дна; температурный скачок выражен слабо 3. Умеренно-холодные, глубокие и со сложным рельефом: резко выражена температурная стратификация, температурный скачок у дна (холодноводные)
18. Термическая стратификация в период максимального нагревания; положение температурного скачка; Т.Н. Филатова (1957, 1959). Умеренная зона, Карельский перешеек	1. Устойчивая термическая стратификация, трехслойное разделение водной массы 2. Неустойчивая термическая стратификация (три подгруппы по особенностям стратификации и длительности температурного скачка)
19. Характер нагревания водных масс в весенне-летний период, размер перемешивания, устойчивость; В.А. Фрейндлинг (1962, 1965, 1969, 1970). Карелия	1. Нагревание в условиях гомотермии, перемешивание по всей глубине, неустойчивое термическое равновесие: мелкие, круглые озера, ровное дно 2. Устойчивая термическая стратификация, максимальные градиенты – в термоклине; нагревание в условиях термической стратификации; холодные, глубокие озера, сложный рельеф 3. Переходный класс
20. Термический режим в безледный период (см. п. 18); Л.И. Глазачева (1965) Латвия	1. Устойчивое температурное расслоение, летом прямая температурная стратификация; глубины до 20 м 2. Неустойчивое температурное расслоение: а) слабо выражена прямая температурная стратификация (1-2 °С) и кратковременная; относительно ровное дно, глубина до 5 м б) летом прямая температурная стратификация (5-6 °С); небольшие озера с глубиной до 10 м в) основная водная масса в состоянии гомотермии или прямая температурная стратификация, трехслойное разделение в понижениях, ямах; озера большой и средней глубины
21. Термический режим; Л.Г. Голдина (1965). Тундра ЕТС	1. Равномерное прогревание, отсутствие термической стратификации; мелководные озера, все определяет метеорология 2. Гиполимнион прогревается мало, четко выражена термическая стратификация, нет теплообмена между мета- и гиполимнионом; глубокие, закрытые озера
22. Термическая структура по гидрологическим сезонам, годовой термический цикл; средняя глубина $h_{ср}$; А.И. Тихомиров (1968, 1970, 1982) Пресные озера умеренной зоны (димиктические)	1. Эпитермические: водная толща – эпилимнион, гомотермия весь открытый период; малые и мелкие озера 2. Метатермические: термический режим неоднороден, к концу лета металимнион – у дна; весна и осень – термический бар; переходный тип, $h_{ср}$ = 8-25 м а) метаэпитермические: подледный прогрев донных отложений, весна и осень – непродолжительный термический бар, горизонтальная термическая неоднородность; $h_{ср}$ до 8 м б) метагипотермические: летом и в начале осени четкое разделение на эпи-, мета-, и гиполимнион; летом образуется устойчивый гиполимнион, термический бар может и не быть, перед ледоставом – перемешивание; $h_{ср}$ до 25 м 3. Гипотермические: весна – раньше, осень – дольше, чем в предыдущих классах, лето – сдвинуто, термический бар наблюдается весной и осенью; мощный гиполимнион, летом в пелагиали купол холодных вод, в конце осени – гипотермия; зимой – обратная температурная стратификация и основная водная масса – гиполимнион; большие и глубокие озера, $h_{ср}$ до 25-30 м, замерзают не каждый год
23. Вертикальный водообмен – соотношение приращения средней температуры по водоему к приращению температуры поверхности воды (β); тепловые потоки (от широты φ), интенсивность	1. Размер слоев воды, охваченных водообменом, очень мал по сравнению с глубиной; $\beta \ll 1$ 2. Размер слоев воды, охваченных водообменом, составляет значительную долю от средней глубины; $\beta < 1$

Таблица 1 (продолжение)

Основания деления, признаки, автор, год, географический район	Класс озер
и глубина перемешивания, коэффициент, пропорциональный ослаблению тепловых потоков; Л.М. Галкин, (1970). Умеренная зона	3. Размер слоев воды, охваченных водообменом, равен средней глубине; $\beta \gg 1$ Выделено 3 класса, 8 подклассов и 48 групп
24. Морфометрия, стратификация, объем гиполимниона, теплобюджет; О.Ф. Якушко (1971). Север Белоруссии	1. Ярко стратифицированные, небольшие, глубокие, с низкими температурами; гиполимнион 30–5% объема озера, теплобюджет max для Белорусского Поозерья 2. Слабо стратифицированные, значительные по площади и глубине; гиполимнион 2–3%, теплобюджет ниже, чем в предыдущем классе 3. Нестратифицированные, различной площади и глубины от 3 до 12 м, теплобюджет меньше, чем в первых двух классах 4. Резко выраженная летняя стратификация, небольшие и средние и неглубокие озера, пониженная температура гиполимниона и повышенный годовой теплобюджет
IУ. Группа классификаций – принцип: элементы теплового баланса, теплобюджет	
25. Величина теплобюджета; E.A. Birge (1916). Северная Америка, умеренная зона	1. Средний годовой бюджет 20–40 ккал/см^2, большие по площади (20 км^2) и глубокие (30 м) 2. Средний годовой бюджет менее 20 ккал/см^2
26. Поступление, перераспределение и расход тепла, теплооборот; соотношение среднегодовой и летней температуры воды и воздуха; И.В. Молчанов (1929). Северо–Запад России	1. Термопозитивные, малоемкие, температура воды выше температуры воздуха, неустойчивые 2. Термонегативные, глубокоемкие, температура воды выше или равна температуре воздуха, медленный обмен 3. Промежуточные, термоинертные, температура воды ниже температуры воздуха, устойчивый обмен
27. Соотношение радиационного баланса и поглощенной радиации ($\frac{R}{Q(1-A)}$); глубина и площадь в период максимального нагревания; T.V. Kirillova, N.P. Smirnova, (1972). Умеренная зона, озера и водохранилища	1. Глубокие, $\frac{R}{Q(1-A)}$ в июле 82% 2. Средней глубины и малой площади, защищенные, $\frac{R}{Q(1-A)}$ в июле 75% 3. Средней глубины, открытые, $\frac{R}{Q(1-A)}$ в июле 68% а) мелководные водохранилища, $\frac{R}{Q(1-A)}$ в июле 81%
28. Альбедо (A), радиационный баланс (R), глубина, географическая зона: период максимального нагревания; Н.П. Смирнова, (1973, 1982). Умеренная зона СССР, озера и водохранилища	1. Большие и глубокие: A=7–9%; R =8–12 ккал/см^2 2. Малые и мелкие: A= 9–10%; R =8–10 ккал/см^2 3. Пруды и водохранилища: A=8–9%; R =8–11 ккал/см^2
29. Связь теплобюджета со средней глубиной ($h_{ср}$), географическая зона; Л.Ф. Форш (1968, 1974). Умеренная зона; Кольский полуостров, Северо–Запад России и Полярный Урал	Для Северо–Запада России: 1. Теплобюджет 8 ккал/см^2, $h_{ср}$=6 м 2. Теплобюджет 4.6 ккал/см^2, $h_{ср}$=3.1 м 3. Теплобюджет 5.7 ккал/см^2, $h_{ср}$=3 м 4. Теплобюджет 2.4 ккал/см^2, $h_{ср}$=1.3 м
30. Соотношение тепла на нагревание и его расход; доля радиационного баланса на нагревание и испарение (%); Л.В. Несина, Т.А. Огнева (1975). Умеренная зона СССР	1. Глубокие: 70–80% на нагревание и 20% на испарение 2. Среднеглубокие: 15–20% на нагревание и 80–70% на испарение 3. Мелководные: 5–10% на нагревание и 80–90% на испарение

ные озера, а Ф. Монхайм (Monheim, 1956) выделил в тропическом классе два подтипа: субтропические озера, озера внутренних влажных зон и периодических сухих внутропических зон.

Вслед за Ф. Форелем в 1898 г. Г. Уиппли (Whipple, по Хатчинсону, 1969) предложил свою классификацию, в которой классы названы „порядками". Критика Хатчинсона относится к первому классу, выделенному Уиппли: „Определение озера первого порядка, очевидно, основано на неправильном представлении" (Хатчинсон, 1969, с. 165). Г. Уиппли, учитывая термическую стратификацию и температуру придонного слоя в летний период, выделил три порядка. В первом, к которому и относится критика Хатчинсона, циркуляция отсутствует. Действительно, если температура поверхностного слоя может быть и выше, и ниже 4 °С, то циркуляция возникнет обязательно! Только в меромиктических озерах, где устойчивость связана с растворенными в воде химическими веществами и за счет этого возникает разная плотность слоев, такое состояние, как в озерах первого порядка у Уиппли, может быть (Findenegg, 1935), но вся классификация Г. Уиппли была посвящена пресным озерам.

Неполнота классификации Ф. Фореля побуждала ученых к ее расширению, что нашло удачное воплощение в классификации Хатчинсона-Леффлера (Hutchinson, Löffler, 1956), в которой озера распределяются в соответствии с географической зональностью и вертикальной поясностью (табл. 1, п. 2). Далее Х. Леффлер (Löffler, 1957) установил сочетание классов с типом климата по Кеппену и уточнил классы приэкваториальные в горах и на уровне моря и добавил к предыдущей классификации полимиктические озера теплые и холодные, тропические и олигомиктические с редким и нерегулярным перемешиванием.

Однако аридная зона во всех классификациях оставалась без внимания, хотя циркуляция вод в этих озерах протекает весьма своеобразно, так как здесь проходит граница смены озер с прямой и обратной температурной стратификацией и озер, имеющих круглый год прямую температурную стратификацию.

Г. Хатчинсон (Hutchinson, 1957) незначительно подправил классификацию Уиппли, рассмотрев пресные димиктические озера (табл. 1, п. 3).

Наиболее географической, с нашей точки зрения, но без признаков, отражающих напрямую термический режим, является классификация озер мира А. Зафара (Zafar, 1959). Ведущими признаками в этой классификации выступают географическая широта, высота над уровнем моря и географическая зона. Названия классов подобны Форелевым: тропические, субтропические, умеренные и арктические, но в каждом классе выделены подклассы в зависимости от высоты над уровнем моря. Так, в тропическом классе – собственно тропические, субтропические, умеренные, арктические, альпийские и экстремально-арктические подклассы; в субтропическом классе – собственно субтропические, умеренные, арктические и экстремально-арктические; в умеренном классе – собственно умеренные, арктические и экстремально-арктические, в арктическом классе – собственно арктические.

Среди последних работ этой группы остановимся на работе Т. Араи (Arai, 1981), который не предлагает новой термической классификационной схемы. У него те же категории: экваториальные, тропические, полярные и умеренные, но он предпринял попытку связать температуру поверхности воды, вертикальный профиль, размеры озера и бассейна, климат, что особенно важно при выделении классов и типов озер в пределах, например, димиктических озер, которые, по Х. Леффлеру (Löffler, 1957), занимают почти весь бывш. СССР, кроме арктической и аридной зон.

Последней по времени в первой группе классификаций озер следует назвать классификацию, предложенную С.В. Рянжиным (1989, 1990), в которой первые три класса повторяют термическую классификацию озер Хатчинсона-Леффлера, но в части распространения теплых тропических и высокогорных озер она значительно расширена. Бóльшее внимание уделено и приэкваториальным озерам, рассчитаны среднестатистические границы между классами, положение которых позволяет ожидать открытия озер еще никем не названных термических типов (табл. 1, п. 4). Однако эта классификация не касается термического режима и структуры, а имеет дело только с экстремальными температурами на поверхности и типом конвективного перемешивания. Неоднородны по территории земного шара и исходные данные – экстремальные температуры, полученные различными методами и осредненные за разные периоды времени.

Все классификации первой группы не учитывают морфометрии озер, которая значительно влияет на величины температуры воды.

Переход к термическим классификациям озер на меньших территориях и в отдельных регионах требует бóльших детализаций и количественных показателей. Вторая группа классификаций – региональная, в пределах умеренного климатического пояса. Она основана на различных признаках, главным образом учитывающих среднюю температуру воды и придонного слоя, разность температуры у дна зимой и летом, амплитуду колебания температур за год, разность температур на поверхности и у дна, температуру на максимальной глубине, сумму температур воды выше 10 °С, соотношение глубины максимальной и глубины эпилимниона, соотношение площадей и объемов отдельных зон и слоев озера (табл. 1, п. 5-16).

Все рассмотренные в этой группе классификации, как правило, имеют количественные показатели и относятся преимущественно к территории бывшего СССР, хотя начало этим классификациям было положено Гайстбеком (Geistbeck, 1885) за 7 лет до Ф. Фореля и работ, выполненных на альпийских озерах.

Разделение классификаций на группы, как мы уже отмечали, условно, а поэтому качественные классификации И.В. Молчанова (табл. 1, п. 9) и А.И. Пехович и В.М. Жидких (табл. 1, п. 15) могут быть отнесены и к третьей группе.

Знакомясь с классификациями второй группы, можно отметить, что одни и те же признаки классификации применены несколькими исследователями в разных регионах (табл. 1, п. 5 и 6, п. 7 и 11, п. 14 и 16 и др.). Эти примеры свидетельствуют о том, что одни и те же признаки и в количественном выражении могут быть распространены на территорию всего умеренного климатического пояса.

Однако не все признаки этой группы классификаций удачны. Так, отношение средней температуры воды к поверхностной настолько мало изменяется в период открытой воды, что заметить различие по этому признаку между озерами можно только в переходные периоды – весной и осенью, но связь с глубиной прослеживается – это отношение уменьшается с возрастанием глубины (табл. 1, п. 10). Следовательно, кроме признака, связанного с температурой, в термических классификациях малых и средних озер важны морфометрические характеристики (средняя и максимальная глубины, площадь озера и др.), что слабо учитывается в приведенных классификациях, хотя часто в названиях классов встречаются слова: глубокие, среднеглубокие, и мелководные озера (табл. 1, п. 8, 10, 14, 15). Сюда же следует отнести классификацию озер Литвы (Килкус, 1989), в которой в качестве признака классификации использована зависимость температуры придонного слоя от динамической максимальной глубины (h'_{max}), рассчитанной по П.В. Иванову (1949). В результате такой классификации выделено 5 классов озер: очень мелководные, $h'_{max} < 1$; термически мелководные (гомотермные), $h'_{max} \approx 6$ м; средние, h'_{max} =6–16 м; термически глубокие h'_{max} =16–50 м и очень глубокие, $h'_{max} > 50$ м.

В ряде классификаций приводятся отношения глубины эпилимниона к максимальной глубине (Зинова, Нагель, 1935) и максимальной глубины к глубине эпилимниона (Захарченков, 1964), соотношение площадей и объемов зон литорали, бентали и пелагиали (Долгов, 1948). Соотношение площадей и объемов этих зон не остается постоянным, меняется по сезонам и годам, а поэтому этот признак можно использовать в динамических классификациях по данным, полученным в одно время. С.П. Китаев (1965, 1970, 1975) считает, что термические внутризональные классификации озер учитывают какую-то одну сторону термического режима, т. е. они отражают местные специфические условия, а нужен такой признак классификации, который был бы общим для озер. Таким признаком вслед за Г.И. Долговым (1948) он называет соотношение площадей зон литорали, бентали и профундали и эпи-, мета- и гиполимниона в период летней стагнации, что отражает особенности морфометрии, строения озерных чаш. Однако такие надежные данные могут быть получены только в результате исследований термического режима и термической структуры озер.

Развивая классификацию П.Ф. Домрачева (1922, табл. 1, п. 8), в качестве основания классификации С.П. Китаев (1965, 1984) предлагает среднюю температуру не на максимальной глубине, а по всему озеру в летний период (табл. 1, п. 12) или сумму температур воды за период с температурой воды выше 10 °С (табл. 1,

п. 13). Для конкретной цели – продукционная биология – выбранные признаки являются приоритетными при оценке теплового состояния среды, как и соотношение объемов и площадей зон и слоев воды. Эти классификации требуют уточнений в определении признаков. Например, не определено, что понимается под летним периодом. Нам кажется, что период максимального нагревания – июнь-июль для умеренного климатического пояса был бы более определенной характеристикой, что следует и из анализа элементов теплового баланса.

В качестве примера классификации озер только по температуре поверхности воды в июле приведем исследования И. Уйвари (Ujvári, 1972). На территории Румынии он выделил четыре группы озер: альпийские, холодные мономиктические озера, в которых весь год средняя температура поверхности воды ниже 4 °С; умеренные – холодные (альпийская зона), умеренные димиктические (Карпаты), теплые димиктические (равнина) с температурой поверхности воды в июле 4–10, 10–20 и 20–30 °С соответственно; озера с термальной водой и гелиотермальные озера. Эта термическая классификация – региональная и дает общее представление о термике озер.

Для распространения названных во второй группе признаков на другие территории требуются проверка на массовом материале и длительные наблюдения за температурой воды в озерах. При озерном фонде страны около 3 млн. озер регулярные термические наблюдения ведутся только на 200–250 озерах.

В третью группу термических классификаций озер (табл. 1, п. 17–24) включены такие классификации, которые характеризуют термический режим, изменение термического состояния во времени, характер водообмена и термическую стратификацию. В качестве признаков, как правило качественных, используются: вертикальное распределение температуры, термическая стратификация и положение температурного скачка, годовой или сезонный термический режим, размер перемешивания. Наиболее перспективным признаком является термическая структура озера по сезонам, вскрывающая суть термических процессов в озере. Однако качественных и длительных сезонных наблюдений по термической структуре озер мало.

Н.И. Семенович (1935) был первым, кто по характеру вертикального распределения температур и положению слоя температурного скачка разделил озера на классы(табл. 1, п. 17).

Спустя 7 лет появилась работа Аберга и Роде (Åberg, Rodhe, 1942), в которой выделены 4 класса озер Швеции по годовым колебаниям температуры воды и характеру стратификации: теплые, эпитермические, без стратификации; умеренно-холодные, метастабильные, расслоенные; стабильно расслоенные, термический скачок; холодные, весенне-меромиктические, глубокие.

Т.Н. Филатова (1957) (табл. 1, п. 18) первой ввела в классификацию озер понятие устойчивой и неустойчивой стратификации при исследовании озер Карельского перешейка. Это предложение

нашло развитие в работах В.А. Фрейндлинга (1962, 1965, 1970) и Л.И. Глазачевой (1965) (табл. 1, п. 19, 20).

В этот период создаются региональные термические классификации. К ним относится классификация озер тундры ЕТС (Голдина, 1965), в которой выделено два класса озер: при наличии и отсутствии термической стратификации, мелкие и глубокие. Собственно, это один из вариантов, вытекающий из принципов, заложенных Н.И. Семеновичем (1935).

Наиболее успешно идут работы по региональным классификациям озер, в том числе термическим, в Беларуси. Трудами О.Ф. Якушко и ее школы (1971, 1981 и др.) здесь достигнуты большие успехи. Так, впервые после работ Е. Берджи (Birge, 1915, 1916) в классификацию введен теплобюджет, оцененный качественно (табл. 1, п. 24). Новый подход к термической классификации озер появился в работах К. Паталаса (Patalas, 1960, 1961), который рассматривал перемешивание вод как фактор, определяющий интенсивность круговорота веществ на различных по морфометрии озерах Польши. Исследователь опирался на годовой цикл термического режима. К. Паталас выявил 5 классов озер: 1 класс – в период летней стагнации не обнаружено постоянного термического расслоения и вся масса воды имеет одну температуру, озера большие по площади и мелкие; 2 класс – нет деления на термические слои, но наблюдаются небольшие разницы температур по вертикали, водообмен с дном меньше, чем в 1 классе; 3 класс – в период летней стагнации наблюдается разделение на термические слои, а мощность эпилимниона достигает 6 м, температуры придонных слоев сравнительно высокие, температурный градиент в металимнионе небольшой, велика интенсивность обмена воды между эпи- и гиполимнионом; 4 класс – в течение лета наблюдается термическое расслоение, но мощность эпилимниона 3–5 м, придонные температуры свидетельствуют о меньшей степени обмена между придонными и поверхностными слоями; 5 класс – в течение лета имеет место термическое расслоение, эпилимнион тонкий – 4 м, гиполимнион отделен от эпилимниона слоем температурного скачка с большим градиентом температуры.

Все перечисленные работы не включали вопросов термической структуры водоемов в сезонном и годовом цикле. Только в работах А.И. Тихомирова (1968, 1970, 1982) это учение нашло свое место и успешно развивалось в многолетних работах автора на озерах Северо-Запада России. В фундаментальной работе 1982 г. подведен итог этим исследованиям. Подход А.И. Тихомирова к термической классификации глубоко физичен и вскрывает сущность термических процессов (табл. 1, п. 22). Круговые диаграммы годового термического цикла, предложенные им, позволяют вскрыть внутригодовую структуру, определить начало и конец сезонов, их продолжительность в озерах эпи-, мета- и гипотермических. Достоинство классификации А.И. Тихомирова (табл. 1, п. 22) состоит в том, что рассмотрена термическая структура водоемов, учтена

циркуляция, морфометрия, что позволяет по минимуму данных дифференцировать пресные озера умеренной зоны.

На малых озерах, в которых эпилимнион в открытый период занимает всю водную массу, существуют определенные трудности в разделении этих озер на классы. К этому следует добавить, что мелкие и малые по площади озера, особенно в полуаридной и аридной зонах, подвержены значительным колебаниям климатических и метеорологических условий. Разделению озер на классы часто препятствуют терминологические неопределенности, допущенные создателями классификаций, и особенно при отсутствии количественных показателей. Так, В.Н. Абросов (1971) предложил классификацию смешанного типа озер, где признаками названы: положение температурного скачка и соотношение эпи- и гиполимниона. Он выделил 5 классов: 1 – тепловодные однородные, мелководные, прогреваются до дна, нет слоя температурного скачка и вся водная масса – эпилимнион; 2 – тепловодные разнородные, на плесах – температурный скачок и вся профундаль – эпилимнион; 3 – умеренно холодные, слой температурного скачка ниже средней глубины, эпилимнион – больше гиполимниона; 4 – холодноводные, слой температурного скачка лежит выше средней глубины, гиполимнион – больше эпилимниона; 5 – очень холодные, глубокие, придонные температуры постоянные и эпилимнион значительно меньше гиполимниона. Однако здесь такие термины, как смешанные озера, тепловодные однородные и разнородные и умеренно холодноводные, не определены, а поэтому могут трактоваться как угодно широко.

С.П. Китаев (1975, 1978, 1984) в своей классификации по соотношению площадей и объемов зон литорали, сублиторали и пелагиали (%) и объемов эпилимниона, металимниона и гиполимниона от объема всей водной массы (%) выделил 5 классов и назвал их так же, как А.И. Тихомиров: эпитермические; эпиметатермические (1975) или метаэпитермические; мелководные; метатермические среднеглубокие; метагипотермические (1975) или гипометатермические (1984) глубокие; гипотермические очень глубокие. Нам кажется, что эта классификация почти не отличается от классификации А.И. Тихомирова (1968).

Особое место в этой группе занимает классификация озер Л.М. Галкина (1970) (табл. 1, п. 23). Он предложил в качестве признака классификации вертикальной водообмен, вызванный притоком солнечной энергии и динамическими процессами в озере. Водообмен позволяет понять, как происходит перераспределение энергии и вещества в водоеме. В качестве признака водообмена Л.М. Галкин предлагает отношение приращения средней температуры по водоему к приращению температуры поверхности за одно и то же время (β). Он получил три класса озер по соотношению температуры поверхности и максимальной температуры для холодных мономиктических, димиктических и полимиктических озер, которые в сочетании с тремя классами по β привели к выделению 8 подклассов и 48 групп, среди которых как частный случай находится классификация Хатчинсона–Леффлера.

Изучение физических, химических и биологических процессов в озерах поставило перед исследователями ряд новых задач, что привело к усложнению термических классификаций и привлечению других признаков, связанных с солнечной радиацией и метеорологическими элементами, т. е. теми природными факторами, которые и формируют термический режим водоемов.

Четвертая группа классификаций (табл. 1, п. 25-30) имеет основаниями, признаками классификаций элементы теплового баланса и теплобюджет. Это направление в термической классификации озер начало развиваться в последние десятилетия, хотя первые классификации относятся к 20-м годам. Еще Ф. Форель (1912) рассмотрел общее содержание тепла в столбе воды на максимальной глубине, но это еще не было признаком термической классификации. Как отмечает Г. Хатчинсон (1969), и А.И. Воейков и Е. Бердж признали метод оценки содержания тепла в озере неудовлетворительным, так как Ф. Форель не учитывал поступление и его перенос теплопроводностью, конвекцией и т. д. В. 1916 г. Е. Бердж (Birge) предложил термин теплобюджет, под которым понимается разность между максимальным и минимальным теплосодержанием в озере. Систематических данных для анализа годовых колебаний теплобюджета на озерах средней и малой глубины и площади в те годы было очень мало (Брикнер, 1911). Лимнологи еще в 30-е годы считали, что полное представление о притоке и перераспределении тепла в озерах возможно только при наличии данных по тепловому балансу и его элементам.

В классификации, выполненной И.В. Молчановым (1929), выделение классов произведено по соотношению температуры воды и воздуха и теплообороту (табл. 1, п. 26). Он отметил, что признаком классификации не может быть слой температурного скачка – качественно общий признак, им может быть тепловой баланс различных зон озера. И.В. Молчанов разработал целую систему показателей, учитывающих приток и перераспределение тепла, зашифровал их символами и предложил „формулы", состоящие из этих символов, в качестве характеристики теплового состояния озера. Координаты местоположения озера им были названы второстепенными признаками, что является ошибочным, так как именно географической широтой и определяется количество солнечной радиации, приходящей на поверхность Земли. Ввиду громоздкости и определенной сложности метод И.В. Молчанова не нашел дальнейшего распространения.

Значительно пополнились исследования элементов теплового баланса в результате работ Л.Ф. Форш (1968, 1971), которая использовала для термической классификации озер связь теплобюджета со средней глубиной (табл. 1, п. 29), о чем подробно будет сказано ниже (§ 3.4).

Использование структуры теплового баланса в качестве признака термической классификации сталкивается с ограниченным количеством данных по тепловому балансу озер. В настоящее время существуют методы расчета элементов теплового баланса на озерах по данным измерений на суше (Тимофеев, 1963; Кириллова, 1970; Смирнова, 1973, 1975, 1982). О приходе суммарной радиации на поверхность озер можно судить по данным, помещенным в монографии З.И. Пивоваровой (1977), а радиационный баланс водной поверхности может быть рассчитан (Кириллова, Тимофеев, 1959). Однако расчетный метод громоздкий и, как всякий расчет, не лишен ограничений и погрешностей.

Малочисленные наблюдения на озерах за элементами теплового баланса позволили использовать в классификации озер только некоторые его элементы (Kirillova, Smirnova, 1972; Смирнова, 1973, 1982) (табл. 1, п. 27, 28). Соотношение тепла, идущего на нагревание озера, к его потерям на испарение предложено в качестве основания классификации озер Л.В. Несиной и Т.А. Огневой (1975). Эта классификация (табл. 1, п. 30), как и многие другие, разделяет озера по глубине: мелкие, средней глубины и глубокие. Следовательно, средняя или максимальная глубина при различных подходах к классификации (табл. 1, п. 8, 10, 14, 15, 16, 20, 22; Зинова, Нагель, 1935; Захаренков, 1964; Килкус, 1989, и др.) является приоритетным признаком.

В 1978 г. А.-М. Шумец (Szumiec, 1978) предложила годовой цикл температуры поверхности воды выразить зависимостью от суммарной радиации. Эта зависимость имеет вид эллипса, элементы которого могут быть признаками классификации. Такой подход к классификации озер новый и перспективный (см. § 3.4).

Несколько в стороне стоит классификация озер по коэффициенту пропускания (Мокиевский, 1980), который характеризует проникновение радиации в водную толщу и косвенно оценивает термическое состояние водоема. Пока эта классификация делает первые шаги.

Из обзора работ по термическим классификациям озер можно сделать вывод, что современные классификации позволяют с большой степенью детализации описывать термические процессы, внутренний теплообмен, термическую стратификацию, термическую структуру озер. Имеется достаточное разнообразие простых и сложных признаков термической классификации озер нашей страны и всего мира, пригодных для целей как общенаучных, так и прагматических. Возможно, появятся еще новые термические классификации озер, но каждый новый признак классификации должен соответствовать поставленной цели, задаче, во имя которой и проводится классификация. Только термические классификации озер, вскрывающие физическую сущность процесса, сохраняются на долгие годы (классификации Фореля, Хатчинсона–Леффлера, Филатовой, Хомскиса, Тихомирова).

2.3. Классификации озер по уровню биологической продуктивности

Оценка уровня биологической продуктивности как главной функциональной характеристики водоема лежит в основе трофической типизации озерных экосистем. Трофический тип водоема – это интегральная и многомерная характеристика, определяемая множеством

взаимосвязанных процессов физической, химической и биологической природы. Определение трофического статуса, как правило, включает использование комплексов признаков, дополняющих друг друга. Уровень биологической продуктивности озер всегда связывается с вполне определенными лимнологическими характеристиками того или иного трофического типа, а также характером водосбора, особенностями гидрографической сети, притоком тепла и другими компонентами, объединенными в единую систему как внутри водоема, так и в системе „водосбор–озеро".

Эта оценка определяет и положение водоема в эволюционном ряду, и характер структурно–функциональной организации экосистемы, т. е. специфику взаимосвязей слагающих ее компонентов и их количественную оценку. Неоднозначность характеристики трофического типа озер предполагает, однако, и возможность его определения по небольшому числу показателей или даже одному, наиболее информативному, к которым, бесспорно, относится величина первичной продукции как мера интенсивности процесса новообразования органического вещества в водоеме – основы всей трофической пирамиды. Большое методическое значение приобретает возможность использования коррелятивно взаимосвязанных показателей, контролирующих друг друга и, следовательно, взаимозаменяемых.

В современной лимнологии используется довольно большое число классификационных шкал, которые построены на основе показателей, относящихся к различным компонентам водных экосистем. Цель настоящей работы – сделать обзор существующих классификаций и показателей трофического типа озер, а также дать оценку современных возможностей трофической типизации озерных экосистем, основанных на методологии системной экологии (Одум, 1975).

В разные периоды оценочные категории определялись развитием лимнологической науки в целом и методологическими концепциями. Истоки биологической классификации озер по уровню их продуктивности относятся к 20–30–м годам и связаны с именами выдающихся лимнологов Тинемана и Наумана. Предложив принятую впоследствии терминологию разделения озер на олиго–, мезо–, эвтрофные и дистрофные, авторы явились основоположниками трофической типизации озерных экосистем. Подчеркивая комплексность характеристики трофического типа озер, они убедительно показали, что уровень биологической продуктивности (трофия) тесно связан с абиотическими факторами среды, географическим положением водоема и характером водосбора (субальпийский и балтийский типы). Сошлемся на публикацию Роде (Rodhe, 1974), где подробно излагаются этапы исследований Тинемана и Наумана и приводится полная библиография (с 1909 по 1932 г.), посвященная вопросам теории типизации. Классификацию Тинемана и Наумана В. Роде определяет как экологическую. Действительно, характеристика трофического типа водоема строится здесь на связи биологических показателей с абиотическими факторами среды, которые занимают в ней значительное место (средняя и максимальная глубина, цвет воды, прозрачность, гиполимниальный дефицит O_2, цветность, pH и др.). Биологические показатели

носят в основном индикаторный характер. Количественные оценки – ограничены (5–балльная шкала, сырые объемы планктона) в связи с тем, что методы расчета численности и биомассы в современном их понимании еще не были разработаны. С позиций методологии это были аутоэкологические исследования. Специфика биологии популяций индикаторных видов (в данной классификации в основном рыб и бентических беспозвоночных) определяет уровень биологической продуктивности водоема в целом и по комплексу названных показателей позволяет установить его трофический тип. Оценивая важность этого первого этапа работ типологического направления в лимнологии, следует отметить и определенные ограничения данной классификации – она дает лишь статическую характеристику водоема, но не позволяет следить за динамикой ее изменений в пределах установленного трофического типа. Классификация в основном применялась авторами в сравнительно–лимнологических целях при региональных исследованиях; она может использоваться при составлении кадастра.

Второй период в развитии типологического направления относится к 50–60–м годам, когда известный лимнолог Оле (Ohle, 1955) предложил новую концепцию трофической типизации озер, поддержанную Эльстером, Роде, Винбергом (Elster, 1955, 1958; Rodhe, 1958; Винберг, 1959, 1960). Ее основой является оценка интенсивности круговорота органического вещества, функциональным показателем которого является скорость его новообразования, выраженная в величине первичной продукции планктона или концентрации хлорофилла, между которыми существует прямая корреляционная связь. На основе этих показателей появились первые количественные классификационные шкалы, дополненные позже и величинами биомассы фитопланктона. Обобщения материалов по этим оценочным категориям представлены в ряде публикаций (Винберг, 1959, 1960; Трифонова, 1979; Бульон, 1983; Китаев, 1984). Подход, названный продукционно–биологическим, был дополнен балансовым, основанным на соотношении величин продукции и деструкции ($A/\bar{R}$). Предложенный Г.Г. Винбергом еще в 30–е годы (Винберг, Иванова, 1935; Винберг, Кузнецова, 1939), он не привлек тогда должного внимания, но в 60–е годы занял свое место, значительно расширив возможности трофической типизации озер. Балансовый подход был положен в основу показателя „общей биоактивности", также оценивающий функционирование водоема в целом (Ohle, 1958). Ее мерой служит „удельная продуктивность", т. е. сумма всех процессов биогенных превращений органического вещества ($A+\bar{R}$) в единицу времени на единицу площади. При высокой информативности величины первичной продукции здесь дается оценка и степени ее использования. Пробукционно–биологический и балансовый подходы нашли свое развитие в исследованиях известных лимнологов (Баранов, 1962; Россолимо, 1964; Абросов, 1967, 1969).

Классификации, построенные на продукционно–биологической основе, дают возможность не только определить трофический статус водоема по классификационным шкалам, но и оценить динамику его состояния, что очень актуально в современной экологической ситу–

ации. Служба мониторинга, используя количественные функциональные показатели, имеет возможность следить за незначительными изменениями в экосистемах, которые могут характеризовать направленность и интенсивность этих процессов даже в пределах одного трофического типа, благодаря диапазону показателей в каждой из классификационных шкал.

Очевидно, что границы между отдельными типами условны, не всегда укладываются в указанную систему или выходят за пределы крайних в ряду величин. Рядом авторов предложена более дробная типизация, включающая такие типы, как ультраолиготрофный и гиперэвтрофный, или разделяющая каждый из основных типов на две группы (Gregor, Ras., 1982; Бульон, 1983; Китаев, 1984; Романенко, 1985). Попытка создания более дробной классификации, оценивающей положение водоема в трофическом ряду, нашла свое выражение в „нумерических" шкалах.

Следующий этап, который можно назвать современным, характеризуется интенсивными междисциплинарными исследованиями в лимнологии, разработкой методов количественных оценок структуры и функционирования различных сообществ и параметров водной среды. Концепции системной экологии, рассматривающей водоем как единое целое, как организованную систему, в которой тесно взаимосвязаны все ее элементы, позволили сделать значительный шаг в развитии типологического направления. Этому способствовало широкое использование методов математики и кибернетики с целью формализации зависимостей между различными компонентами водных экосистем. Среди большого числа показателей заметное место стали занимать интегральные, преимущество которых состоит в их лаконичности и большой информативности. Появились новые классификационные шкалы, среди которых особого внимания заслуживают так называемые „нумерические". Первая из них была предложена Карлсоном (Carlson, 1977) и сразу же нашла широкое применение в лимнологических исследованиях.

При расчете трофического индекса Карлсона (Trophic State Index - TSI) учитываются корреляционные связи между параметрами водных экосистем, в данном случае прозрачностью, концентрацией хлорофилла и общего фосфора:

$\ln SD = 2.04 - 0.68 \ln Chl\ „a"$; $Chl\ „a" = 1.449 \ln TP - 2.442$;

$\ln SD = 3.876 - 0.98 \ln TP$ или $SD = 48.1/TP$, где SD - прозрачность по диску Секки, м; Chl „a" - в мг/м^3; TP - общий фосфор в мг/м^3. Имеется предельно простая формула для определения трофического индекса: $TSI = 10(6 - \log_2 SD)$. Для сопоставления и взаимоконтроля параметров, используемых при расчете TSI, можно руководствоваться сводной таблицей, предложенной Карлсоном (табл. 2).

Достоинством нумерических шкал является то, что в условном численном выражении от 0 до 100 они могут отразить непрерывный ряд трофических состояний водоема и дать более дробные границы его положения в пределах каждого трофического типа. При многолетних наблюдениях показатели этих шкал, взаимосвязанные

Таблица 2

Трофический индекс и связанные с ним параметры (по Carlson, 1977)

Тип водоема	TSI	Прозрачность, м	$P_{общ}$*, мг/м^3	Chl „a"*, мг/м^3
Олиготрофный	0	64	0.75	0.04
	10	32	1.5	0.12
	20	16	3	0.34
	30	8	6	0.94
Мезотрофный	40	4	12	2.6
	50	2	24	6.4
Эвтрофный	60	1	48	20
	70	0.5	96	56
Гиперэвтрофный	80	0.25	192	154
	90	0.12	384	427
	100	0.062	768	1183

* В поверхностном слое воды.

друг с другом, позволяют следить, даже за незначительными изменениями в водных экосистемах. В современной экологической ситуации это имеет большое практическое значение. Группа японских авторов (Aizaki et al., 1981) сопоставляет трофический индекс, рассчитанный по хлорофиллу и приведенный к 100-балльной шкале, с очень большим числом параметров, включающих сестон, органический углерод, фосфор, азот, химическое потребление кислорода и даже численность бактерий (табл. 3).

Заслуживают внимания работы группы эстонских лимнологов, возглавляемых А. Милиус, Х. Симм и др. (Милиус и др., 1987). На основе многолетних исследований озер этого региона ими был предложен так называемый индекс трофности (ИТ), который рассчитывается на основе формализованных связей между значительно большим числом параметров, чем у Карлсона (табл. 4). Далее были установлены парные корреляции между индексами в их различных сочетаниях и доказана возможность переноса информации между ними на основе тесных межиндексных корреляционных связей (r = 0.78-0.92). По мнению авторов, оценка трофического статуса может быть проведена по любому из названных параметров по той же 100-бальной шкале (табл. 5). Был предложен экспресс-метод определения трофического типа озер на основе содержания фосфора в воде весной или зимой в конце ледостава и корреляционных связей этого показателя с некоторыми параметрами. Легко определяемым параметром является прозрачность, а при наличии надежного оксиметра - концентрация растворенного кислорода (Милиус и др., 1987, с. 66).

Таблица 3

Сопоставление трофического индекса Карлсона и других параметров озерных экосистем (по Aizaki et al., 1981)

TSI	Chl „a", мкг/л	SD, м	TP, мкг/л	SS, сух. вес, мг/л	POC мг/л	PON, мг/л	TN, мг/л	COD, мг/л	TB, N/мл
0	0.10	46	0.4	0.04	0.02	0.003	0.012	0.05	4.6×10^4
10	0.26	26	0.9	0.09	0.05	0.006	0.023	0.13	8.9×10^4
20	0.66	14	2.1	0.22	0.10	0.014	0.044	0.25	1.7×10^5
30	1.6	8	4.7	0.52	0.20	0.03	0.09	0.48	3.4×10^5
40	4.1	4.5	10	1.2	0.42	0.07	0.17	0.94	6.7×10^5
50	10	2.5	23	2.9	0.87	0.14	0.33	1.8	1.3×16^6
60	26	1.4	51	6.9	1.8	0.31	0.65	3.6	2.5×10^6
70	64	0.80	114	16	3.7	0.66	1.3	7.0	5.0×10^6
80	160	0.44	254	38	7.7	1.4	2.5	14	9.7×10^6
90	400	0.25	566	91	16	3.1	4.8	27	1.9×10^7
100	1000	0.14	1260	215	33	6.8	9.4	52	3.7×10^7

Примечание. TSI – трофический индекс Карлсона; SD – прозрачность по диску Секки; TP – общий фосфор; SS – сестон; POC – органический углерод; PON – органический азот; TN – общий азот; COD – химическое потребление кислорода; TB – общая численность бактерий (данные для эуфотической зоны озер).

Таблица 4

Блок для определения уровня трофии (по Милиус и др., 1987)

Индекс трофности	Индекс трофности
$I_{Chl} = 20 + 33.2 \log Chl$	$I_{P_i} = 30.44 + 28.20 \log P_i$
$I_{SD} = 70.81 - 55.08 \log SD$	$I_C = -35.76 + 59.68 \log C$
$I_P = -19.39 + 43.12 \log P$	$I_D = 68.21 + 28.45 \log D$
$I_B = 44.87 + 23.22 \log B$	$I_{O_2} = -105.59 + 145.3 \log O_2$
$I_{P_{SP}} = 34.74 \log P_{SP} - 7.62$	$I_{O_{2P}} = -268.96 + 154.5 \log O_{2P}$
$I_{P_W} = 9.91 + 25.33 \log P_W$	

Примечание. Chl – содержание Chl „a", мг/м^3; SD – прозрачность по диску Секки, м; P – концентрация общего фосфора в воде в вегетационный период, мг/м^3; B – биомасса фитопланктона, г/м^3; P_{SP} – концентрация общего фосфора в воде весной, мг/м^3; P_W – концентрация общего фосфора в воде зимой в конце ледостава, мг/м^3; P_i – содержание фосфатных ионов, мг/м^3; C – бихроматная окисляемость, мг O/л; D – скорость поглощения кислорода в гиполимнионе во время летней стратификации, мг O_2/л · сут.; O_2 – содержание кислорода в эпилимнионе, мг/л; O_{2P} – насыщение кислорода в эпилимнионе, %.

Таблица 5

Межиндексные корреляционные связи (по Стараст и др., 1985)

$I_{Chl} = 112.12 - 3356\, I_0^{-1}$	$I_P = 15.33 + 0.7018\, I_{SD}$
$I_{Chl} = 22.59 + 1.0876\, I_{SD}$	$I_0 = 33.18 + 8.97 \cdot 10^{-3} I_P$
$I_B = 12.01 + 0.7736\, I_{Chl}$	$I_0 = 31.09 + 9.52 \cdot 10^{-3} I_{SD}$
$I_B = 12.29 + 0.7686\, I_{SD}$	$I_{SD} = 4.49 + 0.7843\, I_{Chl}$
$I_P = 16.85 + 0.6488\, I_{Chl}$	$I_{SD} = 101.4 - 2771\, I_0$

Примечание. I_0 – индекс трофности по кислороду (по Walker, 1979); $I_0 = 175 + 49 \log D - 223 \log \bar{z} + 100 (\log \bar{z})^2$, где D – гиполимниальный дефицит кислорода, г/м^2 · сут); $\bar{z}$ – средняя глубина озера, м.

В 80-е годы американскими лимнологами (Gregor, Rast, 1982) был предложен „комплексный индекс трофического состояния" (КИТС), включающий параметры: содержание общего фосфора, концентрация хлорофилла, прозрачность воды. Он имеет следующие градации с разделением озер на 6 трофических типов: гиперэвтрофные –

Таблица 6

ИТС озерных экосистем по данным $C_{хл}$ и $A_{опт}$ (по Бульон, 1987)

Трофический тип	ИТС	$C_{хл}$, мкг/л	$A_{опт}$, мгкС/(л·сут)
Ультраолиготрофный	0–20	< 0.1	< 3
Олиготрофный	20–40	0.1–1	3–30
Мезотрофный	40–60	1–10	30–300
Эвтрофный	60–80	10–100	300–3000
Гиперэвтрофный	80–100	>100	>3000

>30; эвтрофные – 11–30; мезоэвтрофные – 9–11; мезотрофные – 4.5–9.0; олигомезотрофные – 3–4.5; олиготрофные – <3.

Предложена еще одна нумерическая шкала по „индексу трофического состояния" (ИТС) в том же диапазоне, от 0 до 100 (Бульон, 1987). ИТС определяется на основе содержания хлорофилла и скорости фотосинтеза фитопланктона на глубине оптимального фотосинтеза по формулам:

$$ИТС = 20(2 + \lg C_{хл}) \quad (1)$$

и

$$ИТС = 20(0.52 + \lg A_{опт}). \quad (2)$$

В.В. Бульон приводит таблицы, которые могут быть использованы в целях типизации (табл. 6, 7).

В публикациях последних лет предлагается еще один интегральный индекс, который также приводится к 100-балльной нумерической шкале, – это LEI (Lake Evaluation Index): $LEI = 0.25[(Chl_{\alpha} + MAC)/2 + SD + DO + T]$, где SD – прозрачность по диску; $T = \min(TN, TP)$; TN – общий азот; TP – общий фосфор; Chl_{α} – хлорофилл „a"; DO – растворенный кислород; MAC – макрофиты. Сведения об индексе LEI приводятся в работах (Henderson-Sellers, 1984; Henderson-Sellers, Markland, 1987), где имеются ссылки еще на ряд авторов, предлагающих индексы оценок трофического состояния озерных экосистем. Сложность расчета индекса LEI очевидна. Вряд ли даже при комплексных исследованиях можно сразу иметь полный набор необходимых данных.

Другим примером сложного „индекса трофического состояния" озера является индекс, предложенный американскими лимнологами (Shannon, Brezonik, 1972). Он включает следующие признаки: содержание хлорофилла, общего азота и фосфора, прозрачность, первичную продукцию и электропроводность. С помощью

Таблица 7

Содержание хлорофилла „a" ($C_{хл}$), скорость фотосинтеза на оптимальной глубине ($A_{опт}$) и первичная продукция под единицей площади ($\sum A$) в озерах разной трофности (по Бульон, 1987)

ИТС	$C_{хл}$, мкг/л	$A_{опт}$, мкгС/(л·сут)	A, мкг С/($м^2$·сут)
20	0.1	3	60
40	1	30	200
60	10	300	700
80	100	3000	2000

Примечание. $A_{опт} = 30\ C_{хл}$; $\sum A = A_{опт} S$, где S – прозрачность, м.

кластерного анализа выделяется пять градаций каждого признака, соответствующих пяти классам трофической классификации озер (от ультраолиготрофных до гиперэвтрофных), а дискриминантный анализ позволяет установить, к какому типу следует отнести исследуемое озеро. Как пишет Г.Г. Винберг (1986), „насколько известно, эта сложная условная процедура не получила применения в работах других авторов, и вряд ли она может дать заметно больше достигаемого более простыми средствами" (с. 6).

Во всех нумерических шкалах используется прозрачность воды по диску Секки. Эта характеристика давно привлекала внимание лимнологов (начиная с Тинемана и Наумана) и использовалось в качестве показателя в натурных классификационных шкалах при определении трофического типа озер (обзор по Китаеву, 1984). Прозрачность воды – это интегральная характеристика, результирующая множество процессов, связанных, в частности, с развитием планктонных сообществ, она дает информацию об общем содержании сестона, включающего взвешенное органическое вещество как автохтонного, так и аллохтонного происхождения. Возможность дистанционного определения величины прозрачности увеличивает перспективность ее использования. Подобными примерами мы уже располагаем (Львов, Шумаков, 1989). Необходимо отметить и определенные ограничения использования этого показателя в целях типизации. Они относятся к озерам с высокой цветностью (за счет гуминовых веществ или соединений железа) и высокой мутностью, что характерно для больших мелководных озер с повышенной динамикой водных масс. Назовем работы, где рассматривается связь между такими параметрами, как цветность, концентрация гуматов и прозрачность воды. А.А. Салазкин (1976) предложил классификацию озер по степени гумификации на основе величин цветности по Pt-Co шкале. Позднее была предложена ее модификация, основанная на следующей зависимости: цветность $= 14.34 + 15.39\ C_{гум}$, где цветность в гра-

Таблица 8

Модифицированная классификация озер по уровню гумификации воды (по Мяэметс, Румянцева, 1980)

Тип озер	$C_{гум}$, мг/л	Цветность, град. Pt-Co шкалы
Ультраолигогумозные	<1	<20
Олигогумозные	1-3	20-50
Мезогумозные	3-7	50-100
Полигумозные	>7	>100

дусах Pt-Co шкалы, $C_{гум}$ – в мг С/л (Мяэметс, Румянцева, 1980) (табл. 8).

Далее авторы предлагают формализованную зависимость между величиной прозрачности и концентрацией гуматов:

$$SD = 0.173 + \frac{2.766}{C_{гум}} + \frac{0.262}{C^2_{гум}}.$$

Поскольку $C_{гум}$ связано с показателями цветности линейной зависимостью, в расчеты этих параметров могут быть внесены соответствующие коррективы.

Исчерпывающий обзор материалов, связанных с характеристикой прозрачности (SD) приведен в монографии С.П. Китаева (1984). Он предлагает еще один показатель – „относительной прозрачности" ($SD/H_{ср}$), тесно коррелирующей с трофическим типом водоема. По величине отношения прозрачности к средней глубине он делит озера на 5 групп от „оптически очень мелководных" до „оптически очень глубоких". Ряд цифр идет от минимальных (<0.25, 0.25-0.5) к максимальным (1-2, >2), т. е. когда прозрачность в 2-4 раза и более меньше средней глубины и соответственно в 1-2 раза и более больше средней глубины. Крайние группы соответствуют эвтрофным и олиготрофным озерам, промежуточные – мезотрофным.

В.П. Романовым (1989) предложено понятие „потенциальной прозрачности", которая может быть рассчитана на основе морфометрических показателей водоема по уравнениям регрессии. Эта оценка возможна лишь в сопоставлении с реальной прозрачностью, которой придается большое типологическое значение на основе полученных корреляционных зависимостей между прозрачностью воды, численностью и биомассой фитопланктона, показателями перманганатной и бихроматной окисляемости, цветностью, $БПК_5$ (Романов, Бойкова, Вежновец, 1988). О высокой информативности показателя прозрачности свидетельствуют многочисленные данные и других авторов о тесных корреляционных связях между этой величиной и различными параметрами лимнических экосистем (Бульон, 1983; Милиус и др., 1987; Трифонова, 1986, и другие авторы, названные выше при рассмотрении нумерических шкал). В

работах В.П. Романова (Романов и др., 1988, 1989) говорится о возможности использования морфометрических характеристик в целях типизации. Связи между уровнем продуктивности водоема и такими морфометрическими показателями, как площадь водоема и водосбора, объем водной массы, средняя глубина $\frac{A_o + A_d}{V}$ или $(F+1)/\bar{z}$, где $F = A_d/A_o$ – удельный водосбор озера, $\bar{z}$ – средняя глубина, рассмотрены в работах (Shindler, 1971; Китаев, 1984). Имеется и их критическая оценка (Бондарева и др., 1973; Винберг, 1986).

Гидрохимические показатели широко используются в целях типизации, входя в качестве параметров в нумерические шкалы. Некоторые из них являются основой и для натурных классификационных шкал. Так, А.А. Салазкиным (1976) был предложен „кислородный коэффициент", представляющий собой отношение содержания O_2 в придонном слое воды в конце зимы и летом. В озерах с низким уровнем биологической продуктивности при слабом накоплении органического вещества автохтонного происхождения в зимние месяцы расходуется минимальное количество кислорода, и величина кислородного коэффициента близка к 1. В высокопродуктивных водоемах на процессы минерализации большого количества органического вещества требуется значительно большее количество кислорода, и эта величина приближается к нулю. Показатель, связанный со скоростью потребления кислорода в гиполимнионе, был предложен Хендерсон-Селлерс (Henderson-Sellers, 1984). Он использовал и величину гетеротрофной ассимиляции углерода в мг/м^2 в сутки. Ряд авторов строят натурные типологические шкалы на основе показателей $P_{общ}$, $N_{общ}$, $C_{ров}$, бихроматной окисляемости, содержания сестона, отношения сумм одновалентных и двухвалетных катионов (Zafar, 1959; Vollenweider, 1979; Калинина, Румянцева, 1980; Forsberg, Ryding, 1980; Стараст и др., 1985; Гутельмахер, 1986; Милиус и др., 1987; Henderson-Sellers, Markland, 1987).

Рассматривая возможности использования гидрохимических показателей в целях типизации, следует обратить внимание на научные концепции, связанные с так называемой системой углерода в водоеме, включающей три макрокомпонента – углерод минеральных соединений ($C_к$), растворенных органических веществ ($C_{ров}$) и взвешенных органических веществ ($C_{вов}$). „Система углерода" рассматривается как интегральный критерий состояния озер (Румянцева, 1980). Структура биотических компонентов и структура „системы углерода" в любых гидроэкосистемах взаимосвязаны. „В основе этой взаимосвязи лежит совокупность обменных процессов, являющихся одним из регуляторов динамической стабильности озера. „Система углерода" отражает особенности всей гидроэкосистемы в целом и может стать, вероятно, ее полезным типологическим показателем" (Румянцева, 1980, с. 34). На примере разнотипных

озер Северо-Запада приводятся количественные показатели $C_{ров}$, а также зависимости между прозрачностью, $БПК_5$ воды, содержанием гуматов и величиной $C_{ров}$ (Калинина, Румянцева, 1980).

Переходя к рассмотрению биологических показателей, следует подчеркнуть их особую значимость, ибо уровень биологической продуктивности водоема определяется интенсивностью функционирования гидробионтов, представленных огромным разнообразием популяций и сообществ, населяющих водоем. Возможность использования других параметров в целях типизации основана на тесной взаимосвязи биотических и абиотических компонентов экосистемы, и в данном случае приоритетными являются первые.

Среди биологических показателей важнейшее место бесспорно занимают количественные оценки развития фитопланктона и данные по первичной продукции. Показатели, относящиеся к другим сообществам, пока еще не столь широко используются в типологических целях, хотя для каждого из них характерны специфические черты структуры и функционирования в озерах разных трофических типов. За последний период число таких показателей заметно увеличилось, что расширило возможности трофической типизации озер, ибо далеко не всегда при исследовании водоемов имеется возможность получить данные, относящиеся к сообществу фитопланктона.

Рассматривая, например, возможности использования параметров сообщества зоопланктона в целях типизации, следует отметить, что долгое время оно занимало статус непоказательного на том основании, что подавляющее большинство видов зоопланктона является эврибионтами и имеет почти всесветное распространение. В классификационных целях в основном использовались виды-индикаторы степени сапробности водоемов, в меньшей степени – их трофического типа. Показатели же, характеризующие зоопланктон как систему биоценотического уровня, не привлекали к себе должного внимания. Как видно на примере одного из методических руководств (Свирская, 1983), число их пока очень невелико. В последний период была дана новая оценка индикаторной роли зоопланктона в диагностике состояния озерных экосистем (Андроникова, 1980, 1988, 1989). Исходя из концепций системной экологии зоопланктон рассматривается как организованная биологическая система с определенной взаимосвязанностью и упорядоченностью ее структурных и функциональных показателей. Специфика этой упорядоченности в различных экологических условиях позволяет более широко использовать зоопланктон в целях типизации как показатель процессов эвтрофирования или деградации озерных экосистем при токсическом загрязнении. На этих концепциях следует строить выбор параметров и для других сообществ гидробионтов. В целях типизации не должен быть забыт и экологический подход, основанный на использовании индикаторных видов, развивающихся в условиях озер разных трофических типов. Многие исследователи работали в этом направлении, и перечень таких видов довольно велик. Предлагаемая нами сводная табл. 9 не претендует на окончательный вариант, а является опре-

Таблица 9

Виды-индикаторы зоопланктона олиго- и эвтрофного типов озер и водоемов с экстремальными экологическими условиями

Олиготрофный тип

Asplanchna herricki de Guerne
Synchaeta grandis Zacharias
Ploesoma hudsoni Imhof
Conochilus hippocrepis (Schrank)
Gastropus stylifer Imhof
Limnosida frontosa Sars
Holopedium gibberum Zadd.
Daphnia longispina O.F. Müll.
Daphnia hyalina (Leyd.)
Bosmina longispina (Leyd.)
Bosmina obtusirostris lacustris Sars
Bythotrephes longimanus Leyd.
Bythotrephes cederstroemii Schoed.
Limnocalanus macrurus Sars
Heterocope appendiculata Sars
Cyclops abyssorum Sars
Cyclops scutifer Sars

Эвтрофный тип

p. Brachionus Pallas
Brachionus diversicornis (Daday)
Anuraeopsis fissa (Gosse)
Hexarthra mira (Hudson)
Polyarthra euryptera Wierzejski
Filinia longiseta (Ehrenberg)
Keratella quadrata (O.F. Müller)
Keratella cochlearis tecta (Gosse)
Trichocerca cylindrica (Imhof)
Pompholyx sulcata Hudson
Daphnia pulex (De Geer)
Daphnia cucullata Sars
Ceriodaphnia pulchella Sars
Bosmina longirostris (O.F. Müll.)
Bosmina coregoni thersites (Poppe)
Chydorus sphaericus (O.F. Müll.)
Cyclops kolensis Lill.
Cyclops strenuus Fish.
Mesocyclops crassus (Fish.)

Водоемы с низкими величинами pH

Keratella serrulata (Ehrenberg)
Holopedium gibberum Zadd.
Simocephalus serrulatus (Koch)

Таблица 9 (продолжение)

Scapholeberis microcephala Lill.
Macrothrix rosea (Jur.)
Acantholeberis curvieostris (O.F. Müll.)
Streblocerus serricaudatus (Fish.)
Chydorus ovalis Kurz
Alonella excisa (Fish.)
Diaptomus minutus Lill.
Paracyclops fimbriatus (Fish.)
Acanthocyclops capillatus (Sars)
Acanthocyclops bicuspidatus (Claus)

Полигумозные водоемы

Alona rustica Scott
Alona estonica Mäeemets
Scapholeberis microcephala Lill.
Drepanotrix dentata (Eurén)
Chydorus ovalis Kurz
Chydorus piger Sars
Acantholeberis curvirostris (O.F. Müll.)
Acanthocyclops venustus (Normann a. Scott)
Acanthocyclops bisetosus (Rehberg)
Acanthocyclops languidus (Sars)
Acanthocyclops nanus (Sars)
Bryocamptus pygmaeus (Sars)
Moraria brevipes (Sars)

деленным этапом в разработке индикационных показателей трофического типа озер.

Первая группа количественных показателей, которые могут быть использованы в целях типизации, относится к таксономической структуре сообщества. Индекс видового разнообразия (ИВР) – $H_{бит} = -\sum p_i \log_2 p_i$, где p_i – отношение N_i / N или B_i / B (Shannon, Weaver, 1963; Гиляров, 1969); УБР – удельное биотическое разнообразие – отношение индекса видового разнообразия к численности или единице биомассы (Рябов и др., 1974); E/O – показатель трофии – соотношение числа видов-индикаторов эвтрофного и олиготрофного типа (Hakkari, 1978); $E = \frac{K(X+1)}{(A+V)(У+1)}$ – коэффициент трофии, где K – число видов Rotatoria, A – Copepoda, V – Cladocera, X – мезоэвтрофные виды, У – олигомезотрофные виды; список видов-индикаторов прилагается (Мяэметс, 1979); $Q_{B/T}$ – отношение числа видов p. Brachionus к числу видов p. Trichocerca (Sládeček, 1983).

Наиболее высокой информативностью обладает ИВР, не только дающий интегральную характеристику, связывающую несколько параметров, но и являющийся мерой организованности сообщества. С повышением трофического уровня водоема величина ИВР закономерно снижается. Определенные ограничения использования таксономических показателей связаны со сложностью идентификации видов, требующей высокой квалификации, а также трудностью получения полного списка видового состава, что требует длительного периода наблюдений на водоеме. Методически наименее сложным для определения является индекс E/O, так как список индикаторных видов, предлагаемых Хаккари (Hakkari, 1978), сравнительно невелик. В целях типизации могут быть также использованы процентное соотношение основных систематических групп Rotatoria, Cladocera, Copepoda (Крючкова, 1987) и средняя индивидуальная масса особи зоопланктера как для сообщества в целом, так и для отдельных таксономических групп (Крючкова, 1987; Андроникова, 1989; Бабицкий, 1989).

Такой показатель, как индекс сапробности водоема, рассчитанный на основе списка индикаторных видов, хорошо соотносится с уровнем трофии водоема: ксено- и β-олигосапробные индексы соответствуют олиготрофному типу, α-олигосапробы – мезотрофному, β- и α-мезосапробы – эвтрофному и гиперэвтрофному. В равной степени это относится к организмам фито- и зоопланктона (Rodhe, 1969; Макрушин, 1974а, б; Van, Nuland, Meis, 1980; Sládeček, 1983; Трифонова, 1984). Соотношение может быть использовано в целях взаимоконтроля при наличии данных по другим параметрам исследуемого водоема.

Следующая группа показателей строится на количественных оценках численности и биомассы зоопланктона за вегетационный период или летний сезон (Blancher, 1984; Китаев, 1984; Крючкова, 1987). С повышением трофического уровня озер они возрастают. Однако при достижении статуса гиперэвтрофного численность становится очень высокой, а биомасса значительно снижается (почти до уровня олиготрофного водоема). Это связано с резкой перестройкой таксономической и размерной структуры сообщества – массовым развитием мелких форм с преобладанием коловраток. В качестве дополнительного типологического показателя может быть предложено отношение среднелетней биомассы к зимней ($B_{летн}/B_{зимн}$). Эта величина с переходом водоема от одного трофического типа к другому возрастает следующим образом: $B_{летн}/B_{зимн}$ составляет в олиготрофных озерах 1:(1–9); в мезотрофных озерах 1:(10–90); в эвтрофных озерах 1:(100 и более). Информативным показателем следует считать отношение биомасс зоо- и фитопланктона за вегетационный период ($B_{зоо}/B_{фито}$), отражающее межбиоценотические трофические связи в планктонном ценозе. С повышением трофического уровня оно закономерно снижается и для водоемов крайних трофических типов в среднем различается на порядок – от $\gtrsim 4:1$ до $\lesssim 0.5:1$ (Jumppanen, 1976; Лаугасте, Порк, 1980; Андроникова, 1989; Драбкова и др., 1989).

Таблица 11

Показатели трофического статуса озерных экосистем

Показатель	Автор классификации	Трофический тип озера		
		Олиготрофный	Мезотрофный	Эвтрофный
Валовая продукция фитопланктона за год (А), г С/м^2	Винберг, 1960	<10–30	30–100	≥100–300
	Китаев, 1984 (обобщение)	<12.5–25	25–100	≥100–400
Первичная продукция за сутки, г С/м^2	Винберг, 1960	0.1–0.3	0.3–0.7	≥0.7–2
	Китаев, 1984 (обобщение)	0.125–0.25	0.25–1	≥1–4
Интенсивность фотосинтеза за год, г С/м^2	Романенко, 1985	1–90	90–180	180–640
Интенсивность фотосинтеза в трофогенном слое за год, мг С/л	То же	0.03–10	10–80	80–853
Фотосинтез, мг С(л·сут)	Гутельмахер, 1986	0.005–0.05	0.05–0.50	0.50–5.00
A/R	Винберг, 1960	<1.0	≈1.0	>1.0
$A + R$, мкг С/(л·сут)	Ohle, 1958	160	220	–
Концентрация хлорофилла „а" за вегетационный период, мг/м^3	Винберг, 1960	0.1–1	1–10	10–100
	Dobson et al., 1974	<4.3	4.3–8.8	>8.8
	Rast, Lee, 1978	<2	2–6	>6
	Милиус, Кываск, 1979	<3.0	3–8	8–20
	Трифонова, 1979	<1.5	1.5–10	>10–50
	Бульон, 1983	0.1–1.0	1.0–10	10
	Henderson-Sellers, 1984	<4.0	4–10	10–100
	Китаев, 1984 (обобщение)	<1.5–3	3.12	≥12–48
Биомасса фитопланктона за вегетационный период, г/м^3	Михеева, 1969	<1.5	1.5–2	≥2–6
	Милиус, Кываск, 1979	<1	1–3	3–7
	Трифонова, 1979	<1.0	1.0–3.0	3.0–10
	Китаев, 1984 (обобщение)	<0.5–1	1–4	≥4–16

Таблица 10

Продукция зоопланктона в озерах разного трофического типа (по Андрониковой, 1989)

Тип озера	n	P_2	P_3	P_z	P_z/B_z	Turnover time
Олиготрофный	18	32.9±10.7	5.0±1.3	13.9±3.5	4.1±0.5	39
Мезотрофный	37	112.0±15.6	11.0±1.5	52.9±7.7	7.1±0.6	22
Эвтрофный	28	140.6±17.8	18.5±4.4	70.6±18.7	8.7±0.9	18

Примечания. P_2, P_3, P_z – соответственно продукция II, III трофических уровней и сообщества в целом; B_z – биомасса; n – число озер.

Основными функциональными показателями сообщества зоопланктона являются продукция и энергетический обмен. Показатели продукции зоопланктона в отличие от первичной продукции представляют собой расчетные величины, а не непосредственно измеряемые. В методах расчета еще много допущений, достоверность получаемых цифр невысока. Хотя очевидно, что по мере эвтрофирования водоема продукция сообщества значительно возрастает, а время оборачиваемости биомассы соответственно сокращается, рекомендовать какие-либо цифровые показатели продукции зоопланктона в типологических целях пока преждевременно. В качестве иллюстрации порядка величин приведем обобщающие данные по 53 озерам для 83 вегетационных периодов (табл. 10).

Более корректной величиной, где используется функциональная характеристика зоопланктона, является интегральный показатель R/B – отношение величины энергетического обмена, просуммированного для всего сообщества, к средней биомассе за вегетационный период. Это отношение показывает, какое количество энергии необходимо для поддержания структуры сообщества, в данном случае энергии, заключенной в единице биомассы. С увеличением биологической продуктивности водоема этот показатель возрастает.

Все перечисленные показатели названных классификаций и их авторы представлены в табл. 11. После оценок, относящихся к зоопланктону, в ней приведены показатели для бактериопланктона (Кузнецов, 1970; Сорокин, 1973; Романенко, 1985), бентоса (Китаев, 1984 – обзор), ихтиофауны (Салазкин, 1976; Руденко, 1978; Руденко, Умнов, 1982; Китаев, 1984).

Завершая обзор классификационных шкал, следует отметить, что подавляющее большинство авторов не приводит данных для озер **дистрофного типа.** Имеющиеся сведения настолько разрозненны и малочисленны, что пока не могут быть включены в какую-либо систему. Выделение этого типа озер было связано с широким распространением в гумидной зоне водоемов с высокой цветностью и низкими величинами pH. Вопросы их типизации и возможное положение в классификационных системах рассмотрены в ряде работ (Герд, 1961; Баранов, 1962; Hansen, 1962; Андроникова, 1973;

Таблица 11 (продолжение)

Показатель	Автор классификации	Трофический тип озера		
		Олиготрофный	Мезотрофный	Эвтрофный
Прозрачность воды по диску Секки, м	Lönnerblad, 1931	>4	2–3	<1
	Aberg, Rodhe, 1942	>5	3–5	<3
	Alm, 1960	>5	2–5	<2
	Китаев, 1984	≥4–8	1–4	<1
	Vollenweider, Kerekes, 1980	9.9	2.4–4.2	<1
	Henderson-Sellers, 1984	>6.0	3–6	<3
	Романенко, 1985	≥6–12	3–1.5	0.8–0.3
Комплексная классификация по Фолленвейдеру:	Vollenweider, 1979			
$P_{общ}$, мг/м^3		8.0	27.6	84.4
$N_{общ}$, мг/м^3		661	753	1875
Chl „a", мг/м^3		1.7	4.2	14.3
SD, м		9.9	4.2	2.4
Нумерические шкалы:				
Трофический индекс Карлсона (TSI) – TSI_{SD}, TSI_{Chl}, TSI_P	Carlson, 1977	0–40	40–60	≥60–80
индекс трофии (ИТ) по кислороду – I_O	Walker, 1979	0–40	40–60	60–80
индекс трофии (ИТ) – I_{Chl}, I_{SD}, I_P, I_B, I_{Psp}, I_{Pw}, I_{Ps}, I_O, I_P, I_{O_2}, I_{C_2P}	Милиус, Кываск, 1982	20–40	40–60	60–80
	Симм и др., 1983	20–40	40–60	60–80
	Милиус и др., 1987	20–40	40–60	60–80
Индекс трофического состояния (ИТС) – ИТС Chl, ИТС A_{ups}	Бульон, 1987	20–40	40–60	60–80
Комплексный индекс трофического состояния (КИТС)	Gregor, Rast, 1982	<3–4.5	4.5–7	≥11–30
Lake Evaluation Index (LEI)	Henderson-Sellers, 1984; Henderson-Sellers, Markland, 1987	0–40	40–60	≥60–80
Кислородный коэффициент	Салазкин, 1976	0.9–0.7	0.6–0.4	0.3–0.1
Скорость потребления O_2 в гиполимнионе, мг/(м^3·сут)	Henderson-Sellers, 1984	<250	250–550	>550
Ассимиляция углерода, мг/(м^2·сут)	То же	30–100	100–300	300–3000
Сестон: мг ОВ/л	Гутельмахер, 1986	0.14–0.66	0.66–3.00	3.00–13.6
мг С/л	То же	0.07–0.33	0.33–1.50	1.50–6.80
Углерод растворенного органического вещества $C_{ров}$, мг С/л	Калинина, Румянцева, 1980	1.7–6.0		≥6–13
$БПК_5/C_{ров}$	То же	<0.25	0.25	≥0.31–0.34
Концентрация $P_{общ}$	Милиус и др., 1987	<10	10–33	34–87
Концентрация $N_{общ}$	Forsberg, Ryding, 1980	<0.4	0.4–0.6	0.6–1.5
(Na + K) / (Ca + Mg)	Zafar, 1959	>2.0	1.2–2.0	<1.2
E – коэффициент трофии	Мяэметс, 1979	<0.2	0.2–1.0	1.0–4.0
E/O – показатель трофии	Hakkari, 1978	<0.5	0.5–1.5	1.5–5.0
$Q_{B/T}$	Sládeček, 1983	<1.0	1.0–2.0	>2.0
Индекс видового разнообразия на основе величин биомассы зоопланктона ($H_{бит}$)	Андроникова, 1989 (обобщение)	4.0–2.6	2.5–2.1	≤2.0–1.0
Численность зоопланктона за вегетационный период, 10^5/м^2	Blancher, 1984	1	3	8
Биомасса зоопланктона за летний сезон, г/м^3	Китаев, 1984 (обобщение)	<0.5–1.0	1.0–4.0	4.0–16
$B_{зоо}/B_{фито}$ за вегетационный период	Андроникова, 1989 (обобщение)	≥4:1	~1:1	≤0.5:1

Таблица 11 (продолжение)

Показатель	Автор классификации	Трофический тип озера		
		Олиготрофный	Мезотрофный	Эвтрофный
$B_{зимн}/B_{летн}$ (зоопланктон)	Андроникова, 1989 (обобщение)	1:(1–9)	1:(10–90)	1:(≥100)
R_z/B_z для сообщества зоопланктона за вегетационный период	То же	0.15	0.20	≤0.30
Численность бактериопланктона, млн. кл./л	Кузнецов, 1970	<0.5	0.5–1.5	≥2–4
	Сорокин, 1973	<1	1–2	>2–3
	Романенко, 1985	0.05–0.5	0.5–2	2–15
Гетеротрофная ассимиляция CO_2 (летом) мкг С/(л·сут)	Романенко, 1985	0.01–0.1	0.1–5	5–70
Биомасса бактерий, г/м^3	Сорокин, 1973	0.2–0.4	0.3–1	1–3.5
Продукция бактериопланктона за сутки, г/м^3	То же	<0.1	0.1–0.5	0.5–2
Бактериальная продукция за год, ккал/м^2	" "	<200	200–500	400–700
Биомасса бентоса за вегетационный период, г/м^2	Китаев, 1984 (обобщение)	1.25–2.5	2.5–10	≥10–40
Ихтиомасса, кг/га	Руденко, 1978	2–57	40–150	118–240
	Китаев, 1984 (обобщение)	<12.5–25	25–100	≥100–400
Промысловая рыбопродукция, кг/(га·год)	То же	<2.5–5	5–20	≥20–80

Примечание. Цифровой материал приведен в том виде, как представлен у авторов цитируемых работ.

Салазкин, 1976). Высказывалось мнение, что не следует употреблять термины „гумифицированный" и „дистрофный" как синонимы, не указывая при этом степени гумификации водоема, ибо не всегда даже полигумозные озера характеризуются очень низкой биологической продуктивностью. Нередкие случаи обильного развития ряда сообществ позволили высказать мнение о существовании, например для зоопланктона, двух уровней продуктивности (Андроникова, 1965, 1973; Стогов, 1990). Для гумифицированных водоемов в классификационной системе предлагалось использовать двойную номенклатуру – в одном термине должен быть определен уровень продуктивности по какой-либо из классификационных шкал, в другом – степень его гумификации как основного фактора среды, определяющего специфику биоты данного водоема (например, полигумозный-мезотрофный, мезогумозный-дистрофный и т. д.). Если строго отнестись к концепции продукционно-биологического подхода, где уровень продуктивности определяется показателем скорости новообразования органического вещества, то сильно гумифицированные водоемы действительно являются дистрофными, так как условия для развития фитопланктона здесь неблагоприятны: низкая прозрачность, чрезвычайная обедненность биогенными элементами, как правило, низкие величины pH. Однако специфика круговорота органического вещества приводит к тому, что здесь иначе складываются трофические связи и другие сообщества гидробионтов достигают значительного разнообразия. Функционирование этих водных экосистем в значительной степени определяется дополнительным количеством энергии, поступающей извне с аллохтонным органическим веществом. Структура биоценозов здесь упрощена, в трофических связях преобладают детритно-бактериальные цепи питания (Anderson et al., 1977; Арабина, Шалавленков, 1979; Stonebumer, Smock, 1980). По-видимому, типизацию этой группы водоемов следует строить на основе специфики круговорота органического вещества и трофических связей, которые складываются в условиях чрезвычайно низкой интенсивности новообразования автохтонного органического вещества. Это одно из перспективных направлений гидрологических исследований, которое может быть завершено построением новой классификационной системы для водоемов, характеризующихся экстремальными экологическими условиями.

Представленный обзор о современных возможностях трофической типизации озерных экосистем убеждает в том, что значительно расширилось число типологических показателей. Важным здесь является возможность выбора наиболее информативных из тех, которыми располагает исследователь при изучении конкретного водоема. Большое значение имеют формализованные зависимости между параметрами, дающие возможность их взаимозаменяемости и взаимоконтроля. Методология системной экологии, рассматривающая водоем как целостную, организованную систему, компоненты которой находятся в тесной взаимосвязи друг с другом, широко используя количественные функциональные и интегральные показатели, математические методы интерпретации и представления натурных данных,

открыла новые возможности для развития типологического направления в лимнологии.

Глава 3

КЛАССИФИКАЦИЯ ОЗЕР И ОСОБЕННОСТИ ИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ГУМИДНОЙ И АРИДНОЙ ЗОН

3.1. Климатические показатели тепло- и влагообеспеченности

В основе районирования, типизации и классификации географических объектов лежат географические законы, установленные основоположником физической географии В.В. Докучаевым (1951) и сформулированные А.А. Григорьевым (1966) как 1) закон цельности и неразрывности географической среды – взаимообусловленности всех ее компонентов и 2) закон географической зональности.

Горизонтальной широтной зональности (и высотной поясности в горах) подчинены климатические и связанные с ними гидрологические, геохимические, геоморфологические, почвенные и биогеографические процессы. Определяющая роль в формировании географической зональности принадлежит климату и климатической зональности.

В 1900 г. В.В. Докучаев подошел к идее о том, что в основе географической зональности лежат климатические факторы: распределение тепла, влаги и различия в их соотношениях, он ввел в географическую характеристику зон сопоставление осадков с испарением влаги с земной поверхности.

Идеи В.В. Докучаева о климатических факторах географической зональности, а также более ранние труды климатологов К.С. Веселовского (1857) и А.И. Воейкова (1884), использовавших для оценки условий увлажнения суши соотношение количества осадков с испарением и испаряемостью, имели большое значение для развития теории и принципов зонального географического районирования.

В 1905 г. Г.Н. Высоцкий установил совпадение с границами географических зон направлений изолиний соотношений годовых осадков и годовой испаряемости. В последующие годы климатический показатель увлажнения Докучаева–Высоцкого уточнялся многими исследователями (Будыко, 1955).

В 40–50-х годах в работах А.А. Григорьева (1966) было дано теоретическое обоснование определяющего значения соотношения радиационного баланса с осадками для развития физико-географических процессов; им было установлено, что размещение географических зон соответствует определенным градациям количества тепла как основного энергетического фактора и количества влаги и соот-

ношения количества тепла с количеством влаги. При этом М.И. Будыко (1950) предложил для климатической характеристики географической среды радиационный индекс сухости – отношение радиационного баланса подстилающей поверхности к количеству тепла, необходимому для испарения годовой суммы осадков. Изолинии радиационного индекса сухости оказались близко совпадающими с границами важнейших географических зон на равнинах умеренных и тропических широт.

Сравнение границ геоботанических и почвенных зон с изолиниями распределения радиационного баланса и радиационного индекса сухости позволило А.А. Григорьеву совместно с М.И. Будыко (1966) сформулировать периодический закон географической зональности.

Целью климатического районирования земного шара или отдельной страны является выделение типов климата по определенным климатическим показателям, т. е. построение классификации, приводящей климаты в определенную систему. Почти во всех классификациях климата различаются климатические зоны.

В основу климатического районирования должны быть положены климатообразующие факторы, в результате совместного действия которых создается климатический режим. Среди главных климатообразующих факторов первичным является астрономический фактор – условия притока солнечной энергии на верхнюю границу атмосферы над данной местностью (Гальцов, 1962). С ним и вращением Земли связана зональность климата, позволяющая разделить земную поверхность на климатические пояса или зоны по климатическим показателям.

Расчленение земной поверхности на океаны и материки (второй фактор) служит причиной горизонтальной неоднородности радиационного и теплового балансов земной поверхности вдоль широт, в связи с этим возникают долготные различия в пределах климатических зон.

Кроме притока солнечной радиации и расчленения земной поверхности на океаны и материки, свойств поверхности суши важен и третий фактор – общая циркуляция атмосферы, которая является производной от первых двух.

А.А. Григорьев совместно с М.И. Будыко отмечали: „...климатообразующими факторами в точном смысле слова являются только режим солнечной радиации на внешней границе атмосферы и строение земной поверхности. Условия атмосферной циркуляции, а также режим радиационных потоков в атмосфере и на уровне земной поверхности в такой же мере определяются этими внешними факторами, как и средние поля метеорологических элементов..." (1966, с. 359).

Материковые климаты во всех поясах Земли разделяются по степени континентальности на типы климата – от морского до резко континентального. Степень континентальности определяется преобладающей повторяемостью морских или континентальных воздушных масс и положением местности по отношению к господствующему переносу воздуха в общей циркуляции атмосферы. Мерой континентальности климата является годовая амплитуда температуры воздуха, возрастающая с удалением в глубь материка.

Переход от морского климата к континентальному с удалением в глубь материка непрерывный, поэтому различают разные градации континентальности климата.

В соответствии с классификацией А.И. Кайгородова (1955) на территории Северо-Западного региона выделяются два типа климата: морской – на побережье в Прибалтике (Стенде, Аупе, Тельшяй, Таураге) с амплитудой температуры воздуха 15–21 °С и континентально-морской на остальной территории региона с амплитудой от 22 до 28 °С.

В Срединном регионе преобладает резко континентальный климат с амплитудой температуры воздуха от 36 до 43 °С. Лишь в некоторых районах этого региона отмечается умеренно континентальный климат (амплитуда температуры воздуха от 29 до 35 °С).

Методическую трудность при климатическом районировании представляет выбор показателей для проведения климатических границ между зонами, областями. В пространственных изменениях характеристик климата нет явно выраженных качественных рубежей, количественные значения элементов климата изменяются в пространстве плавно. Климатическое районирование не может основываться только на климатических показателях. Существуют разнообразные подходы и методы климатического районирования.

Обзор имеющихся климатических классификаций можно найти в работах советских и зарубежных авторов: В.В. Орловой (1938), Н.Н. Иванова (1948), Кноха и Шульце (Knoch, Schulze, 1954) и других. В.В. Орлова оценивает классификационные климатические системы с циркуляционно-генетической, Н.Н. Иванов – с ландшафтно-географической точек зрения. Г. Боргел (Borgel) (по Balling, 1984) приводит 169 различных зарубежных классификаций. Общая оценка исследованиям, выполненным в области кдассификации климата за столетие, дана в работе А.А. Григорьева совместно с М.И. Будыко (1966).

Общие классификации климата представляют собой исследования двух основных направлений: физико-географического, в котором климатические зоны выделяются с помощью физико-географических показателей, и генетического – в соответствии с условиями генезиса климата; есть и третье направление – метеорологическое, которое использует отдельные характеристики метеорологического режима приземного слоя воздуха. К такому „эмпирическому" направлению А.А. Григорьев совместно с М.И. Будыко (1966) и А.И. Гальцов (1956) относят отчасти и „Естественную зональную классификацию климатов земного шара" А.И. Кайгородова (1955). В логичной и стройной работе А.И. Кайгородов выдвинул ряд идей и принципов построения системы классификации климатов: о различных целях классификации и районирования, о едином классифицирующем начале (основании, показателе) и др. Ведущим признаком классификации он выбрал „температуру воздуха – непосредственную производную первоисточника климата – Солнца" (с. 26).

Крупным вкладом в разработку генетического направления классификации климата являются исследования Б.П. Алисова (1957).

Физико-географическое направление общих классификаций климата представлено работами многочисленных авторов, включая фундаментальные труды А.И.Воейкова(1884), В.П. Кёппена(Григорьев,1966).

Оценивая многообразие методов климатического районирования и классификации климатов, Э.М. Шихлинский (1962) выделяет также ландшафтное направление, основа которому положена В.В. Докучаевым в 1898, 1900 (1951) и которое развито Л.С. Бергом (1938).

Попыткой построения комплексной классификации климатов СССР, одновременно и генетической, учитывающей некоторые закономерности генезиса климата, и физико-географической, учитывающей связи между климатом и природными зонами, является работа А.А. Григорьева совместно с М.И. Будыко (1966). Они используют такие показатели, как сумму температур подстилающей поверхности выше 10 °С, индекс сухости, показатель суровости зимы.

При климатическом районировании долготные изменения климатических показателей, обусловленные азональными причинами, атмосферная циркуляция, формы рельефа, свойства подстилающей поверхности служат основанием для выделения более мелких таксономических единиц. Примером такого опыта является природно-климатическое районирование Западной Сибири, выполненное А.П. Слядневым (1964).

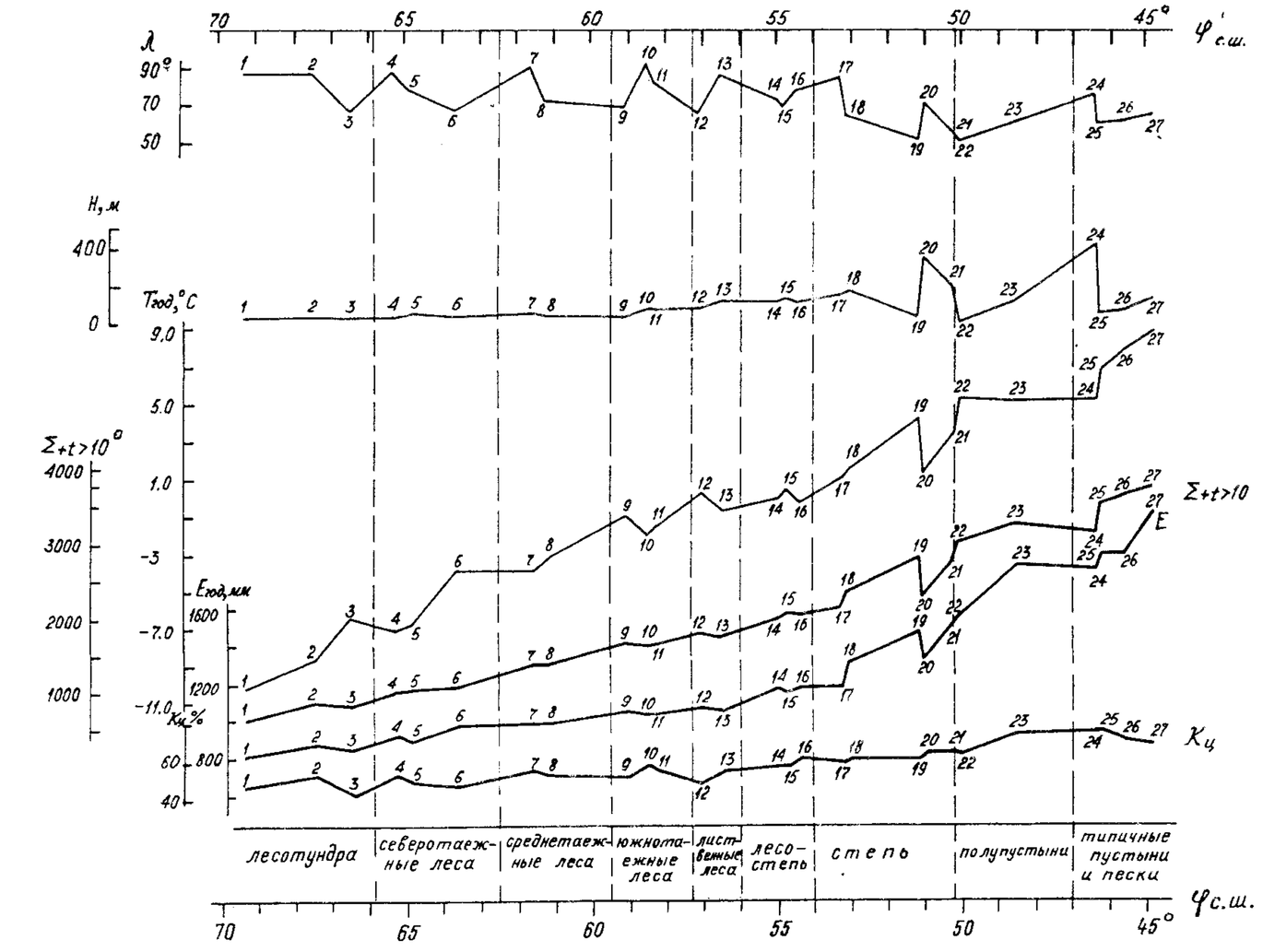
Известные многочисленные количественные показатели климата в сущности представляют собой различные оценки климатических условий тепло- и влагообеспеченности земной поверхности.

Для характеристики теплообеспеченности существуют простые и достоверные показатели: средние месячные температуры воздуха (особенно за июль и январь) и сумма температур воздуха более 10 °С, которая тесно связана с радиационным балансом подстилающей поверхности за год и ее температурой. Э.М. Шихлинским (1962) показана тесная корреляционная зависимость между средней месячной температурой воздуха за июль и суммой температур воздуха более 10 °С, годовыми величинами суммарной радиации, радиационного баланса и испаряемости.

Степень увлажнения территории зависит не только от количества осадков, но и от возможного их испарения (испаряемости). Наиболее универсальным показателем условий увлажнения является отношение количества осадков к сумме испаряемости (за год, полугодие или сезон), выраженное в процентах. Испаряемость рассчитывается по формулам. Для целей климатического районирования наиболее подходит формула Давыдова.

При отсутствии данных об испаряемости Э.М. Шихлинский (1962) предложил использовать для оценки условий увлажнения отношение количества осадков (за год, теплое полугодие, летний сезон) к средней месячной температуре июля.

Для построения детальной карты климатического районирования используют кроме перечисленных и дополнительные показатели, характеризующие условия зимнего периода (суровость зимы, характер зимних осадков), а также показатели годового хода осадков: отно-


70
65
60
55
50
45°
φ с.ш.
λ
90°
70
50
H, м
400
0
Tгод, °C
9,0
5,0
1,0
-3
-7,0
-11,0
Σ+t>10°
4000
3000
2000
1000
Eгод, мм
1600
1200
800
Kц, %
60
40
Σ+t>10
E
Kц
лесотундра
северотаежные леса
среднетаежные леса
южнотаежные леса
лиственные леса
лесостепь
степь
полупустыни
типичные пустыни и пески

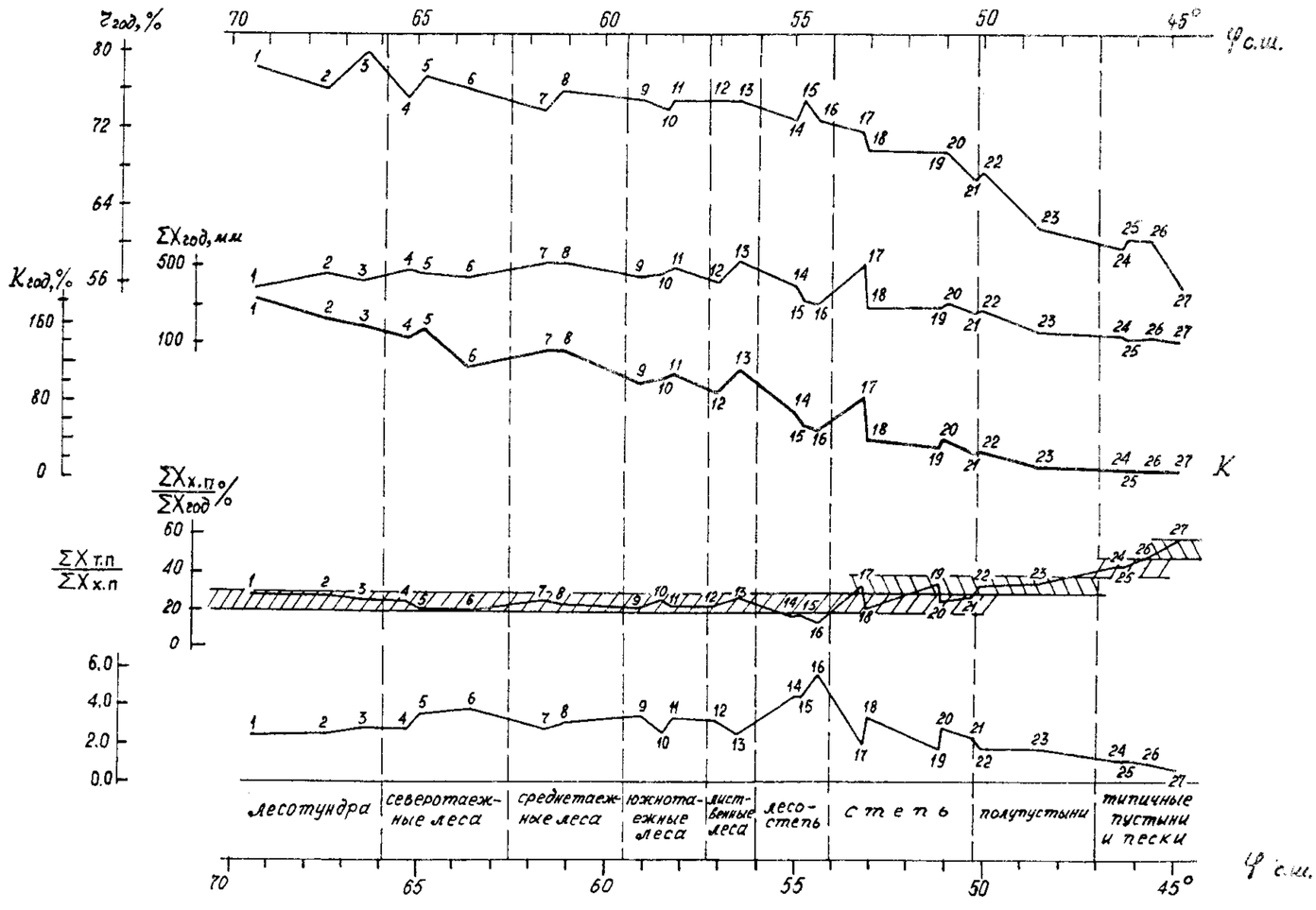

70
65
60
55
50
45°
φ с.ш.
rгод, %
80
72
64
56
ΣXгод, мм
500
100
Kгод, %
160
80
0
K
ΣXх.п%/ΣXгод
ΣXт.п/ΣXх.п
60
40
20
0
6,0
4,0
2,0
0,0
лесотундра
северотаежные леса
среднетаежные леса
южнотаежные леса
лиственные леса
лесостепь
степь
полупустыни
типичные пустыни и пески

Рис. 2

шение осадков холодного полугодия к годовой сумме, соотношение осадков за теплый и холодный периоды года, удельный вес зимних и летних осадков. Различие между количеством осадков холодного и теплого периодов – характерная черта местных условий увлажнения, что позволяет четко провести границы между климатическими областями. Учет годового хода осадков имеет особенно большое значение при районировании аридных территорий (Пузырева, 1975).

Наиболее типично географическая зональность, определяемая климатической зональностью, выражена на обширных внутриматериковых равнинах типа Западно-Сибирской.

Классификация озер гумидной и аридной зоны может быть успешной только при исследовании особенностей климатической зональности в этих регионах – Срединном и Запада и Северо-Запада, резко различающихся по степени континентальности и климатическим условиям увлажнения.

Критериями зональности выбраны и рассчитаны следующие климатические показатели тепло- и влагообеспеченности.

1. Сумма температур врздуха более 10 °С ($\Sigma_{+t>10}$).

2. Испаряемость ($E_{год}$, мм) (по Иванову, 1948).

3. Индекс континентальности Ценкера ($K_Ц$, %). Рассчитан по формуле

$$K_Ц = \frac{6}{5}\left(\frac{A}{\varphi}\cdot 100\% - 20\right)\%, \qquad (3)$$

Рис. 2. Климатические характеристики и показатели на территории Срединного региона.
Метеорологические станции: 1 – Дудинка, 2 – Игарка, 3 – Салехард, 4 – Туруханск, 5 – Тарко-Сале, 6 – Казым, 7 – Подкаменная Тунгуска, 8 – Сургут, 9 – Уват, 10 – Енисейск, 11 – Колпашев, 12 – Тюмень, 13 – Томск, 14 – Омск, 15 – Петропавловск, 16 – Купино, 17 – Барнаул, 18 – Кустанай, 19 – Уральск, 20 – Целиноград, 21 – Актюбинск, 22 – Чапаево, 23 – Иргиз, 24 – Балхаш, 25 – Аральское море, 26 – Казалинск, 27 – Кзыл-Орда; φ, λ – географические координаты метеорологических станций; H – абсолютная высота метеорологических станций, м; $T_{год}$ – годовая температура воздуха, °С; $\Sigma_{+t>10^0}$ – сумма температур воздуха более 10 °С; $E_{год}$ – испаряемость за год, мм; $K_Ц$ – индекс континентальности Ценкера, %; $r_{год}$ – годовая относительная влажность воздуха, %; $\sum X_{год}$ – годовая сумма осадков, мм; $K_{год}$ – коэффициент увлажнения по Иванову, %; $\frac{\sum X_{х.п}}{\sum X_{год}}$ – отношение осадков холодного периода к годовой сумме, %; $\frac{\sum X_{т.п}}{\sum X_{х.п}}$ – отношение осадков теплового и холодного периодов.

где A – годовая амплитуда температуры воздуха.

4. Коэффициент увлажнения по Иванову: $K = \frac{\sum X_{год}}{E_{год}}\%$, где X – осадки, а E – испаряемость.

5. Показатели годового хода осадков: а) отношение осадков холодного периода к годовой сумме $\frac{\sum X_{х.п}}{\sum X_{год}}$ %; б) соотношение осадков теплого и холодного периодов $\frac{\sum X_{т.п}}{\sum X_{х.п}}$.

Исходными данными для расчета показателей послужили материалы наблюдений метеорологических станций, помещенные в „Справочниках по климату СССР" (1965–1969) в виде средних многолетних величин (t, e, x). В качестве опорных на территории Срединного региона выбраны 27 метеорологических станций, равномерно распределенных по территории региона, расположенных по возможности близко к озерам и имеющих длинные ряды наблюдений (рис. 2).

На рис. 2 показано распределение климатических показателей и исходных климатических характеристик на территории Срединного региона в зависимости от географической широты; приведены данные о географической долготе, высоте метеорологических станций. Здесь же указаны примерные границы природных зон по Атласу СССР (М., 1962).

Для анализа климатической зональности на территории Северо-Западного и Западного региона использованы данные наблюдений 50 опорных метеорологических станций, 38 из них расположены в Северо-Западном районе России, в пределах Карелии, Ленинградской, Псковской, Новгородской областей, и 12 – на территории Прибалтики.

Результаты расчета климатических показателей для территории данного региона приведены на рис. 3.

Срединный регион, расположенный в глубине Евразиатского материка и вследствие этого мало доступный непосредственному воздействию влажных атлантических масс воздуха, занимает обширную территорию с севера на юг от 69° до 45° с. ш. и с запада на восток от 51° до 92° в. д. Поверхность территории региона представляет собой равнину с абсолютными отметками высот не более 200 м. Повышение местности примерно до 400 м происходит в районе Казахского мелкосопочника. Метеорологические станции относятся почти ко всем географическим зонам: лесотундра, узкая полоса лиственных лесов, лесостепь, степь, полупустыни, типичные пустыни и пески. Характерной особенностью этой территории является большое количество озер.

Изменение климатических показателей и характеристик по широтному разрезу Срединного региона имеет ярко выраженный зональный характер (рис. 2). В направлении от высоких широт к

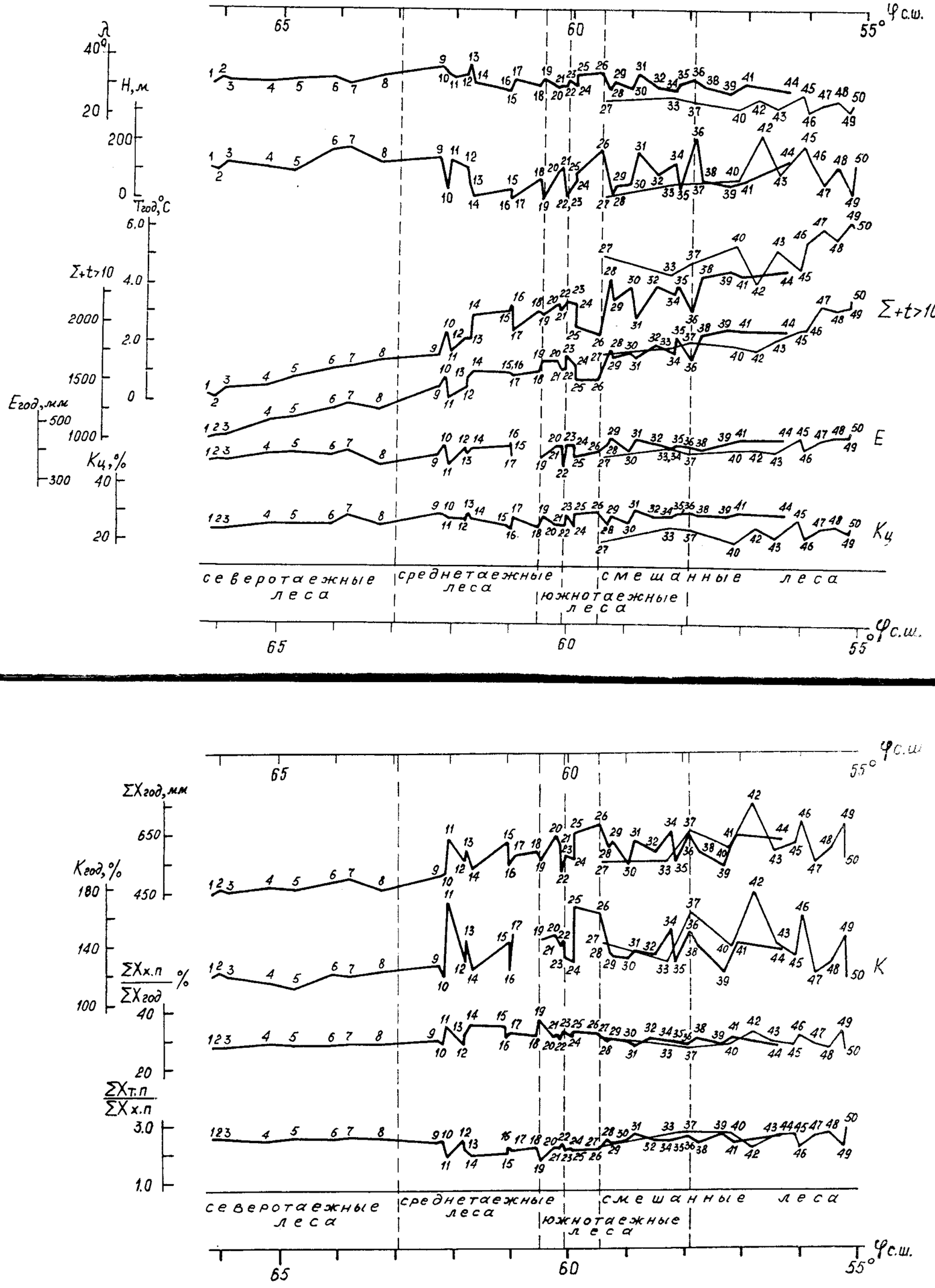

λ
φ с.ш.
H, м
Tгод, °C
Σ+t>10
Eгод, мм
Kц, %
K
ΣXгод, мм
Kгод, %
ΣXх.п / ΣXгод %
ΣXт.п / ΣXх.п
северотаежные леса
среднетаежные леса
смешанные леса
южнотаежные леса

Рис. 3

низким наблюдается закономерный рост всех показателей теплообеспеченности и уменьшение показателей влагообеспеченности. Так, годовая температура воздуха ($T_{год}$) возрастает от -10.2 (Дудинка) до +9.0 °С (Кзыл-Орда); сумма температур воздуха более 10 °С на тех же станциях увеличивается от 609 до 3766°С. Испаряемость ($E_{год}$), характеризующая иссушающую способность воздуха, возрастает сначала постепенно, от 206 мм в Дудинке до 594 мм в Барнауле, а далее в степной, полупустынной и пустынной зонах - резко, от 723 мм в Кустанае до 1537 мм в Кзыл-Орде. Годовая относительная влажность воздуха (r) убывает с севера на юг от 80% в Салехарде до 56% в Кзыл-Орде. Показатель континентальности ($K_ц$), составляющий на севере региона 47% (Дудинка), постепенно увеличивается к югу и достигает 77% (Балхаш, Аральское море). Наблюдается увеличение континентальности с запада на восток на 6-7%.

Годовая сумма осадков ($\sum X_{год}$) в лесотундре, тайге и северной части лесостепи составляет 400-500 мм, в южной части лесостепи - 300 мм, на крайнем юге региона сумма осадков уменьшается до 114 мм.

На условия увлажнения Срединного региона оказывает влияние континент и преобладающий в умеренных широтах западный перенос воздушных масс, которые содержат мало влаги. Наибольшее количество осадков выпадает в зоне тайги в полосе от 58 до 65° с. ш., что связано с развитием интенсивной циклонической деятельности. К северу и к югу от этой зоны количество осадков убывает. Уменьшение осадков к северу от этой зоны связано с малым влагосодержанием преобладающего здесь арктического воздуха, а уменьшение

Рис. 3. Климатические характеристики и показатели на территории Северо-Западного региона.
Метеорологические станции: 1 - Оланга, 2 - Лоухи, 3 - Кестеньга, 4 - Ухта, 5 - Юшкозеро, 6 - Ругозеро, 7 - Реболы, 8 - Паданы, 9 - Куганаволок, 10 - Кондопога, 11 - Суоярви, 12 - Петрозаводск, Сулаж-Гора, 13 - Пудож, 14 - Сортавала, 15 - Лесогорский, 16 - Приозерск, 17 - Олонец, 18 - Сосново, 19 - Свирица, 20 - Рощино, 21 - Токсово, 22 - Осиновец, 23 - Новая Ладога, 24 - Воейково, 25 - Шугозеро, 26 - Ефимовская, 27 - Таллинн, 28 - Кингисепп, 29 - Будогощь, 30 - Осьмино, 31 - Хвойная, 32 - Николаевское, 33 - Тарту, Юленурме, 34 - Струги Красные, 35 - Коростынь, 36 - Валдай, 37 - Руиена, 38 - Дно, 39 - Остров, 40 - Стенде, 41 - Холм, 42 - Гурели, 43 - Ауце, 44 - Идрица, 45 - Дагда, 46 - Тельшяй, 47 - Паневежис, 48 - Утяна, 49 - Таураге, 50 - Лаздияй.
Условные обозначения см. на рис. 2. Тонкая линия - Прибалтика: Эстония, Латвия, Литва. Жирная линия - Северо-Запад России: Карелия, Ленинградская, Новгородская и Псковская области. Масштаб в 2 раза больше рис. 2.

осадков к югу является следствием ослабления циклонической деятельности, уменьшения влажности и повышения температуры воздуха. Значительные колебания в широтном изменении суммы осадков вызывают особенности рельефа. Повышенное количество осадков выпадает в Томске и Барнауле перед наветренными западными склонами горной системы Алтая. Уменьшение осадков наблюдается вблизи крупных водоемов. Несмотря на сложный и пестрый характер распределения осадков по территории региона, в их широтном изменении выражена зональность (рис. 2). Коэффициент увлажнения ($K_{год}$) уменьшается значительно: от 180% (Дудинка) до 7% (Кзыл-Орда). Колебания $K_{год}$ в пределах географических зон аналогичны изменениям осадков - увеличение $K_{год}$ в Томске (113%) и в Барнауле (83%). Н.И. Иванов (1948) установил, что границы природных зон соответствуют определенным градациям соотношения осадков и испаряемости (коэффициента К), и там, где испаряемость за год не превышает количества осадков, образуются леса, там же, где испаряемость превышает годовую сумму осадков, формируются лесостепи, степи и т.д. Как видно на рис. 2, для лесной зоны, например, характерны испаряемость 300-450 мм и годовое количество осадков 420-520 мм.

На большей части территории региона преобладают осадки теплого полугодия, их вклад в годовую сумму достигает 70-80%, в отдельных районах (Омск, Петропавловск, Купино) - 85%. К югу от лесостепной зоны роль осадков теплого полугодия постепенно уменьшается, и в наиболее засушливом районе зоны пустынь это соотношение уменьшается до 42%.

Северо-Западный и Западный регион расположен в непосредственной близости от Атлантики, на пути западного переноса морских воздушных масс.

Исследуемая территория занимает пространство с севера на юг от 66 до 54° с. ш. и с запада на восток от 22 до 37° в. д. Характерная особенность территории Карелии - сильно расчлененный рельеф. В целом территория Северо-Запада и Запада представляет собой всхолмленную равнину, носящую следы ледниковой деятельности. Почти все имеющиеся возвышенности расположены в Карелии на северо-западе и западе, а в Прибалтике и в областях России - на востоке.

Наиболее характерной чертой рельефа территории является огромное количество водных бассейнов, больших и малых озер и рек. Формы рельефа, образованные ледниковыми отложениями, в условиях избыточного увлажнения привели к возникновению многочисленных озер и болот. Основная масса мелких озер расположена в Карелии и на возвышенностях: Валдайской, Видземской, Балтийской моренной гряде. По природным условиям исследуемая территория относится к лесной зоне (северотаежные, среднетаежные, южнотаежные и смешанные леса).

Интенсивная циклоническая деятельность в течение года, характерная для этого региона, в большей степени проявляется в Прибалтике, и в особенности зимой в связи с существованием в этот период наибольших контрастов температур между Атлантикой и кон-

тинентом. Перенос теплого воздуха с Атлантики на территорию региона в зимнее время значительно смягчает зимний термический режим, что сказывается на средней годовой температуре воздуха. Для всей территории характерны невысокие для данных широт летние и относительно высокие зимние температуры воздуха. По мере продвижения с запада на восток повторяемость атлантических воздушных масс уменьшается, а континентальных увеличивается ($K_ц$) от 20% на побережье Прибалтики (Таллинн, Стенде) до 30–31% на востоке региона (Куганаволок, Ефимовская, Валдай, Хвойная – 31%).

Во все сезоны года на территории региона преобладают юго-западные и западные ветры. Относительная влажность воздуха постепенно уменьшается с запада на восток от 82% в западной части Прибалтики до 79% на востоке региона (Будогощь, Хвойная).

В связи с постепенным ослаблением циклонической деятельности и уменьшением влагосодержания воздушных масс осадки постепенно уменьшаются в северо-восточном направлении. При этом плавный характер изменения осадков существенно нарушается встречающимися возвышенностями, вызывающими перераспределение осадков.

На рис. 3 представлено широтное изменение климатических характеристик и показателей тепло- и влагообеспеченности.

Наиболее четко зональность выражена в изменении годовой температуры воздуха и показателя суммы температур воздуха более 10 °С. На территории Северо-Запада России годовая температура воздуха увеличивается с севера на юг от 0.1 (Оланга) до 4.6 °С (Идрица), а сумма температур воздуха более 10 °С возрастает от 1034 (Оланга) до 1987 °С (Остров). На тех же широтах в западной части Прибалтики изменение годовой температуры воздуха примерно на 1 °С выше, что связано с влиянием более высоких зимних температур.

Распределение относительной влажности воздуха ($\bar{r}$) по широтам однообразно. На Северо-Западе России заметно постепенное увеличение испаряемости (Е) к югу примерно на 100 мм. В Прибалтике уровень испаряемости на 10–50 мм ниже, чем на соответствующих широтах Северо-Запада России.

Показатель континентальности ($K_ц$) постепенно растет к югу, изменяясь от 24% на севере Карелии (Оланга, Лоухи, Кестеньга) до 30% на юге Северо-Запада России (Холм).

Годовая сумма осадков ($\sum X$) заметно возрастает к югу: от 446 мм (Оланга) до 637 мм (Идрица).

Большое количество осадков и низкая испаряемость обусловливают избыточное увлажнение на всей территории региона. Распределение показателя увлажнения ($K_{год}$) по широтам определяется соотношением высокого уровня осадков (с тенденцией к увеличению осадков к югу) и низкой испаряемости (постепенно возрастающей к югу). Вследствие этого показатель увлажнения имеет высокие значения на всей территории: от 112% (Юшкозеро) до 172% (Суоярви) и 168% (Шугозеро). В западной и центральной части Латвии коэффициент увлажнения на 5–20% выше.

Изменение показателей годового хода осадков ($\frac{\Delta X_{т.п}}{\sum X_{год}}$, $\frac{\Delta X_{т.п}}{\sum X_{т.п}}$) по территории региона носит однообразный характер. Осадки теплого периода составляют 65–75% от годовой суммы.

Обобщив для одних и тех же широт представленное на рис. 2 и распределение климатических показателей, можно оценить изменение уровня тепло- и влагообеспеченности по природным зонам (табл. 12).

В пределах от 59 до 56° с. ш. при продвижении с запада на восток наблюдается увеличение континентальности ($K_ц$) в 2 раза: от 20–28% в Эстонии, Латвии и 26–31% в Ленинградской, Псковской, Новгородской областях до 49–59% на Западно-Сибирской равнине. При этом сумма температур воздуха более 10 °С изменяется от 1546–1987 в Ленинградской, Псковской, Новгородской областях до 1640–1804 °С в Западной Сибири. Более резко в этой же зоне изменяются условия увлажнения ($K_{год}$) – соответственно от 122–164 до 87–113%.

В заключение следует подчеркнуть, что рассмотренное выше распределение основных показателей климатических условий тепло- и влагообеспеченности на территории Северо-Западного, Западного и Срединного регионов (рис. 2, 3) обусловлено воздействием главных климатообразующих факторов. Четко выраженная в обоих регионах зональность распределения суммы температур воздуха более 10 °С ($\sum_{+t>10}$) отражает в наибольшей степени распределение солнечной радиации. Распределение показателя увлажнения (К), включающего годовую сумму осадков и годовую испаряемость, подчинено более сложным закономерностям. Средние суммы осадков на равнинных территориях умеренных широт в большинстве случаев определяются значениями температуры и влажности воздуха, причем прямое влияние атмосферной циркуляции на суммы осадков имеет меньшее значение (Дроздов, 1950). В связи с этим распределение годовых сумм осадков должно иметь широтный характер.

По условиям увлажнения климат Северо-Западного и Западного региона гумидный, с избыточным увлажнением, с осадками, превышающими испарение. На территории Северо-Запада России количество осадков составляет 446–678 мм, испаряемость 366–465 мм, коэффициент увлажнения 112–172% (табл. 12).

Противоположный тип климата – аридный – имеет Южный Казахстан. Для этого климата характерно недостаточное увлажнение. Если в степной зоне на сток расходуется минимальная часть осадков, то в более сухих районах полупустыни и пустыни он совсем исчезает. Выпадающие в этих районах осадки полностью испаряются. По Н.Н. Иванову (1948), в полуаридном и аридном климате, в зонах скудного и ничтожного увлажнения, годовой коэффициент увлажнения не более 30%. На территории аридного климата X=114–263 мм, E=935–1537 мм, K=7–27% (табл. 12).

Таблица 12

Климатические характеристики и показатели на территории Северо-Западного и Срединного регионов (средние многолетние данные)

Район	Годовая температура воздуха T, °C	Температура воздуха в январе t_I, °C	Температура воздуха в июле t_{VII}, °C	Сумма температур воздуха более 10 °C $\Sigma_{+t>10}$	Коэффициент континентальности по Ценкеру $K_Ц$, %
		φ =66°31′ -56°20′ (лесная зона)			
СЗ России (Карелия, Ленинградская, Псковская, Новгородская области): Оланга (φ =66°10′)-Идрица (φ = =56°20′)	0.1-4.6	-7.7 -12.2	14.4-17.7	1034-1987	24-31
Срединный регион (Западно-Сибирская низменность): Салехард (φ = =66°31′)-Томск (φ =56°26′)	(-7.0)-0.3	-17.8 -27.1	13.8-18.4	823-1804	43-59
		φ =55°01′ -50°17′ (лесостепь и степь)			
Юг Западной Сибири и Северный Казахстан: Омск (φ =55°01′)-Актюбинск (φ =50°17′)	(-0.2)-4.4	-14.2 -19.9	18.3-22.6	2000-2821	58-66
		φ =50°17′ -44°51′ (полупустыни и пустыни)			
Южный Казахстан: Актюбинск (φ = =50°17′)-Кзыл-Орда (φ =44°51′)	3.6-9.0	-9.3 -15.6	22.3-26.1	2740-3766	65-77

Таблица 12 (продолжение)

Район	Годовая относительная влажность воздуха r, %	Годовая испаряемость E, мм	Годовая сумма осадков ΣX, мм	Коэффициент увлажнения по Иванову K, %	Отношение кол-ва осадков холодного периода к годовой сумме $\Sigma X_{х.п}/\Sigma X_{год}$, %	Отношение кол-ва осадков теплого и холодного периодов $\Sigma X_{т.п}/\Sigma X_{х.п}$
			φ =66°31′ -56°20′ (лесная зона)			
СЗ России (Карелия, Ленинградская, Псковская, Новгородская области): Оланга (φ =66°10′)-Идрица (φ = =56°20′)	78-82	366-465	446-678	112-172	28-36	1.89-2.57
Срединный регион (Западно-Сибирская низменность): Салехард (φ = =66°31′)-Томск (φ =56°26′)	54-80	265-477	414-521	87-158	21-28	2.56-3.83
			φ =55°01′ -50°17′ (лесостепь и степь)			
Юг Западной Сибири и Северный Казахстан: Омск (φ =55°01′)-Актюбинск (φ =50°17′)	67-75	560-935	250-495	27-83	15-35	1.82-5.54
			φ =50°17′ -44°51′ (полупустыни и пустыни)			
Южный Казахстан: Актюбинск (φ = =50°17′)-Кзыл-Орда (φ =44°51′)	56-68	935-1537	114-263	7-27	29-58	0.73-2.42

Состояние озера как географического объекта в значительной степени определяется условиями тепло- и влагообеспеченности на водосборной территории. Его тепловой и водный балансы и в конечном итоге уровенный режим часто рассматриваются как индикатор общей увлажненности территории, зависящей от географического положения, континентальности и барико-циркуляционных условий (Шнитников, 1963).

3.2. Роль морфологических и гидрологических показателей в классификациях озер гумидной и аридной областей

В § 2.1 было оценено значение абиотических факторов, в том числе морфологических, в разработке классификации озер. Роль отдельных морфо-гидрологических показателей при построении комплексных классификаций будет различной в зависимости от физико-географических условий. Наиболее четко это различие проявляется при сравнении лимногенеза аридных и гумидных зон. В качестве сравнения были рассмотрены гумидные территории Северо-Запада (Кольский полуостров, Карелия), Прибалтика и Беларусь с акцентом на озерный район Карелии и аридная территория на примере обширного озерного района Казахстана.

Высокая озерность районов Северо-Запада страны связана с древним материковым оледенением Европы. Поэтому понимание закономерностей распространения и форм озер может быть установлено в связи с исследованием закономерностей развития, распространения и разрушения ледниковых щитов и их форм. Основной интерес представляют этапы в стадию последнего (валдайского) оледенения. Рядом ученых (Кропоткин, 1876; Флинт, 1963) установлен концентрический характер зональности геологической и геоморфологической деятельности материкового льда. Так, для Лаврентийского ледникового щита в Канаде выделено три концентрические зоны: внешняя, с преобладанием аккумуляции наносов (район Великих озер), средняя, с интенсивной эрозией (бóльшая часть Канадского щита) и внутренняя, со слабой эрозией (область, расположенная восточнее Гудзонова залива).

По такой же принципиальной схеме А.А. Асеевым (1974) выделены зоны Скандинавского ледникового щита. Вычленены зона слабой экзарации, связанная с центральноледниковой областью, зона преобладания эрозии, приуроченная к склонам щита, и зона с преобладанием аккумуляции основной морены, развитая в пределах сниженной краевой части материкового оледенения. В период максимума последнего оледенения концентрическая зона более интенсивной ледниковой эрозии занимала бóльшую часть Норвегии и южную Швецию, центральную часть Балтийского моря, северную Эстонию, южную Финляндию, часть Карелии и западную часть Кольского полуострова. В этой зоне при слабой расчлененной поверхности коренных пород экзарация ложа ограничивалась сносом слоя трещиноватой породы, подготовленной к сносу перигляциальным выветриванием. В областях с сильно расчлененным рельефом коренного ложа, способствующим концентрации потоков льда, наблюдалось ледниковое выпахивание. В юго-западной Финляндии и Карелии, в условиях благоприятно ориентированного расчленения, связанного с дизъюнктивной линейной тектоникой, под воздействием ледниковой эрозии происходила моделировка сельгового рельефа, выпахивались озерные ванны. Далее следует концентрическая зона преобладания аккумуляции основной морены. В пределах поздневалдайской стадии оледенения ее граница проходит с запада по Балтийской гряде и Латгальской возвышенности, далее - по стыку Псковской области с Беларусью, следует по краю Валдайской возвышенности (Воробьевы и Ревенищкие горы, Осташковская гряда). Здесь проходит Главный, или Основной, моренный пояс, с которым связана область максимальной ледниковой аккумуляции. В пределах этого пояса отмечается максимальная концентрация озер. Продолжением Главного моренного пояса на западе служат Мазурские озера на территории Польши, а на востоке - Вологодское Поозерье. Нами за основу районирования и морфо-гидрологической характеристики озер принята эта схема развития территории Северо-Запада.

Выделенные зоны динамичны во времени. Особенно значительно менялись условия в зоне аккумуляции. В процессе оледенения граница зоны трансгрессировала и регрессировала вместе с изменениями размеров материковых покровов, а поэтому область, входившая в начале ледниковой эпохи в зону аккумуляции, могла находиться в ее максимальную стадию в пределах зоны эрозии, а в конце ледниковой эпохи - опять в пределах зоны аккумуляции. Зоны на всем своем протяжении неоднородны по плотности озер. В зоне аккумуляции выделяются следующие озерные группы: Вологодское Поозерье, Верхневолжская область, озера юга Псковской области, озерная область на стыке Латвии, Литвы и Беларуси. Характер деятельности оледенения в сочетании с типом подстилающих пород в значительной степени определяет рисунок гидрографической сети. Для зоны сноса, занимающей большую часть Кольского полуострова и Карелии, характеристика гидрографической сети и ее особенностей выполнена С.В. Григорьевым (1964). Гидрографическая сеть представлена в основном в виде „озерно-речных систем". Понимая под водной системой сложную совокупность различных типов гидрологических объектов, Ю.Б. Литинский (1963) считает необходимым выделить основное связующее звено бассейна - главный водоток.

В условиях Карелии главный водоток образуют глубокие озера и связывающие их основные речные участки. Его роль заключается в наиболее полном дренировании водосбора и водоносных горизонтов. С.В. Григорьев (1964) для озер Карелии различает три типа размещения озер в русле главного водотока: верховое, равномерное (каскадное) и низовое. Им сделан вывод о трех типах размещения

водоемов в пределах бассейнов: падающей озерности, устойчивой озерности и нарастающей озерности. Наиболее распространен для рассматриваемой местности тип озерности с расположением крупных озер или их групп в верхней части бассейна. Эти озера тектонического происхождения, находятся в стадии юности (Литинский, 1963), поскольку площадь их водосбора невелика и влияние твердого стока на занесение озерной котловины незначительно. Озера здесь, как правило, глубокие. Средние части водосборных бассейнов большей частью занимают тектонико-ледниковые озера, имеющие значительные удельные водосборы с преобладанием в питании поверхностных вод. В пониженных частях бассейнов, сложенных ледниковыми и водноледниковыми формами, занимающими скульптурные понижения рельефа, расположены ледниково-аккумулятивные водоемы. Площади зеркал таких озер не превышают 10 км^2. Ю.Б. Литинским вскрыты особенности гидрографической структуры собственных водосборных площадей этих малых озер, определяющие их водное питание. Водосборы малых озер северной и южной Карелии, находящиеся в пределах водноледникового аккумулятивного (камового) рельефа, сложенного флювиогляциальными отложениями, не содержащими глинистых фракций, имеют специфические условия для развития гидрографической сети: резкое сокращение числа поверхностных водотоков, широкое распространение небольших озерных котловин, не имеющих поверхностного стока. И совершенно другую структуру имеют водосборы малых озер, если они перекрыты мореной или занимают понижения, сложенные осадками приледниковых озер, в которых в значительных количествах встречаются глины, что приводит к заболачиванию, преобладанию поверхностных водотоков.

Таким образом, в плане разработки классификаций озер, особенно внутри одного озерного района, встает вопрос о лимнической роли гидрографии в структуре озерно-речных систем, каковыми являются гидрографические системы Кольско-Карельского региона, Швеции и Финляндии.

Положение озера в гидрографическом звене, в системе стока, определяет степень воздействия на него окружающей среды, степень водообмена, проточности, возможность удержания в нем поступающих биогенных элементов, вероятность их выноса, что в значительной мере создает типологический облик озера (Сорокин, 1988). Поэтому нам представляется, что к классификации малых озер рассматриваемых районов нельзя подходить в отрыве от анализа их положения в том или ином звене гидрографической структуры бассейна. Необходимо различать положение озера либо в составе главного водотока, либо в частных бассейнах притоков различного порядка. Количественным выражением положения озера в гидрографической системе является показатель удельного водосбора, а в системе стока – показатель условного водообмена. Сущность и значение этих показателей подробно раскрыты во многих работах по озероведению. С.В. Григорьев даже напрямую связывает величину удельного водосбора с уровнем трофии озера (Григорьев, Фрейндлинг, Харкевич, 1965), утверждая, что чем больше удельный водосбор,

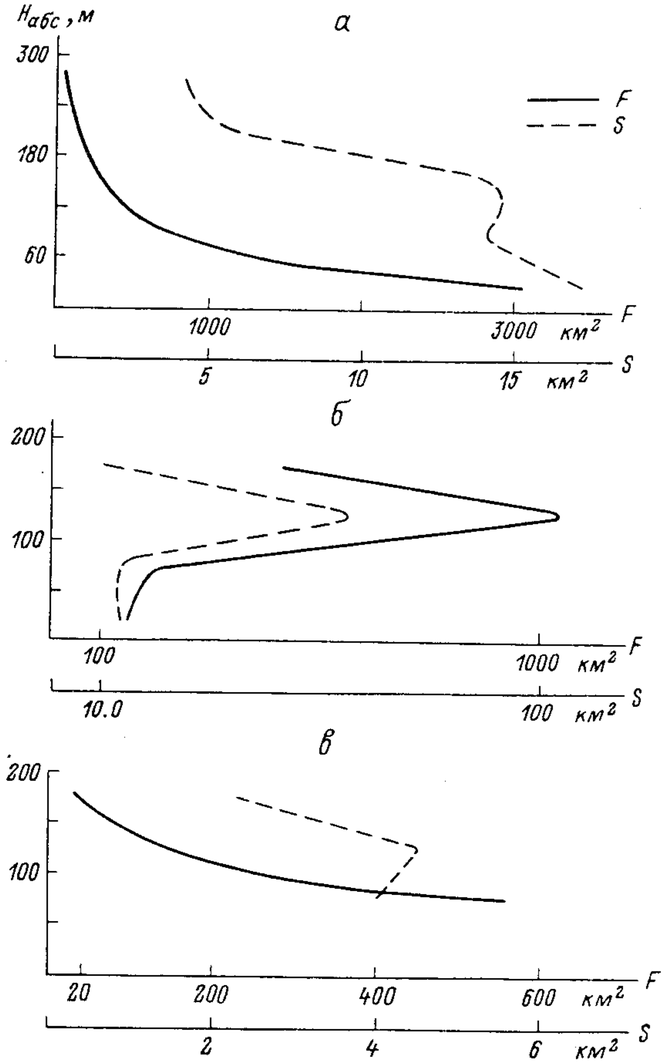


Рис. 4. Изменение площадей водосборов и водных зеркал (км^2) в зависимости от их высотного положения ($H_{абс}$, м).

а – Кольский полуостров; б – Карелия; в – Литва; F – площади водосбора; S – площади водных зеркал.

тем выше уровень трофии. Диапазон изменений значений удельных водосборов чрезвычайно велик – на Кольском полуострове от 1.4 до 3315, в Карелии – от 2 до 13500 (Сорокин, 1988). Однако доля озер с высокими значениями удельных водосборов, превышающими $\Delta F > 10$, не более 10%. На остальные 90% озер приходится примерно поровну озер с малыми ($\Delta F < 10$) и средними ($\Delta F = 10$–100) значениями удельных водосборов. Озера среднего водообмена ($\alpha_{вод} = 1$–5) составляют примерно 30%, около 20% – озера высокого водообмена и половину от общего числа – озера малого водообмена, за счет широкого развития малых озер-ламб.

По интегральной кривой распределения показателей удельных водосборов определено, что 50%-ную обеспеченность для Карелии име-

ет значение ΔF =10. Показатель условного водообмена, имеющий 50%–ную обеспеченность, оказался равным 0.8. Развитие величины водосборной площади озера в значительной степени связано с высотным положением зеркала озера. Озера, имеющие небольшие водосборы, испытывают меньшее воздействие окружающей среды. Было подсчитано среднее значение площадей водосборов озер в пределах выделенных градаций абсолютных отметок, характерных для данной местности. На рис. 4, а, в видно, что для территории Кольского полуострова и Литвы получены четкие обратные зависимости величин площадей водосборов от абсолютных отметок, что имеет физический смысл: более высоко расположенные озера имеют водосборы в верхних частях склонов, и их размер, естественно, меньше, чем у ниже расположенных озер. Озера, находящиеся на самых низких отметках, замыкают речные системы, собирают сток со всей местности, лежащей выше, что определяет и наибольшую величину их водосборных площадей. В Карелии подобный характер зависимости сохраняется в диапазоне высот 200–100 м абс., когда происходит увеличение размеров водосборных площадей озер при снижении абсолютных отметок их водных зеркал. На отметке ниже 100 м абс. водосборные площади озер вновь невелики и составляют, по нашим подсчетам, в среднем 150 км^2, что может быть объяснено широким развитием на этих высотах многочисленных небольших лесных озер-ламб.

Морфометрия озер имеет самостоятельное классификационное значение. Она отражает геологические и геоморфологические закономерности развития территории, имеет определенные черты пространственного распространения. Размер площадей водных зеркал озер, как видно из рис. 4, связан с их высотным положением. В целом наблюдается явная тенденция к обратной связи: при снижении отметок водных зеркал их размер увеличивается. Правда, в Карелии при абсолютных высотах озер менее 100 м широкое распространение изолированных малых ламб приводит к нарушению этой закономерности. Внутри озерных бассейнов (Григорьев, Грищевская, 1959) наиболее крупные по площади озера дренируются главной рекой, а на притоках, особенно второго или третьего порядков, площади водных зеркал значительно меньше.

В комплекс морфометрических показателей входит удлиненность (отношение длины озера к его средней ширине), определяющая форму зеркала. Вытянутые в плане озера наиболее распространены в Кольско-Карельском регионе, где многие озера расположены по линии тектонических трещин. Доля таких озер, по нашим подсчетам, достигает 20–30%. Для областей ледниковой аккумуляции более характерны округлые или овальные котловины ($K_{удл}$=1–5). Наибольшее распространение на рассматриваемой территории имеют овальные и овальнолопастные озера с $K_{удл}$ от 2 до 4. С формой озер часто сопрягается тип приточности–проточности озера. Сильно вытянутые озера, как правило, имеют продольно–осевой тип приточности–проточности, и происходит в таких озерах полная сменность водных масс во всем объеме котловины озера.

Закономерностей пространственного распределения одного из наиболее используемых в гидробиологии морфометрических показателей – средней глубины внутри рассматриваемого региона не выявлено. Для озер Латвии и Беларуси значения средних глубин близки – 4.4 и 4.6 м, для Верхневолжского района – 3.4 м, для Вологодского Поозерья – 2.2 м. На основе статистической обработки длинного ряда значений средних глубин озер Карелии была построена интегральная кривая распределения озер по средней глубине (рис. 5). Из рис. 5 видно, что 50%–ную обеспеченность имеет значение средней глубины, равное 3.7 м.

Коэффициенты емкости озерных котловин несколько различаются в отдельных частях рассматриваемой территории. Более всего распространены конические котловины. На Кольском полуострове они составляют почти 80%, что можно объяснить большей ролью тектонических процессов и слабым развитием эрозионных процессов, приводящих к заполнению котловин наносами. Больший чехол четвертичных отложений в Карелии и особенно в Беларуси, определивший бо́льшие объемы сноса материала, приводит к увеличению в этих районах параболоидных и полуэллипсоидных котловин. Все изложенное выше позволяет заключить, что в пределах зоны ледникового сноса, в условиях активной связи всех компонентов природной среды, классификацию озер следует выполнять с учетом положения озера в системе стока, т. е. положения в гидрографической сети.

Достаточно высокая изученность бассейнов рек Шуи и Суны в Карелии позволила выявить некоторые лимнологические особенности водоемов внутри бассейнов рек в зависимости от их положения в гидрографической сети. Р. Суна представляет собой озерно–речную систему. Ее средняя озерность составляет 12.5%. Основной водоток бассейна – р. Суна – протекает через 20 озер, а ее линейная озерность достигает величины 28% (Грищевская, 1965). Отмечается каскадный тип распределения озер как в главной реке, так и на большинстве из 10 притоков первого порядка. В водосборе р. Суны четко выражена взаимосвязь основных типов рельефа с распространением определенных групп озер. Верхняя Суна – это район средних по площади зеркала озер (Грищевская, 1965). На этом участке водосбора денудационно–тектонические формы рельефа сочетаются с равнинным рельефом основной морены. Средний участок бассейна характеризуется преобладанием малых озер, что связано с водноледниковым и моренным типом ландшафта. Большие озера нижнего участка бассейна совпадают с тектоническими формами (крупногрядовыми) рельефа.

С ростом площади водосбора главного водотока наблюдается значительное нарастание удельных водосборов озер, расположенных в русле этого водотока. 7 из 10 обследованных озер относятся к группе со значениями $\Delta F > 100$, т. е. почти с речным режимом (Сорокин, 1988). Велики и показатели условного водообмена этих озер ($\alpha_{вод}$ = 3.2–7.1). На притоках водообмен значительно ниже.

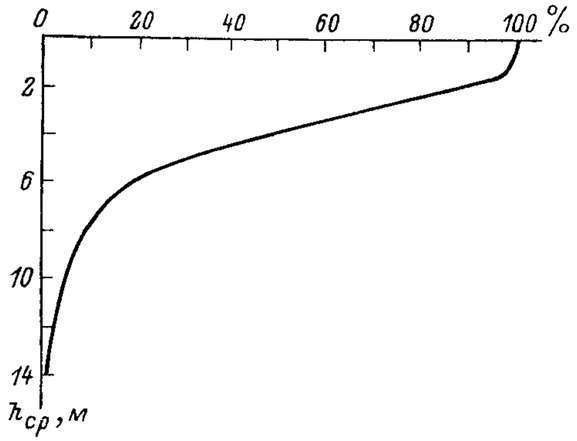


Рис. 5. Интегральная кривая распределения озер Карелии (%) в зависимости от средней глубины ($\bar{h}_{ср}$, м).

Длина главных притоков не превышает 60 км, что препятствует развитию водосборных площадей. На большинстве притоков расположение озер каскадное, что приводит к повышению водообмена по длине водотоков, как и на главной реке, но происходит это в пределах меньших значений ΔF и $\alpha_{вод}$.

Физико-географические условия, в частности почвенно-геологические, определяют особенности гидрохимического состава вод озер различных участков бассейна. Как установлено, особенно контрастны характеристики природной среды Верхней и Нижней Суны, что приводит к содержанию в озерах генетически неоднородного органического вещества. Г.Л. Грищевской (1965) получен важный вывод: эти различия могут быть установлены лишь на озерах, расположенных в бассейнах притоков, так как озера главного водотока в силу большого водообмена обладают незначительной гидрохимической инерцией и отражают состав вод, сформировавшийся в верхней части водосбора.

К принципу внутрибассейнового анализа типов озер обращается С.В. Герд (1962). В основу деления бассейна на три участка он положил геолого-геоморфологические различия и различия в заболоченности. К сожалению, он совершенно не отметил значение процесса стока как фактора поступления и выноса химических элементов в почве и озерах. Непонимание значимости гидрологических факторов сказывается и в том, что, анализируя сменяемость биолимнологических типов, С.В. Герд движется вверх по течению р. Шуи. Число озер в составе главной реки 17. Они располагаются равномерно по всей длине. Озера, находящиеся в главной реке, имеют среднюю и высокую водообменность, и этот водообмен возрастает с увеличением площади водосбора реки до $\alpha_{вод}$=64 (оз. Вагатозеро). Как и для бассейна р. Суны, удельные водосборы и внешний водообмен озер на притоках находятся на границе среднего водообмена со слабым.

Коренные породы верхнего участка бассейна, представленные малорастворимыми кислыми породами, и четвертичные отложения малой мощности, представленные торфяно-болотными отложениями, и рельеф в виде моренной волнистой равнины способствовали развитию заболоченности до 20%. Эта территория дренируется значительным количеством водотоков (притоков); водообмен озер - средний, озера имеют черты дистрофности. Влияние подкисленной воды верхней Шуи сказывается на озерах, расположенных в средней части основного русла (Шотозеро, Вагатозеро). Озера средней части бассейна р. Шуи в отличие от аккумулятивных озер верхнего участка являются ледниково-аккумулятивными с небольшими глубинами, с пониженным водообменом, хорошо прогреваемыми (Герд, 1962), близкими к эфтрофным. Озера нижнего течения р. Шуи расположены в сельговом рельефе, сложенном системой тектонических трещин. Форма озер удлиненная, глубины значительные ($\bar{h}_{ср}$=8-13 м), водообмен мал ($\alpha_{вод}$=0.1-0.4). Вода в озерах - с низкой цветностью, среднегодовое содержание органического вещества 10-14мг/л, автохтонного происхождения (Харкевич, 1966). Озера имеют хорошо выраженные черты олиготрофии. Таким образом, в речном бассейне Шуи выявлены озерные группы разных биономических типов, что определяется различиями в ландшафтной структуре и водообмене озер в зависимости от их положения в гидрографическом звене речной системы.

Роль морфо-гидрологических показателей при классификации озер, расположенных в аридных областях, выявлена для обширного озерного региона Казахстана. Центральный Казахстан по характеру рельефа относится к денудационной цокольной равнине с мелкосопочным типом рельефа (Сваричевская, 1965). Казахский мелкосопочник окаймляют равнины. С севера - низменная слаборасчлененная равнина с большим количеством неглубоких впадин и крайне незначительным развитием речной сети. С востока примыкает Прииртышская равнина, на плоской слабоволнистой поверхности которой располагается значительное количество замкнутых блюдцеобразных впадин. В рельефе находят выражение древние речные долины, понижающиеся к р. Иртышу. Западные районы Казахского мелкосопочника ограничены Тургайским плато, которое расчленено в меридиональном направлении древней Тургай-Убаганской ложбиной, по северной части которой протекает р. Убаган, по южной - р. Тургай. Поверхность плато изрезана долинами рек, а также котловинами многочисленных водоемов и западин. На самом дне ложбины расположены крупные озера долинно-руслового происхождения (Кушмурун, Чили, Тенгиз). Таким образом, гидрографическая сеть рассматриваемого района носит иной характер, нежели в районе Кольско-Карельского и Северо-Западного регионов. На низких плоских пространствах постоянная речная сеть практически отсутствует, но ши-

роское развитие имеют бессточные озера. На новышенных участках Казахского мелкосопочника и в его окраинных частях речная сеть развита лучше, но озерность меньше.

В пределах обширных равнинных территорий Казахстана озера расположены единично либо группами и не входят в системы постоянного стока. Площади их водосборов поэтому невелики, лишены выраженных русел, питание получают лишь в период весеннего снеготаяния и значительных ливневых дождей. Контрастными по условиям водообмена являются озера, связанные с древними ложбинами стока. Примером такой ложбины можно назвать Камышловский лог – понижение шириной около 20 км, вытянутое в северо-восточном направлении и рассматриваемое как долина исчезнувшей р. Камышловки. На дне лога на всем его протяжении прослеживается ряд озер, занимающих наиболее глубокие части долины и соединяющихся между собой сухими протоками (Большой Тарангул, Жиланды, Балыкты). Особую группу составляют крупные бессточные озера в левобережном Приртышье – Селеты-тениз, Теке, Улькен-карой, Кызылкак. Эти озера имеют большие водосборы за счет питания реками, стекающими с Казахского мелкосопочника и замыкающими сток бассейнов. Выровненность рельефа определяет мелководность озер. Средние глубины для равнинных территорий изменяются, по нашим подсчетам, от 0.7 м (Целиноградская область) до 1.1 м (Северо-Казахстанская область). Несколько бóльшие средние глубины (до 1.8 м) отмечаются для озер Кокчетавской области.

В аридных областях при изолированном положении озер в гидрографических системах и низком стоке значительно возрастает классификационная роль самой озерной котловины. Нами было проанализировано свыше 500 батиграфических кривых и определены коэффициенты емкости озерных чаш. Четко выделяется преобладание параболоидных и полуэллипсоидных котловин с $K_{емк} > 0.43$. Их доля составляет 75–94%. Конических котловин менее 8%.

Одной из главных особенностей режима озер рассматриваемой территории является значительное колебание их уровней, поэтому особенно значимой становится роль формы озерной котловины. При значении $K_{емк} > 0.7$ (полуэллипсоидные и переходные к цилиндрическим котловины) склоны озерной котловины характеризуются значительной крутизной, и при изменении уровня воды площадь зеркала меняется незначительно. При переходе к параболоидным котловинам, с более выположенными склонами, изменение площадей водных зеркал и объемов водных масс становится весьма значительным.

Важное классификационное значение в условиях аридной зоны приобретает показатель открытости (отношение площади водного зеркала к средней глубине озера). В условиях мелководности и бессточности озер, когда сменяемость воды в водоеме определяется в значительной мере объемом испаряющейся воды, важно знать доступность озер непосредственному воздействию климатических факторов, что определяется и показателем открытости. Наши подсчеты (Сорокин, 1988) показали, что в Казахстане преобладают озера со значением показателя открытости в интервале 1.0–10.0. Для отдельных районов (Целиноградская область) характерны озера со значениями $K_{отк} > 10.0$, что может быть объяснено наименьшими для рассматриваемого региона значениями средних глубин озер. Для сравнения напомним, что озера Карелии и Прибалтики характеризовались значительно меньшей открытостью озерных котловин (80% озер имеют значения показателей открытости менее 1.0), что следует объяснить значительно большими глубинами озер ледникового происхождения.

Для рассматриваемого региона выполнено определение удельных водосборов примерно для 500 озер. Они возрастают при переходе от зоны лесостепи на севере региона к зоне полупустынь, что вполне закономерно, ибо для того, чтобы озеро существовало при снижающихся модуле стока и осадках, необходимо водное питание с большей водосборной площади. Здесь преобладают озера со значениями удельных водосборов 10–100. Их число составляет 80%. Поскольку большинство озер бессточно, расход воды из озера определяется главным образом потерями на испарение с водной поверхности. В условиях слабого поверхностного стока (притока воды в озеро) значительную долю в приходной части водного баланса озер аридных областей составляют осадки на зеркало. Поэтому внешний водообмен этих озер будет характеризоваться отношением суммы объема притока и осадков на зеркало к объему озера. В целом для рассматриваемого региона половина озер имеет значения условного водообмена менее 1; 42–45% составляют озера с $\alpha'_{вод} = 1–5$ и лишь 2–5% имеют $\alpha'_{вод} > 5$.

Одной из главных особенностей озер аридных областей являются значительные колебания их уровней как внутри года, так и в многолетнем разрезе. При этом озера могут переходить из одного класса водообмена в другой. Водообменность озер зависит от колебаний приточности. Для равнинных территорий это не столь заметно при удельных водосборах до 20 и обеспеченности притока от 50 до 99%. При этом водообмен, как правило, менее 1. Увеличение удельных водосборов свыше 20 и переход к обеспеченности притока в 1–5% переводит эти равнинные мелкие озера в группу среднего и большого водообмена. Таким образом, роль абиатических факторов в классификации озер аридных областей проявляется через сочетание зональных и азональных компонентов природной среды. Их сочетание может давать неожиданные результаты. В условиях недостаточной увлажненности активными и динамичными оказались многие озера как равнины, так и холмистых местностей. Несмотря на малые модули стока и малые площади зеркал, небольшие глубины, параболоидные формы котловин озер, определившие высокую открытость озер, обусловили значительный внешний водообмен через потери на испарение. Меньшие объемы озерных чаш аридных областей по сравнению с гумидными областями в сочетании с особеннос-

тями их морфометрии приводят к сравнимым значениям внешнего водообмена озер гумидных и аридных областей при разной лимнической значимости.

3.3. Структура водного баланса озер как признак классификации (гумидная и аридная зоны)

Водный баланс озер является одной из главных характеристик гидрологического режима водоемов, их влагообеспеченности. Он отражает совокупное воздействие многих факторов и является основой процессов, происходящих в озерах. От соотношения составляющих водного баланса, т. е. его структуры, зависят гидрологический, химический и биологический режимы озер, их водообмен, о чем еще в 1959–1960 гг. писал Б.Б. Богословский, что лежит в основе его воднобалансовой классификации.

Структура водного баланса может быть признаком, основанием классификации. Она характеризуется рядом показателей, основанных на компонентах водного баланса озера и его бассейна. Эти показатели входят в уравнения, определяющие удельный вес составляющих водного баланса (Догановский, 1982).

Уравнение водного баланса в общем виде для многолетнего периода и при отсутствии стока и притока грунтовых вод имеет вид:

$$У + X = У_1 + Z, \qquad (4)$$

где У – приток поверхностных вод, $У_1$ – сток из озера, X – атмосферные осадки, Z – испарение с поверхности озера. Величины составляющих водного баланса, выраженные в процентах от приходной (правая) и расходной (левая) частей водного баланса, составляют его структуру.

Для целей классификации озер наиболее информативными являются: показатель испарения (Z/X) и показатель удельного водосбора ($\Delta F = F/f$) – отношение площади водосбора к площади зеркала озера (Григорьев, 1959 а, б; Сорокин, 1978, 1988). В качестве зональных факторов, определяющих структуру водного баланса, используют показатели Z/X и $У/X$, а азонального параметра, зависящего от морфологических особенностей водосбора и озера, используют удельный водосбор.

Соотношение составляющих водного баланса озер обусловлено прежде всего географической зональностью. Основные зональные особенности водного баланса озер и определяются отношением испарения с поверхности озера к слою осадков, выпавших на его поверхность. В зоне избыточного увлажнения, где атмосферные осадки превышают испарение, Z/X всегда меньше 1 и распространены сточные озера. В зоне недостаточного увлажнения Z/X всегда больше 1 и преобладают бессточные озера. Только при наличии значительного притока с водосбора здесь возможны непересыхающие озера.

Для формирования водного баланса и его структуры важную роль играют азональные факторы и особенно удельный водосбор. Гидрологическое значение его велико. Воздействие водосбора на водный баланс озера растет тем сильнее, чем больше удельный водосбор. Возрастает и доля притока и стока в озеро (Богословский, 1974). У озер с малым удельным водосбором влияние водосбора на режим озера незначительно.

Как влияет на водный баланс условный водообмен, детально рассмотрено в работе И.Н. Сорокина (1988) и выше (§3.2). Показатель условного водообмена определяет, сколько раз в году озерная вода заменяется на новую полностью. Однако сложнее с этим показателем на озерах, где приток и сток в водном балансе играют второстепенную роль. Например, в бессточных озерах водообмен осуществляется только через испарение. Б.Б. Богословский предложил другой показатель, который учитывает отношение объема общего притока, включающего осадки, или общего расхода воды из озера к объему озера (Богословский, Кириллова, Филь, 1975). Для изучения же поступления биогенных веществ с водосбора, степени их транзита необходимо знать долю притока и стока в общем водообмене.

Перечисленные выше коэффициенты являются наиболее показательными при сравнительном изучении озер, расположенных в различных физико-географических условиях, и могут быть основаниями классификации озер.

Материалами для исследования структуры водного баланса озер Карелии и Северо-Запада России послужили данные А.Г. Пронина (1972) о водном балансе озер в их естественном состоянии, рассчитанные по одной методике, что делает их сравнимыми при анализе структуры водного баланса (табл. 13). Были использованы в исследовании данные о водном балансе озер и водохранилищ (всего 79), полученные из справочников и литературных источников (Ресурсы поверхностных вод..., 1966–1982; Граевский, Квасов, 1971; Шнитников, 1973; Кабранова, 1977; Швец, 1977; Воронцов, Воронцова, 1980; Природные ресурсы..., 1984; Многолетние данные о режиме..., 1985–1988).

Анализ данных табл. 13 и рис. 6 показал, что в водном балансе озер Северо-Запада основными компонентами являются приток и сток. Эти компоненты составляют более 75% общего прихода и расхода воды при колебаниях притока от 56 (оз. Топозеро) до 98% (оз. Ковдозеро) и стока от 75 до 99% соответственно. Осадки и испарение играют второстепенную роль, доля их в водном балансе, как правило, не превышает 25%. При этом приток в озера превышает осадки в несколько раз, как и разница между стоком из озера и испарением. Сток из озер Северо-Запада России больше, чем приток, за счет преобладания осадков над испарением (табл. 13 и рис. 6).

Расположенные в пределах одной природной зоны, в одинаковых климатических условиях (см. рис. 3), озера с близкими удельными водосборами и показателями испарения имеют сходную структуру

Таблица 13

Морфометрические показатели и элементы водного баланса крупных озер Кольского полуострова и Карелии (по Пронину, 1972)

Озеро, водохранилище	Период наблюдений, годы	Площадь водосбора озера, км²		Удельный водосбор	Коэффициент условного водообмена	Поверхностный приток У	
		F	f	F/f	K=W/V	мм	%
Кольский полуостров:							
Колозеро	1928–1962	420	66.3	6.4	0.4	2191	78.4
Ловозеро	1928–1962	3570	200	17.8	0.9	6227	90.6
Имандра	1924–1963	11766	816	14.4	0.4	5367	89.4
Умбозеро	1925–1963	1817	313	5.8	0.3	3381	84.7
Карелия:							
Ковдозеро	1928–1962	25606	294	87.0	1.0	28752	97.9
Пяозеро	1936–1960	13514	659	20.5	0.3	6145	91.2
Топозеро	1944–1960	2563	986	2.6	0.1	816	56.3
Выгозеро	1941–1960	16890	1159	14.6	0.5	4748	87.6
Сегозеро	1938–1948	8510	752	11.3	0.2	3754	85.8
Янисъярви	1912–1964	3450	191	17.0	0.5	5725	88.9
Вуокса	1912–1960	2685	925	29.0	1.6	8037	92.4
Онежское	1881–1939	51540	9630	5.3	0.1	1547	72.0
Ладожское	1881–1960	262865	17700	14.8	0.1	3909	86.8
Верхнесвирское	1958–1964	65056	428	152.0	4.4	44675	98.5
Лача	1881–1964	11266	334	33.7	4.2	10723	93.6
Воже	1911–1964	5680	434	13.1	1.7	3941	82.6
Белое	1881–1963	12831	1125	11.4	1.3	3287	81.4
Кубенское	1881–1963	14700	407	36.2	9.0	10063	93.0
Чудско–Псковское	1901–1965	44303	3550	12.5	0.5	3150	82.3
Ильмень	1881–1963	67450	1430	47.2	3.8	12868	94.6
Селигер	1881–1960	2068	232	9.0	0.4	2686	77.6

Осадки X		Итого		Испарение Z		Сток из озера $У_1$		Итого		Показатель испарения
мм	%	мм	%	мм	%	мм	%	мм	%	Z/X*
603	21.6	2994	100	299	10.7	2495	89.3	2994	100	0.50
650	9.4	6877	100	333	4.8	6544	95.2	6877	100	0.51
637	10.6	6004	100	285	4.7	5719	95.3	6004	100	0.45
588	15.3	4242	100	327	6.8	3970	93.2	4242	100	0.56
617	2.1	29369	100	321	1.1	29048	98.9	29369	100	0.52
606	8.8	6751	100	304	4.4	6447	95.6	6751	100	0.50
634	43.7	1450	100	363	25.1	1087	74.9	1450	100	0.57
672	12.4	5420	100	360	6.7	5060	93.3	5420	100	0.54
622	14.2	4376	100	350	8.1	4026	91.9	4376	100	0.56
716	11.1	6441	100	431	6.7	6010	93.3	6441	100	0.60
658	7.6	8695	100	445	5.1	8250	94.9	8695	100	0.68
600	28.0	2147	100	350	16.4	1797	83.6	2147	100	0.58
606	13.2	4515	100	344	7.7	4171	92.3	4515	100	0.57
676	1.5	45351	100	479	1.1	44872	98.9	45351	100	0.71
725	6.4	11448	100	490	4.3	10958	95.7	11448	100	0.68
803	17.4	4744	100	479	10.1	4265	89.9	4744	100	0.60
750	18.6	4037	100	505	12.5	3532	87.5	4037	100	0.67
768	7.0	10831	100	526	5.0	10305	95.0	10831	100	0.68
680	17.7	3830	100	529	14.0	3301	86.0	3830	100	0.78
730	5.4	13598	100	568	4.2	13030	95.8	13598	100	0.78
775	22.4	3461	100	525	15.2	2936	84.8	3461	100	0.68

*Рассчитано Л.И. Седовой.

водного баланса и относятся к стоково–приточному типу (Богословский, 1960). Так, например, озера Карелии: Сегозеро, Выгозеро и Ладожское – при близких показателях испарения (Z/X = =0.54–0.57) и величинах удельного водосбора – 11.3–14.8 имеют одинаковую структуру водного баланса: приток – 87%, осадки – 13% от общего поступления воды. Разница между составляющими расходной части еще более выражена: сток из озера – 92%, испарение – 8%. Это положение справедливо и для других районов Северо–Запада России: Ловозеро и Имандра, Воже, Белое, Лача и Кубенское (табл. 13, рис. 6, а, д).

С увеличением показателя испарения с севера на юг, от озер Кольского полуострова к озерам Карелии и далее к озерам южных районов Северо–Запада, при одинаковых удельных водосборах соотношение составляющих водного баланса меняется, хотя и незначительно. Если для озер Кольского полуострова доля стока и притока

составляет 90 и 95% (Ловозеро) соответственно, то для озер Карелии – 87 и 92% (Ладожское озеро) и далее к югу уменьшается до 82 и 86% (Чудско–Псковское озеро).

У озер, расположенных в одних и тех же природных условиях и имеющих одинаковые показатели испарения, но различающихся по удельному водосбору, структура водного баланса различна (рис. 6, г, б, ж). Удельный водосбор исследованных озер Северо–Запада варьирует в широких пределах – от 2.6 до 309. Чем больше удельный водосбор, тем сильнее его воздействие на водный баланс и больше доля притока в приходной и стока в расходной частях водного баланса. С уменьшением удельного водосбора возрастает роль осадков в общем приходе воды.

При анализе табл. 13 выявлено, что для ряда озер Северо–Запада осадки являются довольно существенной частью общего прихода воды. Установлено, что при значениях удельного водосбора

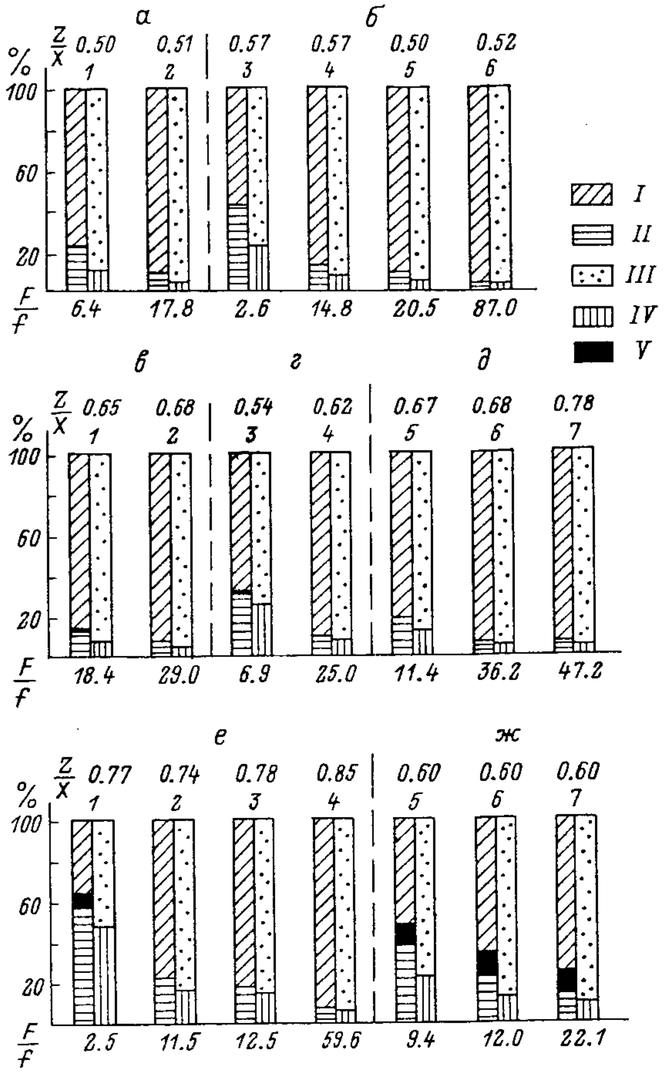


Рис. 6. Структура водного баланса озер Северо-Запада и Запада.

1 – приток; II – осадки; III – сток; 1V – испарение; V – подземный приток; Z/X – показатель испарения; F/f – удельный водосбор. а – северотаежные леса – Кольский полуостров: 1 – Колозеро, 2 – Ловозеро; б – северотаежные и среднетаежные леса – Карелия: 3 – Топозеро, 4 – Ладожское озеро, 5 – Пяозеро, 6 – Ковдозеро; в – среднетаежные леса – Карельский перешеек: 1 – Красное, 2 – Вуокса; г – южнотаежные леса – Карельский перешеек: 3 – Борисовское, 4 – Малое Луговое; д – южнотаежные и смешанные леса: 5 – Белое, 6 – Кубенское, 7 – Ильмень; е – смешанные леса – Беларусь и Прибалтика: 1 – Нарочь, 2 – Выртсъярв, 3 – Чудско-Псковское, 4 – Буртниеки; ж – смешанные леса – Литва (Латгальская возвышенность): 5 – Илзес, 6 – Грижанское, 7 – Рудушское.

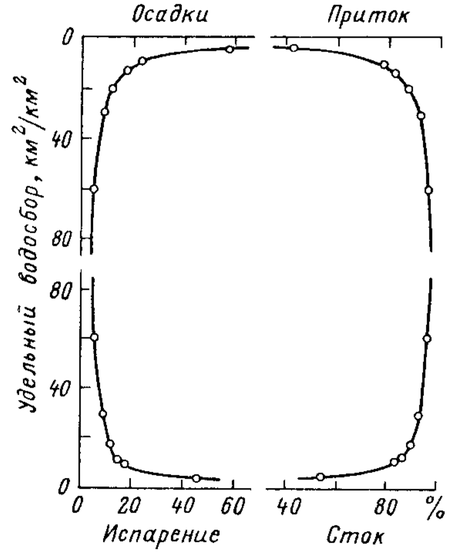


Рис. 7. Зависимость элементов водного баланса озер Карельского перешейка, Прибалтики и Беларуси от удельного водосбора.

более 20 количество осадков в водном балансе невелико и составляет 5–7% (озера Лача, Кубенское, Ильмень, рис. 6, б, д). При удельном водосборе, значительно бо́льшем 20, доля осадков в водном балансе уменьшается до 1–2% (Ковдозеро). Большинство исследованных здесь озер имеет удельный водосбор от 10 до 20, и осадки в водном балансе существенны и составляют 10–20% общего прихода воды. Для озер с малыми удельными водосборами (менее 10) доля осадков превышает 20% (Колозеро, Онежское, Селигер, рис. 6, б). Для озер Кольского полуострова (северотаежные леса) уменьшение удельного водосбора от 17.8 (Ловозеро) до 6.4 (Колозеро) влечет за собой уменьшение доли притока от 91 до 78% и стока от 95 до 89%. Соответственно увеличивается доля осадков и испарения (рис. 6, а).

Для озер Карелии (подзона северотаежных и среднетаежных лесов) структура водного баланса изменяется в широких пределах. При уменьшении удельного водосбора от 87 (Ковдозеро) до 2.6 (Топозеро) доля притока уменьшается от 98 до 56%, а доля осадков увеличивается от 2 до 44%. То же наблюдается и на озерах, расположенных в южнотаежных и смешанных лесах (рис. 6, в–д).

Зависимость структуры водного баланса от удельного водосбора установлена А.Г. Прониным (1972). Такую зависимость следует использовать для приближенной оценки структуры водного баланса неизученных озер (см. с. 107, рис. 7). Все крупные озера Карелии стали теперь водохранилищами. Структуре водного баланса водохранилищ присущи те же закономерности, что и для озер в естественном состоянии, ибо главной причиной изменения структуры водного баланса является удельный водосбор.

Для ряда озер имеется несколько водных балансов, рассчитанных разными авторами, с различной степенью точности, разными методами и отличающихся друг от друга по величине и структуре водного баланса (табл. 14). Одной из причин расхождения является и различный по времени период расчета. Уточнение водного баланса возможно путем расчета его составляющих по фазам водности и за цикл в целом, исходя из теории о циклическом колебании компонентов увлажненности, определяющих водный баланс. Так был рассчитан водный баланс больших и средних озер Северо-Запада России (Природные ресурсы..., 1984). Однако смена фаз водности почти не влияет на структуру водного баланса озер, расположенных в зоне

избыточного увлажнения (1–2%). Следовательно, при расчете структуры водного баланса озер Северо-Запада за многолетний период без учета фаз водности больших погрешностей не возникает, если они выполнены по одной методике. По оз. Красному имеется несколько водных балансов, рассчитанных сотрудниками Института озероведения АН СССР за различные периоды (табл. 14). Период 1964–1967 гг. недостаточен для характеристики многолетнего водного баланса, но он близок по условиям увлажнения к средним многолетним характеристикам. Период 1964–1975 гг. относится к маловодной фазе 22-летнего цикла увлажненности (Воронцов, Воронцова, 1980; Воронцов и др., 1988), а период 1980–1984 гг. является периодом повышенной водности. Оз. Вуокса расположено в тех же климатических условиях, что и оз. Красное. Здесь осадки и испарение почти одинаковые (Z/X =0.65 и 0.68). Однако структура водного баланса и его величина различаются, что объясняется бóльшим удельным водосбором оз. Вуоксы (29.0 и оз. Красное – 18.4). Водосборы этих озер значительно превышают размеры их зеркала, а поэтому определяющей составляющей в водном балансе является поверхностный приток (87% оз. Красное и 92.4% – оз. Вуокса). Осадки и испарение играют второстепенную роль, но для оз. Красного осадки повышаются до 12% против 7.6% у оз. Вуоксы (табл. 14, рис. 6, в). Из табл. 14 совершенно отчетливо выступает связь компонентов водного баланса с удельным водосбором (Воронцова, 1984). Если сравнить структуру водного баланса озер М.Лутового и Борисовского, у которого площадь водосбора превышает площадь озера в 6.9 раза, то роль осадков возрастает в водном балансе почти в 5 раз (6 и 29%). Соответственно увеличивается и доля испарения – до 17% против 3.6% на оз. М. Лутовое (рис. 6, г). Одной из особенностей озер Карельского перешейка является наличие подземной составляющей. Если у озер Красного и Борисовского она незначительна, то в оз. Нахимовском она возрастает до 30%.

Согласно классификации Б.Б. Богословского (1959, 1960), озера Вуокса, Красное и М. Лутовое, имеющие бóльшие удельные водосборы, относятся в стоково-приточному типу озер с господством притока в приходной части водного баланса и стока в расходной ($СП_1$). Озера Борисовское и Нахимовское – с малыми удельными водосборами – относятся к стоково-приточному типу с преобладанием поверхностного притока в приходной части и господством стока в расходной части водного баланса ($СП_3$).

Озера Прибалтики и Беларуси расположены в пределах одной природной зоны – зоны смешанных лесов, что определяет однородность климатических (рис. 6, е, ж) и гидрологических условий. Атмосферные осадки и испарение незначительно изменяются на этой территории: осадки – от 660 до 710 мм, испарение – от 500 до 560 мм, а показатель испарения изменяется в узких пределах – 0.74–0.85 (табл. 15). Озера Эстонии представлены наиболее изученными озерами – Чудско-Псковским и Выртсъярв (один бассейн). Показатели испарения и удельные водосборы различаются мало

Таблица 14

Водный баланс озер Карельского перешейка

Элемент водного баланса	Красное								М. Лутовое	Борисовское	Нахимовское	Вуокса	
	1964–1967[1]		1964–1975[2]		1976–1979[3]		1980–1984[4]		1977–1978	1977–1978	1979–1980	1912–1960[5]	
	мм	%	мм	%	мм	%	мм	%	%	%	%	мм	%
Приход:													
поверхностный приток	5060	86.9	4721	85.7	4812	87.4	5116	84.9	94.0	67.3	38.0	8037	92.4
осадки + конденсация	690	11.9	716	13.0	628+6	11.4	852	13.9	6.0	29.2	30.0	658	7.6
подземный приток	70	1.2	72	1.3	72	1.2	72	1.2	–	3.5	32.0	–	–
Итого...	5820	100	5509	100	5519	100	6040	100	100	100	100	8695	100
Расход:													
сток из озера	5410	92.3	5182	92.3	5068	92.8	5618	94.0	96.3	83.4	81.0	8250	94.9
испарение	450	7.7	430	7.7	394	7.2	405	6.0	3.7	16.6	19.0	445	5.1
Итого...	5860	100	5612	100	5462	100	6023	100	100	100	100	8695	100
Изменения уровня	–40		–103		57		17						
Площадь водосбора, км^2	168.0								4.63	8.66	55.3	2685	
Площадь зеркала, км^2	9.13								0.19	1.25	14.20	92.5	
Удельный водосбор, км^2/км^2	18.4								25.0	6.9	3.9	29.0	
Z/X	0.65		0.60		0.63		0.48		0.61	0.53	0.46	0.68	

[1] По И.П. Граевскому, Д.Д. Квасову (1971); [2] по Ф.Ф. Воронцову, Н.К. Воронцовой (1980); [3] по Н.К. Воронцовой (1984); [4] по Ф.Ф. Воронцову и др. (1988); [5] по А.Г. Пронину (1972).

Таблица 15

Водный баланс озер Карельского перешейка, Прибалтики и Беларуси

Озеро	Площадь, км²		F/f	Приход						Расход						Z/X
	Озеро f	Водосбор F		Осадки		Приток		Итого		Испарение		Сток		Итого		
				мм	%	мм	%	мм	%	мм	%	мм	%	мм	%	
Вуокса (1912–1960)	92.5	2685	29.0	658	7.6	8037	92.4	8695	100	445	5.1	8250	94.9	8695	100	0.68
Красное (1964–1967)	9.1	168	18.4	690	11.9	5130	88.1	5820	100	450	7.7	5410	92.3	5860	100	0.65
Выртсъярв (1961–1966)	270	3110	11.5	685	22.3	2383	77.7	3068	100	505	16.5	2563	83.5	3068	100	0.74
Чудско-Псковское (1901–1965)	3550	44300	12.5	680	17.7	3150	82.3	3830	100	529	14.0	3301	86.0	3830	100	0.78
Буртниеки (ср. многолет.)	38.4	2290	59.6	660	3.9	16570	96.1	17230	100	560	3.3	16670	96.7	17230	100	0.85
Нарочь (1961–1980)	79.6	199	2.5	709	58.1	512	41.9*	1221	100	544	44.6	677	55.4	1221	100	0.77

* Приток поверхностный и подземный.

(0.74–0.85 и 11.5–12.5), что отражается на сходстве структуры водного баланса (табл. 15, рис. 6, е, ж): приток – 78–82%, сток – 84–86%, осадки – 22–18% и испарение – 16–14%.

На озерах Латвии специальные воднобалансовые наблюдения не проводились. Приближенный расчет водного баланса косвенными методами выполнен для оз. Буртниеки, расположенного на северо-востоке Латвии в бассейне р. Салаца (Ресурсы поверхностных вод.., 1969) (табл. 15, рис. 6, е). Показатель испарения для оз. Буртниеки равен 0.85, а удельный водосбор – 59.6. Поскольку озеро сильно проточное, то определяющими компонентами его водного баланса являются приток (96.1%) и сток (96.7%). По классификации Б.Б. Богословского, оз. Буртниеки относится к стоково-приточному гипу озер с господством притока в приходной части водного баланса и стока – в расходной ($СП_1$).

Кроме оз. Буртниеки имеются данные по водному балансу шести озер Латгальской возвышенности, полученные сотрудниками Института озероведения АН СССР в течение 1981–1984 гг. Воднобалансовая характеристика этих озер рассмотрена М.Я. Прытковой (1988). Структура водного баланса изменяется в зависимости от водности **года.** Для сопоставления водных балансов на озерах Латгалии был выбран период 1982–1983 гг. (многоводный год). С уменьшением удельного водосбора от 98.1 (оз. Лапийтис) до 9.4 (оз. Илзес) доля поверхностного притока уменьшается от 94 до 55%, а доля осадков соответственно увеличивается от 5 до 36%. Характерной особенностью водного баланса озер Латгальской возвышенности является наличие подземной составляющей, доля которой растет с увеличением максимальной глубины от 1 до 28%. По М.Я. Прытковой (1988), озера с максимальной глубиной менее 3 м в условиях Латгальской возвышенности подземного питания не имеют.

Вопросы водного баланса озер Беларуси затрагиваются в работах Н.М. Кургановой (1965), О.Ф. Якушко (1971), в работе „Озера Белоруссии" (1988) и в различного рода **справочных** изданиях (Ресурсы поверхностных вод..., 1966; Многолетние данные..., 1985). Однако средний многолетний водный баланс составлен только для оз. **Нарочь,** а для других водоемов Беларуси расчет водных балансов произведен только за короткий период различной продолжительности. Одной из воднобалансовых особенностей озер Лукомльского и Нарочи является значительное питание их подземными водами (рис. 6, е). У озер Нарочи и Лукомльского, с очень малыми удельными водосборами (2.5 и 5.8), доля осадков увеличивается до 34–47%. Наиболее точно рассчитан водный баланс оз. Нарочи за 1961–1980 гг. (табл. 15, рис. 6, е). Поверхностный приток в озеро составляет 34% и 8% подземный приток, а доля осадков – 58%, что превышает долю поверхностного притока в озеро. В расходной части водного баланса сток, на долю которого приходится 55%, превышает испарение. Согласно классификации Б.Б. Богословского, оз. Нарочь относится к стоково-дождевому типу водного ба-

ланса с преобладанием осадков в приходной части и стока в расходной части водного баланса ($СП_4$). Оз. Нарочь является слабопроточным водоемом. Оз. **Лукомльское** имеет стоково-приточный тип водного баланса с преобладанием притока в приходной части и стока в расходной ($СП_4$).

Удельный водосбор рассмотренных нами озер **Прибалтики** и Беларуси изменяется от 2.5 до 59.6 (рис. 6, е, ж). Основными составляющими водного баланса озер являются поверхностный сток в приходной части и сток - в расходной. Доля их превышает 75% общего прихода и расхода воды при колебаниях от 34% (оз. Нарочь) до 96% (оз. Буртниеки). Осадки и испарение играют второстепенную роль, и доля их в водном балансе не превышает 25%, за исключением оз. **Нарочь** (табл. 15). С уменьшением удельного водосбора возрастает роль осадков и испарения. Так, при понижении удельного водосбора от 59.6 (оз. Буртниеки) до 2.5 (оз. Нарочь) доля осадков увеличивается от 4 до 58%, а доля испарения - от 3 до 45%. По данным табл. 14, 15 по методу А.Г. Пронина (1972) **была построена зависимость составляющих водного баланса озер Карельского перешейка, Прибалтики и Беларуси от удельного водосбора** (рис. 7); она позволяет установить, что между удельным водосбором и составляющими водного баланса существует четкая связь гиперболического вида. На этих территориях подтверждается установленная ранее (Кольский полуостров, Карелия, Псковская, Новгородская и Вологодская области) закономерность: для озер, расположенных в условиях большой климатической однородности (рис. 6) **и в условиях избыточного и достаточного увлажнения, главной причиной различия в структуре водного баланса является удельный водосбор.**

Малые озера являются характерным элементом ландшафтов территории Западной Сибири, Казахстана и Зауралья (Срединный регион), включающих зоны тундры, тайги, лесостепи, степи, полупустыни и пустыни. **Естественно**, что меняется по зонам и соотношение приходно-расходных элементов водного баланса озер.

Данные по водному балансу озер этой территории (448 озер) получены из справочников и литературных источников (Ресурсы поверхностных вод целинных..., 1958-1962; Ресурсы поверхностных вод СССР, 1966-1986; Давыдов, Конкина, 1958; Лезин, 1969, 1982; **Муравлев**, 1969; **Андреева**, 1973; Новиков, Котова, 1977). Наиболее освещенной оказалась территория Казахстана (более 300 озер) и южная часть Западной Сибири (Барабинская и Кулундинская низменности). Север лесной зоны представлен водными балансами озер Сургутского Полесья (рис. 8, а). По водному балансу озер тундры имеются разрозненные наблюдения только за короткие периоды.

Основными составляющими водного баланса озер Западной Сибири и Казахстана являются приток, осадки, испарение и для сточных озер - сток из озера. Структура водного баланса малых озер на этой территории изменяется в широких пределах в связи с географической зональностью (рис. 8, а-г) и тесно связана с показателем испарения. В зоне избыточного увлажнения, где показатель испарения меньше 1 (Кымыл-Эмтор и Самот-Лор - 0.71) (Новиков, Котова, 1977), возможно существование озер даже при отсутствии притока воды в них. По С.М. Новикову (Новиков, Котова, 1977), структура водного баланса крупных внутриболотных озер состоит из 80% осадков и 20% притока с водосбора, 60% - испарения и около 40% - стока. Приток и сток в водном балансе играют второстепенную роль в силу небольших удельных водосборов. Эти озера относятся к испарительно-дождевому типу. При равенстве показателей испарения различие в притоке и стоке озер Самот-Лор и Кымыл-Эмтор определяется удельными водосборами (рис. 8, а).

В зоне недостаточного увлажнения по мере увеличения засушливости условия для образования сточных озер становятся все более неблагоприятными и показатель испарения всегда больше 1.

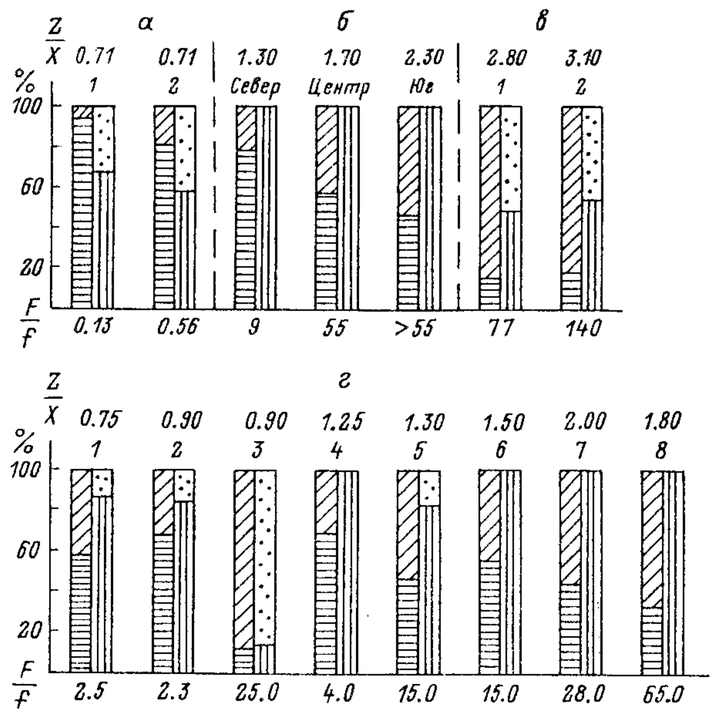


Рис. 8. Структура водного баланса озер Срединного региона (условные обозначения см. на рис. 6).
а - лесная зона - Сургутское Полесье: 1 - Самот-Лор, 2 - Кымыл-Эмтор; б - степь-лесостепь - Барабинская низменность: озера северной, центральной и южной частей; в - лесостепь - Целиноградская область: 1 - Обалыкуль; 2 - Кунакай; г - средняя (1) и южная тайга (2-3), лесостепь (4, 5) и степь (6-8): 1 - Русское, 2 - Шарташ, 3 - Исетское, 4 - Алакуль, 5 - Ачикуль, 6 - Жигановское, 7 - Каянды, 8 - Большой Косколь.

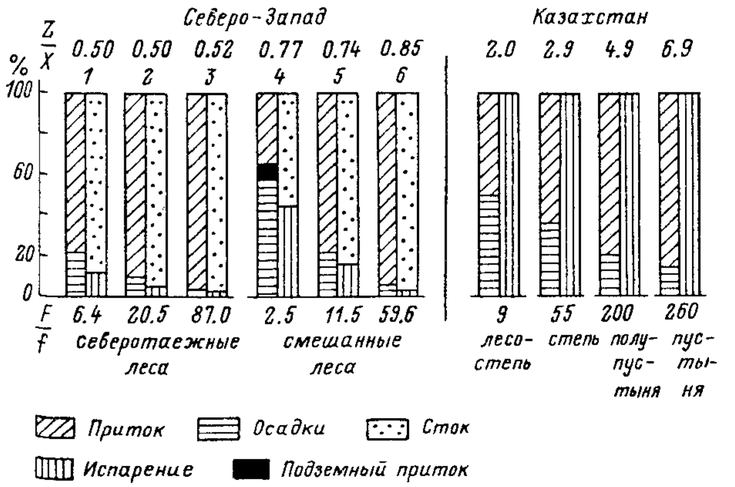


Рис. 9. Структура водного баланса озер гумидной и аридной зоны. Северо-Запад ЕТС: 1 – Колозеро; 2 – Пяозеро; 3 – Ковдозеро; 4 – Нарочь; 5 – Выртсъярв; 6 – Буртниеки. Казахстан: осредненные данные по озерам различных географических зон (по Муравлеву, 1969).

Существование озер зависит от притока с водосбора, который растет с увеличением показателя испарения. На рис. 8, б приводятся структуры водного баланса на примере Барабинской низменности (Давыдов, Конкина, 1958). В северных районах Барабинской низменности наибольшее значение в питании озер имеют атмосферные осадки, роль которых в центральной части снижается на 20% по сравнению с озерами северной части, а на юге этой низменности основное значение в приходной части водного баланса приобретает поверхностный приток (56%). Соотношение между поверхностным притоком и осадками изменяется также под влиянием изменений удельных водосборов. На территории Казахстана по мере увеличения признаков засушливости происходит последовательная смена зон (Муравлев, 1969) (рис. 9). В более увлажненной лесостепной зоне (Z/X=2.0) доля притока составляет 50%, а в степной (Z/X=2.9) она увеличивается до 64%, в полупустынной (Z/X=4.9) – до 80%, в пустынной (Z/X=6.9) – до 87%. Возрастает от зоны к зоне и удельный водосбор (9–55–200–260).

Имеющиеся в нашем распоряжении водные балансы озер Казахстана (352 озера) представлены по административным районам (табл. 16), но они отражают зональность в структуре водного баланса, ибо деление территории по административным областям проводилось с учетом естественных физико-географических условий (см. § 4.2). Подтверждением этого является график зависимости притока воды в озера от зонального показателя испарения (Z/X) (рис. 10), где т. 1 соответствует лесостепной зоне, т. 2–6 – степной, т. 7 и 8 – полупустынной и пустынной.

Таблица 16

Средний многолетний годовой баланс бессточных озер Казахстана и равнинной части Алтайского края, мм

Область	Число озер n	Приток с водосбора			Осадки на зеркало			Запасы воды в снеге			Испарение			Z/X		
		ср.	max	min	ср.	max	min	ср.	max	min	ср.	max	min	ср.	max	min
1. Северо-Казахстанская	86	47	59	29	42	48	35	11	25	6	61	68	58	1.9	2.4	1.4
2. Кустанайская	44	53	73	39	34	41	19	13	23	6	69	86	63	2.2	4.1	1.6
3. Кокчетавская	52	56	68	45	34	39	28	10	21	3	69	73	63	2.3	3.1	1.8
4. Карагандинская	15	58	64	46	33	43	28	9	20	4	77	82	69	2.4	2.8	1.8
5. Павлодарская	46	64	79	50	27	33	18	9	17	2	76	85	69	2.8	4.7	2.0
6. Целиноградская	42	64	83	46	25	38	11	11	21	5	76	88	64	2.8	4.0	1.8
7. Джезказганская	5	75	86	60	17	28	10	8	14	1	92	110	80	4.7	7.3	2.5
8. Актюбинская	29	78	87	66	15	23	10	7	14	3	138	138	92	5.0	7.8	3.0
Алтайский край	33	57	68	33	33	45	24	10	26	6	74	83	64	2.4	3.2	1.5

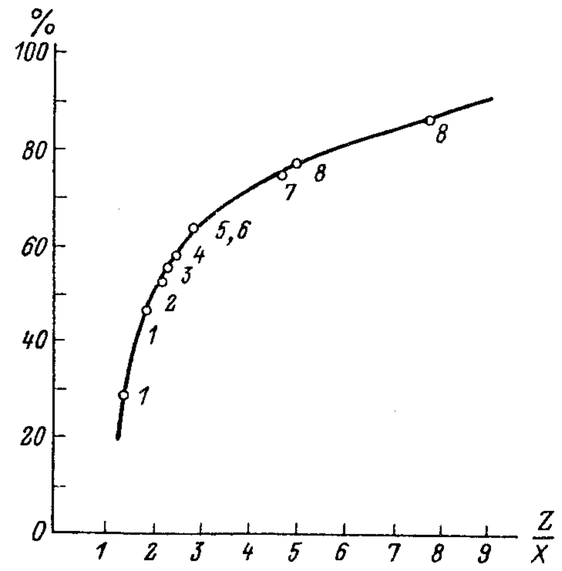


Рис. 10. Зависимость притока воды в озеро от зонального показателя испарения (Z/X).
1 – лесостепь (Северо-Казахстанская область); 2-3-4-5-6 – степь (Кустанайская, Карагандинская, Павлодарская, Целиноградская области); 7-8 – полупустыня и пустыня (Джезказганская, Актюбинская области).

Структура водного баланса озер Зауралья (36) оценивается по данным М.А. Андреевой (1973) (рис. 8, г). В качестве зонального фактора, влияющего на структуру водного баланса, ею взят показатель увлажнения за апрель–октябрь (X/Z): лесная зона – 0.7–1.2 (Z/X=0.8–0.9), лесостепная – 0.5–0.7 (Z/X=1.25–1.30) и степная – 0.3–0.5 (Z/X=1.5–2.0). В качестве азонального фактора был использован удельный водосбор, который изменяется от 2 до 65.

Озера, расположенные в пределах одной природной зоны и обладающие близкими по величине удельными водосборами, имеют одинаковую структуру водного баланса (рис. 8, г, 1–2). Главной причиной изменения водного баланса является отношение площади водосбора к площади озера, и чем оно больше, тем выше доля притока и стока и меньше доля осадков и испарения. Структура водного баланса озер засушливой зоны и зоны избыточного увлажнения различна (рис. 9), ибо изменяются условия увлажнения. Озера переходят от одного воднобалансового типа в другой. Так, в Зауралье, в лесной зоне достаточного увлажнения, все озера – сточные (Иссетское, Аятское, Б. Миассово, Иткуль, Таватуй). Сточными будут и озера с малыми удельными водосборами (Русское, Шарташ, рис. 8, г). С увеличением засушливости и снижением увлажнения условия для образования сточных озер становятся все более неблагоприятными (рис. 9, Казахстан). В лесостепной зоне озера с

малыми удельными водосборами бессточные. Для существования сточных озер необходимо, чтобы удельный водосбор был более 6–10 (оз. Селезняк, Аткуль, Еткуль; Сорокин, 1978). Их водный баланс определяется притоком (79–82%) и стоком (70–74%), осадками и испарением (20–30%). Озера с удельными водосборами менее 10 бессточные и обречены на высыхание.

Итак, в зависимости от величины удельного водосбора доля притока в более увлажненных районах Зауралья изменяется от 30 до 89%, а в засушливых – от 40 до 70%. Озера с одинаковыми удельными водосборами во влажных районах имеют в структуре водного баланса больший приток, чем в засушливых районах, на 20–30% (рис. 8, г, 3, 7). Между осадками и удельным водосбором существует обратная связь. При одинаковых удельных водосборах роль стока в балансе снижается с уменьшением коэффициента увлажнения. Определенное сочетание зональных и азональных факторов способствует формированию озер того или иного класса по структуре водного баланса. Структура водного баланса – надежный признак классификации озер. В гумидной зоне в условиях климатической однородности преобладают озера стоково-приточного типа и приоритетным признаком выступает удельный водосбор, а в аридной зоне преобладают бессточные озера испарительно-приточного типа с большими водосборами, обеспечивающими питание озер, и приоритетным признаком будет показатель испарения.

3.4. Теплообеспеченность озер как основание классификации

В жизни водоема, как и всего живого на Земле, первостепенную роль играют приток тепла от Солнца и его перераспределение в озере. Ими определяется интенсивность гидрологических (испарение, ледостав, температура воды), динамических (перемешивание), биологических (первичная продукция, жизненные циклы) и гидрохимических процессов (минерализация, газовый режим) и т. д. Главное значение придается количественной и качественной характеристике притока тепла и его трансформации. Метод теплового баланса может стать огромным вкладом в проблему классификации и районирования озер.

Выполнив анализ широко распространенных в современной лимнологии термических классификаций (§ 2.2), можно сделать вывод о том, что структура теплового баланса была бы надежным основанием термической классификации озер. Известно, что наиболее плодотворной и отвечающей сути дела является та классификация, в основание которой положен ведущий процесс, определяющий развитие классифицируемого объекта.

Приток радиации – явление зональное, а следовательно, он отражается в физико-географических особенностях озера и его бассейна.

Крайне скудные материалы длительных наблюдений над элементами теплового баланса требуют поисков другого интегрального

признака, характеризующего тепловое состояние озера и учитывающего его особенности, такого как происхождение озера и строение его котловины (средняя глубина, площадь, объем), связь с климатическими условиями и др. При выборе классификационных признаков предпочтение отдается тем, которые коррелируют с наибольшим числом компонентов и изменение которых сопровождается заметной перестройкой всего комплекса.

Основание классификации по тепловому признаку должно, во-первых, пересекаться с другими элементами озерного комплекса (морфометрия, связь с водосбором, физико-географические и климатические особенности, уровень трофии), а во-вторых, это должен быть очень простой и надежный показатель, определяемый на всех исследованных когда-либо водоемах и позволяющий проводить сравнение озер по нему на территории всей страны.

В качестве такого признака, основания классификации, выбран теплобюджет, определяемый разностью между максимальным и минимальным теплозапасом в озере. По Д. Хатчинсону (1969), годовой теплобюджет - это общее количество тепла, поступившего в озеро с момента минимального теплосодержания (умеренный климатический пояс - конец февраля-начало марта) до наступления максимального теплосодержания (конец июля-начало августа). Годовой оборот тепла в озерах определяется географическим положением озера, высотой над уровнем моря, увеличение которой дает эффект возрастания географической широты, и континентальностью (рис. 2, 3).

При наличии круглогодичных термических съемок на озерах нет сложностей в определении теплобюджета. Однако всем известно, сколь малочисленны и неполны наблюдения за температурой воды озер. Так, на территории европейской части страны наблюдения за температурой воды имеются на 83 озерах, а в Срединном регионе - на 54 озерах (на всей остальной территории страны - на 39 озерах). Такого объема данных явно недостаточно, тем более что они освещают 0.001% количества озер.

Попытки установить связи теплобюджета с морфометрическими характеристиками предпринимались давно - еще в работах Э. Берджи (Birge, 1915), Д. Хатчинсона (Hutchinson, 1957). Т.Н. Филатовой (1959), Э. Горхема (Gorchem, 1964) и др. Из последних наиболее убедительными, аргументированными и географическими являются работы Л.Ф. Форш (1968, 1974). Ею обобщены данные наблюдений на озерах Полярного Урала (8), Кольского полуострова (10), Северо-Запада России (25) и Беларуси (21) (Якушко, 1971) и построен график связи теплобюджета со средней глубиной, который отражает географическую зональность: озера тундры, лесотундры и северной тайги, средней и южной тайги, смешанных лесов. Таким образом была выполнена классификация озер, основанием которой послужил теплобюджет, зависящий от средней глубины, географического положения (координаты и высота места) и географической зоны. Величина теплобюджета отражает водообмен и теп-

лообмен в озере. Ценность этой работы в том, что подтверждена на натурных данных зависимость теплобюджета от средней глубины и географической зоны, показано, что при перемещении с севера на юг увеличивается интенсивность нарастания теплобюджета с увеличением глубины на 1 м. Л.Ф. Форш (1968) предложила разделить озера Северо-Запада России на 4 класса: (см. § 2.2, табл. 11). В дальнейшем была предложена еще переходная группа.

Исследования, проводимые Л.Ф. Форш (1968, 1974) и А.И. Тикомировым (1982), показали, что средние температуры воды за 5-7 лет достаточны для характеристики средних многолетних величин, что согласуется и с работой З.И. Пивоваровой (1977), утвердившей 10-летний период для характеристики средней многолетней величины суммарной радиации.

Чтобы использовать теплобюджет как признак классификации, надо было найти способ его расчета по доступным и простым характеристикам, имеющимся для большого числа озер (Хуббатуллин, Лубяной, 1988). В 1989 г. В.Л. Хуббатуллиным (1989) была предложена формула расчета теплобюджета по морфометрическим характеристикам, которые он собрал для 51 озера Северо-Запада России. Формула имеет вид:

$$Q = 1.56\ h_{ср} - 0.49a + 4.31V - 0.02\ F_{оз} - 0.14\ h_{max} + 3.58, \quad (5)$$

где Q - среднемноголетний теплобюджет, ккал/см^2 (в дальнейшем используем символ W, так как Q - стандартное обозначение суммарной радиации); $a = h_{ср}/\sqrt{F_{оз}}$ - коэффициент глубинности; $h_{ср}$ и h_{max} - средняя и максимальная глубины, м; $F_{оз}$ - площадь озера, км^2; V - объем озера, км^3. Коэффициенты уравнения регрессии статистически значимы с вероятностью более 95%. Проверка расчетного уравнения была проведена на независимом материале и показала, что ошибка составляет не более 10% (материалы 1978-1986 гг.). Однако надо было убедиться в том, что коэффициенты в этой формуле будут довольно постоянными и для других географических районов. Как показали сравнения почти по 40 озерам, разница между измеренными и рассчитанными величинами составляет 10-12%. Такие сопоставления проводить сложно, так как обычно наблюдения для определения теплобюджета проводятся 1-2 года, а расчет по формуле (5) дает средние многолетние величины, но такие данные имеются по 8 озерам Зауралья (Ежегодные данные...) и на 15 озерах в этом районе теплобюджет получен Л.Ф. Форш (Форш, Варенцов, 1978). Средняя разница между расчетом и измерениями составила здесь 10.5%, а на озерах Кольского полуострова и Карелии 10-12.5% (Фрейндлинг, 1962, 1965).

В пользу применения формулы В.Л. Хуббатуллина свидетельствует и то, что все озера, которые использованы нами для расчета теплобюджета, лежат в умеренном климатическом поясе. В 1957 г. Хатчинсон писал: „какие-либо широтные изменения величин теплового бюджета озер в пределах умеренной зоны, по-видимому, от-

сутствуют...", и далее: „В резко континентальных климатических условиях, где озера замерзают ежегодно и поступление тепла после 1 июля незначительно, несмотря на возможность очень жаркой погоды, следует ожидать значительно более постоянных величин теплового бюджета, чем в озерах, расположенных в районах с морским климатом" (1969, с. 214, 216).

Отсутствие банка данных создает трудности в получении морфометрических характеристик озер территории Северо-Запада ЕТС и Срединного региона. Для этой цели были использованы различные справочные издания и литературные источники (Изв.Гос. ВНИОРХ, 1932-1979; Ресурсы поверхностных вод целинных..., 1958-1962; Озера Карелии, 1959; Ресурсы поверхностных вод СССР..., 1963-1977; Озерные ресурсы Вологодской области, 1981; Сб. научных трудов Гос. НИОРХа, 1979-1988; Ежегодные данные о режиме и ресурсах..., 1980-1989; Природные ресурсы больших озер..., 1984; Природные ресурсы озер Западной Сибири, 1987; Озера Белоруссии, 1988; Рихтер, 1957; Баранов, 1962; Поползин, 1967; Якушко, 1971; Андреева, 1973; Лесненко, Абросов, 1973; Филонец, Омаров, 1973, 1974; Лёзин, 1975, 1982; Филонец, 1981; Истомина, Яковлев, 1989). В результате этой работы получены морфометрические характеристики 4272 озер (табл. 17).

Расчеты теплобюджета выполнены для 3877 озер по формуле (5) и программе, составленной С.А. Леонтьевым и осуществленной им на компьютере, за что мы его и благодарим.

В табл. 17 и на рис. 11 представлены средние величины теплобюджета в зависимости от средней глубины озер различных территорий. Можно отметить, что с увеличением площади озера несколько растет теплобюджет. Следовательно, встает вопрос о масштабах озер, для которых возможно применение формулы (5). Анализ всего имеющегося в нашем распоряжении материала показал, что для озер площадью более 200 км^2 и очень мелких, порядка нескольких сантиметров, какие часто встречаются в аридной зоне, расчет теплобюджета по формуле (5) невозможен.

Выше отмечалось, что озера больших площадей при одной и той же глубине с озерами, меньшими по площади, характеризуюся бóльшей величиной теплобюджета. Вопрос о влиянии площади на величину теплобюджета вставал и раньше (Birge, 1915; Hutchinson, 1957). Отмечалось, что с увеличением площади устойчиво происходит и нарастание теплобюджета, а уровень климатического максимума достигается на площади озера около 20 км^2. Того же мнения придерживался и Горхэм (Gorchem, 1964), но он считал, что важно соотношение площади и средней глубины, так как даже при малом объеме озёра с крутыми склонами имеют несколько больший теплобюджет, чем озера с покатыми склонами. К первым относятся озера Карелии, а ко вторым - Казахстана. Влияние формы котловины на мелких озерах сказывается сильнее. Вообще следует отметить, что малые озера имеют специфические черты, в том числе и в формировании теплобюджета.

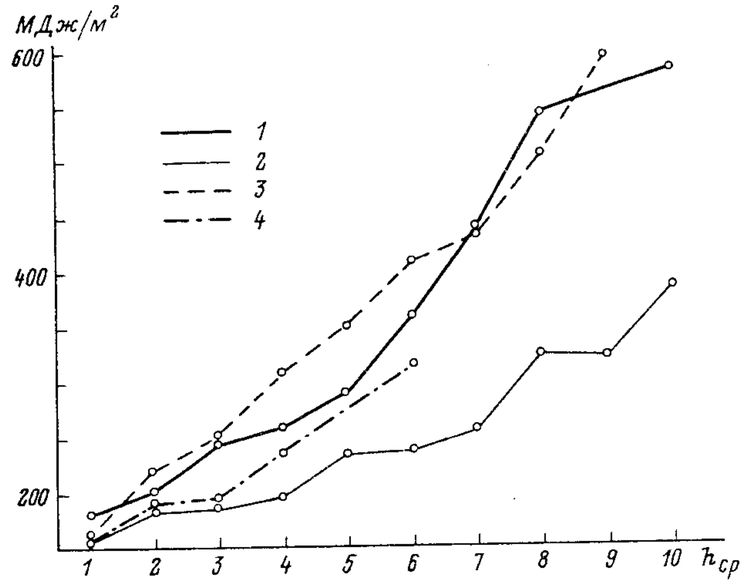


Рис. 11. Зависимость теплобюджета (МДж/м^2) от средней глубины озера ($h_{ср}$, м).

1, 3 - озера площадью от 1 до 200 км^2; 2, 4 - озера площадью до 1 км^2. Озера Карелии - 1-2; озера Казахстана - 3-4.

Как же влияют площади на теплобюджет на самых мелких и малых озерах (до 1 км^2) в аридной зоне Казахстана и гумидной - в Карелии? За счет бóльших скоростей ветра, открытости водоемов в аридной зоне и значительного перемешивания водной массы теплобюджет здесь несколько больше, чем в гумидной зоне на озерах с равными глубинами (рис. 11). При глубинах выше 5 м и площадях озер более 5 км^2 теплобюджет значительно возрастает. По данным табл. 17 были построены графики, устанавливающие зависимость теплобюджета от средних глубин для всех рассматриваемых регионов (рис. 11), и подобраны уравнения регрессии (табл. 18) с коэффициентами корреляции 0.97-0.99. Эти уравнения того же вида, что и уравнение Л.В. Гурьяновой (1988) для расчета теплозапасов в озерах Беларуси.

Каков же типичный размер озер (площадь и глубина) в различных регионах, где теплобюджет был рассчитан по формуле (5)? Для Кольского полуострова, Ленинградской, Вологодской и Тюменской областей, Казахстана и Алтая наиболее характерны озера площадью 1-5 км^2, а для Карелии, Новгородской, Псковской областей и Беларуси - 0.1-0.5 км^2. Ряды озер Новосибирской области, Урала и Зауралья малопредставительны. Во всех рассмотренных регионах (табл. 17) наиболее распространены глубины озер 1-2 м. Однако в Псковской области распространены озера глубиной 2-3 м, в Карелии и Ленинградской области - 3-4 м. Наиболее мелкие озера (до 1 м) характерны для Казахстана.

Таблица 17

Теплобюджет озер площадью от 1 до 200 км^2 (числитель, МДж/м^2) и от 0.1 до 200 км^2 (знаменатель, МДж/м^2)

Район	Средняя глубина, м										Число озер n	Доля озер площадью до 1 км^2, %
	0–1	1–2	2–3	3–4	4–5	5–6	6–7	7–8	8–9	9–10		
Кольский полуостров	176.0 169.7	201.1 194.4	230.0 217.0	267.0 257.3	297.9 294.1	320.1 328.5	357.8 350.3	451.7 368.7	455.0 455.0	463.4 454.2	150	24.7
Карелия	179.8 166.8	201.1 189.4	242.6 206.0	258.9 216.2	289.5 264.8	360.3 295.0	438.3 352.4	541.3 442.5	565.4 –	582.9 533.0	365	57.3
Северо-Запад России:												
Ленинградская обл.	175.1 171.8	213.3 188.6	245.1 221.0	284.5 248.5	333.5 261.0	375.4 304.2	399.7 360.3	468.0 –	495.7 406.0	505.3 505.3	248	54.8
Новгородская обл.	177.2 166.8	212.0 182.3	245.1 204.9	283.7 246.0	331.4 271.6	353.2 284.5	429.0 297.5	466.3 332.7	507.4 396.0	– –	594	81.2
Вологодская обл.	179.3 160.9	207.8 196.5	244.7 225.8	269.8 261.9	293.3 278.2	357.4 357.4	410.6 397.2	– –	– –	437.4 –	229	55.9
Псковская обл.	180.2 169.7	232.1 203.2	255.2 234.6	308.4 267.7	339.0 304.6	375.8 346.5	403.9 364.5	477.7 429.5	500.7 438.3	– 476.4	643	66.3
Беларусь	166.3 167.6	205.3 196.5	248.5 221.2	274.4 246.0	315.5 274.4	338.1 282.2	399.7 331.4	415.6 352.8	427.0 383.8	479.8 412.3	492	68.9
Урал и Зауралье	179.3 178.9	196.1 197.3	251.4 251.4	308.0 308.0	360.8 360.8	398.5 400.6	– –	460.9 460.9	– –	– –	82	6.1
Тюменская обл.	178.5 174.3	210.8 202.8	249.7 238.0	286.6 279.0	313.4 305.9	371.2 371.2	– –	– –	– –	– –	373	43.7
Новосибирская обл.	184.4 184.4	209.9 222.9	222.5 222.5	305.9 305.9	356.2 356.2	406.8 406.8	– –	– –	– –	– –	29	3.5
Казахстан	164.7 162.6	221.2 208.7	251.8 244.7	308.4 295.4	350.7 350.7	408.9 393.4	433.2 433.2	504.5 504.5	592.5 592.5	– –	550	38.0
Алтай	158.8 158.0	178.1 176.4	213.3 213.3	278.2 278.2	308.8 308.8	380.9 380.9	– –	– –	– –	440.8 440.8	122	23.0

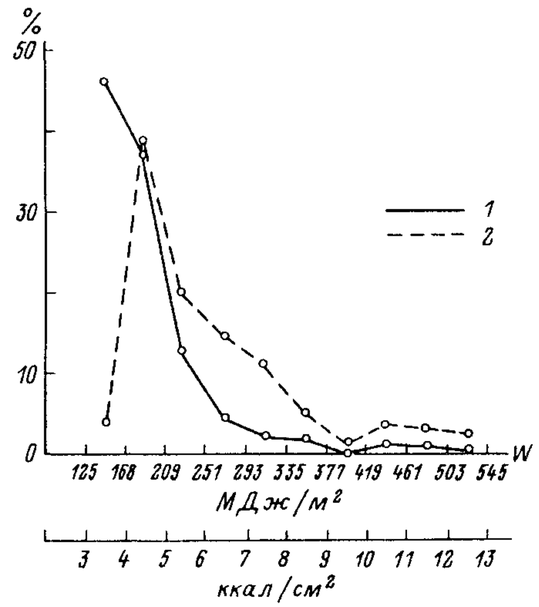


Рис. 12. Гистограмма повторяемости теплобюджета озер (МДж/м^2).
1 – Казахстан; 2 – Карелия.

Гистограмма повторяемости теплобюджета озер (рис. 12) свидетельствует о том, что в гумидной зоне больше глубоких и малых (ламбины!) озер.

Опробовав метод расчета теплобюджета на большом количестве озер в различных районах и разных климатических зонах (аридной и гумидной), можно признать, что теплобюджет – надежный признак классификации озер, а в совокупности с климатическими, морфометрическими признаками, знанием структуры водного баланса и типа трофии (см. § 2.3) можно выполнить комплексную классификацию озер и выделить озерные районы.

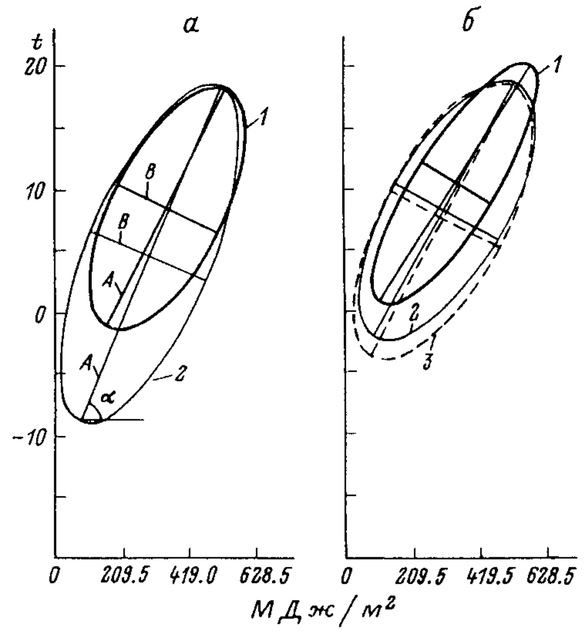


Рис. 13. Зависимость температуры воды (t) от суммарной радиации (МДж/м^2).
A – большая ось эллипса; B – малая ось эллипса; α – угол наклона большой оси эллипса к оси абсцисс.
а – I группа: 1 – оз. Суоярви; 2 – Сямозеро; б – II группа: 1 – оз. Кавголовское, 2 – Красное, 3 – Сямозеро.

Таблица 18

Уравнение регрессии – зависимость теплобюджета (W, МДж/м^2) от средней глубины ($h_{ср}$)

Регион	Площадь озер, км^2	
	0.1–200	1–200
Кольский полуостров	W =33.688 $h_{ср}$ +123.563	W =35.950 $h_{ср}$ +124.443
Карелия	W =43.868 $h_{ср}$ +72.068	W =49.568 $h_{ср}$ +85.727
Северо-Запад России:		
Ленинградская обл.	W =36.453 $h_{ср}$ +106.049	W =39.428 $h_{ср}$ +132.614
Новгородская обл.	W =28.115 $h_{ср}$ +122.725	W =42.403 $h_{ср}$ +121.971
Вологодская обл.	W =39.889 $h_{ср}$ +108.772	W =32.933 $h_{ср}$ +143.508
Псковская обл.	W =34.693 $h_{ср}$ +133.368	W =37.375 $h_{ср}$ +149.164
Беларусь	W =27.067 $h_{ср}$ +138.102	W =34.358 $h_{ср}$ +138.144
Тюменская обл.	W =38.841 $h_{ср}$ +125.951	W =37.710 $h_{ср}$ +136.301
Урал и Зауралье	W =44.121 $h_{ср}$ +125.407	W =44.079 $h_{ср}$ +125.281
Новосибирская обл.	W =48.855 $h_{ср}$ +109.988	W =48.855 $h_{ср}$ +109.988
Казахстан	W =52.082 $h_{ср}$ +93.605	W =51.118 $h_{ср}$ +104.080
Алтай	W =48.897 $h_{ср}$ +85.022	W =36.285 $h_{ср}$ +137.600

Поскольку термический режим озер определяется притоком суммарной радиации, то годовой цикл температуры воды в озере, выраженный в виде зависимости температуры воды от суммарной радиации $t=f(Q)$, может характеризовать термические особенности озера и влияние морфологии, морфометрии, местного климата и гидрологических особенностей (перемешивание и др.). Эта зависимость представляет собой эллипс (рис. 13). Соотношение полуосей эллипса (A/B) и угол наклона большой оси эллипса к оси абсцисс (α) рассматриваются нами как второй признак термической классификации озер.

Такая оригинальная характеристика была предложена А.-М. Шумец (Szumiec, 1978). Вся сложность такого подхода к выбору признака классификации состоит в разработке программы расчета эллипса. По предложению А.-М. Шумец было рассмотрено каноническое уравнение эллипса, параметры которого находились методом наименьших квадратов. Такая программа была создана в Институте озероведения АН СССР С.А. Леонтьевым и Л.А. Соколовой. Программа позволяет описать фигуру эллипса при отсутствии круглогодичных наблюдений за температурой воды. По этой программе выполнены все расчеты A/B, α и координаты центра эллипса, которые должны отражать среднегодовые величины температуры воды и суммарной радиации. Сбор исходной информации при отсутствии банка данных затруднен. Следует определить период расчета и убедиться в том, что он отражает средние многолетние величины суммарной радиации и температуры поверхности воды. Естественно, что средняя

температура водной массы или температура воды по акватории были бы предпочтительнее, но таких данных гораздо меньше, чем измерений температуры воды на водомерных постах.

Все расчеты относятся к периоду 8–9 лет(1978–1985,1986гг.). Выше говорилось о том, что для суммарной радиации и температуры воды такая продолжительность наблюдений достаточна для характеристики многолетнего периода. Следует помнить при выборе актинометрических станций, что на равнине эти данные характеризуют приток суммарной радиации на окружающей территории на расстоянии до 200–250 км (Пивоварова, 1977). Для выбранных озер, имеющих измерения температуры воды за названный период, подобрано по 18 актинометрических станций на территории Северо-Запада ЕТС и в Срединном регионе, расположенных по возможности вблизи озер (Ежегодные данные..., 1980–1988; Актинометрический ежемесячник..., 1978–1986). Для всех актинометрических станций были рассчитаны средние месячные величины суммарной радиации за каждый месяц периода 1978–1986 гг.

Средняя температура поверхности воды на 62 озерах ЕТС и на 90 озерах Срединного региона была рассчитана для каждого месяца за тот же период. Для каждого озера были построены зависимости $t=f(Q)$ и определены показатели A/B и α (351 эллипс). По форме эллипса можно отметить интенсивное нарастание солнечной радиации в первой половине года. В этот период потери тепла озером превышают поглощенную радиацию. Весной интенсивность нарастания увеличивается как для суммарной радиации, так и для температуры воды (май–июнь). На широтах 50–60° с середины августа начинается значительное уменьшение притока суммарной радиации, но водная масса еще аккумулирует тепло. Только в ноябре начинаются заметные потери тепла озерами, но с различной интенсивностью, в зависимости от глубины (рис. 13). Естественно, что длина большой и малой оси эллипса и угол наклона большой оси эллипса к оси абсцисс, определяемый $tg\,\alpha$, равным соотношению амплитуд температуры воды и суммарной радиации, зависят от морфологии, морфометрии водоема, локального климата и континентальности (табл. 19).

Анализ табл. 19 свидетельствует о том, что малой величине континентальности соответствует и малая величина суммарной радиации (в среднем за месяц года) и температуры воды. Длина большой оси эллипса растет с годовой амплитудой суммарной радиации, а длина малой оси возрастает с объемом озера. Табл. 19 дает представление также о влиянии на A/B и α географической широты, глубины озера, континентальности как на озерах европейской части России, так и на озерах Срединного региона. Чем больше угол наклона большой оси к абсциссе, тем больше амплитуда температуры по сравнению с амплитудой суммарной радиации, что характеризует озера и озерные группы на территории Срединного региона, континентальность которого достигает 65–67 (см. § 3.1, рис. 2).

Сравнение отдельных элементов эллипсов позволяет определить влияние на температуру воды:

– морфометрии озера для озер, расположенных в одних и тех же климатических, орографических и гидрологических условиях;

– местных климатических факторов для озер с одинаковыми морфометрическими, орографическими и гидрологическими условиями;

– метеорологических условий данного года, сравнив эллипс конкретного года с эллипсом, построенным по средним многолетним данным суммарной радиации и температуры воды;

– отклонения среднего годового цикла $t=f(Q)$ от многолетней зависимости, которое свидетельствует о колебаниях суммарной радиации.

В аридной зоне элементы эллипса значительно изменяются от состояния водности озер. Так, на оз. Чаны отношение A/B в разные периоды водности изменяется в больших пределах: 1953–1962 гг. – 2.78, 1963–1972 гг. – 3.32, 1972–1978 гг. – 3.65, 1973–1982 гг. – 3.82; α – от 57 до 72°. Если за градацию A/B принять 1, позволяющую перевести озеро из одного класса в другой, то оз. Чаны при изменении увлажненности территории перейдет в другой класс. При изменении периода расчета в 1 год A/B различаются на 0.2 (сравнение 50 пар озер).

Данные табл. 19 и рис. 13 позволяют выделить классы озер по признакам A/B и α, характеризующим тепловое состояние озер. Исследованные озера, размещенные по территории ЕТС, можно распределить на 10 классов, а в Срединном регионе – на 22 класса.

Классификация озер по признакам A/B и α показала, что районировать озера надо не по всей территории, а по районам, где выделяются группы озер, имеющие одинаковые по величине названные признаки (см. § 2.1). Тепловое состояние озер можно классифицировать: по тепловому бюджету (W), по A/B и α. Эти признаки достаточно надежные и доступные, не требуют специальных наблюдений, кроме основных морфометрических характеристик и 6–7-месячных измерений температуры поверхности воды и суммарной радиации. Особенности выбранных для классификации признаков в гумидной и аридной зонах видны в табл. 19. Оба признака в Срединном регионе имеют бóльшие величины.

Обобщив данные, полученные нами, и дополнив их материалами из работы А.-М. Шумец (Szumiec, 1978), получили табл. 20, из которой следует, что выбранные для классификации озер признаки отражают природные, физико-географические особенности районов и учитывают морфологию, морфометрию, гидрологию озера и местный климат, т. е. являются интегральными и информативными. Внутри этих районов может быть проведено более дробное деление озер на классы.

Таблица 19

Признаки термической классификации озер

Озеро	Широта φ с.ш.	Средняя глубина $h_{ср}$, м	Среднемесячная суммарная радиация Q, МДж/м^2	Средняя температура воды $t_{ср}$ (У–Х), °С	Континентальность по Ценкеру, $K_Ц$	Признак	
						Отношение полуосей эллипса A/B	Угол наклона эллипса α
Европейская часть России							
Пулозеро	68.5°	6.3	234.6	8.4	19	1.1	19.5°
Умбозеро	67.5	4.6	243.0	7.3	19	1.5	30.3
Энгозеро	66	4.5	243.0	9.0	24	1.4	30.7
Кимасозеро	64	3.3	243.0	11.1	26	1.6	37.1
Ругозеро	63	2.5	247.2	11.1	26	1.8	30.6
Красное	60.5	6.8	262.9	13.9	26	2.55	48.2
Кавголовское	60	2.5	262.9	13.9	27	3.65	53.3
Шугозеро	60	9.0	262.9	13.6	29	2.36	48.1
Карабожа	58.5	3.6	257.0	14.4	31	2.42	44.6
Череменецкое	58.5	7.9	257.0	14.9	28	2.67	54.4
Беларусь							
Нешердо	56°	3.4	284.9	14.9	34	2.70	46.5°
Дрисвяты	55.5	7.0	284.9	14.8	26	2.11	48.5
Мядель	55	6.3	297.5	13.1	31	2.55	44.4
Срединный регион							
Ик	56	3.7	326.8	13.5	58	3.66	59.0
Б. Бердюжье	56	1.3	326.8	13.7	56	4.22	61.3
Убинское	55.5	2.0	326.8	13.1	62	3.40	60.7
Сартлан	55	3.0	326.8	14.4	62	4.22	61.0
Чаны	55	2.0	326.8	14.4	62	4.61	62.4
Карачи	55	0.6	326.8	14.0	58	5.26	60.7
Индерь	54.5	1.7	326.8	13.9	62	4.93	61.5
Шучье	53	14.3	381.1	13.6	65	2.62	54.0
Имантавское	53	4.5	381.3	13.6	65	4.77	60.9
Кучукское	53	1.6	368.7	17.3	62	6.32	67.3
Б. Яровое	52	4.0	364.7	16.4	62	5.07	66.2
Челкар	50.5	7.4	356.2	15.2	62	6.21	59.2
Урал и Зауралье							
Шарташ	57	3.6	314.2	13.4	55	3.33	57.5
Ачикуль	56	2.5	322.6	14.2	61	4.25	62.5
Аргаяш	55.5	5.0	310.1	13.5	61	3.15	57.1
Медвежье	55	1.4	326.8	15.5	67	5.70	67.6
Кокчетавская обл. (1955–1961 гг.)							
Шаглы-Тенгиз	54	1.5	335.2	14.4	65	3.49	58.9
Кумды-Куль	54	1.5	377.1	13.4	65	6.84	63.8
Майбалык	53	2.3	377.1	15.4	65	5.18	65.6
Б. Чебачье	53	12.6	377.1	14.6	65	3.37	56.0
Копа	53	3.4	377.1	13.6	65	6.00	61.4
Боровое	53	3.4	377.1	14.3	65	5.31	61.7

Таблица 20

Признаки термической классификации озер

Регион	Признак		Континентальность $K_ц$	Географические координаты	
	A/B	α^*		φ с. ш.	λ в. д.
Кольский полуостров	1.1–2.4	$\frac{29^\circ}{18–30^\circ}$	24	67–69°	30–35°
Карелия	1.2–3.2	$\frac{52}{40–64}$	24–30	66–64	31–33
Северо-Запад (Ленинградская, Новгородская, Вологодская, Псковская области)	1.7–3.6	$\frac{54}{44–69}$	25–31	56–62	28–38
Беларусь	1.7–3.7	$\frac{44}{33–53}$	31–34	55–56	24–31
Польша	2.4–5.8	57–58	30–40	50–55	17–23
Великобритания	2.3–3.1	55–57	10	55	3
Урал, Зауралье	3.2–4.7	$\frac{61}{41–83}$	61–65	54–57	60–64
Западная Сибирь, юг	3.4–6.3	$\frac{61}{44–69}$	55–67	52–56	76–78
Казахстан	2.6–8.5	$\frac{64}{44–88}$	58–65	50–56	69–78
Алтай	3.5–4.1	$\frac{63}{56–70}$	60–62	52–56	81–90

* В числителе – средняя величина, в знаменателе – пределы колебаний.

3.5. Особенности распределения озер разных трофических типов в пределах зональных гумидных и аридной зон

Особенности распределения озер разных трофических типов на территории страны в значительной степени определяются географической и климатической зональностью, т. е. природными факторами, из которых приоритетными следует назвать температуру, увлажненность и специфику гидрографической сети. Особенно четко выражено их влияние на примере контрастных зон – гумидной и аридной. В то же время в пределах каждой из них немаловажное значение приобретают и азональные факторы – ландшафтная структура водосборов, морфометрия водоемов, их водообмен и др. На эти естественные факторы в современной экологической ситуации почти повсеместно накладываются антропогенные, усиливающие процессы эвтрофирования водоемов, интенсивность которых в свою очередь оказывается тесно связанной с уже названными природными факторами, как зональными, так и азональными.

Цель настоящей работы – определить соотношение в распределении озер разных трофических типов на примере водоемов Карелии (гумидная зона), Казахстана и юга Западной Сибири (аридная зона) и выделить основные факторы среды, определяющие специфику этого распределения, в частности преобладания того или иного типа озер в каждом из регионов. Очевидно, что такой анализ возможен лишь на основе массового материала, содержащего информацию о принадлежности конкретных водоемов к тому или иному трофическому типу. Современные возможности трофической типизации озерных экосистем были подробно рассмотрены в § 2.3. Большой набор признаков и классификационных шкал, появившихся в последний период, их взаимозаменяемость и взаимоконтроль значительно расширили эти возможности в сравнении, например, с 50–60-ми годами, когда в основном использовались показатели, связанные с интенсивностью новообразования органического вещества, определяемой развитием фитопланктона – первичной продукции, концентрации хлорофилла и биомассы. В подавляющем большинстве случаев оценка трофического уровня водоемов двух названных регионов строится на основе кадастровых или непродолжительных исследований, содержащих разрозненный, трудно сопоставимый материал, относящийся к разным компонентам экосистем. Здесь возможно лишь применение экспертных оценок, которые оказываются достаточно информативными, если исследователь обладает профессиональным опытом и в его распоряжении оказывается значительное количество пусть разрозненных, но конкретных данных, относящихся к исследованным водоемам.

В качестве примера можно привести сведения для одного из наиболее изученных регионов Северо-Запада – Ленинградской области. Здесь насчитывается до 700 малых озер общей площадью более

130 тыс. га (без озер менее 20 га, которые полностью не учтены). По данным трех выпусков Рыбохозяйственного кадастра малых озер Ленинградской области (1977, 1978, 1980), трофический тип определен лишь для 178 водоемов (50 – для озер Карельского перешейка, 27 – для Лужского района и 101 – для озер восточных районов области). Это составляет 25%, определенных на основе экспертных оценок. Трофический тип 75% озер Ленинградской области оказывается не определен. Если обратиться к озерам Карельского перешейка, где их численность с учетом водоемов площадью менее 20 га приближается к 800 (Филенко, 1957), то цифра исследованных на уровне кадастра озер уменьшается до 6% (50 из 800), а число водоемов, для которых трофический тип определен на основе классификационных шкал, составляет всего 2.5% (Лаврентьева и др., 1967; Эвтрофирование мезотрофного озера, 1980; Особенности формирования..., 1984). Для сопоставления приведем данные по Карелии: первая цифра (на основе экспертных оценок) составляет 7%, вторая (по классификационным шкалам) – 0.9%; для территории Казахстана соответственно 0.3 и 0.02% (литературные данные приведены ниже).

На примере Карелии – „озерного края" рассмотрены особенности распределения озер разного трофического типа для гумидной зоны. По данным ряда авторов, здесь насчитывается от 42 до 60 тыс. озер (Григорьев, Грищевская, 1959; Жадин, Герд, 1961; Александров, 1964; Китаев, 1969; Озера Карелии, 1959). В одной из работ (Александров, 1964) приводятся сведения, что из 42 тыс. озер 97% составляют водоемы площадью менее 1 км^2, подавляющее большинство которых – небольшие лесные озера-ламбы. Оставшиеся 3% составляют около 1400 озер. Этот огромный озерный фонд особенно интенсивно изучался в 60–70-е годы. Список литературы за 50–70-е годы по биологическим ресурсам Карелии отражен в двух выпусках библиографии (Нисканен, 1963; Сацук, Мулло, 1969). Обзор литературных данных позволяет сделать вывод, что гидробиологическими исследованиями было охвачено число озер в пределах 100, т. е. не более 7%. Оценки трофического типа строились на данных по зоопланктону и зообентосу, в связи с тем что основные цели исследований были связаны с характеристикой кормовой базы водоемов – их класса по уровню кормности для рыб (малокормный, среднекормный, высококормный). Фитопланктон озер Карелии длительное время вообще не изучался, лишь в 70-е годы начали появляться сведения о первичной продукции, концентрации хлорофилла и биомассе этого сообщества (табл. 21).

Данные по фитопланктону на основе разовых или непродолжительных исследований представлены в небольшом числе работ: озера Сандал, Лижмозеро, Топозеро, Черное (Баранов, 1959); Крюк-ламба (Харкевич, 1960); Урозеро, Мунозеро, Ушкозеро, Габозеро, Пертозеро, Кончозеро, Сунозеро (Кузнецов и др., 1971); Таноярви, Муальярви (Трифонова, 1973); Чужмозеро, Лижмозеро (Салазкин, 1976). Таким образом, наиболее корректные показатели трофиче-

Таблица 21

Сведения по первичной продукции и другим показателям фитопланктона за вегетационный период для озер Карелии

Озеро	Показатель			Автор
	P	B	$X_л$, мг/м^3	
Чеденъярви	1060 ккал/м^2	18.2 г/м^2 или 5.4 г/м^3	–	Горбунова и др., 1973
Кривое	13 г С/м^2	0.11 г/м^3	0.4	Бульон, 1975 Никулина, 1975
Круглое	4 г С/м^2	0.13 г/м^3	0.4	Бульон, 1975 Никулина, 1975
Чеденъярви	0.73–3–54 г O_2/м^2 ($A_{сут}$)	0.071–1.147 г/м^3	–	Гордиенко, 1978
Кирикиярви	3.66 г O_2/м^2 ($A_{макс.сут}$)	0.095–0.290 г/м^3 0.002–0.101 г/м^3	–	То же
Водлозеро	370 ккал/м^2	–	–	Новосельцев, 1981
Вендюрское	–	–	2.5	Коваленко, 1982
Вохтозеро	–	–	7.6	То же
Риндозеро	–	–	1.9	" "
Урос	–	–	1.2	" "
Куроярви	–	0.21–0.47 г/м^3	–	Чекрыжева, 1982
Нижоярви	–	0.30–0.36 г/м^3	–	То же
Роттомо	–	0.14–0.58 г/м^3	–	" "
Пертозеро	392 ккал/м^2 0.67–1.31 г O_2/м^2 ($A_{сут}$)	–	–	Коваленко, Иешко, 1989

ского типа озер, определенные по количественным показателям фитопланктона, имеются лишь для 13 озер, что составляет менее 1% (0.9) от 1400 и 3% от числа озер, представленных в Кадастре озер Карелии. От числа водоемов, на которых проводились гидробиологические исследования (~100), это составляет 13%. Трофический тип подавляющего большинства озер региона был определен нами по индексу Карлсона на основе величин прозрачности, исключая высокоокрашенные водоемы. Широко привлекались данные по биомассе зоопланктона и бентоса, которые приводились к классификационным шкалам по Китаеву (1984). Использовались сведения по таксономической структуре сообществ и видам-индикаторам. В ряде случаев в качестве дополнительного показателя использовался кислородный коэффициент по Салазкину (1976), привлекались морфометрические показатели ($h_{ср}$), степень зарастаемости озер и т.д. Из сказанного очевидно, что при определении трофического статуса озер Карелии в основном использовались экспертные оценки, конт-

Таблица 22

Распределение разнотипных водоемов

Бассейн реки, озера	Олиготрофные озера	Мезотрофные	Эвтрофные
р. Шуя	4	9	12
Вешкелецкие озера	–	10	2
Крошнозеро	–	–	1 г/э*
р. Суна	–	8	2
р. Выг	–	4	–
р. Кемь	1	5	–
р. Ковда	3	–	–
оз. Кривое	1	–	–
оз. Круглое	1	–	–
р. Вуокса (верховье)	–	11	2
Восточное Заонежье			
Пудожские озера	13	7	1 г/э
Сумма озер – 97	23 (24%)	54 (56%)	20 (20%)

*Гиперэвтрофные.

ролируемые рядом признаков, представленных в сводной табл. 11 (§2.3). Соотношение в распределении озер разного трофического типа представлено в данном регионе следующим образом, %: олиготрофные – 24, мезотрофные – 56, эвтрофные – 19, гиперэвтрофные – 1. Наиболее распространенный тип – мезотрофные озера, которые вместе с олиготрофными составляют 80% от общего числа исследованных водоемов. Представляет интерес специфика распределения разнотипных водоемов в пределах бассейнов основных озерно-речных систем Карелии (табл. 22).

Таким образом, из 20 эвтрофных озер 15, т. е. 75%, приходится на бассейн р. Шуи, а из 23 олиготрофных 13, т. е. 56%, – на райрн Восточного Заонежья, ландшафт которого в основном представлен промытыми песками. Как отмечает И.Н. Сорокин (1988), трофический тип водоема в значительной степени определяется его местоположением в тех или иных звеньях гидрографической сети, что связано как с величиной стока, так и с ландшафтно-географическими особенностями различных участков водных бассейнов. В качестве примера автор приводит особенности распределения разнотипных озер бассейна р. Шуи. Наконец, следует отметить общеизвестный факт обилия дистрофных водоемов в Карелии, который не нашел отражения в табл. 22. Именно они и представляют те 97%, о которых говорилось в начале – небольшие лесные озера-ламбы площадью менее 1 км^2. В Карелии широко представлены все трофические типы озерных экосистем с преобладанием дистрофных и мезотрофных водоемов, олиготрофные озера составляют 24%.

Особенности распределения разнотипных озер в аридной зоне рассмотрены на примере равнинной территории Казахстана и юга Западной Сибири. Материалы, представляющие информационную основу для анализа, составляют большой список сводок монографического характера (Сб. работ по ихтиологии..., 1959; Поползин, 1967; Филонец, 1981; Лёзин, 1982; серии „Биологические основы рыбного хозяйства Средней Азии и Казахстана", 1966, 1967, 1972, 1974, 1975, 1976, 1978, 1983, 1986; Рыбные ресурсы водоемов Казахстана и их использование, 1966, 1970, 1972, 1974, 1975; Экология..., 1973; Опыт комплексного изучения..., 1982).

На основе этих публикаций удалось собрать сведения для 166 озер, что составляет 0.3% от их общего числа на данной территории. Лишь для 8 из них – оз. Каракуль (Шарапова, 1971; Хусаинова и др., 1973) и семи Карасукских озер (Ермолаев, 1967, 1977; Стуге, 1981; Опыт комплексного изучения и использования Карасукских озер, 1982) трофический тип определен на основе классификационных шкал, т. е. 0.02% от общего числа озер. Практически для всех водоемов трофический тип определен на основе экспертных оценок с использованием данных по зоопланктону (видовой состав, таксономическая структура, коэффициенты E и E/O, виды-индикаторы, биомасса), бентосу (видовой состав, биомасса), видовому составу рыб, степени зарастания водоемов, их средней глубине. Для 83 водоемов, где имелись данные по прозрачности, был применен индекс Карлсона. Из 166 озер таким образом был определен трофический тип для 95% озер и лишь для 5% – на основе классификационных шкал. Из приведенных данных очевидно, что для водоемов как гумидной, так и аридной зон, несмотря на длительный период исследований, нет достаточной информационной основы для корректного определения их трофического типа. Для озерных регионов практически отсутствуют доступные банки данных.

Из 166 озер наименее сложным оказалось определение трофического типа для 5 горных озер (Маркаколь, Алаколь, Ульменс, Дюсейн, Щучье), где средние показатели составляют: $h_{ср}$=18.2 м (12.0–22.1), прозрачность =9.5 м (6.0–25.0). Хотя всесторонних гидробиологических исследований на них не проводилось, названные далее авторы однозначно называют трофический тип этих водоемов олиготрофным, что, и по нашему мнению, не вызывает сомнений (Иоганзен, Мухамедиев, 1978; Вудцеттель, 1972; Ибрагимов, 1974; Филонец 1981; Иоганзен, и др., 1986). Соотношение в распределении разнотипных озер рассматриваемого региона и связь между трофическим типом и некоторыми факторами среды представлены в табл. 23, 24.

Из сказанного очевидно, что преобладающим типом озер на данной территории является эвтрофный – в целом для региона 80%, а для равнинной (степной) части 84%, олиготрофные озера вообще отсутствуют.

Таблица 23

Соотношение между различными типами озер на территории аридной зоны (Казахстан, юг Западной Сибири)

Трофический тип	n озер	%	Равнинные озера	
			Число озер	%
Олиготрофный (горные озера)	5	3	–	–
Мезотрофный	28	16	28	16
Эвтрофный	133	80	133	84
Сумма	166	100	161	100

Таблица 24

Соотношения между трофическим типом озер и некоторыми факторами среды

Трофический тип	$h_{ср}$, м	Прозрачность, м	W, МДж/м^2
Олиготрофный (горные озера)	18.2 12.0–22.1 (n=5)	9.50 6.0–25.0 (n=5)	1009.8 553.1–1680.2 (n=5)
Мезотрофный	3.3 1.0–11.1 (n=27)	1.53 0.6–3.0 (n=18)	247.2 171.8–632.7 (n=18)
Эвтрофный	1.4 0.2–4.1 (n=121)	1.01 0.3–2.2 (n=49)	209.5 121.5–356.2 (n=68)

Примечание. Над чертой – средняя величина, под чертой – диапазон показателей; W – данные Н.П. Смирновой.

Преобладание водоемов эвтрофного типа определяется здесь прежде всего природными факторами: чрезвычайно высокой прогреваемостью водных масс, связанной с климатическими особенностями аридной зоны, и малыми средними глубинами водоемов. Это явление усугубляется высокой амплитудой колебаний уровня воды в направлении его понижения, в связи с тем что возрастают безвозвратные потери воды (водозабор – антропогенный фактор). Сложные озерно-речные системы, где регулируется их водность и уровенный

режим (что характерно для водосборов Карелии), здесь практически отсутствуют. Это приводит к распространенному явлению эфемерности водоемов, для которых в период их существования характерен высокий уровень биологической продуктивности.

Для постоянно существующих озер определяющим является температурный фактор, связанный четко выраженной прямой зависимостью с количественными биологическими показателями (обзор по Китаеву, 1984). Из биотических факторов существенным является очень высокая зарастаемость макрофитами большинства мелководных озер и связанное с этим обильное развитие фитофильной фауны, что определяет высокую продуктивность водоемов. На эти природные факторы накладываются антропогенные: безвозвратный забор воды; широко развитая коллекторно-дренажная сеть; влияние отработанных теплых вод ТЭЦ, которые усугубляют и без того высокую прогреваемость мелководных озер; приток биогенных элементов с орошаемых сельскохозяйственных полей; загрязнение водоемов бытовыми сточными водами, и другие, способствующие интенсивности процесса эвтрофирования в этом регионе.

Сводная таблица, отражающая особенности распределения озер разных трофических типов в условиях гумидной и аридной зон, свидетельствует о том, что в первой из них представлены все типы озер с преобладанием мезотрофных и довольно высоким процентом олиготрофных водоемов; на территории аридной зоны наблюдается резкое преобладание эвтрофных озер, %:

	Карелия	Казахстан
Олиготрофный тип	24	0
Мезотрофный	56	16
Эвтрофный	20	84

Географическая и климатическая зональность находит свое отражение в распределении озер разных трофических типов. Так, разнообразие озер в Карелии связано со спецификой сложной гидрографической сети озерно-речных систем и разнообразием водосборных территорий, дренируемых этими системами. Существенное значение имеют высокая увлажненность и температурный режим условий более высоких широт (см. рис. 2, 3). Преобладание озер эвтрофного типа на территории Казахстана связано прежде всего с климатическими условиями аридной зоны – высокой прогреваемостью водоемов и крайней неустойчивостью их уровенного режима. Подавляющее большинство озер являются мелководными, разрозненно расположенными и не связанными между собой в озерно-речные системы. Негативное влияние антропогенных факторов, способствующих процессу эвтрофирования, является более сильным в условиях аридной зоны.

Глава 4

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В КЛАССИФИКАЦИИ ОЗЕР

4.1. Статистические методы классификации в лимнологии

Существует большое количество математических методов, используемых в задачах классификации. Эти методы являются частью прикладной статистики, в рамках которой разрабатываются и систематизируются понятия, приемы, математические методы и модели, предназначенные для обработки статистических данных с целью их удобного представления, интерпретации и получения научных и практических выводов (Айвазян и др., 1989).

Остановимся на основных математических методах, которые применяются в классификации, и дадим рекомендации по их использованию в задачах лимнологии.

Перед тем как рассматривать методы классификации, отметим, что для разнообразного круга математических методов классификации в качестве входной информации используется матрица наблюдений

$$\begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} \dots x_{1K} \\ x_{21} & x_{22} \dots x_{2K} \\ \dots\dots\dots\dots \\ x_{p1} & x_{p2} \dots x_{pK} \end{pmatrix}, \qquad (6)$$

в которой вектор $x_i=(x_{1i}, x_{2i} \dots x_{pi})^T$ является набором значений признаков $(x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(p)})$, зарегистрированным на i-м обследованном объекте. Дополнительная входная информация зависит от математической постановки задачи и представляет собой различные сведения об исследуемых объектах и их группировках.

Один из важных этапов при решении задач классификации состоит в нахождении наиболее информативных типологических показателей, которые могут быть отобраны среди исходных признаков $(x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(p)})$ или рассчитаны по их значениям. Задача отбора информативных показателей заключается в замене исходной системы признаков $(x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(p)})$ набором вспомогательных переменных $(z^{(1)}, z^{(2)}, \dots, z^{(p')})$, число которых p' меньше числа исходных признаков p. Следовательно, эта задача является по существу задачей снижения размерности. Необходимость в решении такого рода задач связана в первую очередь с тем обстоятельством, что использование малоинформативных показателей в условиях дефицита выборочной информации ухудшает качество классификации (Айвазян, Бежаева, Староверов, 1974). При

нахождении системы информативных показателей используют различные критерии, которые ориентированы на достижение определенных целей. Применительно к задаче классификации эта цель может быть сформулирована следующим образом: при заданной классификации и заданном методе классифицирования определить минимальный набор признаков, позволяющий отделять классы друг от друга.

Методы оценки информативности признаков применительно к этой задаче основаны, как правило, на критерии Фишера (Рао, 1968; Себер, 1980).

Рассмотрим основные формулы, используемые для отбора информативных переменных, при этом для простоты изложения будем рассматривать только два класса объектов. Пусть имеются две обучающие выборки, которые можно представить в виде матриц наблюдений X^1 и X^2:

$$X^1=\begin{pmatrix} x^1_{11} \dots x^1_{1K_1} \\ x^1_{21} \dots x^1_{2K_1} \\ \dots\dots\dots \\ x^1_{p1} \dots x^1_{pK_1} \end{pmatrix}; \qquad (7)$$

$$X^2=\begin{pmatrix} x^2_{11} \dots x^2_{1K_2} \\ x^2_{21} \dots x^2_{2K_2} \\ \dots\dots\dots \\ x^2_{p1} \dots x^2_{pK_2} \end{pmatrix}. \qquad (8)$$

Матрица X^1 представляет собой значения p признаков на k_1 объектах первого класса, а матрица X^2 – значения p признаков на k_2 объектах второго класса. Матрицы X^1 и X^2 можно рассматривать как две выборки признаков $x^{(1)}, \dots, x^{(p)}$, взятых из обоих классов объектов.

В процедурах отбора информативных показателей обычно предполагается равенство ковариационных матриц признаков для различных классов, и в качестве основы используются критерии проверки равенства средних значений признаков.

Обозначим векторы средних и матрицы ковариаций через (m, S) и (m_2, S) для первой и второй выборок соответственно. Естественно считать признаки $x^{(1)}, \dots, x^{(p)}$ неинформативными, если векторы средних m_1 и m_2 равны между собой, и малоинформативными, если различие между m_1 и m_2 невелико. Таким образом, задача отбора информативных показателей и отбраковка малоинформативных сводится к проверке гипотезы о равенстве векторов средних m_1 и m_2.

Рассмотрим выборочные оценки параметров m_1, m_2, S.

$$\tilde{m}_i = \frac{1}{\kappa_i} \sum_{j=1}^{\kappa_i} x_j^i, \quad i = 1, 2; \tag{9}$$

$$\tilde{S} = \frac{(\kappa_1 - 1)\tilde{S}_1 + (\kappa_2 - 1)\tilde{S}_2}{\kappa_1 + \kappa_2 - 2}; \tag{10}$$

$$\tilde{S}_i = \frac{1}{\kappa_i - 1} \sum_{j=1}^{\kappa_i} (x_j^i - \tilde{m}_i)(x_j^i - \tilde{m}_i)^T, i = 1, 2. \tag{11}$$

где $x_j^i = (x_{1j}^i, x_{2j}^i, \ldots, x_{pj}^i)^T$, $i = 1, 2$, $j = 1, 2, \ldots, \kappa_i$. Для проверки гипотезы $m_1 = m_2$ можно использовать F-критерий с p и $\kappa_1 + \kappa_2 - p - 1$ степенями свободы (Рао, 1968):

$$F = \frac{\kappa_1 + \kappa_2 - p - 1}{p} \frac{\kappa_1 \kappa_2}{(\kappa_1 + \kappa_2)(\kappa_1 + \kappa_2 - 2)} D^2, \tag{12}$$

где $D^2 = (\tilde{m}_1 - \tilde{m}_2)^T \tilde{S}^{-1} (\tilde{m}_1 - \tilde{m}_2)$. (13)

Если справедлива гипотеза $m_1 = m_2$, то это означает, что исходная система признаков $x^{(1)}, x^{(2)}, \ldots, x^{(p)}$ неинформативна, в противном случае систему признаков считают информативной. Статистика F может служить также для сравнения степени информативности различных наборов признаков. При заданном числе показателей наиболее информативным будет набор, имеющий наибольшее значение F.

В работах С.Р. Рао (1968) и Д. Себера (1980) предложен также критерий для проверки информативности дополнительных $p-q$ признаков при условии, что q признаков информативны. Для этой цели используется статистика:

$$F = \frac{\kappa_1 + \kappa_2 - p - 1}{p - q} \frac{\kappa_1 \kappa_2 (D_p^2 - D_q^2)}{(\kappa_1 + \kappa_2)(\kappa_1 + \kappa_2 - 2) + \kappa_1 \kappa_2 D_q^2}, \tag{14}$$

асимптотически подчиняющаяся распределению Фишера с $p-q$ и $\kappa_1 + \kappa_2 - p - 1$ степенями свободы. Значения D_p^2 и D_q^2 рассчитываются по формуле (13) для наборов, состоящих из p и q признаков соответственно.

Изложенные выше формулы очевидным образом обобщаются на случай произвольного числа классов. Отбор информативных признаков обычно проводится перед диагностированием исследуемых объектов. Поэтому рассмотренный метод, как правило, применяется вместе с математическими методами классификации и в первую очередь методами дискриминантного анализа. Задачи дискриминантного анализа, а также соответствующие методы и примеры рассмотрены ниже.

Система информативных показателей может строиться также исходя из целей, отличных от рассмотренной выше. Так, исходная система признаков может быть заменена новой с целью сокращения массивов обрабатываемой и хранимой информации для экономии памяти ЭВМ. Отбор информативных показателей может также производиться с целью получения системы признаков, удобных для интерпретации. Эта задача возникает, в частности, при нахождении основания классификации. Переход к новой системе показателей может производиться и с целью геометрического представления исследуемых объектов. Снижение числа показателей до одного или двух дает возможность представить изучаемые объекты в виде точек на прямой или на плоскости, что делает задачу наглядной и упрощает процедуру классификации. При реализации указанных целей обычно ставится задача получения такой системы вспомогательных переменных $z^{(1)}, \ldots, z^{(p')}$, чтобы с их помощью исходные признаки $x^{(1)}, \ldots, x^{(p)}$ могли быть достаточно точно восстановлены. Для получения такой системы признаков, как правило, используются различные методы факторного анализа (Лоули, Максвелл, 1967; Рао, 1968; Харман, 1972; Айвазян и др., 1989). Основная идея факторного анализа, на основе которой строятся многие входящие в него методы, состоит в том, что значения исходных признаков $x^{(1)}, \ldots, x^{(p)}$ формируются под воздействием небольшого числа общих факторов $f^{(1)}, \ldots, f^{(p')}$, которые, как правило, не поддаются непосредственным измерениям. В определенных ситуациях эти факторы могут выступать в роли причин, а анализируемые признаки – в роли следствий.

Рассмотрим один из самых простых методов факторного анализа, который носит название метода группировки взаимокоррелируемых признаков (Елисеева, Рукавишников, 1977). Принцип, используемый в этом методе, следующий: признаки разбиваются на группы таким образом, чтобы внутри каждой группы коэффициенты корреляции были относительно высокими, а между признаками из разных групп – низкими. Затем из каждой группы выбирается один или несколько признаков, которые вместе образуют искомую систему информативных показателей. Представители групп могут не только выбираться, но и строиться таким образом, чтобы новые показатели были наиболее сильно коррелированы с признаками своей группы. Эти показатели можно интерпретировать как факторы, от которых зависят признаки соответствующих им групп.

Проиллюстрируем применение этого метода на примере анализа морфометрических характеристик 222 озер Карельского перешейка. Рассмотрим следующие показатели: площадь водной поверхности

озера ($F_{оз}$), максимальная глубина и средняя глубина озера (h_{max}, $h_{ср}$), длина озера (L), объем озера (W), абсолютная отметка над уровнем моря ($H_{абс}$), коэффициент развития береговой линии ($K_{разв}$), максимальная ширина озера (B_{max}), средняя ширина озера ($B_{ср}$). Анализ коэффициентов корреляции исходных признаков (табл. 25) показывает наличие двух групп сильно коррелируемых между собой признаков.

Так, высокие значения парных корреляций имеют характеристики $F_{оз}$, L, W, B_{max} и $B_{ср}$, которые и образуют первую группу признаков. Во вторую группу входят сильно коррелируемые показатели $h_{ср}$ и h_{max}. Коэффициенты корреляции между признаками из разных групп имеют невысокие значения. Выбрав по одному представителю из каждой группы (к примеру, F и h_{max}) и добавив к ним характеристики $H_{абс}$ и $K_{разв}$, получаем искомую систему показателей. Как видно из примера, метод группировок взаимокоррелированных признаков прост при реализации. Если число исходных признаков невелико, то построение сильно коррелированных групп признаков можно проводить без использования ЭВМ. При большом количестве исходных признаков целесообразно применять автоматические процедуры, которые несложно реализовать на ЭВМ. Эти процедуры детально описаны в работе (Айвазян и др., 1989). Рассмотренный метод, который называют также методом экстремальной группировки признаков, является эвристическим. Исследователь, пользующийся этим методом, имеет возможность активно вмешиваться в процедуру формирования групп и нахождения информативных показателей и тем самым учитывать специфику изучаемых процессов и характер используемой информации. Существуют и другие эвристические методы отбора информативных показателей, которые изложены в работе (Айвазян и др., 1989).

В отличие от метода группировок процедура отбора информативных показателей с использованием анализа главных компонент четко определена. Новые показатели находятся как линейные комбинации исходных признаков, удовлетворяющих следующим свойствам:

$$z^{(j)} = c_{j1}(x^{(1)} - \mu^{(1)}) + \ldots + c_{jp}(x^{(p)} - \mu^{(p)}); \qquad (15)$$

$$\sum_{\nu=1}^{p} c_{j\nu}^2 = 1, \quad j = 1, 2, \ldots, p'; \qquad (16)$$

$$\sum_{\nu=1}^{p} c_{j\nu} c_{k\nu} = 0, \quad j, k = 1, 2, \ldots, p', j \neq k. \qquad (17)$$

Таблица 25

Матрица коэффициентов корреляции исходных признаков

Признак	$F_{оз}$	h_{max}	$h_{ср}$	L	W	$H_{абс}$	$K_{разв}$	B_{max}	$B_{ср}$
$F_{оз}$	1	0.386	0.248	0.706	0.966	-0.034	0.117	0.914	0.754
h_{max}	0.386	1	0.894	0.480	0.441	-0.014	0.118	0.348	0.304
$h_{ср}$	0.248	0.894	1	0.441	0.317	0.020	0.086	0.269	0.218
L	0.706	0.480	0.441	1	0.661	-0.051	0.396	0.721	0.757
W	0.966	0.441	0.317	0.661	1	-0.031	0.061	0.857	0.631
$H_{абс}$	-0.034	-0.014	0.020	-0.051	-0.031	1	0.057	-0.049	-0.051
$K_{разв}$	0.117	0.118	0.086	0.396	0.061	0.057	1	0.135	0.410
B_{max}	0.914	0.348	0.269	0.721	0.857	-0.049	0.135	1	0.948
$B_{ср}$	0.754	0.304	0.218	0.757	0.631	-0.051	0.410	0.948	1

где $\mu^{(i)}$ – среднее значение признака $x^{(i)}$, $i=1, \ldots, p$.

Мерой информативности показателей $z^{(1)}, z^{(2)}, \ldots, z^{(p')}$, которые носят название главных компонент, служит относительная доля суммарной дисперсии исследуемых признаков

$$J_{p'} = \frac{Dz^{(1)} + \ldots + Dz^{(p')}}{Dx^{(1)} + \ldots + Dx^{(p)}}, \qquad (18)$$

где D – оператор дисперсии.

Выбор числа главных компонент p' производится с помощью величины $J_{p'}$, которая возрастает от 0 до 1 при увеличении p'. Обычно оставляют те первые главные компоненты, для которых величина $J_{p'}$ достигает значений, близких к единице.

В лимнологии, в частности в гидрохимических и гидробиологических исследованиях, методы компонентного анализа получили достаточно широкое распространение (Скляренко, Смирнов, 1974; Кожара, Смирнов, 1975; Мяэметс, Райтвир, 1975; Боценюк и др., 1981; Семенов, 1986). Рассмотрим пример использования анализа главных компонент с целью сокращения размерности исходного пространства. В работе В.Л. Кожары и др. (1979) решается задача районирования акватории Иваньковского водохранилища. Исходная информация представляет собой наблюдения 90 гидрологических, гидрохимических и гидробиологических характеристик на 23 станциях. Перед проведением классификации станций наблюдений и районированием акватории исходные признаки заменяются новыми, полученными по методу главных компонент. Дальнейший анализ и вычисления проводятся с использованием 7 новых переменных.

Отметим некоторые особенности применения компонентного анализа. Основным недостатком этого метода является трудность содержательной интерпретации вновь образованных признаков $z^{(i)}$, $i=1, \ldots, p'$. Исключение составляют случаи, когда все исходные характеристики $x^{(1)}, x^{(2)}, \ldots, x^{(p)}$ имеют общую физическую природу и измерены в одних и тех же единицах. В лимнологии такая ситуация встречается крайне редко. Поэтому если ставится задача, к примеру, выявления системы типологических показателей, то использование метода главных компонент, как правило, нецелесообразно, хотя и возможно. В этом случае удобнее использовать другие методы факторного анализа, в том числе и эвристические. В то же время применение метода главных компонент может быть полезным при разбиении исследуемых объектов на однородные группы. Это связано в первую очередь с тем, что метод позволяет в некоторых случаях свести большое количество анализируемых признаков к одной или двум главным компонентам $z^{(1)}$ и $z^{(2)}$ без существенной потери информации. Так как объекты исследований в этой ситуации могут быть представлены точками на прямой или на плоскости, то выделение однородных групп объектов можно проводить

визуально. Следует отметить, что использование метода главных компонент к рассмотренной задаче нужно проводить осторожно, поскольку не всякие геометрические свойства сохраняются при переходе от исходной системы признаков к главным компонентам. Более эффективными в этом случае будут методы целенаправленного проектирования, которые решают задачи снижения размерности с сохранением заданных геометрических свойств (Айвазян и др., 1989).

Другая важная задача, которая возникает в процессе классификационной деятельности, состоит в диагностировании исследуемого объекта. Предполагается, что каждый объект относится к одному из классов, но неизвестно к какому. Исходной информацией является матрица наблюдений (6), описывающая объекты, подлежащие диагностированию, а также обучающая выборка, представляющая собой матрицу наблюдений объектов, которые уже расклассифицированы. Вместо обучающей выборки могут быть заданы для каждого класса функции распределения характеристик объектов. Задача заключается в построении процедуры, с помощью которой можно отнести исследуемый объект к тому или иному классу.

Круг вопросов и методов, исследующих такого рода задачи, объединен под единым названием – **дискриминантный анализ** и широко представлен в литературе (Андерсон, 1963; Рао, 1968; Айвазян и др., 1974, 1989; Малиновский, 1979). Обозначим результаты наблюдений над исследуемым объектом через $x=(x_1, \ldots, x_p)^T$, где x_j – значение j-го признака объекта. Требуется построить правило, согласно которому по значению вектора x объект относят к одному из классов π_i, $i=1, \ldots, l$. Построение процедуры классификации заключается в разбиении множества возможных значений вектора x на области R_i, $i=1, \ldots, l$ так, что при попадании x в R_i объект относят к классу π_i. Построение классификационной процедуры производится на основе априорной информации о классах π_i в соответствии с выбранным принципом оптимальности. Априорная информация о классах может быть задана в виде функций распределения вероятностей признаков объектов либо в виде обучающих выборок. Во многих методах используются также априорные вероятности классов q_i, $i=1, \ldots, l$, где q_i – вероятность того, что выбранный случайно исследуемый объект принадлежит к классу π_i. Большинство используемых на практике алгоритмов классификации строится на основании критерия отношения правдоподобия (Рао, 1968). Его частным случаем является **байесовское** правило классификации, в соответствии с которым (при $l=2$) объект относится к первому классу, если

$$\frac{q_2}{q_1} \frac{f_2(x)}{f_1(x)} \leq 1, \qquad (19)$$

и ко **второму**, если

$$\frac{q_2}{q_1}\,\frac{f_2(x)}{f_1(x)} > 1. \qquad (20)$$

Здесь f_1 и f_2 – плотности вероятностей признаков для первого и второго классов соответственно. Байесовское правило классификации минимизирует вероятность принятия ошибочного решения.

Пусть распределение вектора признаков двух классов объектов имеют многомерные нормальные распределения с общей ковариационной матрицей S и векторами средних m_1 и m_2 для первого и второго классов соответственно. Тогда в соответствии с неравенствами (19), (20) объект относится к первому классу, если

$$H(x) = \left(x - (m_1+m_2)/2\right)^T S^{-1}(m_1-m_2) \le C, \qquad (21)$$

и ко второму классу, если

$$H(x) > C, \qquad (22)$$

где $C = \ln\frac{q_1}{q_2}$. Неравенства (21) и (22) проверяют принадлежность вектора x к областям R_1 и R_2, которые образуются в результате разбиения множества значений вектора x гиперплоскостью

$$H(x) = C. \qquad (23)$$

Рассмотренная процедура классификации, которая называется моделью Фишера, обобщается на случай, когда распределение признаков имеют различные матрицы ковариации. В этой ситуации разделяющая поверхность задается полиномом второго порядка

$$(x-m_1)^T S_1^{-1}(x-m_1) - (x-m_2)^T S_2^{-1}(x-m_2) + \ln\left(\frac{|S_1|}{|S_2|}\right) = C, \qquad (24)$$

где S_1 и S_2 – ковариационные матрицы многомерных распределений признаков для первого и второго классов соответственно.

Модель Фишера обобщается также на случай нескольких классов l ($l>2$). При этом условии классификационная процедура сводится к последовательному применению байесовских правил классификации для двух классов (Айвазян и др., 1989). Если априорные вероятности неизвестны, то при построении классификационной процедуры обычно используется минимаксный критерий, минимизирующий максимальную по всем q_i вероятность принятия ошибочного решения.

При решении практических задач используемые в алгоритмах функции распределения f_1 и f_2, как правило, неизвестны. Более распространен случай, когда сведения об этих распределениях заданы в виде обучающих выборок. Дополнительно к этому обычно предполагается, что распределение признаков в каждом классе нормально, но нет информации о параметрах этих распределений. В такой ситуации можно использовать описанные выше алгоритмы, заменяя в дискриминантных функциях неизвестные параметры их наилучшими оценками. В настоящее время разработано большое количество процедур классификации, которые учитывают характер исходных данных и априорной информации. В частности, имеются многочисленные процедуры для случая, когда для описания объектов используются качественные признаки.

Рассмотрим пример использования дискриминантного анализа в задаче классификации озер по уровню трофии. В соответствии с нагрузочной концепцией Р. Фолленвайдера (Vollenweider, 1976) для большинства озер умеренной зоны их трофическое состояние определяется величиной внешней фосфорной нагрузки L, а также характеристиками, отражающими потери фосфора с оттоком и с седиментацией. Для определения потерь используются обычно такие показатели: условное время водообмена τ, проточность $\rho = 1/\tau$, средняя глубина $h_{ср}$, водная нагрузка $q_s = \frac{h_{ср}}{\tau}$. Вместо внешней фосфорной нагрузки часто рассматривается средняя годовая концентрация фосфора в притоке P_{in}, равная величине $L\tau/h_{ср}$.

В работе (Yeasted, Morel, 1978) была построена процедура классификации озер на олиготрофные, мезотрофные и эвтрофные. Анализ исходных характеристик 128 озер показал, что наиболее информативными показателями являются P_{in} и τ. В результате были построены классификационные функции:

$$F_э = -12.542 \log\left(L\tau/h_{ср}\right) + 1.648 \log\tau - 5.889; \qquad (25)$$

$$F_м = -25.063 \log\left(L\tau/h_{ср}\right) + 5.146 \log\tau - 18.873; \qquad (26)$$

$$F_о = -31.475 \log\left(L\tau/h_{ср}\right) + 9.130 \log\tau - 30.009. \qquad (27)$$

Определение трофического статуса озера по этим функциям производится следующим образом. Значения $L\tau/h_{ср}$ и τ классифицируемого озера подставляются в выражения (25)–(27) и вычисляются значения функций $F_э$, $F_м$ и $F_о$. Озеру присваивается трофический статус в зависимости от того, какая функция принимает максимальное значение. Если это $F_э$, то озеро эвтрофное, если $F_м$ – мезотрофное, если $F_о$ – олиготрофное.

Аналогичное исследование производилось в работах (Ciecka et al., 1979, 1980), в которых в качестве классификационных показателей были выбраны внешняя фосфорная нагрузка L и водная нагрузка q_s, а также в работах Уолкера (Walker по: Reckhow, Chapra, 1983), в которых наряду с указанными двумя характеристиками использовалось и условное время водообмена τ.

В работе (Reckhow, 1978) дискриминантный анализ применялся для проведения классификации озер по кислородному режиму

в гиполимнионе. В качестве исходных признаков рассматривались внешняя фосфорная нагрузка озера L, средняя глубина озера $\bar{h}_{ср}$ и водная нагрузка q_s. Г.Н. Бердовская и Г.Ф. Букреева (1988) использовали методы отбора информативных показателей и дискриминантного анализа в палинологических исследованиях с целью реконструкции растительности и климата по спорово-пыльцевым спектрам Иссык-Кульской котловины. Приведенные работы, разумеется, не исчерпывают применения дискриминантного анализа в лимнологии, где имеются широкие возможности его использования.

Следует отметить, что большое многообразие методов дискриминантного анализа в определенной степени затрудняет их применение, так как исследователь, как правило, не являющийся специалистом по математической статистике, сталкивается с задачей выбора метода дискриминантного анализа. Поскольку этот этап является одним из самых ответственных в процессе решения задачи, остановимся на нем несколько подробнее. Особое внимание при выборе метода должно быть уделено проверке априорных предположений. Одно из таких предположений состоит в нормальности распределения исходных признаков. Существуют различные методы проверки этого условия. В случае, если оно не выполняется, признаки можно преобразовать таким образом, чтобы новые переменные имели нормальное распределение. В этой ситуации можно также использовать непараметрические методы классификации, в которых условия нормальности не требуются. Некоторые процедуры классификации, хотя и опираются на гипотезу нормальности, могут хорошо „работать" и при невыполнении этого предположения. Подробнее этот вопрос обсуждался в работах Л.Г. Малиновского (1979), С.Д. Айвазяна и др. (1974). Тщательному анализу должны подвергаться и другие априорные предположения, заложенные в классификации процедуры. Это касается, в частности, условий накладываемых на классификационные функции и ковариационные матрицы исходных признаков.

В лимнологии часто классификационные задачи ставятся недостаточно четко. В этой ситуации иногда предпочтительнее использовать эвристические процедуры классификации, в которых исследователь может существенным образом влиять на получаемые результаты. В некоторых случаях на начальных этапах исследований классификационные процедуры можно строить практически без использования математических методов, исходя только из анализа данных, геометрических соображений и простейших эмпирических зависимостей. В качестве примера можно привести построенную Р. Фолленвайдером (Vollenweider, 1976) диаграмму, с помощью которой можно определить трофический статус озера по величине внешней фосфорной нагрузки L и водной нагрузки q_s. Также следует иметь в виду, что лимнологические наблюдения проводятся с существенной погрешностью. В связи с этим нецелесообразно применять в классификационных процедурах методы оценивания, чувствительные к грубым ошибкам, каковым, к примеру, является метод наименьших квадратов. В этом случае лучше использовать робастные методы оценивания.

С помощью дискриминантного анализа решается одна из двух основных задач классификации – задача диагностирования (см. § 1.2). Другая задача – задача построения классификаций в меньшей степени поддается формализации. Определенную помощь в решении этой задачи могут оказать методы отбора информативных показателей, рассмотренные выше. Так, выбор признаков в основания классификаций, который может производиться с использованием указанных методов, является важным этапом в построении классификаций. При решении этой задачи могут быть полезны также методы кластерного анализа (Дюран, Оделл, 1977; Классификация и кластер, 1980; Айвазян и др., 1989). Задача кластерного анализа состоит в разбиении исходной совокупности объектов на однородные группы. Как и в дискриминантном анализе, входной информацией служит матрица наблюдений (6), но при этом отсутствуют функции распределения вероятностей исходных признаков и обучающие выборки. Вместо них задается мера близости между объектами, которую можно интерпретировать как расстояние между точками в p-мерном евклидовом пространстве. Приведем некоторые меры близости, широко используемые в различных науках (Айвазян и др., 1989).

1. Мера Махалонобиса

$$D_{ij}^2 = (x_i - x_j)^T S^{-1} (x_i - x_j), \qquad (28)$$

где $x_m = (x_{m1}, x_{m2}, \ldots, x_{mK})^T$, $m = 1, 2, \ldots, p$; S – ковариационная матрица признаков размерности $p \times p$.

2. Евклидово расстояние

$$d(x_i x_j) = \sqrt{\sum_{h=1}^{p} (x_{ih} - x_{jh})^2} \qquad (29)$$

3. „Взвешенное" евклидово расстояние

$$d_{ij}^r = \sqrt{\sum_{h=1}^{p} \omega_h (x_{ih} - x_{jh})^2}, \qquad (30)$$

где ω_h – неотрицательный вес признака, пропорциональный степени его важности.

4. Хеммингово расстояние

$$d_H(x_i, x_j) = \sum_{h=1}^{p} |x_{ih} - x_{jh}|, \qquad (31)$$

которое используется как мера различия объектов, задаваемых дихотомическими признаками.

5. Меры, задаваемые с помощью потенциальной функции

$$K(x_i, x_j) = e^{-\alpha d(x_i, x_j)}, \quad \alpha > 0; \tag{32}$$

$$K(x_i, x_j) = [1 + \alpha d(x_i, x_j)]^{-1}, \quad \alpha > 0. \tag{33}$$

При разработке классификационных процедур в некоторых ситуациях является целесообразным введение расстояний между группами объектов. Приведем наиболее распространенные меры близости, характеризующие взаимное расположение групп объектов. Пусть S_i - i-я группа объектов, n_j - число объектов, входящих в группу S_i, $\bar{x}(i)$ - среднее арифметическое векторных наблюдений, входящих в S_i („центр тяжести" группы S_i), $\rho(S_l, S_m)$ - расстояние между группами S_l и S_m.

1. Расстояние, измеряемое по принципу „ближайшего соседа",

$$\rho_{min}(S_l, S_m) = \min_{x_i \in S_l,\, x_j \in S_m} d(x_i, x_j). \tag{34}$$

2. Расстояние, измеряемое по принципу „дальнего соседа",

$$\rho_{max}(S_l, S_m) = \max_{x_i \in S_l,\, x_j \in S_m} d(x_i, x_j). \tag{35}$$

3. Расстояние, измеряемое „по центрам тяжести" групп,

$$\rho(S_l, S_m) = d(\bar{x}(l), \bar{x}(m)). \tag{36}$$

4. Расстояние, основанное на потенциальной функции,

$$\rho(S_l, S_m) = \frac{1}{n_l n_m} \sum_{x_i \in S_l} \sum_{x_j \in S_m} K(x_i, x_j). \tag{37}$$

5. Расстояние, измеряемое по принципу „средней связи",

$$\rho_{ср}(S_l, S_m) = \frac{1}{n_l n_m} \sum_{x_i \in S_l} \sum_{x_j \in S_m} d(x_i, x_j). \tag{38}$$

Более подробно вопросы построения и использования расстояний между объектами и группами объектов рассмотрены в работах (Rubin, 1967; Боннер, 1969; Раушенбах, 1985; Keller, 1986; Айвазян и др., 1989).

Выбор расстояния между классифицируемыми объектами является центральным и, пожалуй, самым ответственным моментом при использовании методов кластерного анализа. Этот выбор в каждом конкретном случае производится в зависимости от основных целей исследования, а также от априорных сведений об объектах, типа анализируемых признаков и т. п.

Остановимся на некоторых возможностях использования кластерного анализа в лимнологии. В первую очередь следует отметить, что полученные с помощью кластер-процедур однородные группы объектов (озер, водохранилищ, водосборов) могут служить основой для построения классификаций. При решении такого рода задач важное значение имеют квалификация и опыт исследователя. Формальные методы несут вспомогательную функцию, помогая исследователю получать однородные группы изучаемых объектов, а также выбирать необходимые признаки в основания классификаций. Для поиска таких признаков можно использовать рассмотренные выше процедуры отбора информативных показателей.

В работе Л.Е. Смирнова и др. (1979) кластерный анализ использовался для классификации 163 озер Северо-Казахстанской, Павлодарской областей и Алтайского края. Рассматривались четыре признака, отражающих средний многолетний водный баланс. В качестве меры близости было принято евклидово расстояние. В результате расчетов было выделено три крупных класса озер, при этом большинство озер из одного класса оказались и территориально близкими друг другу. Хотя полученный результат не был использован в указанной работе для построения или нахождения классификаций, но такая задача авторами была поставлена.

Достаточно широкое поле для применения методов кластерного анализа имеется при районировании территории. В работе Г.В. Воропаева и др. (1986) рассматривается задача выделения районов, однородных по агромелиоративным показателям и элементам водно-солевого баланса. Объектами классификации являются административные районы и балансовые участки. Мерой близости между исходными единицами районирования принято евклидово расстояние. Очевидно, что аналогичным образом могут выделяться классы озер, имеющие водосборы, однородные по какой-либо выбранной группе показателей, и проводиться соответствующее районирование территории. Методы кластерного анализа можно применять при выделении районов компактного размещения озер. В частности, эти методы могут быть полезным дополнением к критерию для оценки степени регулярности в распределении озер (см. § 4.2).

В настоящее время методы кластерного анализа мало используются в лимнологии. Основная трудность их применения заключается в выборе меры близости между объектами исследования. Это ведет к определенному произволу, вносит в окончательные результаты расчетов немалую долю субъективизма. Вместе с тем возможности методов кластерного анализа в лимнологии далеко не исчерпаны и их применение несомненно будет полезно в таких ситуациях, когда используемые признаки равнозначны или имеется возможность количественно оценить их значимость.

В заключение следует сказать, что в целом статистические методы классификации еще недостаточно широко используются в лимнологических исследованиях. Одной из причин этого в недалеком прошлом было отсутствие в достаточной степени вычислительных

средств и необходимого программного обеспечения. В настоящее время этой проблемы уже не существует (см. § 4.3). Обзор пакетов программ по прикладной статистике дан в работе С.А. Айвазяна и др. (1989). Другая объективная причина, мешающая эффективному применению математических методов классификации в лимнологии, состоит в недостаточном знании исследователями математических методов и отсутствии опыта в их использовании. Пожалуй, единственный путь преодоления этой трудности состоит в тесном сотрудничестве специалистов-лимнологов с профессиональными математиками-прикладниками.

4.2. Новый подход к описанию пространственного распределения озер на примере Западно-Сибирской равнины

Одна из основных задач лимнологии состоит в выявлении факторов, обусловливающих размещение озерных котловин по территории. К важнейшим факторам относится общее устройство поверхности: так, на обширных понижениях земной поверхности условия для образования котловин более благоприятные, тогда как на приподнятых территориях таких условий меньше, особенно на выпуклых, с крутопадающими склонами. Роль тектонических факторов в образовании и размещении озерных котловин не менее важна. На территории Западно-Сибирской равнины она в основном сказалась в формировании общих условий устройства поверхности, на которой формируется и эволюционирует котловинная морфоскульптура, а на отдельных территориях равнины размещение озер реагирует даже на слабые тектонические движения, которые не выражаются в гипсометрии и орогидрографии (Ласточкин, 1969; Равнины и горы..., 1975).

Для описания пространственного распределения озер обычно используются два показателя: коэффициент озерности и коэффициент плотности озер. Первый коэффициент равен отношению общей площади зеркал озер к площади рассматриваемого региона, а второй - отношению количества озер также к общей площади региона. При анализе распределения озер на крупных территориях последние разбиваются на более мелкие единицы, для каждой из которых рассчитываются указанные выше коэффициенты.

Следует отметить, что эти показатели являются осредненными для всей территории и отражают далеко не полную картину пространственного распределения озер. В частности, коэффициенты не фиксируют наличие скоплений озер и другие особенности их размещения. В связи с этим была поставлена задача ввести в рассмотрение такие показатели, которые бы фиксировали отдельные специфические стороны в размещении водоемов по территории. Исходной информацией для расчета таких характеристик могут служить карто-

граммы - карты изучаемых территорий, разбитые на элементарные ячейки. В каждой ячейке подсчитано число озер.

Предположим, что изучаемая территория разбита на n элементарных ячеек и в i-й ячейке содержится x_i озер ($i=1, \ldots, n$). Для описания пространственного распределения озер можно использовать следующие показатели:

$$E=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \text{ - среднее число озер;} \qquad (39)$$

$$D=\sigma^2=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i-E)^2 \text{ - дисперсия числа озер;} \qquad (40)$$

σ - среднеквадратическое отклонение;

$$C_v=\frac{\sigma}{E} \text{ - коэффициент вариации числа озер;} \qquad (41)$$

$$R=\frac{\sigma^2}{E} \text{ - коэффициент рассеяния озер (index of dispersion).} \qquad (42)$$

Величина E совпадает с коэффициентом плотности озер региона с точностью до постоянного множителя. Таким образом, E по существу является традиционным обобщающим показателем, характеризующим пространственное распределение озер. Коэффициент вариации C_v и дисперсия D дают в целом представление о вариации числа озер от ячейки к ячейке. Коэффициент C_v в отличие от дисперсии D является нормированной характеристикой, и поэтому он предпочтителен при сравнении различных районов.

Коэффициент R характеризует степень случайности или регулярности размещения озер. Если $R=1$, то это означает, что озера в рассматриваемом районе расположены случайно (рис. 14, а). Такое пространственное распределение озер описывается законом Пуассона (Феллер, 1984). В реальности такая ситуация встречается крайне редко. Более распространенным является соотношение $R>1$, когда дисперсия больше среднего. В этом случае характерно наличие скоплений озер (гнездовое) (рис. 14, б). Для описания этой ситуации можно пользоваться различными обобщенными распределениями Пуассона, а также отрицательным биноминальным распределением (Cliff, Ord, 1981). Так же редко, как и случайное распределение, имеет место соотношение $R<1$. Распределение озер в этом случае является регулярным, как если бы они были расположены в узлах решетки (рис. 14, в). Такое распределение озер можно описывать биноминальным распределением вероятностей.

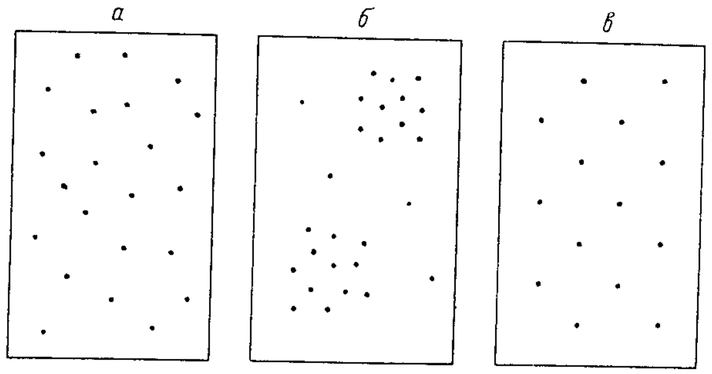


Рис. 14. Три типа распределения озер по территории.
а – случайное ($R=1$); б – гнездовое ($R>1$); в – регулярное ($R<1$).

Следует отметить, что наряду с коэффициентом рассеяния R для описания степени регулярности размещения озер и их группирования можно пользоваться индексом, при построении которого измеряются расстояния между озером и его ближайшими соседями. В географии этот индекс применялся для анализа размещения населенных пунктов по территории (Гарнер, 1971). Использование этого показателя применительно к озерам целесообразно в том случае, когда количество озер на изучаемой территории незначительно и поэтому невозможно получить достаточно точные выборочные оценки дисперсии D и среднего E, необходимые для определения коэффициента рассеяния R.

Покажем возможности введенных показателей на примере анализа пространственного распределения озер Западно-Сибирской равнины. В результате всей истории тектонического развития Западно-Сибирской равнины сформировалась относительно низко расположенная поверхность, на которой экзогенные процессы привели к возникновению очень представительного по численности, разнообразного по морфологии, размерам, генезису и возрасту комплекса озерных котловин. Н.П. Белецкой (1986) исследовано распределение озер по территории, а также проведено сопоставление озерности с тектонико-орографическими условиями Западно-Сибирской равнины. Ею построена карта озерности равнины, на которой выделены крупные озерные регионы. Районирование проводилось по величине коэффициента плотности озер, при этом учитывались водоемы с площадью 0.1 км^2 и выше. Проведенное сопоставление полученных районов с орографической схемой показало, что контуры озерных районов во многих случаях не вписываются в контуры орографических элементов. Современным низменностям отвечают районы с повышенной озерностью, как и следовало ожидать, в то время как возвышенности, плато, наклонные равнины могут быть как безозерными, так и с большим количеством озер. Это обстоятельство является признаком того, что используемый при районировании коэффициент плотности озер является довольно грубым описанием пространственного рас-

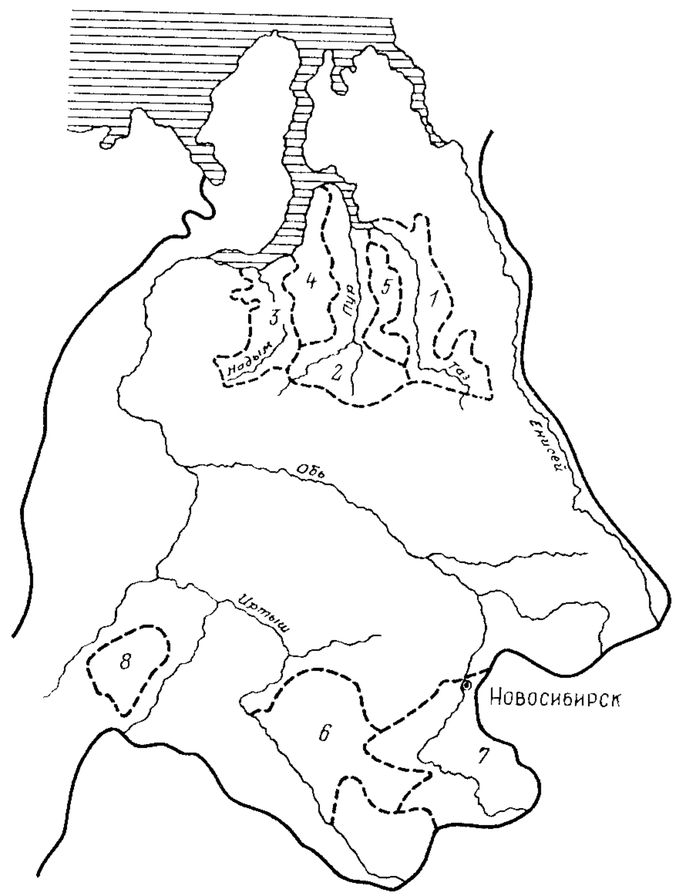


Рис. 15. Схема выделенных районов на территории Западно-Сибирской равнины (штриховые линии – границы выделенных районов).

пределения озер, не отражающим разнообразия орографических особенностей территории. В связи с этим рассмотрим, как введенные выше характеристики фиксируют особенности в распределении озер, вызванные различными рельефообразующими факторами. Для анализа были выбраны районы на территории Западно-Сибирской равнины с контрастными орографическими условиями. Выбор районов проводился с использованием схемы геоморфологического районирования Западной Сибири, составленной М.Е. Городецкой и Г.И. Лазутковым, и орографической схемы той же территории, подготовленной М.Е. Городецкой и Ю.А. Мещеряковым (Городецкая, 1972).

В целом поверхность Западно-Сибирской равнины имеет форму амфитеатра, открытого на север (Рельеф Западно-Сибирской..., 1988). По ее западной, южной и восточной перифериям преобладают плато, возвышенности и наклонные равнины, а в центральных и северных частях сосредоточены низменности. Для анализа был выбран северный район Внутренней относительно пониженной морфоструктурной области, включающей Тазовскую, Пурскую и Надымскую аллювиальные террасированные низменные равнины, расположенные в долинах

Таблица 26

Характеристики пространственного распределения озер Западно-Сибирской равнины

Район	Количество озер n	Среднее число озер E	Коэффициент рассеяния озер R	Коэффициент вариации числа озер C_v
Северная часть Внутренней морфоструктурной области	57235	38	24	0.79
1. Тазовская низменность	10199	27	22	0.89
2. Пурская низменность	14364	48	18	0.65
3. Надымская низменность	14812	53	26	0.70
4. Ненецкая возвышенность	12950	41	16	0.62
5. Таз-Пурская возвышенность	4910	27	25	0.97
Южная часть Внешней морфоструктурной области	4486	8	12	1.20
6. Барабинская низменность	1049	6	7	1.08
7. Приобское плато	581	3	7	1.32
8. Предтургайская наклонная равнина	2856	16	10	0.80

рек, и разделяющие их Ненецкую и Таз-Пурскую морские пологоволнистые равнины (рис. 15, районы 1-5). Из Внешнего относительно повышенного морфоструктурного пояса были выбраны часть Барабинской низменной равнины с гривным рельефом (рис. 15, район 6), Приобское грядово-увалистое расчлененное плато (рис. 15, район 7), а также Предтургайская равнина, расположенная между долинами рек Тобола и Ишима (рис. 15, район 8). Здесь преобладает комплекс форм, характерных для гривного рельефа.

Для выбранных районов сосчитаны рассмотренные выше коэффициенты, описывающие пространственное распределение озер. Результаты сведены в табл. 26. При рассмотрении табл. 26 можно сделать следующие выводы: 1) северные и южные районы различаются по рассчитанным показателям; 2) северные районы содержат большее количество озер, чем южнее; 3) на севере озера расположены более скученно, на юге - более регулярно.

Выводы следуют из сравнения величины показателя E (средняя плотность озер), из анализа параметров R, отражающего степень регулярности расположения озер, и C_v, характеризующего изменчивость количества озер в ячейках. Последний показатель (C_v) имеет более низкие значения в северных районах по сравнению с южными. Коэффициент R имеет более высокие значения в северных районах.

Различия в частоте встречаемости (средней плотности) северных и южных районов объясняются прежде всего разным гипсометрическим положением. Для Внутренней морфоструктурной области, где расположены северные районы, характерно, как уже отмечалось, преобладание отрицательных морфоструктур - низменностей. Возвышенности, разделяющие их, приподняты также не высоко. Участки, находящиеся в южной части Внешнего морфоструктурного пояса, лежат гипсометрически значительно выше, соответствуя Приобскому плато и наклонным равнинам. Лишь Барабинская низменность соответствует относительно низкому гипсометрическому уровню на юге равнины. Однако особенности орографии - не единственная причина отмечаемых различий в озерности рассматриваемых районов. Тем более, что отмеченные орографические условия, на наш взгляд, вряд ли могут оказывать решающее влияние на характер (тип) расположения озерных котловин. На последний в большей степени влияют процессы рельефообразования, определяющие формирование котловин.

Процессы же эти особенно сложны на территории северных районов. Достаточно сказать, что они включают генетически разнородные поверхности: фрагменты морских, речных, водноледниковых равнин, для каждой из которых характерны свои, генетически обусловленные, комплексы котловинных форм. Кроме того, положение этой территории в зоне многолетней мерзлоты определило широкое развитие наложенных котловинных форм преимущественно термокарстового происхождения. Визуальное сравнение характера расположения озерных котловин северных участков по картам с их размещением на генетически различных равнинах показывает, что скученное (гнездовое, ячеистое) расположение озерных котловин в наибольшей степени характерно для водноледниковых равнин, а также для низких равнин другого генезиса, но с широким развитием термокарстовых процессов.

Крупные размеры ячеек (трапеций), по которым проводились морфометрические расчеты озерности территории, не позволяют уловить каких-либо существенных различий внутри площадей взятых нами пяти северных участков не только по орографическому, но и по генетическому признаку.

Более регулярное распределение озерных котловин южных районов без сомнения вызвано приуроченностью их к рельефу с линейными формами.

Озерные котловины Приобского плато (участок 7) располагаются в широких ложбинах стока, в создании которых, по современным

представлениям, основную роль сыграли эрозионно-аккумулятивные процессы, а юго-западная их ориентировка предопределена структурно-тектоническими условиями. В моделировке котловинных форм ложбин стока весьма вероятна также роль эоловых процессов.

Для двух других участков (рис. 15, 6, 8), как отмечено выше, наиболее характерной чертой является развитие гривного рельефа - наибольшая плотность озер южных равнин связана именно с этим рельефом. Линейно вытянутые гряды-гривы, ориентированные преимущественно с запад-юго-запада на восток-северо-восток, чередуются с межгривьями, по ширине сопоставимыми с поперечником грив, или разделены широкими плоскими пространствами. Озерные котловины располагаются либо между грядами, либо у концов грив и западнее холмов серповидной формы, часто здесь встречающихся, либо на межгривных выровненных поверхностях. Упорядоченность их расположения, таким образом, связана с особенностями морфологии этого своеобразного рельефа (котловинно-холмистого-гривного) и обусловлена, следовательно, условиями его формирования. Вопрос же о генезисе этого рельефа до сих пор нельзя считать решенным.

Кроме озерных котловин, обязанных своим происхождением процессам, приведшим к образованию котловинно-холмисто-гривного рельефа, статистической обработке подверглись довольно многочисленные депрессии-реликты. Это прежде всего котловины - остатки древних русел, ныне располагающиеся цепочкообразно (надежно установлены на Ишим-Тобольском междуречье), а также реликты древних озерных систем региона. Многочисленны также котловины суффозионного происхождения и, возможно, эолового.

По результатам расчета и анализа можно заключить, что введенные параметры отражают особенности в распределении озер по территории на участках, различающихся по гипсометрическому положению, генезису, рельефу и другим признакам. Наибольший интерес представляет индекс рассеяния (R), выполняющий эту функцию более четко, чем другие характеристики. Окончательные рекомендации по использованию введенных выше параметров могут быть даны после их применения для анализа распределения озер на других территориях.

4.3. Возможности использования персональных ЭВМ и программных средств в задачах классификации озер

В работе предлагается обзор существующих аппаратных и программных средств, которые можно использовать для решения задач классификации в лимнологии. Описываемые средства применяются для автоматизации исследовательского труда и в других отраслях знаний. Для исследователей - географов, обычно не знакомых профессионально с вычислительной техникой и возможностями

использования современных программных средств, изложенное ниже будет весьма полезным.

На наших глазах совершается компьютерная революция. Вычислительная техника перестает быть теми маленькими островками в безбрежном океане проблем, какими можно рассматривать большие ЭВМ, единственно возможные для пользователя еще несколько лет назад. Натиск персональных ЭВМ (ПЭВМ) настолько значителен, что при решении широкого круга инженерных задач персональные компьютеры (ПК) оказываются вне конкуренции. Во-первых, персональные компьютеры по своим возможностям почти не уступают ЭВМ, требующей квалифицированного обслуживающего персонала и специального помещения. Во-вторых, есть надежда, что цены на ПЭВМ станут более доступны в ближайшее время, как было в западных странах. В-третьих, большинство современных ПЭВМ совместимы между собой. Это означает то, что программа, написанная любым пользователем, без переделок или с небольшими дополнительными операциями, такими как настройка на конкретную конфигурацию компьютера, может быть использована на любой другой ПЭВМ. В-четвертых, развитые аппаратные средства ввода и вывода информации имеются в распоряжении пользователя, в том числе высококачественная цветная компьютерная графика. В-пятых, в результате работы во всем мире миллионов программистов и пользователей ПК на рынке программных средств можно найти хорошие средства автоматизации инженерного труда и языковые средства для разработки программ. Достоинства ПК можно перечислять долго, однако несомненно то, что они впервые реально позволяют существенно автоматизировать человеческую деятельность и высвободить потенциальные возможности исследователя для творческого труда.

Для автоматизации научно-исследовательских работ в настоящее время используется широкий спектр ПК, перечисление моделей и их характеристик заняло бы много страниц. Поэтому можно предложить обзоры, помещенные в работах (ПК - Экспресс, 1989; Диболд, 1990), которые помогут в какой-то степени сориентироваться в выборе ПК, совместимых с IBM PC, выпускаемыми западными фирмами. Следует однако отметить, что IBM-совместимые компьютеры выпускаются и отечественной промышленностью - ЕС 1840, ЕС 1841, Искра 1030, Нейрон. У нас запускается в производство ПК Истра 4816, являющаяся базовой моделью семейства высокопроизводительных многопроцессорных ПЭВМ, реализованных на отечественной элементной базе. Истра 4816 совместима на программном уровне с IBM PC/XT. При выборе ПК следует обратиться за консультацией к специалистам, которые смогли бы помочь выбрать тип компьютера в соответствии с имеющимися у вас финансовыми средствами и стоящими перед вами задачами.

Персональный компьютер представляет собой аппаратное средство для решения задач, но необходимы еще и программное обеспечение и навыки работы с ним, что является весьма существенным

обстоятельством. Для пользователя, не знакомого с работой на ПК, рекомендуем прежде познакомиться с работами (Брябрин, 1988; Фигурнов, 1990; Финогенов, 1990), в которых содержится минимально необходимая информация, для того чтобы начать работать на персональном компьютере в дисковой операционной системе MS DOS.

Распространенной является ситуация, когда пользователь – непрофессиональный программист, но вынужден использовать готовые пакеты прикладных программ. В этом случае полезным будет помещенный в работе Т.Э. Кренкеля и др. (1989) обзор современных программных средств, которые могут использоваться в научно-исследовательских работах. Для такого пользователя важно иметь под рукой набор средств, который позволил бы вести подготовку текста, пользоваться базой данных и выполнять расчеты, иметь средства машинной графики и надстройку над операционной системой. Прикладное математическое обеспечение, дающее возможность одновременно использовать в рамках одной системы машинную графику, редактор текстов, электронные таблицы и базу данных, называют интегрированными системами. Из интегрированных систем наиболее известны пакеты Frame Work и Works. Среди отечественных разработок следует отметить интегрированную систему „Мастер" (Веселов, 1989), которая является разумно построенной интегрированной системой.

Хотя математические методы, применяемые для классификации в различных областях знаний, столь многочисленны и разнообразны, что дать их полный обзор не представляется возможным, все же остановимся на некоторых из них, которые могут быть полезны для решения задач классификации в географии и гидрологии. Из специализированных пакетов следует отметить пакет STAT-GRAF (фирмы Statistical Research), который состоит из разделов: управление данными, графические процедуры, регрессионный анализ, анализ временных рядов, процедуры многомерного анализа. В последний входят факторный и дискриминантный анализ, широко применяемые для целей классификации, процедуры многомерного анализа, которые также позволяют решать широкий круг классификационных задач.

Часто исследователям не удается найти решения в рамках стандартных прикладных систем, поэтому наибольший контингент пользователей заинтересован в использовании библиотек программ для численного анализа. Мы настоятельно рекомендуем разыскать нужные процедуры численного анализа, в том числе и для задач классификации. Библиотеки численного анализа для ПЭВМ делятся на специализированные библиотеки, разработанные для решения задач в какой-то специальной области (например, для решения интегральных уравнений), и на библиотеки общего назначения. Из последних наиболее известны пакеты SSP (Scientific Subroutines Package) и NAG (Numerical Algoritms Group). Первоначально пакет SSP был разработан для больших ЭВМ, впоследствии же он был перенесен и на персональные компьютеры. Его описание приводится в „Сборнике научных программ на Фортране" (1974). Использование этих пакетов требует навыков программирования на ФОРТРАНЕ.

Следующим программным инструментом, позволяющим эффективно использовать персональный компьютер, являются системы управления базами данных (СУБД). База данных – это интегрированная совокупность данных, предназначенных для функционального использования и модификации одним или несколькими пользователями. Эти процедуры реализуются с помощью программного обеспечения, называемого системой управления базами данных. Часто можно встретить название „реляционная база данных". В реляционной модели данные хранятся в двумерных таблицах, которые иногда называют отношениями или плоскими файлами. Как правило, имеется интерфейс пользователя для управления базами данных. Наибольшее распространение для массового пользователя получили интерфейсы, построенные на основе „меню", при работе с которым пользователь должен только выбрать нужные варианты из списка возможных команд. Для ПЭВМ, совместных с IBM, в настоящее время разработано большое количество программ для работы с базами данных.

Среди наиболее употребляемых в настоящее время следует отметить семейство СУБД R:base (фирмы Microrim Inc.), Fox base (Fox Software Jnc.), русифицированная версия имеет название „Карат", Paradox (Ansa Software) и семейство СУБД dBASE (Ashton-Tate Corp.). Последняя является популярной системой управления базами данных, представленной версиями dBASE II, dBASE III, dBASE III+, dBASE IV и русифицированным вариантом под названием „Ребус" (Гринберг, Гринберг, 1989; Программное обеспечение ПЭВМ Роботрон 1715, 1987). Указанные версии выполняют программы в режиме интерпретации, т. е. система „читает" командную строку и интерпретирует ее, „читает" следующую строку и т. д. Так работают интерпретирующие языки, например BASIC. Для СУБД dBASE фирмой Nantucket Inc. создан компилятор, имеющий название CLIPPER. Это системная программа, преобразующая команды языка программирования в машинные коды, выполняемые непосредственно компьютером. Преимуществом таких программ является более высокая скорость выполнения продукта компиляции. Являясь оболочкой над подмножеством языка СИ, система CLIPPER позволяет использовать при написании программ языки СИ и Ассемблер непосредственно в программе и соответственно библиотеки прикладных программ на этих языках, если они имеются у пользователя, что дает в его распоряжение большой арсенал программных средств этих языков. Кроме того, на этапе компановки для получения исполняемого модуля можно компоновать объектные модули, полученные трансляторами других языков, например Фортраном или Паскалем. В связи с этим возможности пользователя еще более расширяются, создаются условия для хранения, выборки и об-

работки информации и передачи данных в прикладные задачи пользователя. Арсенал программных средств для решения задач классификации достаточно широк.

В Институте озероведения РАН создан макет базы данных морфометрических характеристик озер на основе СУБД „Ребус", реализованный на персональном компьютере IBM AT, который может наращиваться как по объему, так и по возможностям использования программных средств. В состав базы данных входят: название озера, характеристики его месторасположения, площадь озера, его объем, средняя и максимальная глубина. Объем макета 896 озер. В настоящее время имеется возможность просматривать, дополнять и редактировать информацию в базе данных. Просмотр и выборка нужной информации может происходить в режиме предварительной сортировки (фильтрации) по градациям различных признаков, по таким как площадь, средняя и максимальная глубина и объем. Можно в режиме диалога задать требуемый диапазон, например 1-2 м глубины, или же больше, или меньше задаваемой величины по каждому из указанных параметров либо группы параметров. Комбинации параметров могут быть самыми различными, кроме того, можно указать и районы, из которых производится выборка. Это могут быть один из районов, группа районов либо все районы.

Кроме сортировок есть возможность ранжирования как числовых, так и символьных данных, как по возрастанию, так и по убыванию параметра либо групп параметров. Символьные величины располагаются в данном случае в алфавитном порядке, это могут быть названия озер. Результаты сортировок и ранжирования можно сохранить, что удобно для дальнейшей работы в случае базы данных большого объема. Далее можно дополнить базу данных новым показателем и его тоже использовать в режимах поиска, а также рассчитать другой какой-либо показатель. По выбранной таким образом информации можно сформировать выходной файл данных, который в случае необходимости можно передать из СУБД в задачи пользователя, программно не связанные с системой управления базами данных. Кроме этого, можно подготовить текстовый файл (пояснительная записка в отношении какого-либо озера или любая иная текстовая информация). В СУБД есть средства для подготовки выдачи как исходной информации, так и результатов сортировки и ранжирования в удобном виде на экран монитора или печатающее устройство.

Конечно, возможности СУБД не ограничены изложенным выше, однако в плане ее использования для задач классификации мы показали наиболее привлекательные ее стороны.

Описываемый макет базы данных был подготовлен для решения задач, связанных с использованием морфометрических характеристик озер, например задачи определения теплозапаса озера (§ 3.4). Его дальнейшее развитие - дополнение новых показателей, увеличение объема и разработку инструментов манипулирования данными целесообразно проводить в связи с новой, конкретно возникающей задачей. Этим будут определяться структура файлов базы данных и разработка программ управления ими.

Морфометрические характеристики по 3877 озерам для решения задачи определения теплозапаса озера по морфометрическим данным были заведены нами в виде файлов данных на ЭВМ СМ 14-20. Структура и организация файлов данных определялись именно этой задачей, хотя эти данные можно использовать для решения и любых других задач. В этом случае процедуры классификации, такие как ранжирование и сортировка по определенному признаку, должны быть написаны средствами алгоритмического языка, например Фортрана, в то время как в СУБД для ПЭВМ IBM эти средства имеются в наличии. Сравнивая возможности использования программных средств для целей классификации, используемых на СМ ЭВМ в IBM-совместимых, необходимо отметить, что на последних возможности несравненно шире.

Таким образом, IBM-совместимые ПК с набором СУБД типа dBASE („Ребус", CLIPPER), алгоритмическим языком (Фортран, Паскаль или Си) и библиотекой SSP дают широкие возможности для решения классификационных задач в лимнологии.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ КЛАССИФИКАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЛИМНОЛОГИИ (ЗАКЛЮЧЕНИЕ)

По мере накопления натурных данных, разработки теории классификации, новых методов наблюдений и обработки наступает время пересмотра существующих классификаций в лимнологии и их совершенствования, уточнения пространственного размещения озер и выделения озерных районов.

Разработка классификации состоит не только в создании определенной системы, но и в теоретическом осмыслении всего накопленного наукой об озерах, что позволяет выявить основные закономерности развития и размещения озер.

Интерес к этим вопросам возрастает с уменьшением объема и ухудшением качества вод, с изменением экологической обстановки и необходимостью организации хранения и обработки имеющихся данных.

Наиболее распространенными являются классификации, связанные с обобщением данных и их использования, и классифицирование – отнесение объекта к одному из классов по заданным признакам.

Выбор критериев, признаков[1] классификации – главный, центральный момент. За последние годы вышел ряд работ (Воронов, 1985; Розова, 1986; Кожара, 1989), в которых рассматриваются основные вопросы классификации, но в применении в лимнологии требуются дальнейшие теоретические исследования. Прежде всего осложнения возникают из-за запутанных формулировок целей и задач, что вносит субъективизм во взглядах на классификацию, делает невозможным использование современных математических методов и т. д. Функции классификации должны быть названы четко (прогнозирование, коммуникация) (Кожара, 1989). Известно, что многоцелевые классификации обычно неудачны. В терминологии классификации нет единства, что приводит к дополнительным трудностям. Поэтому разработке теоретических положений, языка должно быть уделено особое внимание.

[1] Под признаком (критерием) классификации мы понимаем то свойство, которым обладают все объекты, положенные в основу класса.

Наибольший интерес представляет вопрос о естественности классификаций, которые выражают закон природы. В них количество свойств объекта, функционирующих в системе, будет максимальным. В основании классификации должны быть признаки, отражающие основные свойства водоема, суть процессов, протекающих в них.

Метод В.Л. Кожары (1989) – информационно-насыщенные таксономические структуры – весьма перспективен и в лимнологии, но он требует большого количества признаков и банка данных.

По сути решение теоретических и прикладных вопросов классификации в лимнологии затруднено из-за отсутствия банка данных (обработка, хранение и поиск информации). И создание его – основная задача классификационной проблемы в лимнологии.

Лимнология – одна из ветвей физической географии, все достижения которой по построению иерархии геосистем необходимо использовать в классификации озер (§1.1). Положение озер в различных ландшафтах создает новую ступень в иерархии. А.Г. Исаченко выделяет два уровня сложности озерных геосистем – локальный и региональный (рис. 1).

К сожалению, классификации геосистем (озеро-водосбор) разработаны недостаточно. Частные классификации, дополняя друг друга, приближают к выявлению общих закономерностей геосистемы, пространственно-временной системы.

Классик отечественной лимнологии Л.Л. Россолимо (1964) отмечал, что существующие классификации озер, основанные на односторонних характеристиках, не дают представления о сложности и взаимообусловленности процессов и явлений в водоеме.

Рассматривая озеро в природной системе, можно отметить, что его особенности и принадлежность к тому или иному классу связаны с ландшафтом, со взаимодействием его отдельных компонентов с ним.

Озера обладают многими свойствами, которые могут быть признаками классификации. Необходимость рассмотреть озеро с разных сторон привела нас к выбору таких признаков классификации, которые дают представление об озере как об едином целом природном объекте, элементе ландшафта, т. е. мы отдаем предпочтение географическим признакам. С.Д. Муравейский (1960) назвал их: климат, озерная котловина, сток. Это определение неполное, так как включает только абиотические факторы, которые в сочетании с оценкой степени трофии озера (биотические факторы) значительно приближают классификацию к комплексной. Были выбраны следующие **основания классификации: положение озера в гидрографической сети и ее структура, происхождение озера, морфологические и морфометрические показатели, характерные черты тепло- и влагообмена,** отраженные в структуре водного баланса, теплобюджет, связь температуры с суммарной радиацией, трофический статус озер. Все эти показатели рассматривались на фоне общеклиматических особенностей, отражающих зональные географические черты (рис. 2, 3) и характеризующих положение озера в ландшафте.

Выбор признаков классификации лимитируется наличием наиболее распространенных характеристик и доступностью получения массового материала за предыдущие годы. Это, как правило, внешние признаки. Отсутствие длинных рядов наблюдений за отдельными процессами, протекающими в озерах, не позволяет в критериях классификации отразить их динамику. По мере накопления новых данных будет происходить усложнение признаков, что приведет к уменьшению количества классифицируемых озер.

Подчеркнем еще раз, что особенности местного климата в сочетании с абиотическими факторами (генезис котловины, структура гидрографической сети, морфометрия – 9 основных показателей) отражают всю природу озера (Верещагин, 1930). Положение озера в гидрографической сети определяет и биологическую продуктивность, тесно связанную с характером поступления биогенных веществ и их выноса, и характеризуется величиной условного водообмена.

Следует обратить внимание и на использование в классификации озер зонального (показатель испарения) и азонального факторов (удельный водосбор). Взаимодействие этих факторов отражается на структуре водного баланса озер разных классов (рис. 6). Возникает задача выявления внутризональных особенностей озер.

Все процессы, протекающие в озерах, прямо или опосредованно связаны с температурой воды. Ее показатели: величина, режим, стратификация, соотношение температур дно–поверхность, амплитуда и др. являются надежными признаками классификации. Анализ более 40 термических классификаций приводит к выводу: в настоящее время имеется достаточное количество признаков, позволяющих выполнить классификацию озер по тепловым характеристикам даже при недостатке данных. Из обширного перечня признаков (табл. 1) можно найти взаимозаменяемые, а приведенную таблицу можно рекомендовать для практических целей, так как она позволяет с большой степенью детализации оценить термическую характеристику водоема по минимуму данных. В качестве признака классификации на малых озерах предлагается теплобюджет, рассчитанный по морфометрическим характеристикам. Выделению классов озер и озерных районов способствует и установление зависимостей температуры воды от притока суммарной радиации (рис. 13), что при развитых актинометрических наблюдениях вполне возможно. Дальнейшее развитие термических классификаций мы видим в привлечении структуры теплового баланса, его элементов, отражающих взаимодействие морфометрических, гидрологических, биологических особенностей и местного климата.

Трофическая типизация озерных экосистем строится на основе различных показателей и классификационных шкал, которые в отдельные периоды развития лимнологической науки определялись сменой теоретических концепций и методов исследования. Так, в 30-е годы экологическая классификация Тинемана и Наумана строится на связи биологических показателей (главным образом, численности доминирующих видов) с абиотическими факторами среды. На основе

методологии аутоэкологических исследований трофический тип водоема определяется по комплексу сопряженных между собой признаков, который характеризует результат всего предшествующего периода эволюций данной озерной экосистемы. Дальнейшие классификационные построения связаны с концепцией, основанной на оценке интенсивности круговорота органического вещества, функциональным показателем которого является скорость его новообразования, выраженная в величине первичной продукции или концентрации хлорофилла.

Классификации, построенные на продукционно–биологической основе (Ohle, 1955, 1958; Rodhe, 1958; Винберг, 1959, 1960), позволяют не только определить трофический статус водоема, но и дать оценку его динамического состояния, в частности процесса эвтрофирования. Диапазон количественных показателей в классификационных шкалах дает возможность его применения в системе мониторинга. В современный период появилось большое число классификационных шкал и новых показателей, относящихся не только к фитопланктону, но и к другим сообществам гидробионтов. Большое значение стали приобретать структурные, функциональные, а также интегральные показатели, где немаловажное значение имеют и абиотические, среди которых приоритетное место занимает величина прозрачности. Все они приведены в сводной табл. 11. Существенным является здесь возможность выбора наиболее информативных признаков из тех, которыми располагает исследователь при изучении конкретного водоема. Большое значение в целях типизации приобретают формализованные зависимости между параметрами, имеющие количественное выражение и дающие возможность их взаимозаменяемости и взаимоконтроля. Современные концепции системной экологии, рассматривающей водоем как целостную, организованную систему, компоненты которой находятся в тесной взаимосвязи друг с другом, использующей математические методы исследования, открыли новые возможности для развития типологического направления в лимнологии.

Для районов, контрастных по физико–географическим условиям, гумидной (Северо–Запад ЕТС) и аридной (Казахстан) зоны можно в качестве основных признаков классификации озер рекомендовать: климатические показатели; характеристики влаго– и теплообеспеченности; происхождение озер; их положение в гидрографической сети, что найдет отражение в величинах удельного водосбора, условного водообмена и структуре водного баланса; форма котловины; открытость, проточность, режим уровней, озерность; коэффициенты увлажнения и показатель испарения; зарастаемость; трофический тип озера.

В качестве примера рассмотрено распределение озер разного трофического типа в этих контрастных районах: в гумидной зоне преобладают озера мезотрофного (56%) и олиготрофного типов (23%), в аридной – эвтрофного (84%).

Озера аридной зоны в зависимости от водообмена (колебания уровней) и теплосодержания (малые глубины, высокая прогревае-

мость) могут переходить из класса в класс. Для аридной зоны характерны избыток тепла и недостаток влаги, а в гумидной – избыток влаги и недостаток тепла.

При наличии массового материала возникает насущная потребность в привлечении математических методов обработки.

Решение некоторых теоретических и методологических вопросов (анализ типов задач классификации, естественности классификаций) и обзор статистических методов (факторный, дискриминантный анализ), увязанных с выделенными типами задач, позволяют эффективно использовать статистические методы в классификации озер.

Выделение озерных районов, выполненных на примере территории Западной Сибири, показало, что индекс рассеяния объективно отражает особенности размещения озер.

В лимнологии, как и в географических науках вообще, не решен вопрос о соотношении классификации и районирования. Районирование озер основывается на выделении индивидуальных особенностей, а классификация – общих признаков; районирование должно исходить из единства озера и ландшафта (озеро–водосбор); районирование озер усложняется тем, что границы озерных районов не совпадают с физико–географическими из–за влияния азональных факторов; возникают задачи упорядочения таксономических единиц.

Решение теоретических вопросов классификации и районирования в лимнологии зависит от объединения усилий специалистов различных областей знаний – географов, гидрометеорологов, биологов, химиков, математиков, программистов.

Для практического применения научных достижений в лимнологии наличие классификации – необходимое условие.

ЛИТЕРАТУРА

А б р о с о в В.Н. Некоторые проблемы типологии озер // Круговорот вещества и энергии в озерных водоемах. М., 1967. С. 272–282.

А б р о с о в В.Н. О понятии „тип озера" // Гидробиология и рыбное хозяйство внутр. вод Прибалтики. Таллин, 1969. С. 7–12.

А б р о с о в В.Н. Термическая классификация смешанных озер умеренных широт // Природа и хозяйственное использование озер. Псков, 1971. С. 3–5.

А й в а з я н С.А., Б е ж а е в а З.И., С т а р о в е р о в О.В. Классификация многомерных наблюдений. М., 1974. 240 с.

А й в а з я н С.А., Б у х ш т а б е р В.М., Е н ю к о в Н.С., М е ш а л к и н Л.Д. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности. М., 1989. 608 с.

А к т и н о м е т р и ч е с к и й ежемесячник, за 1978–1986 гг. Л., 1978–1988. Ч. 1; 2; 2.1; 2.2.

А л е к с а н д р о в Б.М. Гидробиологические исследования на внутренних водоемах Карелии // Рыбное хозяйство Карелии. Петрозаводск, 1964. Вып. 8. С. 11–17.

А л и с о в Б.П. Принципы климатического районирования СССР // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1957. № 6. С. 118–125.

А н д е р с о н Т. Введение в многомерный статистический анализ / Пер. с англ. М., 1963. 500 с.

А н д р е е в а М.А. Озера Среднего и Южного Урала. Челябинск, 1973. 270 с.

А н д р о н и к о в а И.Н. О двух уровнях продуктивности зоопланктона сильно гумифицированных водоемов Карельского перешейка // Гидробиол. журн. 1965. Т. 1, № 4. С. 34–38.

А н д р о н и к о в а И.Н. Биолимнологические черты гумифицированных озер умеренной зоны СССР // Вопросы современной лимнологии. Л., 1973. С. 159–182.

А н д р о н и к о в а И.Н. Изменения в сообществе зоопланктона в связи с процессом эвтрофирования // Эвтрофирование мезотрофного озера. Л., 1980. С. 78–99.

А н д р о н и к о в а И.Н. Использование структурно–функциональных показателей зоопланктона в системе мониторинга // Гидробиологические исследования морских и пресных вод. Л., 1988. С. 47–53.

А н д р о н и к о в а И.Н. Структурно–функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов: Автореф. дис. ... д–ра биол. наук. Л., 1989. 39 с.

А н у ч и н Д.Н. Верхневолжские озера и верховья западной Двины // Тр. эксп. для исследования источников главных рек Европейской России. СПб., 1897. 156 с.

А р а б и н а И.П., Ш а л а в л е н к о в Н.Н. Особенности энергетического баланса экосистемы заболоченного водоема // Экология. 1979. № 6. С. 94–95.

А с е е в А.А. Древние материковые оледенения Европы. М., 1974. 319 с.

Б а б и ц к и й В.А. Трофический статус озер и уровень развития популяций Chydoridae (Crustacea: Cladocera) // История озер. Рациональное использование и охрана озерных водоемов: Тез. докл. УШ Всесоюз. симпоз. Минск, 1989. С. 142–143.

Б а г л а е в а Н.И. Гидрографические основы биопродуктивности озер различных ландшафтов юго–востока Западно–Сибирской равнины // Природные ресурсы озер Западной Сибири, прилегающих горных территорий и их рациональное использование. Новосибирск, 1987. С. 3–13.

Б а р а н о в И.В. Исследование фотосинтеза планктона в некоторых водоемах северо–западной части СССР // Тр. У науч. конфер. по изучению внутренних водоемов Прибалтики. Минск, 1959. С. 63–69.

Б а р а н о в И.В. Лимнологические типы озер СССР. Л., 1962. 276 с.

Б е л е ц к а я Н.П. Роль орографии и неотектоники в размещении озерных котловин Западной Сибири // Изв. ВГО. 1986. Т. 118, вып. 6. С. 492–499.

Б е р г Л.С. Основы климатологии. Л., 1938. 456 с.

Б е р д о в с к а я Г.Н., Б у к р е е в а Г.Ф. Реконструкция растительности и климата по спорово–пыльцевым спектрам Иссык–Кульской котловины с применением математических методов // Тез. докл. междунар. конфер. „Проблемы голоцена". Тбилиси, 1988. С. 14–15.

Б и о л о г и ч е с к и е основы рыбного хозяйства республик Средней Азии и Казахстана. Алма–Ата, 1966. 342 с. Балхаш, 1967. 331 с; Ташкент; Фергана, 1972. 297 с.; Ашхабад, 1974. Кн. 1. 141 с.; Ашхабад, 1975. Кн. 2. 137 с.; Душанбе, 1976. 407 с.; Ташкент, 1983. 356 с.; Ашхабад, 1986. 353 с.

Б и с к э Г.С., Л у к а ш о в А.Д. Генетическая классификация озерных котловин Карелии // Режим озер. Вильнюс, 1970. Т. 2. С. 258–274.

Б о г д а н о в В.В. Лимнологические типы озер и схемы соподчинения рангов на примере Кольской лимнологической провинции // Вопросы лимнологии и климата. Иркутск, 1968. С. 82–90.

Б о г д а н о в В.В. Морфолимнические типы озер и их роль во взаимоотношении лимнических и терригенных факторов в озерном круговороте // Проблемы региональной лимнологии. Иркутск, 1979. С. 3–20.

Б о г о с л о в с к и й Б.Б. О районировании озер СССР по водному балансу // Тр. Ш Всесоюз. гидрол. съезда. Л., 1959. Т. 4. С. 17–25.

Б о г о с л о в с к и й Б.Б. Схема гидрологической классификации озер СССР // Вестн. МГУ. Сер. 5. 1960. № 2. С. 44–51.

Б о г о с л о в с к и й Б.Б. Внешний водообмен водоемов и некоторые особенности водных масс пресных озер // Режим озер. Вильнюс, 1970. Т. 1. С. 237–258.

Б о г о с л о в с к и й Б.Б. Основы гидрологии суши (реки, озера, водохранилища). Минск, 1974. 214 с.

Б о г о с л о в с к и й Б.Б. Водный баланс и термика озер и водохранилищ: Учеб. пособие. Л., 1979. 72 с.

Б о г о с л о в с к и й Б.Б., К и р и л л о в а В.А., Ф и л ь С.А. Некоторые особенности водообмена и водных масс континентальных водоемов // Тр. 1У Всесоюз. гидрол. съезда. Гидрология озер, водохранилищ и устьевых рек. Л., 1975. Т. 5. С. 143–151.

Б о л ь ш а я советская энциклопедия. М., 1953. 2-е изд. Т. 21. 363 с.

Б о н д а р е в а Е.И., Г о р л а ч е в В.П., М о р о з о в а Т.Н. и др. Некоторые региональные особенности биологического круговорота вещества в Ивано–Архлейских озерах // Продукционно–биологические исследования экосистем пресных вод. Минск, 1973. С. 163–174.

Б о н н е р Р.Е. Некоторые методы классификации // Автоматический анализ изображений. М., 1969. С. 205–234.

Б о ц е н ю к К.Л., П а в е л к о В.Л., М а т в е е в А.А., Л е о н т ь е в а Л.Н. О снижении размерности пространства гидрохимического поля путем введения обобщенных показателей // Гидрохимические материалы. 1981. Т. 78. С. 108–112.

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 водохранилищ. Л., 1954. 212 с.

Б р и к н е р Э. К вопросу о термическом режиме озер // Сб. статей по метеорологии, посвященный А.И. Воейкову: Зап. Импер. русск. геогр. о–ва по общей географии. 1911. Т. XLVII. С. 433–440.

Б р я б р и н В.М. Программное обеспечение персональных ЭВМ. М., 1988. 271 с.

Б у д ы к о М.И. Климатические факторы внешнего физико–географического процесса // Тр. ГГО. 1950. Вып. 19(81). С. 25–40.

Б у д ы к о М.И. Климатические условия увлажнения на материках. Сообщ. I и II // Изв. АН СССР. Сер. геогр. М., 1955. № 2. С. 5–15; № 4. С. 3–15.

Б у л ь о н В.В. Первичная продукция тундровых озер // Биологическая продуктивность северных озер. Л., 1975. Ч. 1. С. 19–36.

Б у л ь о н В.В. Первичная продукция планктона внутренних вод. Л., 1983. 149 с.

Б у л ь о н В.В. Первичная продукция планктона и классификация озер // Продукционно–гидробиологические исследования водных экосистем. Л., 1987. С. 45–51.

В е р е щ а г и н Г.Ю. Методы морфологической характеристики озер // Тр. Олонецкой науч. экспедиции. Л., 1930. Ч. 2, вып. 1. 116 с.

В е с е л о в Е.Н. Программирование без программирования // Персональный компьютер. Рабочее место профессионала. М., 1989. 172 с.

В е с е л о в с к и й К.С. О климате России. СПб., 1857. 734 с.

В и н б е р г Г.Г. Значение новых методов лимнологического исследования для разработки типологии озер // Тр. У науч. конфер. по изучению внутр. вод Прибалтики. Минск, 1959. С. 5–14.

В и н б е р г Г.Г. Первичная продукция водоемов. Минск, 1960. 328 с.

В и н б е р г Г.Г. Сравнительно–биолимнологические исследования, их возможности и ограничения // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. 1986. Вып. 252. С. 4–18.

В и н б е р г Г.Г., И в а н о в а А.И. Опыт изучения фотосинтеза и дыхания в водной массе озера. К вопросу о балансе органического вещества. Сообщ. 2 // Тр. Лимнол. станции в Косине. 1935. Вып. 20. С. 25–40.

В и н б е р г Г.Г., К у з н е ц о в а Э.И. Наблюдение над фотосинтезом и дыханием водной массы Глубокого озера. Сообщ. 5 // Тр. Лимнол. станции в Косине. 1939. Вып. 22. С. 144–153.

В о е й к о в А.И. Климаты земного шара, в особенности России. СПб., 1884. 648 с.

В о р о б ь е в Г.А. Ландшафтная типология малых озер и возможности их хозяйственного использования: Автореф. канд. дис. Л., 1974. 16 с.

Воробьев Г.А., Коробейников Л.А., Ляпкин А.А. Озера ландшафтов моренных и озерно-ледниковых долин // Озерные ресурсы Вологодской области. Вологда, 1981. С. 94-139.
Воронин Ю.А. Теория классифицирования и ее приложение. Новосибирск, 1985. 232 с.
Воронцов Ф.Ф., Воронцова Н.К. Внешний и внутренний водообмен // Эвтрофирование мезотрофного озера. Л., 1980. С. 12-22.
Воронцов Ф.Ф., Воронцова Н.К., Кузьменко Л.Г. и др. Характеристика метеорологического и гидрологического режимов // Методические аспекты лимнологического мониторинга. Л., 1988. С. 8-25.
Воронцова Н.К. Внешний водообмен и водный баланс озер // Особенности формирования качества воды в разнотипных озерах Карельского перешейка. Л., 1984. С. 16-23.
Воропаев Г.В., Благоверов Б.Г., Исмайылов Г.Х. Экономико-географические аспекты формирования территориальных единиц в водном хозяйстве страны. М., 1986. 240 с.
Вудцеттель М.Ф. Материалы к гидробиологии озера Сары-Челек // Биол. основы рыбного хоз-ва республик Ср. Азии и Казахстана. Ташкент; Фергана, 1972. С. 66-68.
Высоцкий Г.Н. Степи Европейской России // Полн. энцикл. рус. сельск. хоз-ва. СПб., 1905. Т. 1X. С. 397-443.
Галкин Л.М. Об одной возможной классификации водоемов // Тр. Лимнол. ин-та СО АН СССР. Л., 1970. Т. 14(34). С. 169-178.
Гальцов А.П. Классификация климатов земного шара // Вестн. АН СССР. М., 1956. № 9. С. 131-134.
Гальцов А.П. Исследование некоторых закономерностей мирового распределения осадков как основы генетико-климатического районирования земного шара // Тр. Всесоюз. науч. метеорол. совещ. Л., 1962. Т. 1У. С. 78-87.
Гарнер Б.Д. Модели географии городов и размещения населенных пунктов // Модели в географии. М., 1971. С. 29-88.
Герд С.В. Влияние болотных вод на фауну и флору озер // Учен. зап. Карельск. пед. ин-та. 1961. Т. 11 вып. 2. С. 3-14.
Герд С.В. Озера бассейна р. Шуи // Тр. Сямозерской экспедиции. Петрозаводск, 1962. Т. II. С. 23-35.
Гиляров А.М. Индекс разнообразия и экологическая сукцессия // Журн. общ. биологии. 1969. Т. 30, № 6. С. 652-657.
Глазачева Л.И. Ледовый и термический режим рек и озер Латвийской ССР: Учен. зап. Латв. ун-та. География. 1965. Т. 65. 232 с.
Голдина Л.П. Летний термический режим тундровых озер // Изв. ВГО. 1965. Т. 97, вып. 4. С. 364-370.
Горбунова З.А., Гордеева Л.Н., Грицевская Г.Л. и др. Биологическая продуктивность озера Чеденъярви // Продукционно-биологические исследования экосистем пресных вод. Минск, 1973. С. 44-54.
Гордиенко Н.С. Фитопланктон двух озер Вешкелицкой группы // Тр. СеврыбНИИпроект. 1978. Т. 8, ч. 1. С. 21-27.
Городецкая М.Е. Морфоструктура и морфоскульптура юга Западно-Сибирской равнины. М., 1972. 153 с.
Граевский И.П., Квасов Д.Д. Водный баланс озера Красного // Озера Карельского перешейка. Л., 1971. С. 111-128.

Григорьев А.А. Закономерности строения и развития географической среды (Избранные теоретические работы). М., 1966. 383 с.
Григорьев С.В. О некоторых определениях и показателях в озероведении // Тр. Карельск. фил. АН СССР. Петрозаводск, 1959а. Вып. XУIII. С. 29-45.
Григорьев С.В. О гидрологических типах водоемов // Тр. Пятой науч. конф. по изучению внутренних водоемов Прибалтики. Минск, 1959б. С. 46-54.
Григорьев С.В. Изменчивость озерности в водосборах рек Карелии // Тр. Карельск. фил. АН СССР. Петрозаводск, 1964. Вып. 36. С. 36-47.
Григорьев С.В., Грицевская Г.Л. Каталог озер Карелии. М.; Л., 1959. 239 с.
Григорьев С.В., Фрейндлинг В.А., Харкевич Н.С. Озера и реки Карелии и их особенности // Фауна озер Карелии. М.; Л., 1965. С. 21-41.
Гринберг Ф., Гринберг Д. Самоучитель программирования на входном языке СУБД dABASE III. М., 1989. 454 с.
Грицевская Г.Л. Гидрография бассейна р. Суны // Вопросы гидрологии, озероведения и водного хозяйства. Петрозаводск, 1965. С. 236-257. (Тр. СевНИИГМИ; Вып. 23).
Гурьянова Л.В. Морфометрия малых озер и их термика // Вестн. Белорус. ун-та. 1988. Сер. 2, № 2. С. 42-46.
Гутельмахер Б.Л. Метаболизм планктона как единого целого. Трофометаболические взаимодействия зоо- и фитопланктона. Л., 1986. 155 с.
Давыдов Л.К., Конкина Н.Г. Общая гидрология. Л., 1958. 488 с.
Диболд Д. Проблема выбора 32-разрядного микропроцессора: 286 или 386 SX // Мир ПК. 1990. № 1. С. 15-26.
Догановский А.М. Исследование возможностей обобщения данных по водному балансу внутренних водоемов // Сб. работ по гидрологии. Л., 1982. № 17. С. 172-179.
Докучаев В.В. Учение о зонах природы и классификация почв // Соч. М.; Л., 1951. Т. 6. С. 375-533.
Долгов Г.И. Морфология водохранилища как фактор зарастания макрофитами и цветения воды // Памяти акад. С.А. Зернова. М.; Л., 1948. С. 115-131.
Доманицкий А.П., Дубровина Р.Г., Исаева А.И. Реки и озера Советского Союза. Л., 1971. 104 с.
Домрачев П.Ф. К вопросу о классификации озер Сев. Зап. Края // Изв. ГТИ. 1922. Вып. 4, № 53. С. 1-43.
Драбкова В.Г., Лаврентьев П.Я., Макарцева Е.С., Трифонова И.С. Особенности трофических взаимоотношений планктонных сообществ в озерах разного типа // Трансформация органического и биогенных веществ при антропогенном эвтрофировании. Л., 1989. С. 207-218.
Драбкова В.Г., Сорокин И.Н. Озеро и его водосбор - единая природная система. Л., 1979. 195 с.
Дроздов О.А. К вопросу об изменении осадков в связи с системой полезащитных мероприятий в степных и лесостепных районах европейской территории СССР // Вопросы гидрометеорологической эффективности полезащитного лесоразведения. Л., 1950. С. 30-36.

Дружинин Г.В. Основные закономерности строения берегов озер Северного Кавказа. Л., 1980. 135 с.
Дюран В., Оделл П. Кластерный анализ. М., 1977. 128 с.
Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши за 1978–1980. Л., 1980–1982. Ч. 2, т. 0, вып. 1, 2, 3, 5–7; Т. 1, вып. 0–3, 4, 5; Т. 4, вып. 1–3, 9; Т. 5, вып. 2, 3, 4, 5–8; Т. 6, вып. 0–3, 4–6, 7, 8, 9.
Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши за 1981–1986. Л., 1982–1989. Ч. 2, т. 1, вып. 5, 6, 7, 8, 10, 11, 23; Т. 3; Т. 5, вып. 1, 2, 3, 4, 5; Т. 8; Т. 10; Т. 11.
Елисеева И.И., Рукавишников В.О. Группировка, корреляция, распознавание образов: Статистические методы классификации и измерения связей. М., 1977. 143 с.
Ермолаев В.И. Фитопланктон озер системы р. Карасук (сев. часть Кулундинской степи) и его продуктивность Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 1967. 24 с.
Ермолаев В.И. Продуктивность фитопланктона некоторых озер юга Зап. Сибири // Круговорот вещества и энергии в водоемах. Элементы биотического круговорота. Лиственичное на Байкале, 1977. С. 28–29.
Жадин В.И., Герд С.В. Реки, озера и водохранилища. М., 1961. 597 с.
Забродин В.Ю. Проблема классификации (обзор) // НТИ. Сер. 2. 1980. № 2. С. 36–38.
Забродин В.Ю. О критериях естественности классификации // НТИ. Сер. 2. 1981. № 8. С. 92–112.
Забродин В.Ю. К проблеме естественности классификаций: классификация и закон // Классификация в современной науке. Новосибирск, 1989. С. 59–73.
Захаренков И.С. О лимнологической классификации озер Белоруссии // Биол. основы рыбного хозяйства на внутренних водоемах Прибалтики. Минск, 1964. С. 175–177.
Зинова А.Д., Нагель А.А. Сравнительная характеристика исследованных озерно-речных систем Монче- и Волчьей тундры // Материалы Мончезерской лимнологической экспедиции. Л., 1935. С. 113–132.
Ибрагимов И.И. Материалы к изучению гидробиологии озера Карасу (Ферганский хребет Южной Киргизии) // Биологические основы рыбного хозяйства республик Средней Азии и Казахстана. Ашхабад, 1974. Кн. 1. С. 63–64.
Иванов Н.Н. Ландшафтно-климатические зоны земного шара // Зап. Всесоюз. геогр. о-ва. 1948. Нов. сер. Т. 1. 224 с.
Иванов П.В. Классификация озер мира по величине и по их средней глубине // Бюл. ЛГУ. 1949. № 21. С. 29–36.
Известия Государственного Всесоюзного научно-исследовательского института озерного и речного рыбного хозяйства. Л., 1932–1979. Вып. 14–140.
Иоганзен Б.Г., Мухамедиев А.М. К познанию водных экосистем Средней Азии // Биологические основы рыбного хозяйства водоемов Средней Азии и Казахстана. Фрунзе, 1978. С. 68–70.
Иоганзен Б.Г., Мухамедиев А.М., Конурбаев А.О. и др. Пути интенсификации рыбного хозяйства на водоемах Средней Азии и Казахстана // Биологические основы рыбного хозяйства Средней Азии и Казахстана. Ашхабад, 1986. С. 13–14.

Исаченко А.Г. Основы ландшафтоведения и физико-географическое районирование. М., 1965. 327 с.
Исаченко А.Г. Ландшафты СССР. Л., 1985. 320 с.
Исаченко А.Г., Шляпников А.А. Природа мира. Ландшафты. М., 1989. 505 с.
Истомина Э.Г., Яковлев Э.М. Голубое диво. Л., 1989. 222 с.
Кабранова А.И. Водный баланс Выгозерско-Ондского водохранилища// Сб. работ ЛГМО. 1977. Вып. 11. С. 78–93.
Каганский В.Л. Районирование как расчленение континуальных предметных сред // Классификация в современной науке. Новосибирск, 1989. С. 129–140.
Кайгородов А.И. Естественная зональная классификация климатов земного шара. М., 1955. 120 с.
Калесник С.В. Современное состояние учения о ландшафтах: Матер. к III съезду Геогр. о-ва СССР. Л., 1959. 17 с.
Калинина Л.А., Румянцева Э.А. Соотношение макрокомпонентов „системы углерода" как критерий равновесия продукционно-деструкционных процессов в озерах // Антропогенное воздействие на малые озера. Л., 1980. С. 37–42.
Килкус К. Обоснование границ термоглубинной классификации озер для оценки содержания озерного фонда по морфометрическим показателям // Науч. тр. вузов ЛитССР. 1989. С. 100–103.
Кириллова Т.В. Радиационный режим озер и водохранилищ. Л., 1970. 254 с.
Кириллова Т.В., Тимофеева М.П. О расчете радиационного баланса водоемов по радиационному балансу суши // Метеорология и гидрология. 1959. № 11. С. 35–37.
Китаев С.П. Бенталь озер и принцип ее деления на зоны. Лимнологические типы озер в зависимости от их глубины // Тез. докл. 12-й науч. конф. по изучению внутренних водоемов Прибалтики. Вильнюс, 1965. С. 109–111.
Китаев С.П. К возможности определения средней глубины и показателя условного водообмена озер картографо-статистическим методом // Тез. докл. Восьмой сессии Учен. совета по проблеме „Биол. ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского севера". Петрозаводск, 1969. С. 33–36.
Китаев С.П. Характеристика экологического фона жизни рыб озер Балтийского кристаллического щита: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 1970. 28 с.
Китаев С.П. Термические классификации озер мира // Основы биопродуктивности внутренних водоемов Прибалтики. Вильнюс, 1975. С. 12–15.
Китаев С.П. Термические классификации озер мира // Водные ресурсы. 1978. № 1. С. 97–103.
Китаев С.П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М., 1984. 207 с.
Классификация и кластер / Под ред. Дж. Вэн Райзина. М., 1980. 390 с.
Клюшкин В.В. К вопросу о генетической типизации озерных котловин Казахского щита // XX1X Герценовские чтения Лен. гос. пед. ин-та им. А.И. Герцена. Л., 1976. С. 5–9.
Коваленко В.Н. Содержание хлорофилла в озерах Вендюрско-Вохтозерской группы // Исследование озерно-речных систем Карелии. Петрозаводск, 1982. С. 18–20.

Коваленко В.Н., Иешко Т.А. Оценка уровня продуктивности литорального фитопланктона олиготрофного водоема // Тез. докл. VIII Всесоюз. симпоз. „История озер. Радиациональное использование и охрана озерных водоемов". Минск, 1989. 196 с.

Кожара В.Л. Анализ информативно насыщенных таксономических структур как способ выявления географических закономерностей: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 1989. 25 с.

Кожара В.Л., Литвинов А.С., Рощупко В.Ф. Районирование Иваньковского водохранилища по большому числу характеристик // Анализ и прогноз метеорологических элементов и речного стока. Вопросы охраны среды. Пермь, 1979. С. 135–141.

Кожара В.Л., Смирнов Н.П. Опыт классификации природных вод по химическому составу методом главных компонент // Гидрохимические материалы. 1975. Т. XП. С. 3–17.

Кондаков Н.И. Логический словарь–справочник. М., 1975. 720 с.

Кренкель Т.Э., Коган А.Г., Тараторин А.М. Персональные ЭВМ в инженерной практике. М., 1989. 335 с.

Кропоткин П.А. Исследование о ледниковом периоде. Записки ИРГО по общей географии. СПб., 1876. Т. 7, вып. 1, 718 с.

Крючкова Н.М. Структура сообщества зоопланктона в водоемах разного типа // Продукционно–биологические исследования водных экосистем. Л., 1987. С. 184–198.

Кузнецов С.И. Микрофлора озер и ее геохимическая деятельность. Л., 1970. 440 с.

Кузнецов С.И., Романенко В.И., Кузнецова Н.С. Микробиологическая характеристика озер Карелии // Тр. ин–та биологии внутренних водоемов АН СССР. 1971. Вып. 22(25). С. 3–14.

Курганова Н.М. Водный баланс некоторых озер и водохранилищ Белоруссии // Вопросы водного хоз–ва Белоруссии. Минск, 1965.

Лаврентьева Г.М., Романова А.П., Салазкин А.А. Уровень развития микрофлоры и беспозвоночных в разных типах озер Карельского перешейка // Тр. Карельск. отд. ГосНИОРХ. 1967. Т. 5, вып. 1. С. 107–114.

Ландшафтная карта СССР для высших учебных заведений. Масштаб 1:4 000 000. М., 1988.

Ласточкин А.Н. Роль неотектоники в распределении и морфологии озер Севера Западно–Сибирской равнины // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1969. № 5. С. 79–86.

Лаугастер Р.А., Порк М.И. Изменение видового состава фитопланктона и первичной продукции // Антропогенное воздействие на малые озера. Л., 1980. С. 46–54.

Лёзин В.А. Водный баланс озер Карагандинской области // Сб. работ Алма–Атинской ГМО. Алма–Ата, 1969. Вып. 4. С. 88–96.

Лёзин В.А. Термический и ледниковый режим озер лесостепной зоны Тюменской области // Гидрология и гидробиология Западной Сибири. Л., 1975. С. 31–40.

Лёзин В.А. Озера Центрального Казахстана // Комплекс. типол. характеристика режима и ресурсов. Алма–Ата, 1982. 187 с.

Лесненко В.К., Абросов В.Н. Озера Псковской области (пособие по краеведению). Псков, 1973. 154 с.

Литинский Ю.Б. Некоторые вопросы геоморфологии озер Карельского перешейка // Тр. Карельск. фил. АН СССР. Петрозаводск, 1960. Вып. XXVII. С. 10–59.

Литинский Ю.Б. Особенности гидрологической структуры водных систем Карелии // Проблемы исследования промысловых ресурсов Белого моря и внутренних водоемов Карелии. М.; Л., 1963. Вып. 1. С. 170–174.

Лоули Д., Максвелл А. Факторный анализ как статистический метод. М., 1967. 144 с.

Львов В.А., Шумаков Ф.Т. Использование многозональной космической информации для оценки трофического состояния озер Карельского перешейка // Тез. докл. VIII Всесоюз. симпоз. „История озер. Рациональное использование и охрана озерных водоемов". Минск, 1989. С. 418–419.

Любищев А.А. Понятие системности и организованности (предварительный набросок) // Тр. по знаковым системам. Тарту, 1979. IX (тр. 422). С. 134–141.

Макрушин А.В. Биологический анализ качества вод. Л., 1974а. 60 с.

Макрушин А.В. Библиографический указатель по теме „Биологический анализ качества вод" с приложением списка организмов–индикаторов загрязнения. Л., 1974б. 53 с.

Малиновский Л.Г. Классификация объектов средствами дискриминантного анализа. М., 1979. 260 с.

Марков Е.С. О методах исследования озер. СПб., 1902. Ч. 1. 337 с.

Мейен С.В. Основные аспекты типологии организмов // Журн. общей биологии. 1978. Т. 39, № 4. С. 459–508.

Мейен С.В., Шрейдер Ю.А. Методические аспекты теории классификации // Вопросы философии. 1976. № 12. С. 67–69.

Милиус А.Ю., Кывараск В.О. О количественных показателях фитопланктона как индикатора трофности // Изучение и освоение водоемов Прибалтики и Белоруссии. Рига, 1979. Т. 2. С. 16–19.

Милиус А.Ю., Кывараск В.О. Связь между прозрачностью воды и фитопланктоном в малых озерах Эстонии // Проблемы современной экологии. Экологические аспекты охраны окружающей среды в Эстонии. Тарту, 1982. С. 100.

Милиус А.Ю., Линдпере А.В., Старост Х.А. и др. Статистическая модель трофического состояния малых светловодных озер // Водные ресурсы. 1987. № 3. С. 63–66.

Михеева Т.М. Озерный фитопланктон и его продукционные возможности в водоемах разного типа: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Минск, 1969. 23 с.

Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Разд. I. Сер. 3. Л., 1984–1987. Т. 1, вып. 1, 2, 5, 7, 10, 11; Т. 3; Т. 5, вып. 1, 3.

Мокиевский К.А. Исследование радиационного режима озер как основы теплового и энергетического баланса водоемов //Acta Hydrophysica. Berlin, 1980. Bd XXV, Heft 1/2. S. 129–140.

Молчанов И.В. Термический режим озер южной части Северо–Западной области // Тр. Первого всерос. гидрол. съезда. 1925. С. 190–194.

Молчанов И.В. Термические типы озер и факторы их определяющие // Тр. II Всесоюз. гидрол. съезда. Л., 1929. Ч. 2. С. 290–297.

Муравейский С.Д. Очерки по теории и методам морфометрии озер // Реки и озера. М., 1960. С. 91–125.

Муравлев Г.Г. О размещении и типах озер // Озера Северного Казахстана. Алма–Ата, 1960. С. 22–56.

Муравлев Г.Г. О некоторых гидрологических особенностях водного баланса малых озер Казахстана // Географические науки. Алма-Ата, 1969. С. 5-15.

Мурзаев Э.М. Землеведение в наши дни // Природа. 1960. № 6. С. 52-56.

Мяэметс А.Х. Качественный состав пелагического зоопланктона как показатель трофности озера // Тез. докл. XX науч. конфер. „Изучение и освоение водоемов Прибалтики и Белоруссии". Рига, 1979. Т. 1. С. 12-15.

Мяэметс А.Х., Райтвийр А. Классификация озер при помощи многомерного анализа // Основы биопродуктивности внутренних водоемов Прибалтики. Вильнюс, 1975. С. 159-162.

Мяэметс А.Х. Румянцева Э.А. Влияние различных факторов на интенсивность антропогенного эвтрофирования озер // Антропогенное воздействие на малые озера. Л., 1980. С. 120-127.

Несина Л.В., Огнева Т.А. Солнечная радиация и тепловой баланс водоемов // Круговорот вещества и энергии в озерных водоемах. Новосибирск, 1975. С. 308-313.

Никулина В.Н. Фитопланктон // Биологическая продуктивность северных озер. 1: Озера Кривое и Круглое. Л., 1975. С. 42-54.

Нисканен Р.А. Библиография по проблеме „Теоретические основы рационального использования и повышения рыбных и нерыбных ресурсов Белого моря и внутренних водоемов Карелии" за 1950-1961 годы // Проблемы использования промысловых ресурсов Белого моря и внутренних вод Карелии. М.; Л., 1963. С. 256-300.

Новиков С.М., Котова Л.В. Водный баланс внутриболотных озер Сургутского Полесья и его изменение под влиянием хозяйственной деятельности // Тр. ГГИ. 1977. Вып. 236. С. 76-84.

Новоселъцев Г.Е. Биопродуктивная характеристика и трансформация энергетического потока в экосистеме Водлозерского водохранилища (южная Карелия) // Основы изучения пресноводных экосистем. Л., 1981. С. 18-21.

Одум Ю. Основы экологии. М., 1975. 740 с.

Озера Белоруссии / Под общ. ред. д. г. н. Якушко О.Ф. Минск, 1988. 216 с.

Озера Карелии. Природа, рыбы и рыбное хозяйство (Справочник) / Под ред. Григорьева С.В., Грищевской Г.Л. Петрозаводск, 1959. 616 с.

Озера различных ландшафтов Северо-Запада СССР. Л., 1968. Ч. 1. 211 с.; 1969. Ч. 2. 301 с.

Озерные ресурсы Вологодской области. Вологда, 1981. 150 с.

Опыт комплексного изучения и использования Карасукских озер. Новосибирск, 1982. 249 с.

Орлова В.В. Границы бореальных климатов равнинной части СССР // Тр. ГГО. Л.; М., 1938. Вып. 19: Климатология. 184 с.

Особенности формирования качества воды в разнотипных озерах Карельского перешейка. Л., 1984. 298 с.

Панова Н.С., Шрейдер Ю.А. О знаковой природе классификаций // НТИ. Сер. 2. 1974. № 2. С. 3-10.

Пармузин Ю.П. Генетическая классификация озерных котловин // Круговорот вещества и энергии в озерных водоемах. Новосибирск, 1975а. С. 406-414.

Пармузин Ю.П. Тундролесье как ландшафтно-озерный пояс Земли // Путоранская озерная провинция. Новосибирск, 1975б. С. 6-18.

Первухин М.А. О генетической классификации озерных ванн // Землеведение. 1937. Т. 39, вып. 6. С. 526-537.

Пехович А.И., Жидких В.М. Расчет термического режима водохранилищ и озер // Тр. IУ Всесоюз. гидрол. съезда. Л., 1976. Т. 6. С. 172-185.

Пивоваров З.И. Радиационные характеристики климата СССР. Л., 1977. 336 с.

ПК-Экспресс: Прил. к журн. „Мир ПК". М., 1989. № 1. С. 4.

Поползин А.Г. Озера Обь-Иртышского бассейна. Новосибирск, 1967. 350 с.

Природные ресурсы больших озер СССР и вероятные их изменения / Под ред. Алекина О.А. Л., 1984. 286 с.

Природные ресурсы озер Западной Сибири, прилегающих горных территорий и их рациональное использование. Новосибирск, 1987. С. 43-53.

Программное обеспечение ПЭВМ Роботрон 1715: Система управления реляционными базами данных Ребус. Описание применения. Таллин, 1987. 131 с.

Пронин А.Г. Особенности водного баланса крупных озер Северо-Запада РСФСР // Северо-Запад Европейской части СССР. Л., 1972. Вып. 8. С. 25-41.

Прыткова М.Я. Гидрологический режим озер // Изменение структуры экосистем озер в условиях возрастающей биогенной нагрузки. Л., 1988. С. 55-70.

Пузырева А.А. Климатическое районирование Южного Казахстана. Алма-Ата, 1975. 270 с.

Равнины и горы Сибири / Под ред. Герасимова И.П. М., 1975. 351 с.

Ракитов А.И. Философские проблемы науки: системный подход. М., 1977. 270 с.

Рао С.Р. Линейные статистические методы и их применение / Пер. с англ. М., 1968. 547 с.

Раушенбах Г.В. Об измерении близости между множествами в задачах кластер-анализа // Статистика. Вероятность. Экономика. М., 1985. С. 388-392.

Рельеф Западно-Сибирской равнины / Под ред. Кашменской О.В. 1988. 189 с.

Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель / Под ред. В.А. Урываева. Л., 1958-1962. Вып. I-У1.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Л., 1963-1977. Т. 1, вып. 1, 4, 6; Т. 2, ч. 1; Т. 3; Т. 4, вып. 1, 2, 3; Т. 5, ч. 1; Т. 8; Т. 10; Т. 11, вып. 1, 2; Т. 12, вып. 1, 2, 3; Т. 13, вып. 1, 2; Т. 14, вып. 1, 2; Т. 15, вып. 1, 2, 3.

Рихтер Г.Д. Озера Западно-Сибирской низменности // Природа. 1957. № 9. С. 95-98.

Рихтер Г.Д. Место озер в системе единиц комплексного физико-географического районирования // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1976. № 1. С. 48-57.

Розова С.С. Классификационная проблема в современной науке. Новосибирск, 1986. 224 с.

Романенко В.И. Микробиологические процессы продукции и деструкции органического вещества во внутренних водоемах. Л., 1985. 294 с.

Романов В.П. Использование морфометрических параметров при определении природного потенциала водоемов // Тез. докл. VIII Всесоюз. симпоз. „История озер. Рациональное использование и охрана озерных вод". Минск, 1989. С. 253-254.

Романов В.П., Бойкова С.А., Вежновец Г.Г. Прозрачность как показатель уровня трофии озер Белоруссии // Вестн. БГУ. 1988. Сер. 2, № 3. С. 72-74.

Россолимо Л.Л. Основы типизации озер и лимнологическое районирование // Накопление вещества в озерах. М., 1964. С. 5-46.

Руденко Г.П. Численность рыб в малых озерах Ленинградской и смежных областей и величина их допустимого вылова // Изв. ГосНИОРХ. 1978. Т. 128. С. 72-134.

Руденко Г.П., Умнов А.А. Рыбопродукционная характеристика малых озер разного типа Северо-Запада европейской части СССР // Вопросы ихтиологии. 1982. Т. 22, вып. 5. С. 746-759.

Румянцева Э.А. Макрокомпоненты „системы углерода" и их динамическая стабильность // Антропогенное воздействие на малые озера. Л., 1980. С. 33-37.

Рыбные ресурсы водоемов Казахстана и их использование. Алма-Ата, 1966. 359 с.; 1970. 319 с.; 1972. 237 с.; 1974. 245 с.; 1975. 157 с.

Рыбохозяйственный кадастр малых озер Ленинградской области // Озера Карельского перешейка. Л., 1977. Ч. 1. 168 с.; Озера Лужского района. 1978. Ч. 2. 156 с.; Озера восточных районов. 1980. Ч. 3. 103 с.

Рябов Ф.П., Кириленко А.С., Дыга А.К. Индекс удельного биотического разнообразия (УБР) как количественный показатель эвтрофирования водоема // Антропогенное эвтрофирование водоемов. Черноголовка, 1974. С. 126-128.

Рянжин С.В. Закономерности температурного режима пресноводных озер мира. Л., 1989. 70 с.

Рянжин С.В. Температура поверхности пресноводных озер северного полушария в зависимости от географической широты и высоты озера над уровнем моря // Докл. АН СССР. 1990. Т. 312, № 1. С. 209-214.

Салазкин А.А. Основные типы озер гумидной зоны СССР и их биолого-продукционная характеристика // Изв. ГосНИОРХ. Л., 1976. Т. 108. С. 3-191.

Сацук О.Е., Муллло С.М. Биологические ресурсы внутренних водоемов Карелии (библиографический указатель 1962-1969) // VIII сессия Учен. совета по проблеме „Биологические ресурсы Белого моря и внутренних вод европейского Севера". Петрозаводск, 1969. С. 221-304.

Сборник научных программ на фортране: Руководство для программиста. М., 1974. Вып. 1. 316 с.

Сборник научных трудов ГосНИОРХ. Л., 1979-1988. Вып. 141-272.

Сборник работ по ихтиологии и гидрологии. Алма-Ата, 1959. Вып. 2. 394 с.

Сваричевская З.А. Геоморфология Казахстана и Средней Азии. Л., 1965. 296 с.

Сваричевская З.А. Генезис озерных впадин Казахстана // Геоморфология и новейшая тектоника: Учен. зап. ЛГУ. Сер. геогр. 1978. Вып. 26. С. 63-77.

Свирская Н.Л. Оценка качества воды по гидробиологическим показателям // Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л., 1983. С. 73-78.

Себер Д. Линейный регрессионный анализ. М., 1980. 456 с.

Семенов Ю.Л. Эмпирическая модель гидрохимических условий восточной части среднего и южного Каспия на основе факторного анализа // Гидрохимические материалы. 1986. Т. XC1У. С. 90-103.

Семенович Н.И. Лимнологический очерк группы озер Центральной Якутии // Исслед. озер СССР. Л., 1935. Вып. 8. С. 7-50.

Симм Х.А., Милиус А.Ю., Линдпере А.В., Старост Х.А. Основные показатели антропогенного эвтрофирования малых озер // Биология и рыбохозяйственные исследования водоемов Прибалтики. Псков, 1983. Т. 1. С. 80-81.

Скляренко В.Л., Смирнов Н.П. О применении многомерного анализа в гидрологии // Факторы формирования водных масс и районирование внутренних водоемов. Л., 1974. С. 166-180.

Сляднев А.П. Природно-климатическое районирование Западной Сибири // Тр. ГГО. Л., 1964. Вып. 162. С. 68-84.

Смирнов Л.Е., Смирнова Н.П., Капралов Е.Г. Об объективной классификации озер // Вестн. ЛГУ. Сер. геогр. 1979. Вып. 3, № 18. С. 48-59.

Смирнова Н.П. Некоторые особенности радиационного и теплового баланса водоемов территории СССР // Вопросы современной лимнологии. Л.: Наука, 1973. С. 57-73.

Смирнова Н.П. Тепловой режим озер Казахского мелкосопочника // Озера Казахстана и Киргизии и их история. Л., 1975. С. 146-187.

Смирнова Н.П. Элементы теплового режима степных озер СССР, различных по площади // Acta Hydrophysica. 1982. Bd XXVII, Heft 3/4. S. 209-216.

Смирнова Н.П., Бовыкин И.В., Андроникова И.Н. Основные типы задач классификации в лимнологии // География и природные ресурсы. 1990. № 4. С. 156-160.

Советов С.А. Общая гидрология. М., 1935. 368 с.

Сорокин И.Н. Морфометрия озер и их внешний водообмен // Ландшафтный фактор в формировании гидрологии озер Южного Урала. Л., 1978. С. 83-95.

Сорокин И.Н. Внешний водообмен озер СССР. Л., 1988. 144 с.

Сорокин И.Н. Положение озер в системе стока как фактор формирования их современного состояния // Тез. VIII Всесоюз. симпоз. „История озер. Рациональное использование и охрана озерных водоемов". Минск, 1989. С. 266-267.

Сорокин Ю.И. Бактериальная продукция в водоемах // Общая экология. Биоценология. Гидробиология. Биологическая продуктивность водоемов. М., 1973. Т. 1. С. 47-101.

Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск, 1978. 319 с.

Справочник по климату СССР. Л., 1965-1969. Ч. 2, 4, вып. 3, 4, 5, 6, 17, 18, 20, 21.

Старост Х.А., Милиус А.Ю., Линдпере А.В. и др. Модель прогнозирования уровня трофии и трофического состояния малых озер // Круговорот вещества и энергии в водоемах. Иркутск, 1985. Вып. 8. С. 21-22.

12 Заказ 2245

Стогов И.А. Продукционные характеристики зоопланктонных сообществ малых озер Карельского побережья Белого моря: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л., 1990. 19 с.

Стуге Т.С. Первичная продукция водоемов Кустанайской области // Круговорот вещества и энергии в водоемах. Иркутск, 1981. Вып. 1. С. 135-137.

Сычева Л.С. Классификация как метод познания в науках различного типа // К классификации в современной науке. Новосибирск, 1989. С. 32-45.

Тамошайтис Ю.С. Развитие озер в зависимости от их котловины // Режим озер. Вильнюс, 1970. Т. 2. С. 451-463.

Тамошайтис Ю.С., Бружайте Н.К., Василяускене М.Ф. О влиянии морфологии озерных котловин на изменение морфологических показателей и развитие озер // Накопление веществ в малых озерах юго-восточной Литвы. Вильнюс, 1975. С. 103-126.

Тимофеев М.П. Метеорологический режим водоемов. Л., 1963. 291 с.

Тихомиров А.И. Классификация пресноводных озер умеренной зоны по термическому режиму // VII сессия Учен. совета по проблеме „Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Карелии". Петрозаводск, 1968. С. 8.

Тихомиров А.И. Классификация озер умеренной зоны по термическому режиму // Всесоюз. симпоз. по основным проблемам пресноводных озер. Вильнюс, 1970. Т. 1. С. 174-185.

Тихомиров А.И. Термика крупных озер. Л., 1982. 232 с.

Трифонова И.С. Состав и продукционная характеристика фитопланктона р. Кеми и озер ее поймы // Тр. XV конф. по изучению внутренних вод Прибалтики „Биологические исследования на внутренних водоемах Прибалтики". Минск, 1973. С. 34-36.

Трифонова И.С. Состав и продуктивность фитопланктона различных озер Карельского перешейка. Л., 1979. 168 с.

Трифонова И.С. Фитопланктон и его роль в продукции органического вещества // Особенности формирования качества воды в разнотипных озерах Карельского перешейка. Л., 1984. С. 169-192.

Трифонова И.С. Определение трофического статуса озер двух озерных районов Северо-Запада СССР по первичной продукции, содержанию хлорофилла и по трофическим индексам // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. Л., 1986. Вып. 252. С. 78-86.

Уэвелль В. История индуктивности наук. СПб., 1869. Т. III. 932 с.

Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. М., 1984. Т. 1. 527 с.

Фигурнов В.Э. IBM PC для пользователя. М., 1990. 238 с.

Филатова Т.Н. Термический режим озер Карельского перешейка в безледный период // Вестн. ЛГУ. Сер. геол. и геогр. 1957. Вып. 1, № 6. С. 95-111.

Филатова Т Н. О количественном учете теплообмена в некоторых озерах // Вестн. ЛГУ. 1959. № 6. С. 107-119.

Филенко Р.А. Гидрологические районы Карельского перешейка // Вестн. ЛГУ. 1957. № 24. С. 139-151.

Филонец П.П. Очерки по географии внутренних вод Центрального, Южного и Восточного Казахстана (озера, водохранилища и ледники). Алма-Ата, 1981. 292 с.

Филонец П.П., Омаров Т.Р. Озера Центрального и Южного Казахстана (Справочник). Алма-Ата, 1973. 198 с.

Филонец П.П., Омаров Т.Р. Озера Северного, Западного и Восточного Казахстана (Справочник). Л., 1974. 138 с.

Финогенов К.Г. Работаем с MS-DOS. М., 1990. 92 с.

Флинт Р. Ледники и палеогеография плейстоцена. М., 1963. 576 с.

Форель Ф.А. Руководство по озероведению (Общая лимнология). СПб., 1912. 196 с.

Форш Л.Ф. Термический режим, тепловой баланс озер и роль иловой толщи в их тепловом бюджете // Озера различных ландшафтов Северо-Запада СССР. Л., 1968. Ч. 1. С. 166-208.

Форш Л.Ф. Термический и тепловой режим озер Кольского полуострова // Озера различных ландшафтов Кольского полуострова. Гидрология озер и характеристика их водосборов. Л., 1974. Ч. 1. С. 156-194.

Форш Л.Ф., Варенцов Л.Н. Термический режим и тепловой баланс // Ландшафтный фактор в формировании гидрологии озер Южного Урала. Л., 1978. С. 154-180.

Фрейндлинг В.А. Температурный режим и оборот тепла в некоторых озерах Карелии: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Л., 1962. 19 с.

Фрейндлинг В.А. Термика и элементы гидрофизики озер Заонежья // Тр. Сев. НИИГМ. Петрозаводск, 1965. С. 79-92.

Фрейндлинг В.А. Термика водоемов северного Прионежья и южного склона Беломорско-Балтийского водного пути // Вопросы гидрологии, озероведения и водного хозяйства Карелии. Петрозаводск, 1969. С. 246-255.

Фрейндлинг В.А. Гидрология водоемов Восточного Побережья Онежского озера // Водные ресурсы Карелии и пути их использования. Петрозаводск, 1970. С. 150-172.

Харкевич Н.С. Материалы по малым лесным озерам (ламбам) Карелии // Тр. Карельск. фил. АН СССР. 1960. Вып. 27. С. 71-133.

Харкевич Н.С. Типологические различия в гидрохимии озер верхнего и нижнего участков бассейна реки Шуи // Тр. Карельск. отд. ГосНИОРХ. Петрозаводск, 1966. Т. 4, вып. 2. С. 3-9.

Харман Г. Современный факторный анализ / Пер. с англ. М., 1972. 486 с.

Хатчинсон Д. Лимнология. Географические, физические и химические характеристики озер / Пер. с англ. М., 1969. 592 с.

Хомскис В. Динамика и термика малых озер. Вильнюс, 1969. 220 с.

Хубbatуллин В.Л. Особенности температурного режима малых озер (на примере Запада и Северо-Запада ЕТС): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Л., 1989. 20 с.

Хубbатуллин В.Л., Лубяной А.В. Влияние морфометрических факторов озер на их термический режим. Л., 1988. 11 с. Деп. в ИЦ ВНИИГМИ-МЦД 10.08.88, № 801-гм88.

Хусаинова Н.З., Митрофанов В.П., Маминова Р.Х., Шарапова Л.И. Биологическая продуктивность озера Кара-Куль // Продукционно-биологические исследования экосистем пресных вод. Минск, 1973. С. 32-43.

Чаплин Ю.С. Конструктивная стратиграфия. М., 1979. 173 с.

Чекрыжева Т.А. Фитопланктон и оценка сапробности водоемов озерно-речной системы р. Кеми // Исследования озерно-речных систем Карелии. Петрозаводск, 1982. С. 18-20.

Чукленкова И.Н. Морфометрические исследования древнеледниковой морфоскульптуры. М., 1982. 75 с.

Шарапова Л.И. Зоопланктон озер Кара-Куль и Сор-Куль и его продукция: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Алма-Ата, 1971. 32 с.

Швец Л.Д. Водный баланс Онежского озера (Верхне-Свирского водохранилища) за многолетний период и характерные по водности годы // Сб. работ ЛГМО. Л., 1977. Вып. 11. С. 25-53.
Шихлинский Э.М. Об основных показателях при классификации // Тр. Всесоюз. науч. метеор. совещ. Л., 1962. Т. 1У. С. 145-160.
Шнитников А.В. Озера Западной Азии - индикаторы колебаний общей увлажненности их бассейнов // Тр. Лаб. озероведения АН СССР. М.; Л., 1963. Т. ХУ. С. 4-74.
Шнитников А.В. Некоторые географические особенности Евразии по характеру водного баланса озер и ионному составу их воды // Вопросы современной лимнологии. Л., 1973. С. 38-56.
Эвтрофирование мезотрофного озера. Л., 1980. 245 с.
Экология гидробионтов Казахстана. Алма-Ата, 1973. 165 с.
Якушко О.Ф. Белорусское Поозерье. История развития и современное состояние озер Северной Белоруссии. Минск: Вышэйш. школа, 1971. 336 с.
Якушко О.Ф. Озероведение. Минск, 1981. 224 с.
Åberg B., Rodhe W. Über die Milieufaktoren in einigen südshwedischen Seen // Symb. bot. Upsal. 1942. Vol. 5, N 3. S. 1-256.
Aizaki M., Otsuki A., Hosomi M., Muraoka K. Application of Carlson's trophic state index to Japanese lakes and relationships between the index and other parameters // Verhandl. Intern. Verein. Limnol. 1981. Pt 1, vol. 21. P. 675-681.
Alm G. Limnologische-fischereiliche Untersuchungen in dem Kälarne-seen // Inst. Freshwater Res. Rep. Lund. 1960. N 41. S. 5-148.
Anderson K.B., Benfield E.F., Buikema A.L. Zooplankton of a swamp water ecosystem // Hydrobiologia. 1977. Vol. 55, N 2. P. 177-185.
Arai T. Climatic and geomorphological influence on lake temperature // Verh. Intern. Verein. Limnol. 1981. Vol. 21. P. 130-134.
Balling R.C. Classification in climatology // Spatial Statistics and Models. Dordrecht e. a. 1984. P. 81-108.
Birge E.A. The heat budgets of American and European lakes // Trans. Wis. Acad. Sci. Arts. Lett. 1915. Vol. 18. P. 166-391.
Birge E.A. The work of the wind in warming a lake // Trans. Wis. Acad. Sci. Arts. Lett. 1916. 18. P. 166-213.
Blancher E. Zooplankton - trophic state relationships in some north and central Florida lakes // Hydrobiologia 1984. Vol. 109, N 3. P. 251-263.
Carlson R.E. A trophic state index for lakes // Limnol. a. Oceanogr. 1977. Vol. 22, N 2. P. 361-369.
Ciecka J., Fabian R., Merilatt D. A statistical model for small lake quality management // Water Resources. 1979. Bull. 15(5). P. 1318-1330.
Ciccka J., Fabian R., Merilatt D. Eutrophication measures for small lake water quality management // Water Resources. 1980. Bull. 16(4). P. 681-689.

Cliff A.D., Ord J.K. Spatial processes (Models and applications). London, 1981. 266 p.
Dobson H.F.H., Gilberston M., Sly P.J. A summary and comparison of nutrients and related water quality in lakes Erie, Ontario, Huron and Superior // J. Fish. Res. Board Canada. 1974. Vol. 31, N 5. P. 731-738.
Elster H.J. Limnologishe Untersuchungen im Hypolimnion verscheidener Seetypen // Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 1955. Suppl. 8. P. 83-120.
Elster H.J. Das Limnologische Seetypensystem. Rückblick und Ausblick // Verhandl. Intern. Verein. Limnol. 1958. Pt 1, vol. 13. P. 101-120.
Findenegg J. Limnologishe Untersuchungen im Kärntner Seengebiete. Ein Beitrag zur Kennthis des Stoffhaushaltes in Alpenseen // Int. Rev. Hydrobiol. 1935. 32 S. 369-423.
Forel F.A. La thermique des lacs L'ean douce // Verh. schweiz. Naturforsch. Ges. 1982. Bd 75. S. 5-8.
Forsberg C., Ryding S.O. Eutrophication parameters and tropic state indices in 30 wastereceiving Swedish Lakes // Archiv Hydrobiol. 1980. 89. P. 189-207.
Geistbeck A. Die Seen der Deutschen Alpen mit 128 Figuren geologischen and geographischen profilen, Tiffenschichtenkarten und Diagrammen. Leipzig, 1885. 47 S
Gorham E. Morphometric control of annual heat budgets in temperate lakes // Limnol. and Oceanogr. 1964. Vol. 9. N 4. P. 525-529.
Gregor D.J., Rast W. Simple trophic state classification of the canadian near-shore waters of the Great Lakes // Water Resources Bull. 1982. Vol. 18, N 4. P. 565-573.
Hakkari L. On the productivity and ecology of zooplankton and its role as food for fish in some lakes in Central Finland // Biological Res. Reports for the University of Juväskylä. 1978. N 4. P. 3-84.
Hansen K. The dystrophic lake type // Hydrobiologia. 1962. 19. P. 183-191.
Henderson-Sellers B. Engineering Limnology. Boston; London; Melbourne, 1984. 350 p.
Henderson-Sellers B., Markland H.R. Decaying lakes. The origin and control of cultural eutrophication. Chichester; New York, 1987. 254 p.
Hutchinson G.E. A treatise on Limnology. N.Y., 1957. Vol. 1: Geography, physics and chemistry. 1015 p.
Hutchinson G.E., Löffler H. The thermal classification of lakes // Proc. Nat. Acad. Sci. US. 1956. Vol. 42, N 2. P. 84-86.
Jumppanen K. Effects of waste waters on a lake ecosystem // Ann. Zool. Fenn. 1976. Vol. 13, N 2. P. 85-138.
Keller W.J. Statistical via personal computers // Komstat-86, Proceeding in computational statistical. Wien, 1986. P. 332-337.

Kirillova T.V., Smirnova N.P. The radiation balance of lakes on the territory of the USSR // Verh. Intern. Verein. Limnol. Stuttgart, 1972. Vol. 18. P. 554-562.
Knoch K., Schulze A. Methoden der Klimaklassifikation. 2. Auflage. Cotha, 1954 (Ergänzungsheft zu Petermanns Geogr. Mitt., N 249). 80 S.
Lehman J. Reconstructing the Rate of Accumulation of Lake Sediment: The Effekt of Sediment Focusing // Quaternary Research. 1975. Vol. 5, N 4. P. 541-550.
Löffler H. Die klimatischen Typen des holomiktischen Sees // Mitt. Geogr. Ges. Wien. 1957. Bd 99. Heft 1. S. 35-45.
Lönnerblad G. Über den Sauerstoffgehalt der Dystrophen Seen // Lunds Univ. Årsskrift. 1931. Bd 2, N 27(14). S. 1-53.
Monheim F. Beitrage zur Klimatologie and Hydrologie des Titcacabechens // Heidelberg. geogr. Arb. 1956. Bd 1. S. 100-120.
Ohle W. Beiträge zur Produktionsbiologie der Gewässer// Arch. Hydrobiol. 1955. Suppl. Bd 22. S. 456-479.
Ohle W. Typologische Kennzeichungung der Gewässer auf Grund ihrer Bioaktivität // Verh. Intern. Vereinig. theor. a. angew. Limnol. 1958. Vol. 13, pt 1. P. 196-211.
Patalas K. Thermal and oxygen condions and transparency of water in 44 lakes of Wegorzewv district // Rocz. nauk. rol. B. 1960. Vol. 77, N 1. S. 223-242.
Patalas K. Wind- und morphologiebedingte Wasserbewegungstypen als bestimmen der Faktor fur Intensität des Stofkreislaufes in hordpoleschen Seen // Verh. Intern. Verein. theor. and angew. Limnol. 1961. Vol. 14, pt 1. S. 59-64.
Rast W., Lee F.G. Summary analysis of the North American OECD eutrophication Project: Nutrient loading lake response relationship and trophic state indices // U.S. Environ. Protect. Agency. 1978. 455 p.
Reckhow K.H. Lake quality discriminant analysis // Water Resources. 1978. Bull. 14(4). P. 856-867.
Reckhow K.H., Chapra S.C. Engineering Approaches for Lake Management. Butberworth Publischers. Boston; London, 1983. Vol. 1. 340 p.
Rodhe W. Primarproduktion und Seer Typen // Verh. Intern. Verein. Limnol. 1958. Vol. 13, pt. 1. P. 121-141.
Rodhe W. Crystalization of eutrophication concepts in northen Europe // Eutrophication: causes, consequences, correctives. Madison, Wisconsin, 1969. P. 50-64.
Rodhe W. The SIL Founders and our Fundament // Scripta Limnol. Upsal. 1974. Coll. 10-A, Scripta 380.
Rubin J. Optimal classification into groups: an approach for solving taxonomy problem // J. Theor. Biol. 1967. Vol. 15. P. 103-144.
Schindler D.M. A hypothesis to explain differences a similarities among lakes in the experimental lakes area, north-westen Ontario // J. Fish. Res. Board Canada. 1971. Vol. 28, N 2. P. 255-310.
Shannon C.E., Brezonik P.L. Limnological characteristics of North and central Florida Lakes // Limnol. Ocean. 1972. Vol. 17, N 1. P. 97-110.
Shannon C.E., Weaver W. The mathematical theory of communication. Urbana, 1963. 117 p.
Sládeček V. Rotifer as indicators of water quality // Hydrobiologia. 1983. Vol. 100. P. 169-201.
Stoneburner D.L., Smock L.A. Plankton communities of an acid, polimictic, brownwater lake // Hydrobiologia. 1980. Vol. 69, N 1-2. P. 131-137.
Szumiec A.-M. Relationship between the surface water temperature of temperate lakes and solar radiation // Verh. Int. Ver. theor. und angew. Limnol. 1978. Vol. 20, pt 2. P. 1013-1016.
Ujvári I. Geografia apelor Romaniei. Bucuresti, 1972. 592 p.
Van Nuland G.J., Meis J.F.G.M. Comparison of a few systems for the determination of saprobic and trophic degree on the basis of plankton data // Hydrobiologia. 1980. Vol. 70, N 3. P. 251-256.
Vollenweider R.A. Advanced in difining critical loading levels for phosphorus in lakes eutorphication // Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 1976. Vol. 33. P. 53-83.
Vollenweider R.A. Das Nahrstoffbelastungsprozess stehender Gewässer und Talsperren // Ztschr. Wasser- und Abwasser-Forch. 1979. Bd 12, N 2. S. 46-56.
Vollenweider R.A., Kerekes J. The loading concept as basis for controlling eutrophication philosophy and preliminary results of the OECD programme on eutrophication // Progr. Water Technol. 1980. Vol. 12, N 2. P. 5-38.
Walker W.W. Use of hypolimnetic oxygen depletion rate as a trophic state index for lakes // Water Research. 1979. Vol. 15. P. 1463-1470.
Yeasted J.G., Morel F.M.M. Empirical insights into lake response to nutrient loadings, with applications to models of phosphorus in lakes // Environ. Sci. Technol. 1978. Vol. 12(2). P. 195-201.
Zafar A.R. Taxonomy of lakes // Hydrobiologia. 1959. Vol. 13, N 3. P. 287-299.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Г л а в а 1. Теоретические основы классификации озер 5
1.1. Проблемы классификации географических систем (А.Г. Исаченко) 5
1.2. Основные теоретические проблемы классификации в лимнологии (И.В. Бовыкин, В.А. Румянцев) . . . 15

Г л а в а 2. Принципы классификации озер 23
2.1. Морфологические, морфометрические и гидрологические показатели и их роль в комплексной классификации озер и районировании (И.Н. Сорокин) . . 24
2.2. Классификация озер по температуре воды и элементам теплового баланса (Н.П. Смирнова). . . . 35
2.3. Классификация озер по уровню биологической продуктивности (И.Н. Андроникова) 51

Г л а в а 3. Классификация озер и особенности их распределения в условиях гумидной и аридной зоны 72
3.1. Климатические показатели тепло- и влагообеспеченности (А.М. Сморякова) 72
3.2. Роль морфологических и гидрологических показателей в классификации озер гумидной и аридной областей (И.Н. Сорокин) 88
3.3. Структура водного баланса озер как признак классификации (гумидная и аридная зоны) (Л.И. Седова, Н.П. Смирнова) 98
3.4. Теплообеспеченность озер как основание классификации (Н.П. Смирнова) 113
3.5. Особенности распределения озер разных трофических типов в условиях гумидной и аридной зон (И.Н. Андроникова) 127

Г л а в а 4. Математические методы в классификации озер . . . 134
4.1. Статистические методы классификации в лимнологии (И.В. Бовыкин, В.А. Румянцев) 134
4.2. Новый подход к описанию пространственного распределения озер на примере Западно-Сибирской равнины (Л.А. Соколова, Н.П. Белецкая, И.В. Бовыкин, Н.П. Смирнова) 148
4.3. Возможности использования персональных ЭВМ и программных средств в задачах классификации озер (С.А. Леонтьев) 154

Основы направления классификационных исследований в лимнологии (заключение) (И.Н. Андроникова, Н.П. Смирнова) 160

Литература 165